

# territorium • 32(N. ESPECIAL)

REVISTA INTERNACIONAL DE RISCOS | INTERNATIONAL JOURNAL OF RISKS

## RISCOS NATURAIS E CONFLITOS TERRITORIAIS: AMBIENTE E SOLO

Coordenadores:  
Adélia Nunes  
António Vieira  
Bruno Martins

Imprensa da Universidade de Coimbra  
Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

2025



# **territorium 32 (N.º Especial)**

Riscos Naturais e Conflitos Territoriais:  
Ambiente e Solo

*Natural Risks and Territorial Conflicts:  
Environment and Soil*

Janeiro - Dezembro  
2025

**FICHA TÉCNICA**

**Proprietário / Proprietor**  
**RISCOS<sup>®</sup>** - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

**Redação e administração / Editing and administration**  
(Toda a correspondência deve ser dirigida a;  
Letters should be addressed to):

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança  
Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra  
Largo Porta Férrea  
3004-530 Coimbra  
Portugal  
Tel.: +351 239 992 251  
E-mail: [riscos@riscos.pt](mailto:riscos@riscos.pt)

**Fotografia da capa / Cover photo**  
Conflito territorial  
*Territorial conflict*

**Fotografia / Photo:** Imagem gerada via Adobe Firefly

**Edição / Edition**  
RISCOS<sup>®</sup> - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança  
IUC<sup>®</sup> - Imprensa da Universidade de Coimbra

**Paginação / Formatting and Layout**  
Mestre Fernando Félix

**Resumos e legendas, revisão em inglês / Abstracts and captions, English review**  
Jean Burrows

**Distribuição e Assinaturas / Distribution and Subscriptions:**

Venda (vende; sale):  
RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança  
Número avulso (single issue): **25,00 €**  
Assinatura anual (dois números + correio);  
Annual subscription (2 issues + post charges):  
Portugal: **50,00 €**; Europa/Europe: **55,00€**;  
Outros países/Other countries: **60 \$USD**

**Pré-impressão e Impressão / Print Preview and Printing:**  
Simões & Linhares, Lda.  
Rua do Fetal, Lote 5, 3020-923 Coimbra

**Periodicidade / Periodicity**  
Semestral / Biannual

**Tiragem / Print run**  
250 exemplares

**Público alvo / Target audience**  
Professores, Agentes de Proteção Civil, Autarcas, Estudantes e Cidadãos.  
Teachers, Civil Protection Agents, Politicians, Students and Citizens.

**Arbitragem / Peer-review**  
Os artigos submetidos para publicação são sujeitos a revisão por  
dois especialistas  
Articles submitted for publication are subject to review by two experts  
(double-blind)

**Depósito Legal n.º 106376/96**  
ISSN Digital: 1647-7723  
ISSN: 0872-8941  
DOI: <https://doi.org/10.14195/1647-7723>

**URL:**  
<https://territoriuum.riscos.pt/>  
<https://digitalis.uc.pt/en.revista?id=107789&sec=5>  
<http://impactum-journals.uc.pt/index.php/territoriuum>

**Indexada em / Indexed in**  
CiteFactor, Dialnet, DOAJ, ERIH-PLUS, Europub database, Latindex, MIAR  
(Annual ICDS 2019: 4.4); Open Academic Journals Index (CGIJ OAJI: 0,150);  
Qualis da CAPES (2013-2016); REDIB, SJIF - Scientific Journal Impact Factor;  
Sherpa Romeo | Reviewer Credits

**Apoios:  
Sponsors:**





## NOTA DE ABERTURA

O presente número da revista *Territorium* corresponde a um número especial dedicado ao tema *Riscos Naturais e Conflitos Territoriais: Ambiente e Solo* e reúne um diversificado conjunto de textos que abordam, por um lado, a ocorrência de catástrofes naturais, fatores envolvidos e formas de gestão, e, por outro, diferentes problemáticas ambientais e o envolvimento social que lhe está associado.

Assim, na primeira parte são apresentados dez textos, que se debruçam sobre diferentes tipos de catástrofes naturais, segundo perspetivas diversas. O primeiro texto, intitulado “*O contributo da ação antrópica na exposição aos perigos naturais no Arquipélago dos Açores*”, da autoria de Ana Malheiro, Paulo Amaral, Filipe Marques e Aulédia Câmara, analisa a intervenção antrópica no desencadeamento de perigos naturais no Arquipélago dos Açores, concluindo que a atuação desajustada da atividade humana é mais significativa nos processos de instabilidade hidro-geomorfológica.

O segundo texto, dedicado aos “*Movimentos em massa na localidade de Veneza, Concelho de São Domingos - Cabo Verde*” e desenvolvido por Filipe Sanches, Ineida Carvalho e António Vieira, propõe-se identificar e analisar os diferentes movimentos em massa na referida localidade, produzindo uma cartografia da sua distribuição, contribuindo para a prevenção deste tipo de fenómenos.

Segue-se o texto proposto por Paulo Amaral, Ana Malheiro, Luís Teixeira, Filipe Marques e Letícia Moniz, intitulado “*Análise de estabilidade e determinação de faixas de risco e de proteção em arribas e taludes no arquipélago dos Açores*”, que nos apresenta os resultados da investigação desenvolvida no âmbito do projeto MACASTAB, relacionado com o estudo da instabilidade de taludes naturais e/ou arribas de origem vulcânica nas regiões insulares, resultando na produção de ferramentas metodológicas para a avaliação de estabilidade de taludes.

Antônia Silânia de Andrade, Célia Campos Braga, Welinagila Grangeiro de Sousa e Madson Tavares Silva são os autores do quarto texto, dedicado à “*Determinação de eventos secos e chuvosos em regiões do nordeste brasileiro-brasil, usando o índice de precipitação normalizada*”, em que se procurou avaliar a variabilidade espaço temporal de eventos secos e chuvosos, a partir da metodologia do SPI em regiões homogéneas, no estado da Paraíba, constatando-se a eficácia desta metodologia.

## INTRODUCTORY NOTE

This issue of the *Territorium* journal is a special edition dedicated to the theme of Natural Risks and Territorial Conflicts: Environment and Soil. It brings together a set of diverse texts that address, on the one hand, the occurrence of natural disasters, the factors involved and forms of management, and on the other hand, different environmental issues and the social involvement associated with them

The first part presents ten texts that address different types of natural disasters from a range of perspectives. The first text, entitled ‘The contribution of anthropogenic action to exposure to natural hazards In the Azores archipelago’, by Ana Malheiro, Paulo Amaral, Filipe Marques, and Aulédia Câmara, analyses human intervention in the triggering of natural hazards in the Azores Archipelago. It concludes that inappropriate human activity is most significant in hydro-geomorphological instability processes

The second text focuses on ‘Mass movements in the neighbourhood of Veneza, São Domingos municipality - Cape Verde’. Its authors are Filipe Sanches, Ineida Carvalho, and António Vieira who aim to identify and analyse the different mass movements in that particular area. It includes a map of their distribution as a contribution to the prevention of this type of phenomenon.

After that comes a text by Paulo Amaral, Ana Malheiro, Luís Teixeira, Filipe Marques and Letícia Moniz, entitled ‘Slope stability analysis and determination of risk and protection bands in cliffs and slopes in the Azores archipelago’, which presents the results of the research developed within the scope of the MACASTAB project, related to the study of the instability of natural slopes and/or cliffs of volcanic origin in island regions, resulting in the production of methodological tools for the evaluation of slope stability.

Antônia Silânia de Andrade, Célia Campos Braga, Welinagila Grangeiro de Sousa, and Madson Tavares Silva are the authors of the fourth article, dedicated to the ‘Determination of dry and rainy events in regions of north-eastern Brazil, using the normalized rainfall index’. They used the SPI methodology to evaluate the spatiotemporal variability of dry and rainy events in homogeneous regions in the state of Paraíba, thereby confirming the effectiveness of this methodology.

Também tratando temáticas relacionadas com aspectos climáticos, o texto elaborado por Santana Lívia de Lima, Madson Tavares Silva, Célia Campos Braga, Mariana da Silva Siqueira e Welinagila Grangeiro de Sousa, intitulado “*Análise e classificação da seca no estado do Rio Grande do Norte-Brasil*”, tem como objetivos analisar eventos de secas hidrológicas no Estado do Rio Grande do Norte com ênfase para os grupos G1 e G4, e identificar secas futuras através de modelos de previsão usando dados do SPEI-24 durante o período de 1950 a 2018.

De seguida, são-nos propostos três textos relacionados com os riscos hidrometeorológicos. O primeiro é da autoria de Daiane Cardoso, Lívia Louza e Denilson Teixeira e trata a questão do “*Uso do solo e a ocorrência de eventos hidrológicos na cidade de Goiânia - Goiás*”, concluindo os autores que é nas áreas urbanizadas que se tem observado maior acréscimo de eventos hidrológicos, facto que tem acompanhado a expansão dessas áreas e o crescimento demográfico aí ocorrido.

Carolina Galhardo, Ana Paula M. do Amaral Cunha, Regina Célia dos Santos Alvalá e Adriano Mota Ferreira abordam temática idêntica, analisando o “*Risco de desastres hidrometeorológicos e cidades médias: um estudo de caso no município de Pouso Alegre*”, e concluem existir um aumento dos eventos de inundações e alagamentos no município.

Relativamente ao texto seguinte, intitulado “*Analysis of the tendency towards urban flash floods based on morphometry and land use: a case study in the city of São João del-Rei, Minas Gerais (Brazil)*” e da autoria de André Barbosa Ribeiro Ferreira, Andréa Aparecida Zacharias, Francielle da Silva Cardozo e Bráulio Magalhães Fonseca, é proposta uma metodologia que procura identificar a tendência para a ocorrência de enxurradas em espaço urbano, concluindo-se existir tendência elevada em áreas com drenagem propícia para a manifestação destes fenómenos.

O texto seguinte, redigido por Óscar Timóteo e José Romão, aborda outro tipo de catástrofe e intitula-se “*Avaliação das estratégias de primeira intervenção na catástrofe associada ao ciclone Idai, em março de 2019 (Moçambique)*”. Os autores analisaram as consequências e desafios na gestão da catástrofe, bem como a sua dinâmica nas fases de pré-impacto, impacto propriamente dito, destruição e intervenção. Concluíram que a ausência de um Plano de Emergência, coordenado com um Sistema de Comando de Acidentes Graves e Catástrofes, dificultou a coordenação por falta de liderança e o fluxo de informações entre agências.

A primeira parte termina com o texto “*Uma análise comparativa da percepção do tema de desastre natural no Brasil e Portugal por intermédio de ferramentas big data*”, da autoria de Rodrigo Rudge Ramos Ribeiro, no qual

Also addressing themes related to climatic aspects, the text by Santana Lívia de Lima, Madson Tavares Silva, Célia Campos Braga, Mariana da Silva Siqueira, and Welinagila Grangeiro de Sousa, entitled ‘*Analysis and classification of drought in the state of Rio Grande do Norte-Brazil*’, sets out to study hydrological drought events in the State of Rio Grande do Norte, with emphasis on groups G1 and G4. It further aims to identify future droughts through forecasting models using SPEI-24 data in the period from 1950 to 2018.

Next, we have three texts related to hydrometeorological risks. The first, authored by Daiane Cardoso, Lívia Louza, and Denilson Teixeira, addresses the issue of ‘*Land use and the occurrence of hydrological events in the city of Goiânia - Goiás*’. It concludes that the greatest increase in hydrological events has been observed in urbanized areas, a fact that has accompanied the expansion of these areas and the demographic growth that has occurred there.

Carolina Galhardo, Ana Paula M. do Amaral Cunha, Regina Célia dos Santos Alvalá, and Adriano Mota Ferreira address the same theme by analysing the ‘*Hydrometeorological disaster risk and medium-sized cities: a case study in the municipality of Pouso Alegre*’. They conclude that there is an increase in flood and inundation events in the municipality.

The next article is entitled ‘*Analysis of the tendency for urban flash flooding to occur, on a local scale, based on morphometry and land use: a case study in the city of São João del-Rei, Minas Gerais (Brazil)*’ and written by André Barbosa Ribeiro Ferreira, Andréa Aparecida Zacharias, Francielle da Silva Cardozo, and Bráulio Magalhães Fonseca. It proposes a methodology that seeks to identify the tendency for flash floods to occur in urban areas and concludes that there is a high tendency in areas with drainage conducive to the manifestation of these phenomena.

The text that comes afterwards is written by Óscar Timóteo and José Romão and addresses another type of catastrophe. The title is ‘*Reaction and response operations assessment in the disaster associated with cyclone Idai, in march 2019 (Mozambique)*’. The authors studied the consequences and challenges in managing a disaster, as well as the dynamics in the pre-impact, impact, destruction, and intervention phases. They concluded that the absence of an Emergency Plan, in coordination with a Major Accident and Disaster Command System, hindered collaboration due to a lack of leadership and the flow of information between agencies.

The first part concludes with the text ‘*A comparative analysis of perceptions of natural disasters in Brazil and Portugal using big data tools*’ authored by Rodrigo Rudge Ramos Ribeiro. The use of big data tools made it possible

o autor realizou uma análise comparada da percepção e interesse social pelo tema de desastres naturais no Brasil e em Portugal, utilizando ferramentas de busca de *big data*, concluindo acerca da validade deste método para uma análise comparativa da percepção social entre os dois países.

A segunda parte inclui 9 trabalhos, que abordam várias problemáticas dedicadas a temáticas ambientais diversas e à sua gestão.

O primeiro destes textos é da autoria de Francisco Junior Nascimento da Silva e Fernanda Pereira Gouveia e faz uma “*Análise da estrutura de resposta ao cenário de rompimento de barragem de Tucuruí no contexto dos planos de contingência dos municípios da Zona de Autossalvamento (ZAS)*”. Para responder ao objetivo proposto, os autores avaliaram a estruturação das COMPDECs (Coordenadorias de Proteção e Defesa Civil) e a estrutura operacional do SCI (Sistema de Comando de Incidente) estabelecido nos PLANCONs, concluindo que as duas COMPDECs apresentam deficiências de estrutura organizacional, capacitação de recursos humanos, infraestrutura, limitações financeiras, propondo pontos de melhoria e necessidade de ajustes nos PLANCONs.

O texto seguinte, intitulado “*Vulnerabilidade social e duplo constrangimento dos agricultores familiares no contexto das alterações climáticas em Moçambique*” e elaborado por Henrique Cau e Patrício Langa, reporta a existência de uma relação entre o meio rural, migrações e meio urbano, identificando uma dualidade dos constrangimentos derivados dos efeitos das mudanças climáticas nos dois meios. Os autores sugerem a necessidade de adoção de políticas e medidas de mitigação, adaptação e resiliência às mudanças climáticas que olhem para as relações dialéticas entre as zonas rurais e as zonas urbanas.

Os quatro textos seguintes dedicam-se à problemática dos incêndios florestais e sua gestão, em áreas geográficas distintas. Da autoria de Miguel Ángel López-Sandoval y Ramón García-Marín, o texto intitulado “*Identificación y análisis de los patrones temporales y espaciales de los incendios forestales causados por rayos en la región de Murcia (sureste de España): periodo 2000-2020*” analisa padrões de incêndios com uma causa natural específica em região de Espanha e conclui que a sua distribuição não é aleatória e que o risco de incêndios simultâneos causados por descargas elétricas provenientes de tempestades significa que este fenômeno natural deve ser levado muito a sério pelas autoridades e pelos gestores ambientais.

Paulo Queiroz Trinta, Diego Donato Fonseca, Marco Antonio Basques Sobrinho, Leandro de Souza Camargo e Luciene Pimentel da Silva fazem a “*Análise de ocorrências de incêndios florestais a partir dos mapeamentos de focos de calor e de suas áreas mais*

to confirm the validity of this method for a comparative analysis of social perception between the two countries.

The second part includes nine works which address various themes dedicated to diverse environmental issues and their management.

The first of these texts is authored by Francisco Junior Nascimento da Silva and Fernanda Pereira Gouveia and presents an ‘Analysis of the structure of the response to the Tucuruí dam break scenario in the context of the contingency plans (PLANCONs) of the municipalities in the Self-Rescue Zone (ZAS)’. To meet the proposed objective, the authors evaluated the structure of the COMPDECs (Civil Protection and Defence Coordination Offices) and the operational structure of the ICS (Incident Command System) established in the PLANCONs. It was concluded that both COMPDECs display failings in terms of organizational structure, human resource training, infrastructure, and financial limitations, and so points are proposed for improvement and the need for adjustments in the PLANCONs.

The following text, entitled ‘Social vulnerability and double constraints of family farmers in the context of climate chance in Mozambique’ is by Henrique Cau and Patrício Langa. It reports on the relationship existing between rural areas, migration, and urban areas, identifying a duality of constraints arising from the effects of climate change in both environments. The authors suggest the need to adopt policies and measures for mitigating, adapting to, and building resilience to climate change that consider the dialectical relationships between rural and urban areas.

The following four texts are dedicated to the problem of forest fires and their management in different geographical areas. Authored by Miguel Ángel López-Sandoval and Ramón García-Marín, the text entitled ‘Identification and analysis of temporal and spatial patterns of wildfires caused by lightning in the region of Murcia (southeast Spain): period 2000-2020’ looks at fire patterns with a specific natural cause in a region of Spain. It concludes that their distribution is not random and that the risk of simultaneous fires caused by lightning strikes from storms means that this natural phenomenon must be taken very seriously by the authorities and environmental managers.

Paulo Queiroz Trinta, Diego Donato Fonseca, Marco Antonio Basques Sobrinho, Leandro de Souza Camargo, and Luciene Pimentel da Silva carry out an ‘Analysis of forest fire occurrences based on the mapping of heat spots and their most susceptible areas’. They note that as

"suscetíveis", constatando que à medida que aumenta o número de focos de calor, também aumenta o número de ocorrências de incêndios, alertando para a necessidade de construir um novo mapeamento que seja convergente com as ações de resposta.

6

Segue-se o texto de Carla Rolo Antunes, Henrique César Ribeiro, Maria de Belém Costa Freitas, Miguel Domingos Teixeira e Maria do Rosário Partidário, intitulado "*Caracterização biofísica e socioeconómica do concelho de Monchique: avaliação do risco de incêndio*", no qual se avalia a relação entre os incêndios florestais e as especificidades do território, como o uso do solo, declive, exposição de encostas, espécies florestais, com o objetivo de compreender o poder explicativo destas variáveis na vulnerabilidade ao risco de incêndio.

Por fim, Erisvaldo de Oliveira Alves, Waldecy Rodrigues e Nilton Marques de Oliveira apresentam-nos o texto "*Transformação da governança do fogo no Tocantins, Brasil: visão emergente na região de Cerrado da Amazônia Legal*", no qual examinaram o uso do fogo no Tocantins para identificar caminhos potenciais para mitigar os efeitos dos incêndios florestais num cenário de mudanças climáticas, realçando o papel central dos atores governamentais nesta problemática, referindo que a coexistência com o fogo diminui a rigidez institucional, para além da legitimização dos conhecimentos de povos tradicionais.

O sétimo texto da segunda parte é da autoria de Mário Talaia e aborda a "*Influência da brisa no rumo e intensidade do vento local - contribuição ou risco no potencial eólico: Estudo de caso na região de Aveiro*". Neste trabalho o autor avalia o potencial eólico num local da costa litoral junto ao mar, concluindo acerca da influência que a brisa marítima tem neste processo.

O texto seguinte, da autoria de Célia Campos Braga, Karlla Karem Silva de Lima, Madson Tavares Silva e Antônia Silânia de Andrade, intitulado "*Capturação do dióxido de carbono pela Caatinga, em regiões semiáridas do nordeste do Brasil*", teve como objetivo quantificar e analisar a captura de CO<sub>2</sub> absorvido pela vegetação caatinga, para duas microrregiões do semiárido paraibano, identificando relação entre o GPPec e o GPP, e concluindo que o parâmetro que mais influenciou na GPP foi a precipitação, pois em condições climáticas desfavoráveis, a caatinga capta baixas quantidades de CO<sub>2</sub>.

O último texto da segunda parte, intitulado "*Serviços ecossistêmicos de provisão na zona de amortecimento do parque estadual mata do Pau-Ferro, Areia - PB, Brasil: mapeamento e conflitos entre oferta e demanda*", da autoria de Jean Oliveira Campos, Eduardo Rodrigues Viana de Lima e Diógenes Felix da Silva Costa, teve como objetivo mapear os serviços ecossistêmicos de provisão prestados pelos ecossistemas florestais da zona e identificar os conflitos decorrentes. Os autores

the number of heat sources increases, so does the number of fire occurrences, thus highlighting the need to develop a new mapping system that aligns with response actions.

The next article is by Carla Rolo Antunes, Henrique César Ribeiro, Maria de Belém Costa Freitas, Miguel Domingos Teixeira, and Maria do Rosário Partidário, entitled '*Biophysical and socio-economic characterization of the municipality of Monchique: fire risk assessment*', which evaluates the relationship between forest fires and the specific characteristics of the territory, such as land use, slope, hillside exposure, and forest species. The aim is to understand the explanatory power of these variables in terms of vulnerability to fire risk.

Finally, Erisvaldo de Oliveira Alves, Waldecy Rodrigues, and Nilton Marques de Oliveira present the text '*Transformation of fire governance in Tocantins, Brazil: emerging vision in the Cerrado region (Brazilian savanna) of the Legal Amazon*', in which they examined the use of fire in Tocantins to identify potential ways to mitigate the effects of forest fires in a climate change scenario. The central role of governmental actors in this problem is highlighted, noting that coexistence with fire reduces institutional rigidity, in addition to legitimizing the knowledge of traditional peoples.

The seventh article in the second part is by Mário Talaia and addresses the '*Influence of the breeze on the local wind - contribution or risk in relation to the wind potential: case study in the region of Aveiro*'. In this work, the author evaluates the wind potential in a location on the coast near the sea, drawing conclusions about the influence that sea breezes have on this process.

The following text, authored by Célia Campos Braga, Karlla Karem Silva de Lima, Madson Tavares Silva, and Antônia Silânia de Andrade, is entitled '*Capture of carbon dioxide by the Caatinga, in semi-arid regions of northeast Brazil*'. It aimed to quantify and analyse the capture of CO<sub>2</sub> absorbed by the Caatinga vegetation in two microregions of the semi-arid region of Paraíba. A relationship was identified between GPPec and GPP, and it was concluded that the parameter that most influenced GPP was precipitation, since under unfavourable climatic conditions, the Caatinga captures low amounts of CO<sub>2</sub>.

The final text of the second part, entitled '*Provisioning ecosystem services in the buffer zone of the Mata do Pau-Ferro state park, Areia - PB, Brazil: mapping and conflicts between supply and demand*', is authored by Jean Oliveira Campos, Eduardo Rodrigues Viana de Lima, and Diógenes Felix da Silva Costa. The aim was to map the ecosystem provisioning services provided by the forest ecosystems in the area and identify the resulting conflicts. The authors concluded that there

concluíram existir conflito entre a oferta e a procura em pelo menos três dos serviços: nutrição a partir de plantas e animais selvagens, e energia a partir de plantas selvagens. Concluíram, também, que a agropecuária desenvolvida na região antes da criação da Unidade de Conservação levou à redução dos fragmentos e aumento da procura por parte da população.

Este número especial é concluído com três notas: a primeira, da autoria de Burhan Kubilay Kaptanr, Sandra Cunha e José Luís Barroso Aguiar, aborda um caso de estudo de gestão pós-terremoto, no texto “*Post-earthquake construction and demolition waste management: a case of the 2023 turkey earthquake*”; o segundo trata da “*Percepção da comunidade litorânea do estado do Paraná-Brasil sobre riscos ambientais*” e foi proposto por Maíra Zacharias, Sandro Deretti, Estefani Pereira Gomes e Danyelle Stringari; e, por fim, da autoria de Susana Serrão e Paulo Almeida, o texto “*Da Nora de Alcatruzes no campo, para um hidrante de recurso na cidade*”, que nos fala de tecnologias do passado, que urge preservar e revalorizar.

Ainda que focando temas muito diversificados, este número da revista Territorium integra abordagens muito interessante e valiosas, capazes de contribuir para um enriquecimento científico e proporcionar conhecimento valioso para o apoio à tomada de decisão, quer na prevenção de fenómenos catastróficos, quer na definição de estratégias para a sua gestão.

is a conflict between supply and demand in at least three of the services: nutrition from wild plants and from animals, and energy from wild plants. They also concluded that the agriculture developed in the region before the creation of the Conservation Unit led to a reduction in fragments and an increase in demand from the population.

This special issue concludes with three articles: the first, by Burhan Kubilay Kaptanr, Sandra Cunha, and José Luís Barroso Aguiar, addresses a case study of post-earthquake management, in the article ‘Post-earthquake construction and demolition waste management: a case of the 2023 Turkey earthquake’; the second deals with the ‘Perception of the coastal community about environmental risks in the state of Paraná-Brazil on environmental risks’ and was proposed by Maíra Zacharias, Sandro Deretti, Estefani Pereira Gomes, and Danyelle Stringari; and, finally, by Susana Serrão and Paulo Almeida, the text ‘From the sakia/water wheel in the countryside, to a resource hydrant in the city’, which discusses technologies of the past that urgently need to be preserved and revalued.

Although focusing on a wide range of topics, this issue of the Territorium journal integrates some very interesting and valuable approaches. They not only contribute to scientific enrichment, they also provide valuable knowledge to support decision-making, both in preventing catastrophic events and in defining strategies for their management.

*Adélia Nunes, António Vieira e Bruno Martins*



# Catástrofes naturais, previsão, estratégias e gestão pós-evento

*Natural disasters,  
forecasting, strategies and  
post-event management*





## O CONTRIBUTO DA AÇÃO ANTRÓPICA NA EXPOSIÇÃO AOS PERIGOS NATURAIS NO ARquipélago DOS AÇORES\*

11

THE CONTRIBUTION OF ANTHROPOGENIC ACTION TO EXPOSURE TO NATURAL HAZARDS  
IN THE AZORES ARCHIPELAGO

Ana Malheiro

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
[ana.mm.malheiro@azores.gov.pt](mailto:ana.mm.malheiro@azores.gov.pt)

Paulo Amaral

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
[Paulo.AP.Amaral@azores.gov.pt](mailto:Paulo.AP.Amaral@azores.gov.pt)

Filipe Marques

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
[filipe.mp.marques@azores.gov.pt](mailto:filipe.mp.marques@azores.gov.pt)

Aulédia Câmara

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
[auledia.ra.camara@azores.gov.pt](mailto:auledia.ra.camara@azores.gov.pt)

### RESUMO

O enquadramento geotectónico complexo onde se insere o arquipélago dos Açores confere às ilhas uma elevada exposição a diversos perigos naturais (e.g. sismos, movimentos de vertente, vulcões, galgamentos e inundações costeiras e fluviais, etc.), a que se somam fatores de ordem climática. Por outro lado, a articulação desajustada entre a atividade humana no território e o funcionamento dos fenómenos naturais que nele se verificam conduzem ao incremento da vulnerabilidade, por via da expansão da população e das atividades para zonas que sempre estiveram expostas a perigos naturais (e.g. leitos de cheias, proximidade de taludes, etc.).

Neste artigo, são ilustradas algumas das situações com que o Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (LREC) se deparou ao longo dos anos, nas quais foi bem patente a intervenção antrópica no desencadear de situações que colocaram em risco pessoas e bens. De todas as situações analisadas, as mais recorrentes são, sem dúvida, as relacionadas com os processos de instabilidade hidro-geomorfológica.

**Palavras-chave:** Perigos naturais, riscos, ação antrópica.

### ABSTRACT

The complex geotectonic setting of the Azores archipelago means that the islands are highly exposed to various natural hazards (e.g. earthquakes, slope movements, volcanoes, overtopping waves, and coastal and river flooding), in addition to climatic factors. Moreover, the disjointed relationship between human activity in the territory and the functioning of the natural phenomena that occur in it leads to increased vulnerability, through the expansion of the population and activities into areas that have always been exposed to natural hazards (e.g. floodplains, proximity to slopes).

This article illustrates some of the situations that the Regional Civil Engineering Laboratory of the Azores (LREC) has encountered over the years, in which man-made intervention was clearly evident in triggering situations that put people and property at risk. Of all the situations analysed, the most recurrent are undoubtedly those related to hydro-geomorphological instability processes.

**Keywords:** Natural hazards, risks, anthropogenic action.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 09-10-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 31-01-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

O enquadramento geológico complexo onde se insere o arquipélago dos Açores confere às ilhas uma elevada exposição a diversos perigos naturais (e.g. sismos, movimentos de vertente, vulcões, galgamentos e inundações costeiras e fluviais, tsunamis, etc.), a que se somam fatores de ordem climática.

No caso particular dos Açores, o seu peculiar enquadramento geológico reflete-se, naturalmente, na grande atividade sísmica e vulcânica registada na região, que normalmente é geradora de fenómenos secundários, como os movimentos de vertente. A situação atlântica dos Açores é, por outro lado, propícia à ocorrência de períodos marcados por elevadas precipitações, fator que, com relativa frequência, tem estado na base de importantes movimentos de vertente (Amaral, 2005), como comprovam as diferentes ocorrências registadas desde o seu povoamento (Frutuoso [1522-91], 1981; Silveira et al., 2003; Valadão et al., 2002; Marques et al., 2008).

Por outro lado, a articulação desajustada entre a atividade humana no território e o funcionamento dos fenómenos naturais que nele se verificam, conduzem ao incremento da exposição e consequente vulnerabilidade, por via da expansão da população e das atividades para zonas que sempre estiveram suscetíveis a perigos naturais (e.g. leitos de cheias, taludes, etc.).

Os movimentos de vertente constituem um perigo geológico-geotécnico de origem natural, sendo responsáveis por relevantes perdas económicas e de vidas humanas em todo o globo terrestre. À escala global, os movimentos de vertente podem ser despoletados por diversos fatores. Neste sentido, em regiões vulcânicas a deflação ou inflação do solo pode originar a instabilidade de vertentes dos edifícios vulcânicos (Antonello et al., 2004; Puglisi et al., 2004) favorecendo a ocorrência do seu colapso. No entanto, na maioria dos casos, outros fenómenos como os sismos e períodos de precipitação intensa e/ou prolongada são determinantes no despoletar de movimentos de vertente (Gaspar et al., 1997; Zêzere, 2000; Valadão, 2002).

Segundo Zêzere (2005), os fatores condicionantes que conduzem à ocorrência de movimentos de vertente subdividem-se em fatores de predisposição e preparatórios. Os primeiros são estáticos e, por si só, não causam a instabilidade (e.g. características do terreno, litologia, estrutura geológica, morfologia). Os preparatórios são dinâmicos no tempo. São responsáveis por fomentar a diminuição da segurança à estabilidade, sem, no entanto, causar a rotura. Incluem, por exemplo, os processos físicos (e.g. meteorização física, precipitação, sismos, subida do nível de água, os processos geomorfológicos (e.g. levantamentos

tectónicos, erosão fluvial e marinha) e os processos antrópicos (e.g. sobrecargas, deficientes sistemas de drenagem, escavações a meia vertente ou na base).

Os fatores desencadeantes constituem a causa imediata, originando o movimento de vertente (e.g. precipitação intensa e/ou prolongada, sismos, ações antrópicas). A diferença entre os fatores preparatórios e os desencadeantes dizem respeito à intensidade/duração com que atuam no terreno, bem como o estádio prévio da vertente em termos do Factor de Segurança (Popescu, 1996).

No domínio dos processos antrópicos, a ação humana tem tido um contributo importante na preparação e no despoletar, de forma isolada e/ou combinada com outros processos, de ocorrências de processos de instabilidade geomorfológica. Este contributo manifesta-se essencialmente pelo direcionamento de águas pluviais/residuais para o corpo de taludes/arribas, pela alteração do tipo de uso ou coberto vegetal, pela abertura de taludes em vertentes potencialmente instáveis para a construção de estradas e de casas, não precedida de estudos de estabilidade e de medidas preventivas e corretivas de estabilização, entre outros. Neste contexto, tem-se constatado que a ação antrópica interfere diretamente ou indiretamente nos processos de instabilidade natural potenciando, frequentemente, a sua ocorrência, assim como, aumentando o grau de exposição aos mesmos.

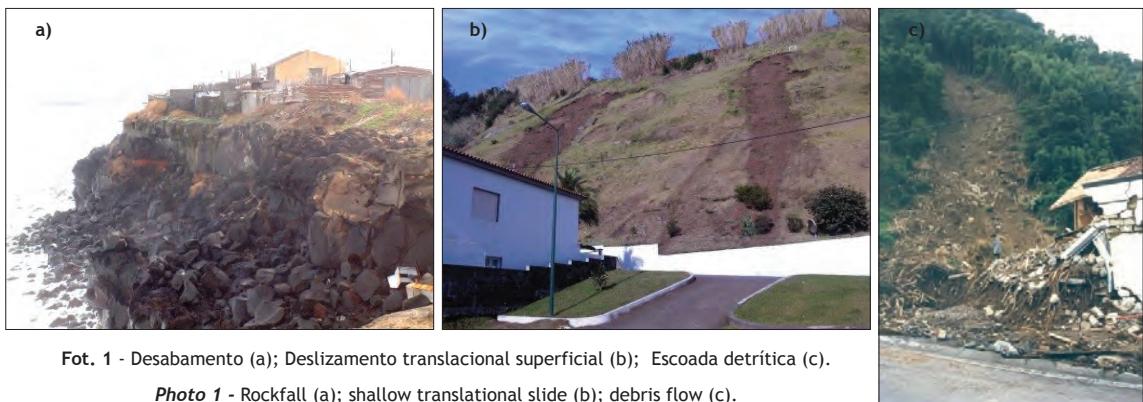
Neste artigo, são ilustradas algumas das situações com que o Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (LREC) se deparou ao longo dos anos, envolvendo movimentos de vertente, sismos e inundações, nas quais foi bem patente a intervenção antrópica no potenciar de situações que colocaram em risco pessoas e bens. De todas as situações analisadas, as mais recorrentes são, sem dúvida, as relacionadas com os processos de instabilidade hidro-geomorfológica.

O objetivo deste trabalho é apresentar um resumo de várias situações de risco em que o contributo humano teve um papel decisivo na exposição e na contribuição para a ocorrência de fenómenos naturais no arquipélago dos Açores.

Pretende-se ainda com este trabalho alertar para a necessidade de se proceder à implementação de políticas de planeamento e ordenamento do território que visem, essencialmente, a prevenção, mitigação e correção dos danos e prejuízos provocados por catástrofes.

### Movimentos de vertente

No caso das ilhas dos Açores, o contexto geológico e morfológico é propício à ocorrência de movimentos de vertente com diferentes tipologias, sendo as mais frequentes os desabamentos, os deslizamentos e as escoadas (fot. 1).



Estes processos geomorfológicos são responsáveis por danos em infraestruturas e moradias, cortes nas vias de comunicação e perda de vidas humanas. São desencadeados, maioritariamente, por precipitação intensa e/ou prolongada e por sismos. No entanto, são muitas vezes potenciados pelas atividades antrópicas desajustadas. Noutros casos, a atividade antrópica interfere direta ou indiretamente com os processos de instabilidade natural potenciando a sua ocorrência.

A inventariação de 656 relatórios numa base de dados desenvolvida em SIG relativa à ocorrência de movimentos de vertente em que o LREC emitiu parecer, permitiu verificar quais as causas principais de instabilidades geomorfológicas no arquipélago, desde 1981 até à atualidade. A base de dados contém informação georreferenciada do local de ocorrência e apresenta um conjunto de campos de preenchimento referente ao processo de instabilidade (tipologia, características morfométricas, geológicas e hidrológicas), principais causas e soluções de mitigação preconizada. Apresenta-se no gráfico (fig. 1) a percentagem relativa das principais causas extraídas da base de dados.

Pela análise do gráfico anterior, claramente sobressaem as causas múltiplas. As causas múltiplas são variadas e

nem sempre é possível identificar aquela que teve maior contributo na ocorrência. Estão normalmente associadas à combinação da ação marinha com ventos fortes e precipitação, ou com a precipitação e a ocorrência de sismos. Seguidamente vem o fator precipitação. A erosão marinha apresenta-se como responsável de 16% dos eventos. Este fator é explicável pela grande quantidade de situações de instabilidade que ocorrem ao nível das arribas, muitas vezes com impacto direto para a atividade humana. Entre as causas antrópicas destaca-se claramente o direcionamento de águas pluviais/residuais para o corpo de taludes.

Nos subcapítulos seguintes são apresentados vários exemplos de situações de instabilidade mais marcantes no arquipélago nos últimos 30 anos e que estão diretamente relacionadas com um desadequado ordenamento do território, o que levou a uma maior exposição de pessoas e bens ao perigo.

#### *Construção na base ou topo de taludes / arribas*

Uma das situações que mais problemas tem causado no arquipélago é a construção próximo à base ou topo de taludes, conduzindo frequentemente a graves prejuízos

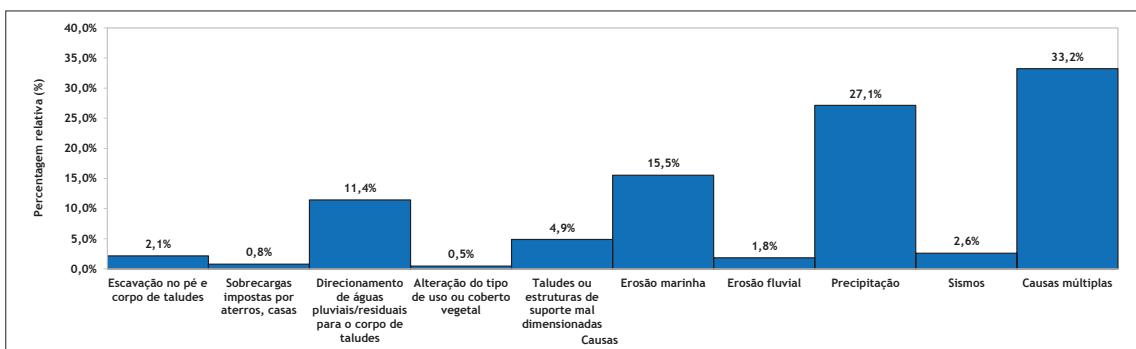


Fig. 1 - Principais causas de processos de instabilidade geomorfológica ocorridos no arquipélago dos Açores, tendo em conta a inventariação de 656 pareceres técnicos emitidos pelo LREC - Açores.

Fig. 1 - Main causes of geomorphological instability processes occurring in the Azores archipelago, taking into account the 656 technical reports issued by LREC - Azores.

materiais e, por vezes, envolvendo a perda de vidas humanas. Trata-se de um problema de ordenamento do território, mas que, pontualmente, as entidades competentes começam a ter uma maior preocupação e atenção face às áreas de proteção do litoral referentes às arribas e respetivas faixas de proteção da Reserva Ecológica. No entanto, para zonas interiores que não estão salvaguardadas por esta restrição de utilidade pública, os problemas subsistem.

Um exemplo bem marcante foi o que ocorreu em dezembro de 1987, na sequência de um episódio de precipitação intensa. O episódio de instabilidade geomorfológica deu-se na falésia sobranceira à Ponta da Fajã, na ilha das Flores. Tratou-se de um deslizamento/escoada que se iniciou no topo de uma falésia com uma altura de cerca de 500 m e uma inclinação superior a 50°. Este evento, que envolveu um volume de aproximadamente 150.000 m<sup>3</sup>, soterrou uma estrada, uma ermida e uma casa, bem como um automóvel, cobrindo ainda uma área considerável de terreno agrícola (fot. 2). Decorrente desta crise geomorfológica, a Ponta da Fajã, no concelho das Lajes das Flores, foi considerada como uma Zona de Alto Risco pelo Decreto Legislativo Regional nº 23/89/A de 20 de novembro, ficando expressamente proibida a edificação naquela área de qualquer tipo de construção, bem como habitar nos imóveis já ali existentes. No entanto, essa interdição foi levantada em 2022 por pressão dos habitantes da ilha à esfera política.



Fot. 2 - Vista geral do depósito e devastação causada pelo deslizamento ocorrido na Ponta da Fajã em 1987.

*Photo 2 - General view of the deposit and devastation caused by the landslide that occurred in Ponta da Fajã in 1987.*

Já em outubro de 1997, durante um período em que se verificou precipitação intensa e prolongada, com cerca de 220 l/m<sup>2</sup>, ocorreram centenas de movimentos de vertente em diversas localidades da ilha de S. Miguel, em particular na freguesia da Ribeira Quente. Os processos de instabilidade geomorfológica foram, na sua maioria, movimentos complexos: deslizamentos que evoluíram para escoadas detritícias muito fluidas, constituídas por água, pedra pomes, cinzas e ainda vegetação (raízes, troncos e ramos de árvores) (fot. 3). Nalguns casos,

os fluxos detritícios incluíam ainda blocos de grandes dimensões (por vezes com dimensões máximas de 3 m). Uma destas escoadas detritícias destruiu 36 casas e vitimou 29 pessoas. Além disso, 3 pessoas foram feridas, 114 ficaram sem casa e a freguesia ficou isolada durante mais de 12 horas, pois a única via de acesso foi destruída tendo ainda os sistemas de comunicações, transporte e fornecimento de energia sido afetados.



Fot. 3 - Ribeira Quente: uma das ruas afetadas por escoadas detritícias.

*Photo 3 - Ribeira Quente: one of the streets affected by debris flow.*

Em março de 2013, na sequência da elevada pluviosidade que afetou a ilha de S. Miguel, ocorreram várias situações de instabilidade geomorfológica, que obstruíram diversas vias de comunicação, tendo prejudicado alguns acessos a zonas habitacionais desta ilha.

O caso mais grave ocorreu na freguesia do Faial da Terra. Mais uma vez, a ocorrência de um deslizamento translacional com evolução para escoada detritica na vertente sobranceira a uma das ruas da freguesia atingiu 3 moradias, causando danos materiais e três vítimas mortais (fot. 4).



Fot. 4 - Casas destruídas na sequência da ocorrência de movimentos de vertente no Faial da Terra.

*Photo 4 - Houses destroyed following the landslides in Faial da Terra.*

Neste caso, para além da construção existente na base de um talude com cerca de 300 m de altura e elevada inclinação, acresceu o abandono de troncos sobre a superfície do talude, pois o que se verificou foi que grande parte do material mobilizado consistia em troncos cortados, resultantes de desmatações.

Por outro lado, a construção no topo dos taludes ou arribas conduz a uma sobrecarga, o que, associado à frequente presença de tubos de descarga de águas pluviais e de esgotos a drenarem para a superfície da arriba, favorece, em muitas situações, a erosão e saturação progressiva dos maciços, levando à ocorrência de desabamentos. Estes eventos de instabilidade são responsáveis por afetar vias de comunicação, logradouros ou mesmo partes de habitações, como acontece frequentemente em diversas freguesias da costa norte da ilha de S. Miguel (Rabo de Peixe, Calhetas, Fenais da Luz, etc.) (fot. 5).



Fot. 5 - Exemplo de um desabamento ocorrido na arriba da freguesia das Calhetas (S. Miguel, 2023).

*Photo 5 - Example of a rockfall that occurred on the cliff in the parish of Calhetas (S. Miguel, 2023).*

Outro exemplo da construção no topo de taludes diz respeito à evacuação e realojamento devido à ocorrência de desabamentos em taludes de linha de água, tal como ocorreu em 1998 na freguesia da Ponta Garça (S. Miguel) (fot. 6).



Fot. 6 - Desabamento generalizado ocorrido num talude de linha de água na freguesia da Ponta Garça (S. Miguel), em outubro de 1998.

*Photo 6 - Widespread collapse that occurred on a waterline embankment in the parish of Ponta Garça (S. Miguel), in October 1998.*

À semelhança do que acontece em arribas, as construções na crista de taludes constituem uma sobrecarga, que neste caso tem a agravar, a constituição geológica do mesmo (piroclastos pomíticos intercalados com estratos de rocha pouco espessa e fraturada) e ainda a presença dos habituais tubos de descarga de águas pluviais e/ou residuais sobre a superfície do talude.

15

Por vezes são os arruamentos que se encontram demasiado próximos da crista de taludes, onde a evolução do processo natural de erosão coloca em causa a circulação. Exemplo disso é um caminho na freguesia da Ribeira Chã, na ilha de S. Miguel, que se localiza junto à crista de um talude que corresponde à margem de uma linha de água (fot. 7).



Fot. 7 - Arruamento existente junto à crista de um talude que corresponde a uma margem de ribeira (Ribeira Chã, 2001).

*Photo 7 - Existing road alongside the crest of a slope that forms a river bank (Ribeira Chã, 2001).*

#### *Construção em zonas onde o nível freático interfere nos solos de fundação*

A construção sobre terrenos suscetíveis à ocorrência de movimentos de vertente com caráter cinemático lento a muito lento normalmente não envolve perigo para as pessoas, mas afeta as estruturas das construções, por vezes de forma considerável. Um exemplo deste tipo de situação é o que se verifica na Praia Formosa, na ilha de Santa Maria.

De um modo geral, a constituição geológica da vertente sobranceira ao sítio da Praia Formosa é formada, predominantemente, por escoadas lávicas de natureza basáltica (s.l.), com acentuados graus de alteração. Sobrejacentes a estas escoadas encontram-se solos residuais, resultantes da alteração da rocha mãe, e depósitos de vertente, decorrentes de processos de instabilidade geomorfológica. A base da vertente é essencialmente constituída por depósitos de vertente.

Nos solos residuais predominam as frações granulométricas desde os siltos às argilas, enquanto nos depósitos de vertente as dimensões granulométricas são variadas, desde os cascalhos às argilas. Estes materiais encontram-se muito alterados, apresentando uma forte componente argilosa, muito ativa do ponto de vista mineralógico quando hidratada.

Em 2010, na sequência da intensa e prolongada pluviosidade que se fez sentir na ilha de Santa Maria, ocorreram várias situações de instabilidade geomorfológica, que provocaram danos em habitações e na via de comunicação (fot. 8).



Fot. 8 - Danos numa moradia e numa estrada, devido à cedência do solo de fundação causada pela rotura do terreno (S. Maria, 2010).

*Photo 8 - Damage to a house and a road due to subsidence of the foundation soil caused by ground failure (S. Maria, 2010).*

Para além da localização desadequada das moradias e da estrada sobre um material com fracas características geotécnicas, outras intervenções antrópicas desajustadas terão contribuído para acelerar e agravar o processo de instabilidade verificado, nomeadamente as contribuições de água a montante, onde o sistema de drenagem superficial da estrada regional se apresentava desestruturado e ineficaz, debitando diretamente para as vertentes. Este processo favoreceu o escoamento superficial e interno.

Outro exemplo de construção de moradias sobre solos de fundação instáveis é o caso da freguesia da Fajãzinha, na ilha das Flores, constituída por um pequeno conjunto de habitações (Marques et al., 2016). Esta freguesia desenvolve-se numa plataforma detritica com superfície irregular, com declives na ordem dos 7-20º, que resultou do desmonte das escarpas (com cerca de 300 m de altura) que a ladeiam. Nestas escarpas existem diversas quedas de água que escoam, ao longo de todo o ano, as águas provenientes do planalto sobrejacente.

Na sequência de episódios de precipitação intensa e/ou prolongada ocorre a subida do nível freático no solo, promovendo o incremento da pressão neutra no(s) plano(s) de rotura. Quando é alcançado um limiar crítico, ocorre a reativação do movimento de vertente. Este processo de instabilidade encontra-se a ser monitorizado por técnicas geodésicas através de uma estação total robotizada desde 2018, e com inclinómetros e

piezómetros de corda vibrante desde 2022. Desde o início das observações até à data tem-se observado reativações com movimentações descontínuas, cujo comportamento cinemático reflete a influência do regime de precipitação. A velocidade planimétrica anual para o período de monitorização situa-se em torno dos  $15 \pm 5$  mm/ano, o que permite enquadrar este como um movimento muito lento.

São diversos os indicadores de instabilidade expressos nas construções: fendas de tração, com desligamento horizontal e com direções variadas consoante a sua posição relativamente à massa instabilizada; fendas com desligamento horizontal e vertical; e deformações e danos estruturais em várias estruturas (fot.9). Verifica-se que a massa instabilizada movimenta-se para Oeste, em direção ao mar.



Fot. 9 - Aspetto de algumas fendas observadas nas construções e na estrada (Fajãzinha, Flores).

*Photo 9 - View of some cracks observed in buildings and on the road (Fajãzinha, Flores).*

#### Contributo Antrópico na ocorrência de movimentos de vertente nos Açores: Exemplos

##### *Escavação no pé e no corpo de taludes*

A escavação de taludes tanto no pé como no corpo, alterando a sua geometria para inclinações superiores às existentes, é um fator potenciador de processos de instabilidade geomorfológica. Muitas vezes as escavações são problemáticas devido à ocorrência de fenómenos de descompressão nos maciços e à desestruturação natural do escoamento de água. Os processos de descompressão potenciam a formação de fissuras e fendas, que correspondem a zonas potenciais de instabilização e caminhos preferenciais para a infiltração de água.

A abertura de estradas ao longo de vertentes declivosas sem a contemplação de estruturas de contenção é igualmente uma das principais causas da ocorrência de movimentos de vertente. São inúmeros os exemplos ocorridos no arquipélago dos Açores, quer em taludes terrosos quer em taludes rochosos (fot.10).



**Fot. 10** - Deslizamento ocorrido entre dois taludes de escavação na ilha das Flores (a) e queda de blocos na sequência da remoção do depósito de vertente existente na base do talude (b) (Vila Franca do Campo, 1987).

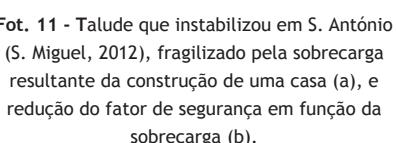
**Photo 10** - Landslide between two excavation slopes on the island of Flores (a) and rockfall following the removal of the existing slope deposit at the base (b) (Vila Franca do Campo, 1987).

#### Sobrecargas impostas por aterros, casas

A construção de aterros e moradias sobre taludes favorece a redução do Fator de Segurança (FS), o que, quando combinado com outros elementos (e.g. água em excesso) contribui para a instabilização de taludes.

Em 2012, na sequência de um episódio de precipitação intensa, ocorreu um deslizamento num talude sobre o qual estava a ser construída uma moradia, na freguesia de Santo António (ilha de S. Miguel) (fot. 11). Essa construção, muito próxima do talude, não contemplou a execução de uma estrutura de contenção do mesmo, cuja constituição geológica era bastante desfavorável. Este evento causou a morte de uma criança.

O exemplo gráfico que se apresenta na fot. 11 corresponde à percentagem de redução do FS em função da sobrecarga para o caso do talude da situação de instabilidade descrita, sem qualquer estrutura de contenção. Naturalmente que a sobrecarga por si só não é o fator determinante, mas, conjugada com outros fatores, como por exemplo a drenagem de água, potenciou a instabilidade que vitimou a criança.



**Fot. 11** - Talude que instabilizou em S. António (S. Miguel, 2012), fragilizado pela sobrecarga resultante da construção de uma casa (a), e redução do fator de segurança em função da sobrecarga (b).

#### Direcionamento de águas pluviais/residuais para taludes

Os processos de instabilidade fomentados pelo direcionamento de águas pluviais/residuais para o corpo de taludes ocorrem com muita frequência no arquipélago dos Açores. Representam cerca de 11% das causas das ocorrências. O encaminhamento das águas residuais ou pluviais para a superfície de taludes/arribas promove a saturação em profundidade e, deste modo, conduz à redução dos parâmetros de resistência ao corte ou à geração de pressões intersticiais.

Na maioria dos casos, a construção destes sistemas de drenagem é efetuada pelos proprietários das casas que se localizam junto à crista dos taludes/arribas, ou correspondem a sistemas de drenagem de estradas que debitam a água diretamente para os taludes (fot.12).



**Fot. 12** - Instabilidades na orla costeira das Calhetas (S. Miguel) aceleradas pela presença de tubos de drenagem de águas residuais.

**Photo 12** - Slope instability on the coastline of Calhetas (S. Miguel) exacerbated by the presence of a wastewater drainage pipe.

**Photo 11** - Slope that became unstable in S. António (S. Miguel, 2012), weakened by the overload caused by the construction of a house (a), and reduction of the safety factor due to overload (b).

Muitas vezes, também nas linhas de água, para além do contributo da erosão fluvial natural, acresce a erosão provocada pela presença de tubos de descarga de águas.

#### *Alteração do tipo de uso ou coberto vegetal*

18

A modificação do coberto vegetal promove uma impermeabilização dos terrenos conduzindo a uma maior escorrência superficial, direcionada para a crista de taludes e contribuindo para a instabilidade geomorfológica dos mesmos (deslizamentos/escoadas detriticas) (fot.13). Por si só, não é uma condição que afete a instabilidade, uma vez que só representa 0,5% dos casos em estudo. No entanto, esta ação surge normalmente conjugada com outros fatores.



Fot. 13 - Exemplo de um caso de instabilidade num talude promovido pela alteração do tipo de uso do terreno que provoca a impermeabilização e consequente escorrência superficial.

*Photo 13 - Example of a case of instability on a slope caused by a change in land use, leading to impermeability and consequent surface run-off.*

#### *Taludes ou estruturas de suporte mal dimensionadas*

Um pouco por todo o arquipélago tem-se observado a existência de estruturas de contenção de terras que não foram devidamente dimensionadas para tal função. É o caso frequente de muros de alvenaria que têm como suposta função servir de estruturas de suporte com o objetivo de garantir a segurança de taludes (fot. 14).



Fot. 14 - Exemplo de um muro de alvenaria a ser construído com função de estrutura de suporte.

*Photo 14 - Example of a block wall being built as a support structure.*

#### *Rotura de canalizações subterrâneas no corpo de vertentes*

A rotura de canalizações subterrâneas de água no corpo de vertentes é um caso muito pouco frequente, no entanto, na freguesia da Ribeira Quente (S. Miguel), a rotura do sistema de água para abastecimento público causou uma instabilização do solo numa área de cerca de 600 m<sup>2</sup>. Esta rotura provocou danos estruturais em 4 moradias (fot.15).



Fot. 15 - Patologias associadas à rotura de canalização de água que causou a instabilização do terreno.

*Photo 15 - Pathologies associated with the rupture of a water pipe that caused the ground to become unstable.*

#### **Sismos**

#### *Construção na proximidade de falhas tectónicas*

Outro aspeto a ter em conta aquando da construção de edifícios e vias de comunicação é a existência de falhas tectónicas. Este aspeto é frequentemente menosprezado; no entanto, estas falhas poderão vir a ser reativadas aquando de crises sísmicas, frequentes no arquipélago dos Açores.

Aquando da crise sísmica de 1998 nas ilhas do Faial, Pico e S. Jorge, essa reativação foi bem patente, particularmente nos acidentes tectónicos presentes na parte emersa da ilha do Faial. O caso mais evidente foi o do lugar dos Espalhafatos, que se desenvolveu ao longo da Falha da Ribeirinha, uma das importantes falhas que integram o graben de Pedro Miguel. As casas daquele lugar foram, na sua quase totalidade, destruídas aquando da crise sísmica atrás mencionada. Uma boa construção pode minimizar os danos causados, como foi exemplo a única casa que resistiu nos Espalhafatos.

As vias de comunicação também podem ser seriamente danificadas como foi o caso da estrada de acesso ao Farol da Ribeirinha. Esta via desenvolveu-se ao longo do plano da falha da Ribeirinha. Na sequência do sismo de 9 de julho de 1998, verificou-se um rejeito desta falha de cerca de 1 m de altura (fot. 16).



**Fot. 16 - Destrução das casas nos Espalhafatos e destruição da estrada de acesso ao Farol da Ribeirinha, na sequência do sismo de 1998.**

*Photo 16 - Houses destroyed in Espalhafatos and the access road to Ribeirinha Lighthouse damaged, following the 1998 earthquake.*

## Inundações

### Construção em leitos de cheias

Uma situação frequente, que nestes últimos anos tem sido responsável por boa parte das catástrofes que aconteceram no arquipélago, é a ocupação do leito das linhas de água.

Foi este o caso verificado em Ponta Garça (S. Miguel), onde, em 1998 uma moradia localizada no leito de cheia de uma linha de água foi destruída (fot. 17).



**Fot. 17 - Casa localizada no leito e cheia de uma linha de água que foi destruída - Ponta Garça (S. Miguel, 1998).**

*Photo 17 - House located on the riverbed that was destroyed - Ponta Garça (S. Miguel, 1998).*

Porto Judeu é uma freguesia na ilha Terceira que é atravessada por duas importantes linhas de água de regime efémero. Como durante mais de 50 anos estas linhas de água não apresentaram qualquer tipo de regime torrencial, a população foi-se apoderando das áreas disponíveis nos leitos de cheias, para desenvolver as suas atividades (construção de logradouros, anexos, parques de estacionamento, esplanadas, etc.). Em março de 2013, na sequência de um episódio de intensa pluviosidade, aquelas linhas de água retomaram a sua função normal, causando graves inundações e prejuízos em estradas, moradias, viaturas, etc (fot. 18).



**Fot. 18 - Porto Judeu (Terceira) - março 2013 - o mesmo lugar antes e depois da inundaçāo.**

*Photo 18 - Porto Judeu (Terceira) - March 2013 - the same place before and after the flood.*

### Ocupação inadequada da faixa costeira

No dia 2 de outubro de 2019, as ilhas dos Açores foram atingidas pelo furacão Lorenzo que afetou particularmente as ilhas das Flores e do Faial, tendo causado avultados prejuízos. Diversas moradias, devido à sua proximidade à orla costeira, foram parcialmente destruídas pela forte ondulação e pelo embate de alguns blocos transportados pelo mar (fot. 19).



Fot. 19 - Efeitos do Furacão Lorenzo na zona costeira da Feteira (Faial).

*Photo 19 - Effects of Hurricane Lorenzo in the coastal area of Feteira (Faial).*

#### *Modificação do padrão de escoamento natural de águas devido a barreiras/entupimentos*

Existem diversas situações em que as passagens hidráulicas não estão devidamente dimensionadas para a passagem de carga sólida. Com frequência, a incorporação de materiais detritícios para linhas de água de regime efêmero resultantes da erosão fluvial e instabilização das margens laterais dos taludes promove o seu bloqueio e consequente extravasamento. O transbordo da água e materiais em muitas situações é causa de instabilidade em taludes de aterro em vias de comunicação (fot. 20).



Fot. 20 - Destrução provocada pelo transbordo de água e detritos e consequente instabilização de taludes de aterro.

*Photo 20 - Destruction caused by overflow of water and debris and consequent destabilisation of embankment slopes.*

Por outro lado, infelizmente também se assiste a práticas desadequadas como é o caso da ocupação de linhas de água por estruturas de habitações em canais já de si exíguos em termos de seção, causando bloqueio à livre circulação de água e de carga sólida (fot. 21).

Outra situação que poderá ter efeitos bastante nefastos para pessoas e bens que possam existir a jusante é a obstrução de linhas de água, por ex. com aterros e arroteamentos de terrenos para a prática agrícola.



Fot. 21 - Entupimento do canal de escoamento na Ribeirinha, Lajes do Pico.

*Photo 21 - Blockage of the drainage channel in Ribeirinha, Lajes do Pico.*

Em muitas situações, estas ações colocam em causa a segurança de pessoas e bens existentes a jusante. Em 2021, nas Feteiras, na ilha de São Miguel, devido ao transbordo de um curso de água, 15 viaturas foram arrastadas pela água e pelo material detritício e 13 moradias foram afetadas, motivo pelo qual foi necessário realojar os seus moradores (fot. 22).

#### **Perigos combinados**

Há ainda aglomerados populacionais em zonas expostas não apenas a um, mas a vários perigos, como é o caso da Ribeira Quente e da Ribeira da Praia, na ilha de S. Miguel. No primeiro caso, para além da localização da grande maioria das moradias da freguesia muito próximas à base de taludes com elevadas alturas e inclinações, onde ocorrem frequentemente movimentos de vertente, acresce que o único acesso também está muito exposto ao perigo geomorfológico, tendo já acontecido a freguesia ter ficado isolada devido à destruição parcial dessa estrada.

No caso do lugar da Ribeira da Praia, esta povoação, para além de estar localizada no leito de cheia de uma linha de água, está situada num vale da vertente sul do vulcão do Fogo. Este vale será o caminho preferencial de fluxos piroclásticos (escoadas detritícias e do tipo *lahar*, que são os produtos vulcânicos mais mortíferos) em caso de erupção vulcânica no maciço do Fogo. Para além disso, está ladeada de taludes cuja altura, inclinação e constituição geológica são muito favoráveis à ocorrência de movimentos de vertente.

No caso da Fajãzinha, como atrás referido, a construção sobre solos de fundação com características favoráveis à instabilidade poderá ser problemática, particularmente quando associada à percolação subterrânea de água nos solos de fundação. Nesta localidade acresce o risco de poder ser atingida por escoadas detritícias provenientes das vertentes que ladeiam a freguesia, como foi o caso do episódio de 2010 que obrigou à evacuação de praticamente todos os seus habitantes até se restabelecerem as condições de remoção do depósito de vertente mobilizado (fot. 23).



Fot. 22 - Estrangulamento de uma linha de água por aterro para obras de construção de um viaduto (Ribeira Chã, ilha de São Miguel, 2010) (a) e inundações causadas por alteração do uso dos solos, a montante, por arroteamentos na freguesia das Feteiras em 2021 (b).

*Photo 22 - SConstriction of a watercourse by landfill (Ribeira Chã, São Miguel island, 2010) (a); flooding caused by land use change upstream, in the parish of Feteiras in 2021 (b).*



Fot. 23 - Escoada detritica da Fajãzinha que obrigou à evacuação de grande parte dos seus habitantes durante vários dias até se restabelecerem as condições de remoção do depósito de vertente.

*Photo 23 - Fajãzinha debris flow that forced many of its inhabitants to evacuate for several days until the conditions for removing the slope deposit were re-established.*

## Conclusão

As ilhas dos Açores encontram-se expostas a um conjunto de perigos naturais com os quais a população teve de aprender a conviver da melhor maneira. Estes perigos são desencadeados, maioritariamente, por precipitação intensa e/ou prolongada e por sismos. No entanto, são muitas vezes potenciados por atividades antrópicas desajustadas.

Assim, com a pressão da ocupação de zonas mais críticas, a atividade antrópica tem tido um contributo significativo não só no desencadear de processos que colocam em risco pessoas e bens, como também no aumento da exposição a esses perigos naturais.

Para inverter esta situação, diversas medidas deveriam ser incorporadas em regulamentação de Instrumentos de Gestão Territorial e outras por entidades competentes

em matéria de obras públicas e de gestão e ordenamento do território, de modo a que as consequências resultantes de eventos extremos sejam cada vez menos frequentes e envolvam cada vez menos prejuízos humanos e materiais:

- 1) Apostar num ordenamento do território eficaz tendo em conta os diversos perigos geológicos passíveis de ocorrerem em cada loca; Não construir em zonas de risco (garantir faixas de segurança sobre falhas, em leitos de cheia, galgamentos e inundação costeira, e na base e topo de arribas e taludes);
- 2) Garantir a análise cuidada de situações/projetos por parte das entidades competentes na área dos licenciamentos;
- 3) Reorganizar sistemas de drenagem de águas pluviais de modo a desviar todas as águas que possam escoar sobre a superfície de taludes/arribas;

- 4) Investir na qualidade na construção para garantir a segurança; Implementar trabalhos de engenharia adequados/dimensionados para proteger/reforçar os elementos em risco - os projetistas devem ter em conta os condicionalismos existentes no local a construir e na zona envolvente;
- 5) Avaliar a estabilidade de taludes naturais e artificiais, apoiado em estudos geológicos e geotécnicos;
- 6) Implementar trabalhos de engenharia adequados/dimensionados para proteger/reforçar os elementos em risco a partir da influência dos fenómenos de instabilidade geomorfológica;
- 7) Implementar um sistema de fiscalização eficaz com aplicação de coimas pesadas para situações que coloquem em risco pessoas e bens (ex. obstrução de linhas de água);
- 8) Apostar na sensibilização/educação de todos os intervenientes que atuam no espaço físico (governantes e população).

Nos Planos Diretores Municipais, para efeitos de Reserva Ecológica, as faixas de proteção apenas são aplicadas às áreas de proteção do litoral, nomeadamente a tipologia de arribas e respetivas faixas. Neste domínio, deverá estender-se as faixas de segurança para as estruturas tectónicas cartografadas, através da aplicação de uma faixa mínima de 100 m para cada lado da estrutura identificada, e uma faixa de segurança para a base e crista de taludes que não estejam definidos como arribas. Se na delimitação da RE, as arribas e respetivas faixas consagram a aplicação de uma faixa de proteção delimitada a partir da crista para o lado da terra e a partir da base para o lado do mar, o mesmo já não acontece com as áreas de instabilidade de vertentes. Neste último caso, são analisadas as áreas suscetíveis à rotura através de cartas de suscetibilidade a movimentos de vertente, sendo estas estáticas. As faixas de proteção não só devem ser aplicadas a arribas, mas também a taludes (taludes de linhas de água, estradas), uma vez que as referidas cartas de suscetibilidade dão indicação da zona potencial de ocorrer a rotura do terreno (áreas fonte), não contendo informação sobre a sua propagação para jusante e sobre o recuo que poderá surgir no seu topo.

#### Referências bibliográficas

- Antonello, G. Casagli, N. Farina, P. Leva, D. Nico, G. Sieber, A.J. e Tarchi, D. (2004). Ground-based SAR Interferometry for monitoring mass movements. In: *Journal of the international consortium on landslides*. Landslides, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol.1, 21-28.
- Amaral, P. (2005). *Monitorização de vertentes instáveis no concelho da Povoação, ilha de S. Miguel (Açores): Ensaios com base na utilização de uma estação total (Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos)*. Universidade dos Açores, 151 p.
- Frutuoso, G. [1522-91] (1981). Livro Quarto das Saudades da Terra. In: Frutuoso, G. (ed.) *Saudades da Terra*, 2<sup>a</sup> edn. Instituto Cultural de Ponta Delgada, Ponta Delgada, II, 285-327.
- Gaspar, J. L. Wallenstein, N. Coutinho, R. Ferreira, T. Queiroz, G. Pacheco, J. Guest, J. Tryggvason, E. e Malheiro, A. (1997). Considerações sobre a ocorrência dos movimentos de massa registados na madrugada de 31 de Outubro de 1997 na ilha de S. Miguel, Açores. *Relatório técnico-Científico 17/DGUA/97*, Centro de Vulcanologia, 28 p.
- Marques, R. Zêzere, J.L. Trigo, R. Gaspar, J.L. e Trigo, I. (2008). Rainfall patterns and critical values associated with landslides in Povoação County (São Miguel Island, Azores): relationships with the North Atlantic Oscillation. *Hydrological Processes*, 22, 478-494.
- Marques, F., Amaral, P., Malheiro, A., Moniz, L. e Câmara, A. (2016). Sistema da monitorização multitécnica a implementar no movimento de vertente que afeta a população da Fajãzinha (ilha das Flores - Açores). *15º Congresso Nacional de Geotecnia*.
- Popescu, M. E. (1996). "From landslide causes to landslide remediation" in SENNESET, K. (Ed.) *Landslides. Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides*. Trondheim. Vol. 1. Balkema, Rotterdam. 75-96.
- Puglisi, G. Bonaccorso, A. e Mattia, M. (2004). Volcanic Risk reduction at Sicilian Volcanoes (South Italy) by using geodetic monitoring systems. *International symposium "Reducing Volcanic Risk". Tenerife., Abstracts*. p 69.
- Silveira, D. Gaspar, J.L. Ferreira, T. e Queiroz, G. (2003). Reassessment of the historical seismic activity with major impact on S. Miguel Island (Azores). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 1-8.
- Valadão, P. Gaspar, J.L. Queiroz, G. e Ferreira, T. (2002). Landslides density map of S. Miguel Island (Azores archipelago). *Natural Hazards*, 2: 51-56.
- Zêzere, J. L. (2000). A Classificação dos Movimentos de Vertente: Tipologia, Actividade e Morfologia, *Apontamentos de Geografia - série Investigação*, nº 6, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Zêzere, J. L., Trigo, R.M. e Trigo, I.F. (2005) - Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic oscillation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 331-344.



## MOVIMENTOS EM MASSA NA LOCALIDADE DE VENEZA, CONCELHO DE SÃO DOMINGOS - CABO VERDE\*

MASS MOVEMENT IN THE NEIGHBOURHOOD OF VENEZA, SÃO DOMINGOS MUNICIPALITY - CAPE VERDE

23

Filipe Sanches

Geógrafo, Investigador Independente (Cabo Verde)

[filiopesanches@gmail.com](mailto:filiopesanches@gmail.com)

Ineida Carvalho

Universidade de Cabo Verde, CIDLOT (Cabo Verde)

Departamento de Ciência e Tecnologia

[ineida.carvalho@docente.unicv.edu.cv](mailto:ineida.carvalho@docente.unicv.edu.cv)

António Vieira

Universidade do Minho, CECS (Portugal)

Instituto de Ciências Sociais, Departamento de Geografia

 0000-0001-6807-1153

[vieira@geografia.uminho.pt](mailto:vieira@geografia.uminho.pt)

### RESUMO

Devido a sua localização geográfica e clima, Cabo Verde está sujeito a diversos riscos naturais, como secas, desertificação, cheias e inundações, sismos, entre outros. O presente trabalho é um estudo realizado na localidade de Veneza, Concelho de São Domingos, na Ilha de Santiago, focado nos processos dinâmicos das paisagens, em especial os movimentos em massa. Tem como objetivo identificar os diferentes tipos de movimentos em massa que ocorrem na referida localidade e elaborar uma carta de distribuição destes processos na área de estudo. A metodologia utilizada consistiu inicialmente na pesquisa de documentos bibliográficos e cartográficos, seguida de trabalho de campo, que privilegiou a observação direta, no terreno, dos tipos de movimentos em massa ocorridos, fatores que influenciaram esses processos e sua inventariação. Finalmente, procedeu-se à análise e tratamento dos dados recolhidos e elaboração de cartografia. Os resultados obtidos, sobretudo a partir das observações in loco, mostram que os movimentos em massa mais frequentes na área estudada são os fluxos de detrito a seco e a queda de blocos, que ocorrem tanto por queda livre como por saltação e rolamento, sendo que, em alguns casos, constituem um risco iminente para a população.

**Palavras-chave:** Movimentos em massa, riscos geomorfológicos, Veneza - concelho de São Domingos.

### ABSTRACT

Due to its geographic location and climate, Cape Verde is subject to a number of natural hazards, such as drought, desertification, floods, and earthquakes. The present work is a study carried out in the neighbourhood of Veneza, São Domingos Municipality, with the focus being on the dynamic processes of the landscapes, in particular mass movements. Its objective is to identify the different types of mass movements that occur in the area and to elaborate a map of distribution of this process in this locality. The methodology used initially consisted of researching bibliographic and cartographic documents, then proceeding with fieldwork. This focused on direct observation in the field of the types of mass movements that occurred, factors that influenced these processes, and their inventory. Finally, we proceeded to analyse and process the collected data and prepare maps. The results obtained, mainly from on-site observations, show that the most frequent mass movements in the studied area are dry debris flow and rockfalls. These occur either by free-fall or by jumping and rolling, and in some cases they pose an imminent risk to the population.

**Keywords:** Mass movement, geomorphological risks, Veneza - municipality of São Domingos.

\* O texto deste artigo foi submetido em 17/01/2024, sujeito a revisão por pares a 17/01/2024 e aceite para publicação em 10-10-2025.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Os movimentos em massa fazem parte da geodinâmica externa da Terra, onde interferem no processo de formação e evolução do modelado terrestre, ocorrendo geralmente em vertentes. O movimento em massa envolve a deslocação de material (solo ou rocha) para fora ou para baixo, por influência da gravidade, o que leva à transformação dos materiais originais e a alteração da forma e declive da vertente onde ocorre. Embora a água e o gelo possam influenciar este processo, estes elementos não atuam como agentes de transporte primários (Crozier, 2004).

Estes fenómenos, eminentemente de génese natural, são responsáveis por perdas avultadas, a nível económico, social e ambiental (CRED, 2022), trazendo consigo um conjunto de constrangimentos para os territórios afetados, colocando em perigo populações, bens e produções, contribuindo para a erosão e degradação dos solos (Menezes, 2011; Vieira e Bento-Gonçalves, 2021), observando-se uma tendência crescente na sua frequência e grau de destruição (Silva *et al.*, 2024).

Constitui um fenómeno bastante recorrente nos diversos pontos do globo, mesmo que o seu conhecimento seja ainda bastante limitado nalguns continentes e regiões, como é o caso do continente africano (Broeckx *et al.*, 2018).

Apesar dos fatores naturais serem normalmente preponderantes no condicionalismo e desencadeamento destes fenómenos, a ação antrópica desempenha, cada vez mais, um papel importante na sua atividade (Vieira *et al.*, 2020), especialmente pela ocupação, por parte das populações, de áreas altamente expostas ao risco (Holcombe *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2024). Concomitantemente, a ação das mudanças climáticas tem contribuído, também, para o aumento da frequência deste tipo de fenómenos, de forma generalizada por todo o globo (Kimuli *et al.*, 2021), especialmente em função das alterações dos regimes de precipitação, um dos fatores determinantes para a ocorrência de movimentos em massa (Araújo *et al.*, 2022).

Dado o seu caráter catastrófico e impactes produzidos sobre a paisagem, o sistema geomorfológico e as próprias atividades humanas ou infraestruturas, os movimentos em massa têm sido objeto de estudo por muitos investigadores em todo o mundo, de várias áreas científicas (desde geógrafos, geólogos, geomorfólogos, engenheiros, entre outros), com abordagens diferenciadas, procurando identificar e compreender os processos envolvidos, bem como estabelecer metodologias de diagnóstico e medidas de mitigação e de prevenção (Morgan, 2005; Guerra, 2016; Carvalho, 2017).

O território caboverdiano é caracterizado por uma certa fragilidade ambiental. Por conseguinte, está sujeito a

processos degradativos da paisagem, nomeadamente à erosão de solo (Costa, 2004; Sanches *et al.*, 2017), movimentos em massa, outros relacionados com a seca, entre outros processos de degradação ambiental. No que diz respeito à investigação direcionada à análise de movimentos de vertente e outros movimentos em massa, é ainda reduzida em Cabo Verde. De acordo com Mileu *et al.* (2014) o levantamento histórico de ocorrências realizado no contexto do projeto Redução do Risco de Catástrofes (Nações Unidas, 2013) permitiu identificar 13 registos classificados como movimentos de vertente no período de 1901 a 2010, com destaque para as ilhas de Santiago, Santo Antão e Brava. Mais recentemente, Carvalho (2017) abordou os movimentos em massa decorrentes da reabilitação da estrada que liga o Concelho de São Domingos ao Concelho de Santa Catarina (Cidade de Assomada), na Ilha de Santiago (Cabo Verde).

Em Cabo Verde, os movimentos de vertente ocorrem em todo o arquipélago. Todavia, têm a sua maior manifestação nas ilhas com relevo mais acidentado, nomeadamente Santo Antão, Santiago (Carvalho, 2017), São Nicolau e Brava.

Nesse sentido, em particular os estudos das ocorrências de movimentos em massa em Cabo Verde certamente são de grande importância, na medida em que se conhece a amplitude da sua ocorrência, se promove o seu conhecimento e padrões de ocorrência, bem como a definição de estratégias e medidas para a sua contenção e mitigação.

No caso da localidade de Veneza, situada na ilha de Santiago, o interesse da realização de pesquisa sobre essa temática surgiu das visitas frequentes e da constatação da suscetibilidade daquele território a este tipo de risco e da vulnerabilidade da população, sendo importante perceber a realidade do fenómeno, informar as autoridades responsáveis e sensibilizar a população em causa.

Ciente dessa problemática na referida localidade, o presente trabalho teve como objetivo principal fazer identificação dos diferentes tipos de movimentos em massa que aí ocorrem e elaboração de uma carta de distribuição deste processo, procedendo-se, posteriormente, à análise dos fatores condicionantes e desencadeantes e dos riscos associados a movimentos em massa na área de estudo.

Ao cumprir os objetivos propostos, este estudo possibilita a identificação de áreas de risco, propondo a definição de zonas onde deve ser evitada a ocupação e permitindo a implementação de medidas preventivas para a redução dos riscos. Este cenário torna-se especialmente relevante devido ao aumento gradual de habitações na referida localidade, ainda que de forma pouco significativa.

## Caracterização geral da área de estudo

A localidade de Veneza está localizada a sul do Concelho São Domingos, entre as latitudes  $14^{\circ} 58'$  e  $15^{\circ} 00'$  Norte e as longitudes  $23^{\circ} 32'$  e  $23^{\circ} 31'$  Oeste. Faz fronteira a sul com a Praia Noroeste, a este com Ribeirão Chiqueiro e a oeste com Fontes da Almeida (fig. 1).

De acordo com a carta geológica da ilha de Santiago (Serralheiro *et al.*, 1976), na localidade de Veneza as formações geológicas encontradas são: Complexo Eruptivo de Pico da Antónia (PA), Complexo Filoniano de Base (CA) e Formação de Monte das Vacas (MV) (fig. 2). O Complexo eruptivo de Pico da Antónia (PA) abrange a maior parte da área aflorante da ilha (Serralheiro *et al.*, 1976), integrando essencialmente mantos basálticos. As rochas do Complexo eruptivo do Pico da Antónia (PA) são responsáveis pelas maiores altitudes do relevo e, também, pelos planaltos estruturais do sector oriental e meridional (Hernández, 2008, p. 43). O Complexo Filoniano de Base (CA) faz parte do Complexo Eruptivo Interno, Antigo, caracterizado pelo predomínio de formações basálticas, sendo estas as mais antigas na parte emersa da ilha. Geralmente bastante alteradas, as formações deste complexo são as predominantes nesta região, conforme descrito por Serralheiro *et al.* (1976, cit. por Hernández, 2008, p. 36). Correspondendo à Formação do Monte das Vacas (MV), a última manifestação vulcânica da ilha de Santiago está representada por cerca de 50 cones de piroclastos basálticos (tufos, bagacina, bombas, escórias) e pequenos derrames (Hernández, 2008, p. 48).

No que diz respeito ao relevo e às características topográficas presentes na área de estudo, observa-se que as maiores elevações se encontram na parte nordeste

(acima de 400m), ocorrendo na formação de monte das vacas, enquanto que as áreas de menor altitude (150 - 200m) se estendem de centro-oeste a sul da localidade, correspondendo a uma área deprimida resultante da ação fluvial (fig. 3). A área de estudo configura um relevo relativamente acidentado, com uma amplitude altimétrica significativa, superior a 250 metros, e marcado por declives superiores a 45%, quer nos setores mais elevados (fig. 4), quer junto ao fundo do vale, onde a localidade de Veneza se encontra localizada.

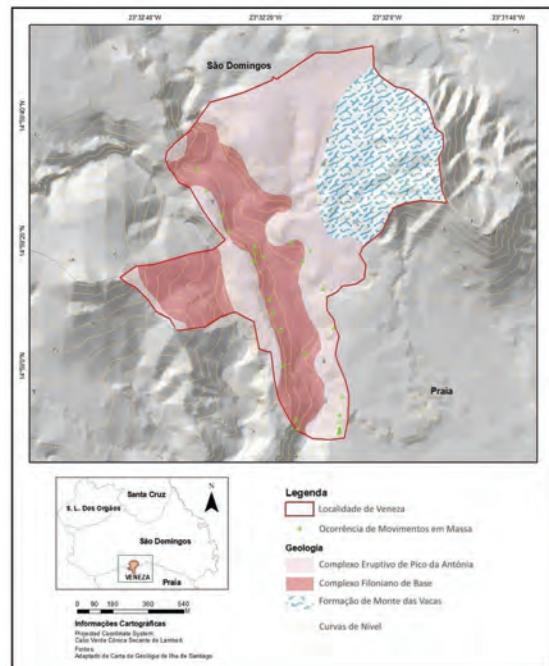


Fig. 2 - Geologia da localidade de Veneza.

Fig. 2 - Geology of the Veneza area.

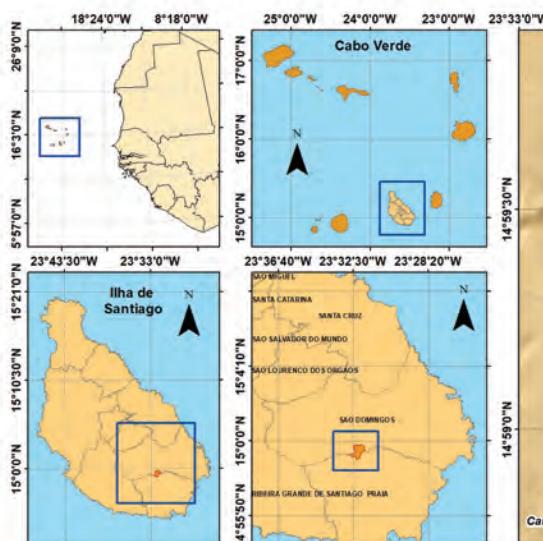
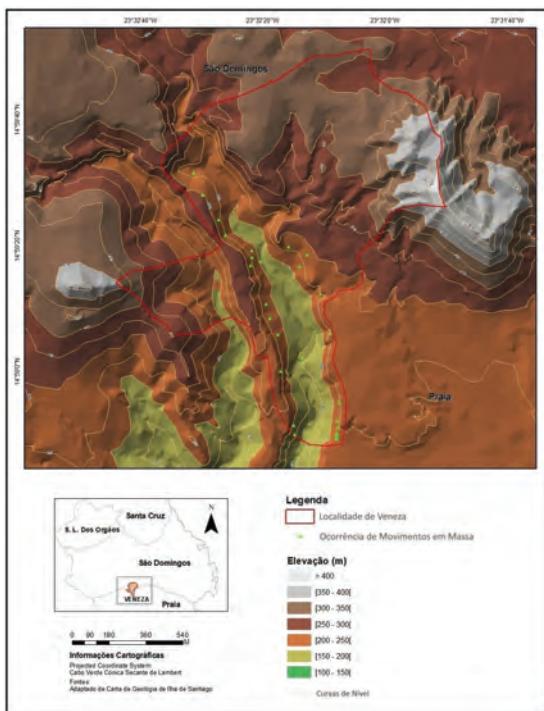
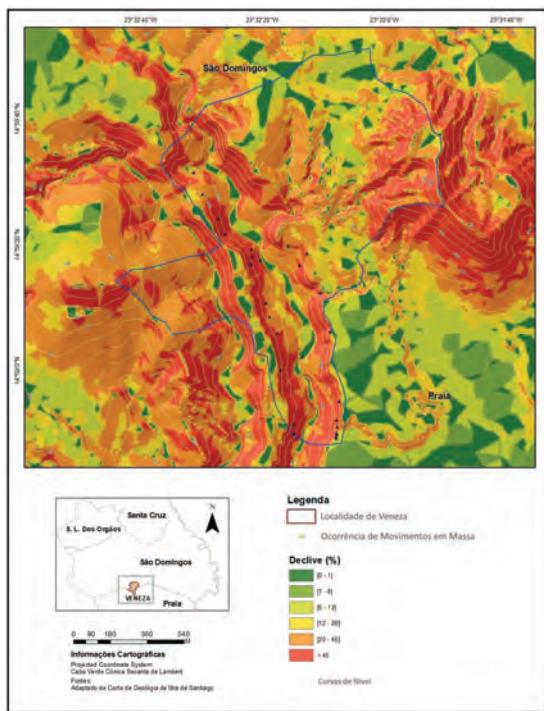


Fig. 1 - Localização geográfica da localidade de Veneza no contexto da Ilha de Santiago e Concelho de São Domingos.

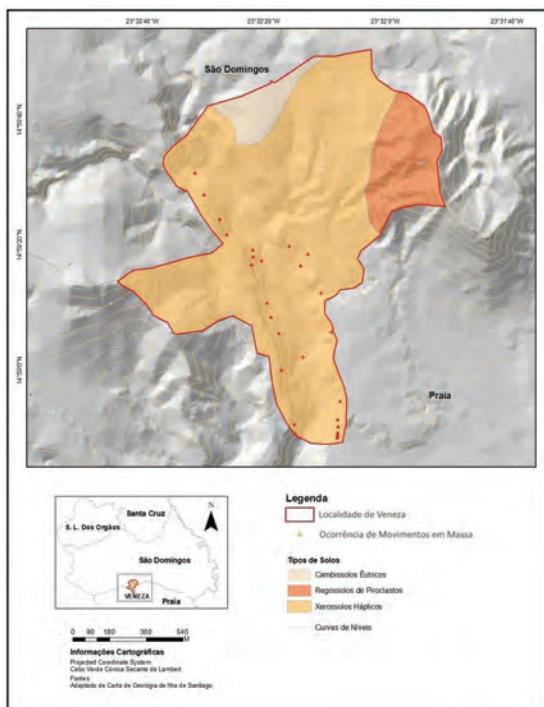
Fig. 1 - Geographical location of Veneza in the context of Santiago Island and the municipality of São Domingos.

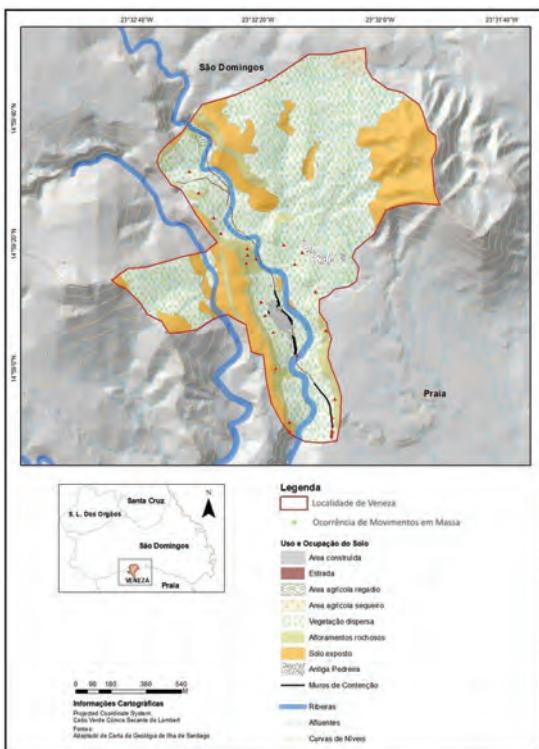
**Fig. 3 - Hipsometria da localidade de Veneza.****Fig. 3 - Hypsometry of the Veneza area.****Fig. 4 - Declives da localidade de Veneza.****Fig. 4 - Declivity of the Veneza area.**

Os principais tipos de solo identificados na localidade de Veneza são cambissolos, regossolos e xerossolos (fig. 5). Os cambissolos apresentam uma espessura que varia entre 20 e 30 cm e ocorrem em zonas com diferentes declives. Associam-se normalmente a afloramentos rochosos sendo frequente a elevada proporção de elementos pedregosos, fragmentos de rocha pouco meteorizados ou de meteorização incipiente (Hernández, 2008, p. 64).

Os solos associados aos materiais de tufos dos cones vulcânicos e piroclásticos exibem um horizonte superficial (A) diferenciado, geralmente com textura mais fina e mais escura, com espessura não inferior a 10-15 cm, sendo classificados como Regossolos, conforme descrito por Faria (1970, cit. por Hernández, 2008, p. 62). Quanto aos xerossolos, segundo Hernández (2008, p. 66), são solos pardos a pardo-avermelhados, com horizonte superficial descarbonatado, e estrutura granulosa a anisoforme, em profundidade poliédrica média e fina, baixo teor de cálcio em profundidade, matéria orgânica variando entre 0,8-1,8% quando existe vegetação.

No que diz respeito ao uso do solo (fig. 6), constata-se que a maior parte da área de estudo é ocupada por vegetação esparsa, solo exposto e afloramentos rochosos, ocupando as áreas agrícolas numa extensão muito pouco expressiva.

**Fig. 5 - Classes de Solos da localidade de Veneza.****Fig. 5 - Classes of soil of the Veneza area.**



**Fig. 6 - Uso e ocupação do solo na localidade de Veneza.**

**Fig. 6 - Land use and occupation in the Veneza area..**

## Metodologia

No que diz respeito às metodologias adotadas para o presente estudo, seguimos um conjunto de etapas interligadas para atingir os objetivos propostos.

### Etapa 1

Inicialmente, realizou-se um levantamento de documentos bibliográficos, que serviu como base teórica para o desenvolvimento do trabalho. Estes documentos abordam a problemática dos movimentos em massa, desde o seu conceito, tipologia, condicionantes e causa, e medidas de mitigação. Ainda no âmbito da recolha de documentos, procedeu-se à pesquisa de informações relacionadas com a área de estudo, tais como geologia, solo, declive, entre outros, cumprindo desta forma a primeira fase da investigação.

### Etapa 2

De seguida, implementámos os trabalhos de campo necessários à inventariação dos movimentos em massa. Esta fase consistiu sobretudo nas observações *in loco*, ou seja, na identificação dos diferentes tipos de movimentos em massa que ocorrem na área de estudo, na obtenção dos registos fotográficos, no levantamento

de coordenadas geográficas e elevação (altitude) através do GPS (*Global Position System*) da marca Garmine e do uso de uma bússola. Procedeu-se à medição do diâmetro dos blocos, das fraturas e dos rebaixamentos topográficos resultantes dos deslizamentos.

### Etapa 3

A terceira e última fase metodológica consistiu no tratamento de dados recolhidos e na elaboração do texto. Ainda nesta fase, elaboraram-se mapas temáticos para a área de estudo tais como: hipsometria, declive, geologia, solo, uso e ocupação do solo e, por fim, elaboração do mapa de distribuição de movimentos em massa para área de estudo, resultado dos dados recolhidos no campo. Todos esses mapas foram elaborados em ambiente ArcGis 10.4 e 10.8 da ESRI®. Os mapas temáticos de hipsometria e declive foram produzidos a partir de curvas de nível disponíveis na base de Dados Cartográficos da Municipia (2003), processadas em extensão 3D Analyst. Este processo resultou num Modelo Digital de Terreno (MDT), sendo posteriormente elaborados os mapas mencionados anteriormente. A carta geológica da área de estudo foi elaborada com base na carta geológica da ilha de Santiago na escala 1/25 000 (Serralheiro *et al.*, 1976). A carta de classes de solos da área de estudo teve como referência cartográfica a carta de zonagem agroecológica e da vegetação da Ilha de Santiago na escala 1/50 000 (Diniz e Matos, 1986).

## Resultados

### Ocorrência de movimentos em massa na localidade de Veneza

O problema relacionado com os movimentos em massa encontra-se presente em várias regiões do globo. Segundo Araújo *et al.*, (2005) é importante entender e ser capaz de identificar os vários tipos de movimentos em massa ocorridos em encostas, não somente a fim de se evitar a sua instabilidade, mas também para projetar sistemas de prevenção e controle.

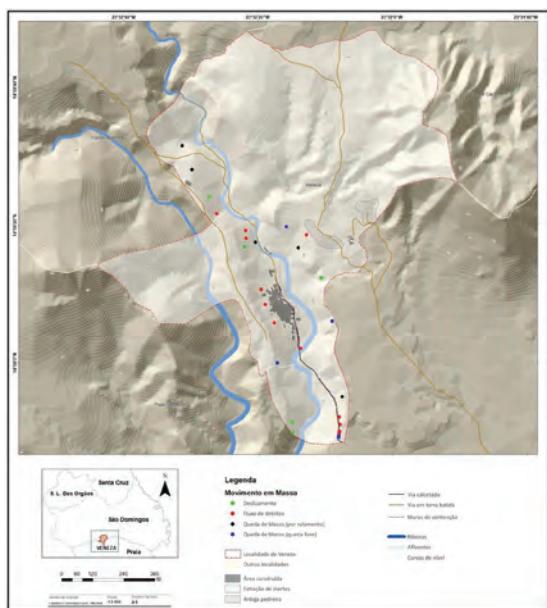
Na localidade de Veneza a ocorrência de movimentos em massa é bem visível na paisagem local. Esse processo geomorfológico distribui-se tanto nas encostas voltadas a oeste como a leste, no vale da ribeira da Veneza (onde se localiza o aglomerado populacional) (fig. 7). Quanto à tipologia de movimentos em massa identificados, esta revela-se diversificada, abrangendo desde quedas de bloco (Flageollet e Weber, 1996) e clastos de diversas dimensões, fluxo de detritos (Corominas *et al.*, 1996) e deslizamentos (QUADRO I), verificando-se predomínio de um certo tipo de movimentos em relação a outros. Ainda a partir de observações *in loco*, é de constatar que alguns desses movimentos em massa atingem áreas significativas.

QUADRO I - Movimentos de massa identificados na localidade de Veneza.

TABLE I - Mass movement identified in the Veneza area.

Meio de identificação	Tipo de movimentos de massa						
	Deslizamentos		Fluxos			Queda	
Trabalho de campo	Rotacional	Translacional	Lama	Terra	Detritos	Livre	Rolamento
	0	5	0	0	12	5	5
Total	5		12			10	

Fonte: Trabalho de campo, 2015 a 2019 / Source: Field work, 2015 to 2019.

**Fig. 7 - Cartografia dos pontos de ocorrência de movimentos em massa na localidade (Fonte: Trabalho de campo, 2015 a 2019).****Fig. 7 - Cartography of the points of occurrence of mass movements in Veneza (Source: Fieldwork, 2015 to 2019).**

Conforme Fernandes et al., (2000 p.147), à semelhança do que se verifica na área de estudo, as quedas de blocos e/ou de clastos ocorrem nas encostas de paredões rochosos e contribuem decisivamente para formação dos depósitos de tálus (fot. 1). A ocorrência de quedas de blocos é favorecida pela presença de descontinuidades na rocha, tais como fraturas, assim como pelo avanço dos processos de meteorização física e química. Ocorre tanto em taludes naturais quanto nos que foram escavados para a implementação da estrada. Cenário identico havia já sido identificado no trabalho de Carvalho (2017), na ilha de Santiago.

Ainda na área de estudo, a partir da queda abrupta de blocos, desencadeiam-se outros processos, nomeadamente, o rolamento ou a saltação de blocos, ao longo das vertentes, oriundos da desintegração da massa afectada. Os blocos provenientes desses processos possuem tamanhos variados, desde os de pequena dimensão aos de diâmetros maiores (fot. 2A). O mesmo

se verifica nas proximidades de áreas de pedreiras, algumas delas já abandonadas, onde a presença de material desagregado é mais significativa (fot. 2B).

Na localidade, também se verificam deslizamentos, sendo este processo identificado em determinados pontos da área estudada, evidenciando cicatrizes notáveis na paisagem local (fot. 3A e 3B). Nas duas fotografias é possível identificar claramente as cicatrizes dos deslizamentos ocorridos. Importa salientar que locais com registos anteriores, ou seja, cicatrizes, podem constituir potenciais áreas para futura ocorrência desses eventos. Ainda em encostas locais, com perfil moderado a íngreme, verificam-se fluxos de detritos (fot. 4) caracterizados com presença elevada de materiais grosseiros. De acordo com a identificação e reconhecimento dos movimentos em massa realizados, este tipo de processo geomorfológico predomina nestas áreas.

**Fot 1 - Queda de blocos em vertentes e depósito de tálus, na parte sul da localidade (estrada principal)**  
(Fonte: Autores, 2015).**Photo 1 - Fallen blocks on slopes and deposit of talus, in the southern part of the neighbourhood (main road)**  
(Source: Authors, 2015).



Fot. 2 - Queda de blocos na área de estudo: (A) Estrada de terra batida que dá acesso ao norte da localidade; (B) Proximidades da extinta pedreira local (Fonte: Autores, 2015).

*Photo 2 - Fallen blocks in the study area: (A) Access road to the north of the neighbourhood; (B) Proximity to the extinct local quarry (Source: Authors, 2015).*



Fot. 3 - Deslizamentos: (A) Parte sudoeste da localidade; (B) Parte oeste da localidade (Fonte: Autores, 2015).

*Photo 3 - Landslides: (A) Southwest of the area; (B) Western part of the area (Source: Authors, 2015).*



Fot. 4 - Fluxo de detritos a seco, por aproximadamente 250 metros na estrada calcetada (principal) (Fonte: Autores, 2015).

*Photo 4 - Debris flow, along approximately 250 meters on the road (main) (Source: Authors, 2025).*

#### *Fatores condicionantes e desencadeantes de movimentos em massa na localidade de Veneza*

Diversos elementos podem atuar como condicionantes para movimentos em massa numa área geográfica específica. Esses movimentos têm origens associadas a processos geológicos, geomorfológicos, climáticos e, em alguns casos, estão ligados à intervenção antrópica.

No caso da área de estudo, os movimentos em massa estão associados tanto às causas naturais como humanas. À semelhança do que se verifica na localidade de Veneza, queda de blocos e lascas ocorrem, quase sempre, em encostas com alta declividade constituída por material rochoso onde o movimento de rocha ou lascas razoavelmente grandes é agravada por vários processos de descontinuidades (Carvalho, 2009, p. 104), mudança abrupta do tipo de rocha ou uma sequência de rochas acamadas (Ibsen *et al.*, 1996), seguido de processos d contração e dilatação causada pela oscilação da temperatura, característicos de ambiente árido (Carvalho, 2009, p. 104). Segundo relatos de moradores locais, os movimentos em massa, sobretudo as quedas

de blocos, ocorrem com maior frequência na época das chuvas. Facilmente se encontram na área de estudo rochas bastantes alteradas e fraturadas (fot. 5A e 5B).

Declive é também variável a ser levada em consideração, uma vez que as encostas da área estudada, na sua maioria, possuem declive superior a 12%.

Quanto aos fatores antrópicos mais importantes, é de realçar o corte dos talus para implantação da estrada que dá acesso a localidade e também a presença de uma pedreira que esteve em exploração por mais de cinquenta anos, mas está inativa desde 2006. Nas proximidades, há blocos de diferentes tamanhos originários da pedreira devido a processos de tombamento. Ainda é comum encontrar detritos nas encostas ao redor da pedreira. Assim, deve-se avaliar se os materiais depositados nas proximidades ainda representam algum risco para a população.

#### *Riscos associados a movimentos em massa na localidade de Veneza*

Na área de estudo, os movimentos em massa suscitam um certo risco, devido a susceptibilidade de ocorrência desse processo geomorfológico em algumas vertentes

da localidade, onde os residentes desenvolvem as suas atividades diárias.

Conforme as observações *in loco*, logo na entrada da localidade nos deparamos com quedas de blocos numa vertente, com presença de blocos de tamanhos variados, em alguns casos com 100 cm de diâmetro. Tal processo estende-se por aproximadamente 100 metros de comprimento na estrada (fot. 4). Na estrada da localidade, há ocorrência de tombamento (ver fotografia 6B). Isso cria um risco de acidentes com veículos, ferimentos e até perda de vidas. Além disso, a estrada pode ser bloqueada devido a materiais resultantes desses movimentos, como quedas de blocos. Em eventos chuvosos, os detritos das áreas mais elevadas podem acumular em locais mais baixos, incluindo a estrada local, o que pode resultar no isolamento da localidade.

No que diz respeito aos fluxos de detritos a seco, estes frequentemente atingem a estrada devido à ineficácia do muro de contenção existente. Este muro, por ter uma altura reduzida e ser composto por blocos sem qualquer elemento de ligação, como cimento, não consegue suportar adequadamente os materiais provenientes dos fluxos (fot. 6B).



Fot. 5 - Presença de rochas bastantes alteradas (A) e fraturas nos estratos rochosos (B) na área de estudo (Fonte: Autores, 2015).

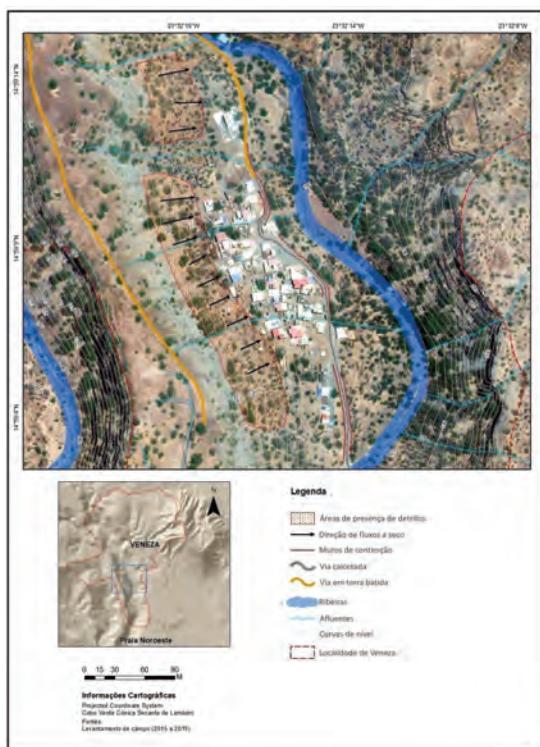
*Photo 5 - Presence of highly altered rocks (A), and fractures in the rock strata (B), in the study area. (Source: Authors, 2015).*



Fot. 6 - Risco de acidentes associados a movimentos em massa na estrada da localidade (A); Quedas de blocos (B) Tombamentos (Fonte: Autores, 2015).

*Photo 6 - Risk of accidents associated with mass movements on the road in the Veneza area (A); Block falls (B) (Source: Authors, 2015).*

Os riscos associados a movimentos em massa, que poderá afetar a população, não se limitam unicamente às proximidades da estrada, mas também em outros pontos da localidade. Por conseguinte, o risco de diversas residências serem afetados por fluxo de detritos é real, sendo que esses fluxos ocorrem de forma lenta no período de estação seca (novembro a agosto), como testemunhado por alguns residentes que referem que as suas moradias foram afetadas nesse período, tendo inclusivamente construído barreiras com blocos, de modo a impedir o seu avanço. Este risco aumenta significativamente com o aproximar da estação húmida (setembro a outubro), devido à presença de materiais de tamanhos variáveis na proximidade das residências, podendo vir a alimentar potenciais fluxos de detritos em períodos de precipitação mais intensa (fig. 8).



**Fig. 8 - Esboço ilustrativo do fluxo de detritos a seco nas proximidades das residências (Fonte: Trabalho de campo, 2019).**

**Fig. 8 - Illustrative sketch of dry debris flow in the vicinity of residences (Source: Fieldwork, 2019).**

### Considerações finais

Depois de se ter realizado o diagnóstico da ocorrência de movimentos em massa na localidade de Veneza, Concelho de São Domingos, concluiu-se que: 1) os movimentos em massa se distribuem de forma dispersa, um pouco por toda localidade; 2) fluxos de detritos é o tipo de movimento que mais ocorre nesta localidade, representando 44,4% das ocorrências registadas, seguido de queda de blocos (37% das ocorrências); 3) também se constata que dos

poucos deslizamentos identificadas, estes atingem áreas significativas, deixando cicatrizes bem expressas na paisagem; 4) o declive é um condicionante que influencia significativamente na sua ocorrência; 5) os movimentos em massa na área de estudo ocorrem na sua maioria na formação geológica de Complexo Filoniano de Base (CB), seguida de formação do Pico da Antónia (PA); 6) todos os registos de movimentos em massa feitos neste espaço temporal (2015 a 2019) ocorreram em solo do tipo Xerossolos Háplicos; 7) os fluxos de detritos constituem a maior ameaça às habitações locais, onde no período seco (novembro a julho) ocorrem de forma lenta, intensificando-se no período húmido (agosto a outubro); 8) no histórico de ocorrência de movimentos em massa na localidade não se registou perda da vida humana, mas sim interdição da estrada de acesso à localidade e invasão de residências por fluxo de detritos.

Concluiu-se ainda que a criação de cartografia de risco e a implementação de um plano de gestão territorial para essa localidade seriam altamente benéficos. Este esforço torna-se ainda mais relevante devido ao aumento do número de construções residenciais, visando evitar que essas habitações ou obras ocupem áreas propensas a movimentos em massa.

### Referências

- Araújo, G. H., Almeida, J. R., Guerra, A. J. (2005). *Gestão Ambiental de Áreas Degradas*. Rio de Janeiro, Brasil: Bertrand Brasil LTDA.
- Araújo, J., Ramos, A., Soares, P., Melo, R., Oliveira, S., Trigo, R. (2022). Impact of extreme rainfall events on landslide activity in Portugal under climate change scenarios. *Landslides* 19, 2279-2293. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01895-7>
- Broeckx, J., Vanmaercke, M., Duchateau, R., Poesen, J. (2018). A data-based landslide susceptibility map of Africa. *Earth-Science Reviews*, 185, 102-121. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.05.002>
- Carvalho, I. R. (2009). *Monitoramento Ambiental da Estrada São Domingos-Assomada, Ilha de Santiago, Cabo Verde, Com Ênfase na Compartimentação Geomorfológica*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Carvalho, I. R. (2017). *Processos de Erosão Hídrica Movimentos de Massa Decorrentes da Reabilitação da Estrada São Domingos - Assomada, na Ilha de Santiago (Cabo Verde) (Tese de Doutoramento)*. Universidade do Minho, Braga.
- Corominas, J., Remondo, J., Farias, P., Estevão, M., Zézere, J., Díaz de Terán, J., Dikau, R., Shcroft, J., Moya, J., González, A. (1996). Debris Flow. In Dikau, R., Brunsden D., Schrost, L., & Ibsen, M. *Landslide*

- Recognition, Identification, Movement and Causes* (161-180). Chichester: John Wiley & Sons.
- Costa, F. L. (2004). Contribuições para o conhecimento dos processos erosivos em cabo Verde. *Geoinova*, 9, 195-221.
- CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (2022) EM-DAT The international Disaster Database. <http://www.emdat.be/>. Acedido em 15 de junho de 2022.
- Crozier, M. J. (2004). Landslides, In A. Goudie (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, 605-608.
- Diniz, A. C., Matos, G. C. (1986). *Carta de Zonagem Agro-Ecológica e da Vegetação de Cabo Verde I-IIha de Santiago*. Lisboa: Instituto de Investigação Científica Tropical.
- Fernandes, N. F., & Amaral, C. P. (2000). Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico e Geomorfológica. In A. T. Guerra, & S. B. Cunha, *Geomorfologia e Meio Ambiente* (123-184). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Flageollet, J. C., Weber D. (1996). *Fall*. In Dikau, R., Brunsden D., Schrost, L., & Ibsen, M. *Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes* (13-28). Chichester: John Wiley & Sons.
- Guerra, A. J. T. (2016). *Erosão dos Solos e Movimentos de Massa*. Curitiba, Brasil: Editora CRV.
- Hernández, R. V. (2008). *Caracterização dos solos da ilha de Santiago (Cabo Verde) numa perspectiva de sustentabilidade ambiental*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Aveiro.
- Holcombe, E. A., Beesley, M. E., Vardanega, P. J., Sorbie, R. (2016) Urbanisation and landslides: hazard drivers and better practices. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering*. Thomas Telford Ltd, 169: 137-144.  
DOI: <https://doi.org/10.1680/jcien.15.00044>
- Ibsen, M.-L., Brunsden D., Bromhead, E., Collison, A. (1996). *Block Slide*. In Dikau, R., Brunsden D., Schrost, L., e Ibsen, M. *Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes* (64-77). Chichester: John Wiley & Sons.
- Kimuli, J. B., Di, B., Zhang, R., Wu, S., Li, J., Yin, W. (2021) A multisource trend analysis of floods in Asia-Pacific 1990-2018: implications for climate change in sustainable development goals. *Int J Disaster Risk Reduct*, 59:102237.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102237>
- Meneses, B. M. (2011). *Susceptibilidade e Riscos de Movimentos de Vertentes no Concelho de Tarouca (Dissertação de Mestrado)*. Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Lisboa.
- Mileu, N., Fonseca, J., Zêzere, J. L., Lopes, A., Neves, M., Sousa, C. (2014). *Análise e Cartografia da Perigosidade em Cabo Verde (Comprehensive Hazard Assessment and Mapping in Cape Verde)*. Praia: Município.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. 3<sup>rd</sup> edition. England: Blackwell Publishing.
- Sanches, F. G., Carvalho, I. R. T. V. de, Vieira, A. (2017). Fatores condicionantes dos processos erosivos na sub-bacia hidrográfica de Água de Gato - Cabo Verde. *Territorium - Revista Internacional de Riscos*, 24" Multidisciplinaridade na análise das manifestações de risco", Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, ISSN: 0872-8941, Coimbra, 47-58. DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_24\\_4](https://doi.org/10.14195/1647-7723_24_4)
- Serralheiro, A., Macedo, J. R., Silva, L. C. (1976). *Carta Geológica de Cabo Verde-IIha de Santiago*. Junta de Investigações Científicas do Ultramar, Instituto Geográfico e Cadastral.
- Silva, R F., Marques, R., Zêzere, J. L. (2024). Spatial distribution, temporal trends and impact of landslides on São Miguel Island from 1900 to 2020 based on an analysis of the Azores historical natural hazards database. *Natural Hazards*, 120, 2617-2638. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06296-0>
- Vieira, A., Carvalho, I., Bento-Gonçalves, A., Rocha, J. (2020). Riscos geomorfológicos e suas manifestações. In Lourenço, L., Vieira, A. (Coords.) *Catástrofes Naturais. Uma abordagem global*. Riscos e Catástrofes, VII. Coimbra: Riscos - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, 119-167.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/978-989-26-1936-1\\_5](https://doi.org/10.14195/978-989-26-1936-1_5)
- Vieira, A., Bento-Gonçalves, A. (2021). Soil degradation and conservation: A general overview. In Vieira, A., Bento-Gonçalves, A. (Eds.). *Soil Conservation: Strategies, Management and Challenges*. New York: Nova Science Publishers, Inc., 1-30.



**ANÁLISE DE ESTABILIDADE E DETERMINAÇÃO DE FAIXAS DE RISCO E DE PROTEÇÃO  
EM ARRIBAS E TALUDES NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES\***

33

**SLOPE STABILITY ANALYSIS AND DETERMINATION OF RISK AND PROTECTION BANDS  
IN CLIFFS AND SLOPES IN THE AZORES ARCHIPELAGO**

**Paulo Amaral**

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
 0000-0002-5305-303X [Paulo.AP.Amaral@azores.gov.pt](mailto:Paulo.AP.Amaral@azores.gov.pt)

**Ana Malheiro**

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
[ana.mm.malheiro@azores.gov.pt](mailto:ana.mm.malheiro@azores.gov.pt)

**Luís Teixeira**

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
[luis.mf.teixeira@azores.gov.pt](mailto:luis.mf.teixeira@azores.gov.pt)

**Filipe Marques**

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
[filipe.mp.marques@azores.gov.pt](mailto:filipe.mp.marques@azores.gov.pt)

**Letícia Moniz**

Laboratório Regional de Engenharia Civil dos Açores (Portugal)  
[leticia.cm.moniz@azores.gov.pt](mailto:leticia.cm.moniz@azores.gov.pt)

**RESUMO**

No arquipélago dos Açores a instabilidade de taludes naturais e/ou arribas constitui a maior fonte de risco natural para pessoas e bens. No âmbito do Projeto MACASTAB, que envolveu um grupo de técnicos dos arquipélagos dos Açores, Madeira, Canárias e Cabo Verde, foram desenvolvidas fichas de avaliação de estabilidade de taludes terrosos de natureza vulcânica. Para suportar a análise de estabilidade foram criadas matrizes de estabilidade para estimação do fator de segurança, através do conhecimento das características geométricas, hidrológicas e mecânicas. Para a estimação da componente fricção apresenta-se uma metodologia de estimação por via indireta. Uma vez que a rotura de taludes promove normalmente o recuo da crista e a mobilização de material para a sua base, foram definidas faixas de risco e de proteção, tanto para o topo como para a base das arribas/taludes. As faixas são suportadas por relações estatísticas das características morfométricas, recessões e propagações ocorridos em episódios passados.

**Palavras-chave:** Faixas de risco e de proteção, análise de estabilidade, taludes, arribas.

**ABSTRACT**

In the Azores archipelago, the instability of natural slopes and/or cliffs constitutes the greatest source of risk for people and property. As part of the MACASTAB Project, which involved a group of technicians from the archipelagos of the Azores, Madeira, Canary Islands, and Cape Verde, evaluation sheets were developed to analyse the slope stability of volcanic terrains. Stability matrices were developed to estimate the safety factor of slopes. The stability analysis was based on knowledge of the geometric, hydrological, and mechanical characteristics. An indirect estimation methodology for estimating the frictional component is presented. Since slope failure usually causes the crest to recede and material to be mobilised towards its base, risk and protection bands were defined for both the top and base of the cliffs/slopes. These bands are supported by statistical relationships between morphometric characteristics, recessions and propagations that have occurred in past episodes.

**Keywords:** Risk and protection bands, stability analysis, slopes, cliffs.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 07-11-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 22-05-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Os movimentos de vertente, face ao seu caráter destrutivo, constituem uma ameaça para os ecossistemas, com maior relevância para a segurança de pessoas. Em todo o planeta Terra as perdas humanas aumentam à medida que o incremento da população se faz sentir em áreas de relevo acidentado, tais como as zonas montanhosas e litorâis, em particular quando materializadas em contexto de arribas alcantiladas. Uma das formas de reduzir tais perdas é através da compreensão destes processos complexos e da aplicação de técnicas e modelos mais confiáveis de análise e previsão.

Apesar de apresentarem contextos geológicos e morfológicos distintos, as nove ilhas de natureza vulcânica do arquipélago dos Açores denotam uma pré-disposição à ocorrência de movimentos de vertente, de diferentes tipologias (e.g., queda de blocos, deslizamentos, escoadas detriticas). Estes processos são maioritariamente desencadeados por sismos, precipitação intensa e/ou prolongada (Valadão *et al.*, 2002; Marques *et al.*, 2015). Por outro lado, a atividade antrópica tem um contributo relevante na ocorrência destes processos no arquipélago dos Açores, causada por vários motivos (e.g., estruturas de drenagem direcionados para taludes; escavações no pé de taludes; sobrecargas impostas por aterros e casas no topo de taludes; rotura de canalizações subterrâneas, etc.).

A suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente pode ser inferida por diferentes metodologias (e.g., técnicas geomorfológicas, heurísticas, estatísticas/probabilísticas ou determinísticas). Os métodos de cartografia indireta de base estatística bivariada (Yin e Yan, 1998; Zézere, 1997; Marques, 2013) ou multivariada (Carrara, 1983; Guzzetti, 2005; Marques, 2013) são os mais utilizados na avaliação da suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente. Os métodos determinísticos baseiam-se em leis de base física e são mais rigorosos em estudos de pormenor à escala do talude, quando se conhece em rigor as propriedades físicas e mecânicas dos terrenos, perdendo qualidade quando é efetuada uma extração espacial à escala regional (Goth *et al.*, 2008; Amaral *et al.*, 2009).

Um movimento de vertente quando ocorre promove a mobilização de materiais terrosos, rochosos e/ou detriticos, por gravidade, para a sua base. Dependendo do mecanismo envolvido, da posição dos planos de rotura e da atividade em retrogressão, constituem uma importante fonte de risco geomorfológico para zonas urbanas e para pessoas que vivem tanto no topo como na base de taludes (Amaral, 2010; Marques, 2013).

Apesar da diversidade de métodos existentes, desde simples a complexos, estes constituem importantes ferramentas para o ordenamento do território, pois

permitem determinar a suscetibilidade a movimentos de vertente relativamente às áreas fonte. Quando combinados com modelos de propagação de fluxos (e.g., Begueria *et al.*, 2009; Hürlimann *et al.*, 2008), permitem efetuar um zonamento da propagação do material detritico mobilizado na rotura.

A distância de propagação a partir da zona de rotura tem sido amplamente estudada com recurso a vários métodos: empíricos, analíticos e numéricos (Dai *et al.*, 2002; Corominas, 1996). Algumas formulações empíricas são baseadas no ângulo de propagação e na altura de queda dos materiais, ou na relação entre o volume de solo colapsado e na sua altura de queda (Scheidegger, 1973; Hsu, 1975).

No entanto, a avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertentes, em geral, não tem em consideração o facto da ocorrência destes eventos poder resultar num recuo da crista do talude para o interior, que pode ser ou não significativo em função das características geológicas, morfológicas, da volumetria solicitada e da posição do setor de iniciação da rotura.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto MACASTAB - “Bases para a elaboração de um guia metodológico para a gestão do risco natural de instabilidades de encostas e taludes de natureza vulcânica na Macaronésia”, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional-FEDER através do programa de Cooperação INTERREG V-A Espanha-Portugal (Madeira-Açores-Canárias) 2004-2020. Este projeto envolveu um grupo de técnicos dos arquipélagos dos Açores, Madeira, Canárias e Cabo Verde. O objetivo primordial foi o de dotar os profissionais da área com uma ferramenta de trabalho que permita a quantificação preliminar das condições de estabilidade de taludes e avaliar potenciais áreas de propagação e de recuo de uma forma simples e rápida, por forma a apoiar a tomada de decisão em crises geomorfológicas, e suportar medidas de proteção de taludes, para a minimização do risco geomorfológico.

No âmbito deste trabalho foi desenvolvida uma metodologia para determinação da estabilidade de taludes (naturais e artificiais) e para a estimativa da faixa de risco e de proteção constituídos por materiais de natureza vulcânica ocorrentes no arquipélago dos Açores. Nos taludes estudados incluíram-se as situações de arriba, que têm a particularidade de as suas vertentes se caracterizarem, maioritariamente, por paredes quase verticais e em contacto direto ou indireto com o mar.

A avaliação da estabilidade dos taludes foi suportada por análises determinísticas através do cálculo do fator de segurança, FS, tendo por base as características geológicas e geotécnicas de terrenos terrosos ocorrentes no arquipélago dos Açores. As relações estatísticas determinadas correlacionando aspectos morfométricos de

taludes e/ou arribas (e.g., altura) com recuos máximos e propagações em processos de instabilidade observados, permitiram definir faixas de risco e de proteção, tanto para o topo como para a base das arribas/taludes.

O objetivo desta metodologia é servir de apoio à definição de zonas de potencial risco junto ao topo ou base de taludes, nos instrumentos de gestão territorial, constituindo, por isso, uma primeira abordagem a esta problemática. Por este motivo, carece de estudos de pormenor para cada caso em particular.

#### **Ficha para avaliação da análise de estabilidade e faixas de risco e de proteção**

##### *Nota introdutória*

No âmbito do projeto MACASTAB, foi desenvolvida uma ficha de campo para avaliação da estabilidade de taludes de materiais terrosos e incoerentes de natureza vulcânica, assim como para a estimativa de potenciais recuos e propagações, independentemente da natureza geológica.

A ficha de campo é de preenchimento simples e rápido, sendo organizada em 5 campos (fig.1):

- i) No primeiro campo constam elementos de identificação e de caracterização geomorfológica e geológica do local, bem como da tipologia de instabilidade em análise;
- ii) O segundo campo corresponde aos parâmetros de resistência ao corte para servir de apoio à análise de estabilidade. A origem dos parâmetros de resistência ao corte pode resultar de determinações anteriormente efetuadas a partir de ensaios de campo (e.g., SPT), ensaios laboratoriais (ensaios triaxiais e de corte direto, etc.) ou estimados empiricamente. Nesta secção é apresentado, ainda, a possibilidade de se estimar esses parâmetros a partir duma metodologia tendo por base a utilização de parâmetros básicos do solo. Esta informação tem vindo a ser atualizada (González de Vallejo *et al.*, 2019) ao longo do tempo, à medida que são incorporados mais ensaios laboratoriais.
- iii) O terceiro campo corresponde às condições de água no solo;
- iv) O setor 4 corresponde à análise de estabilidade. Para tal, é necessário ter as informações dos setores anteriores e verificar na matriz de estabilidade que se apresenta na fig. 2, o intervalo que o fator de segurança (FS) apresenta;
- v) O setor 5 corresponde às faixas de segurança. O suporte para a definição das mesmas é apresentado no ponto 5 do artigo.

Os campos de i a iv dizem respeito à análise de estabilidade de taludes terrosos, aplicável para materiais terrosos constituídos por depósitos piroclásticos pomíticos finos (cinzas vulcânicas e paleosolos) e grosseiros (pedra pomes, ignimbritos não soldados), depósitos piroclásticos basálticos (escórias vulcânicas) e depósitos de vertente. O campo v, independente dos anteriores, corresponde à estimativa de faixas de segurança (risco e de proteção), quer do topo quer da base. As faixas foram obtidas por relações morfométricas entre a altura das arribas/taludes e recuos e propagações passadas, que ocorreram em contextos geológicos diversificados (depósitos piroclásticos pomíticos de queda e rocha de natureza basáltica em todo o corpo e/ou com intercalações de piroclastos basálticos ou pomíticos com bancadas rochosas).

As matrizes de estabilidade, válidas para materiais terrosos, granulares e incoerentes de natureza vulcânica que ocorrem no arquipélago dos Açores, foram obtidas através do cálculo do fator de segurança mínimo, que corresponde à superfície de rotura teórica crítica, tendo em conta a aplicação de diferentes cenários de inclinação de taludes e suas alturas, parâmetros de resistência ao corte e condições de água no terreno.

Com base em diferentes cenários morfológicos, parâmetros de resistência ao corte e condições de água no solo foram realizadas cerca de 2500 análises de estabilidade para a determinação da superfície de rotura crítica. A inclinação e altura dos taludes variou entre os 10 ° e 60 ° e entre os 5 e os 40 m, respetivamente, enquanto o ângulo de atrito interno oscilou entre os 20 ° e os 45 °. Como condições de água no subsolo considerou-se no estado natural (não saturado), e com o nível piezométrico (NP) situado a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$  da altura do talude, assim como o estado de totalmente saturado. Para a execução das análises recorreu-se ao programa de cálculo Slide, da Rocscience e aplicou-se o método das fatias de Morgenstern-Price.

Para as análises de estabilidade, algumas premissas foram tidas em consideração, nomeadamente: (1) valores de coesão efetiva não foram considerados devido à natureza granular e incoerente da maioria dos depósitos vulcânicos de carácter mais superficial existentes no arquipélago dos Açores (ex: depósitos pomíticos de queda e de fluxo, piroclásticos basálticos, depósitos de vertente, etc.) (Amaral *et al.*, 2008; Amaral, 2010; Bolarinho, 2014; Amaral *et al.*, 2016; Moniz *et al.*, 2016);, fixando valores de coesão residuais (1 kPa), por forma a não induzir planos de rotura muito superficiais; (2) o peso volúmico húmido foi mantido constante, com um valor de 16 kN/m³, obtido pela média de valores de depósitos vulcânicos (Amaral, 2010); (3) as análises foram efetuadas em termos de tensões efetivas, por forma a avaliar-se o fator de segurança a longo termo e por se assumir que a rotura ocorre em condições drenadas.

**MACASTAB** Interreg REC UNIS

**FICHA DE AVALIAÇÃO EXPEDITA DE ESTABILIDADE DE TALUDES EM SOLO**

Responsável preenchimento: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_ - \_\_\_\_ - 20

### Talude

Localização: \_\_\_\_\_

Coordenadas: N: \_\_\_\_\_ E: \_\_\_\_\_ Cota: \_\_\_\_\_ (m)

Altura (h): \_\_\_\_\_ (m) Declive ( $\alpha$ ): \_\_\_\_\_ (graus)

Geologia: \_\_\_\_\_

Tipologia da instabilidade:

- Deslizamento
- Translacional
- Rotacional
- Com rotura composta
- Fluxo Detritico
- Desabamento
- Movimento complexo
- Indeterminado

(Explicar o tipo de ocorrência, possíveis causas ou origem e desenhar esquço/perfil do talude no verso)

### Geologia: Parâmetros de resistência corte

Existência de dados / ensaios laboratoriais?

Sim (introduzir dados) Coesão ( $C'$ ) = \_\_\_\_\_ KPa Ângulo de atrito interno ( $\phi'$ ) = \_\_\_\_\_ ° (graus)

Não Estimar  $\phi'$  pelo tipo de materiais ocorrentes / constituintes do talude

Análise granulométrica: \_\_\_\_\_ % cascalhos \_\_\_\_\_ % areias \_\_\_\_\_ % siltes + argilas

Estimar  $\phi'$  pela formula. Para solos granulares  $C' = 0$  KPa

$\phi' = 0,16 * (\% \text{cascalho} + \% \text{areia}) + 26,6$  Ângulo de atrito interno ( $\phi'$ ) = \_\_\_\_\_ ° (graus)

### Hidrologia - presença de água (NP - Nível Piezométrico)

Húmido / NP=h  NP = 3/4\*h  NP = 1/2\*h  NP = 1/4\*h  Saturado

### Fator de Segurança (F.S.)

Consultar tabela em anexo de modo a obter um enquadramento para FS através de NP, h,  $\alpha$  e  $\phi'$ .

h (m)	$\alpha$ (graus)	$\phi'$ (graus)	FS
			< 1 < 1,5 >= 1,5

Se  $FS \geq 1,5$  - Talude estável, não apresenta risco imediato de instabilidade.

Se  $FS < 1,5$  - Talude potencialmente instável! Estimar faixas de segurança

### Faixas de Segurança

**TOPO:**

$FRT = 1,3 * h$  \_\_\_\_\_ (m)  
 $FPT = 1,03 * h$  \_\_\_\_\_ (m)

**BASE:**

**FAIXAS H<100 m**

$FRB_{h \leq 100} = 1 * h$  \_\_\_\_\_ (m)  
 $FPB_{h \leq 100} = 2 * h$  \_\_\_\_\_ (m)

**FAIXAS H>100 m**

$FRB_{h > 100} = 1,5 * h$  \_\_\_\_\_ (m)  
 $FPB_{h > 100} = 2,5 * h$  \_\_\_\_\_ (m)

Fig. 1 - Ficha de campo de registo da estabilidade de taludes e respetivas faixas de segurança.

Fig. 1 - Field record of slope stability and respective safety range.

## Análise de estabilidade

O fator de segurança para a análise de estabilidade de taludes é comumente definido como a razão entre a resistência ao corte e a tensão tangencial mobilizada na rotura. Deste ponto de vista, um talude é considerado instável se  $FS \leq 1$ , devido à redução da resistência ao corte ou pelo aumento da tensão tangencial (Abramson *et al.*, 2002). Se o fator de segurança estiver compreendido entre 1 e 1,5, o talude é considerado marginalmente estável, e se  $FS \geq 1,5$ , é considerado estável.

Para se efetuar a análise da estabilidade por métodos de equilíbrio limite é necessário conhecer a geometria do terreno, as características geológicas (estratigrafia) e os parâmetros físicos e mecânicos associados, bem como as condições de água existente no subsolo.

A abordagem global para se obter uma indicação sobre a estabilidade de um talude é feita através da verificação da possibilidade de ocorrer um plano de rotura no terreno, pela determinação do fator de segurança mínimo que corresponde à superfície de deslizamento crítica.

Quando se desconhecem os parâmetros acima referidos necessários para efetuar a análise de estabilidade, terá de se realizar levantamentos topográficos, sondagens geotécnicas ou recorrer a outro método de prospeção para aferir as condições geológicas e hidrológicas dos taludes (nalguns taludes ou arribas, os estratos geológicos e as condições hidrológicas encontram-se expostas nas suas faces), bem como ensaios laboratoriais ou de campo para determinação dos parâmetros geotécnicos.

Tal como foi referido anteriormente, foram realizadas mais de 2500 análises de estabilidade. Foi utilizado o método das fatias de Morgenstern-Price através da utilização do programa de cálculo Slide, da Rocscience.

As formulações matemáticas envolvidas no processo de cálculo da estabilidade saem fora do âmbito deste artigo, uma vez que as mesmas estão amplamente descritas na literatura técnico-científica da especialidade, podendo ser consultadas, por exemplo, em Abramson *et al.* (2002).

Os resultados obtidos para o FS mínimo permitiram desenvolver matrizes de estabilidade que são apresentadas na fig. 2. Com base nas matrizes, é possível determinar as condições iniciais da estabilidade de um talude de acordo com a geometria, condições de água e as características mecânicas.

### Estimação de parâmetros de resistência ao corte

Os solos vulcânicos no arquipélago dos Açores têm um comportamento geotécnico peculiar. Amaral (2010) efetuou uma extensa caracterização física e mecânica de solos vulcânicos. Os materiais vulcânicos apresentam

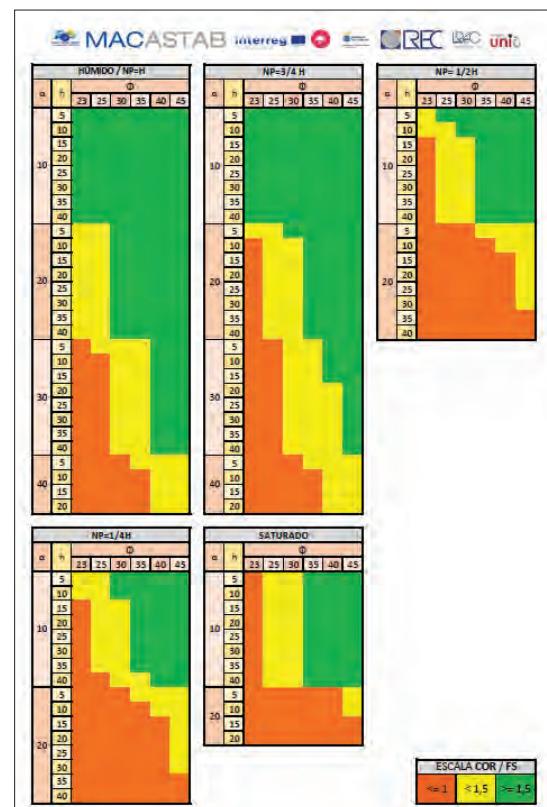


Fig. 2 - Matrizes de estabilidade para diferentes condições de água no terreno.

Fig. 2 - Stability matrices for different water conditions on the ground.

densidade das partículas secas e pesos volúmicos reduzidos e valores de porosidade e índice de vazios elevados. A densidade das partículas secas varia entre 2,26 e 2,90 e o peso volúmico seco entre os 5 e os 13 kN/m<sup>3</sup>. A porosidade varia entre os 50 e 80 % e o índice de vazios entre os 1,02 e os 3,87.

Os solos vulcânicos são geralmente não plásticos ou pouco plásticos e denotam, normalmente, baixos teores em argila (< 12 %). No entanto, pontualmente, podem exibir valores até 95 % (Moniz *et al.*, 2020). Amaral (2010) realizou vários ensaios de corte direto na condição de consolidado, drenado. Os resultados obtidos mostraram duas famílias distintas de envolventes de rotura, em função das características granulométricas dos materiais analisados. Para solos siltosos, o ângulo de atrito interno efetivo ( $\phi'$ ) variou entre 30° e 35° (e.g., cinzas pomíticas) e para solos arenosos (e.g., pedra-pomes) entre 35° e 43°. No primeiro caso, o peso volúmico seco e o índice de vazios foram correlacionáveis individualmente com o ângulo de atrito interno. No segundo caso, o ângulo de atrito interno apenas foi correlacionável com o coeficiente de simetria e com o enviesamento gráfico. Este facto é explicado pelo aumento do diâmetro das partículas que potencia o efeito de imbricamento e,

deste modo, o incremento do ângulo de atrito (Amaral, 2010). A coesão efetiva ( $c'$ ) variou entre 0 kPa e 9 kPa.

No âmbito deste trabalho, e por forma a caracterizar melhor os depósitos de natureza vulcânica, foram considerados ensaios de compressão triaxial realizados sobre depósitos piroclásticos de matriz siltosa (cinzas pomíticas) e arenosa (pedra-pomes), ignimbritos não soldados e depósitos de vertente. Os valores dos ângulos de atrito variaram entre 33 ° e 42 ° e os de coesão efetiva variaram entre 0 kPa e 24 kPa.

A TABELA I apresenta a faixa de valores dos parâmetros de resistência ao corte para diferentes materiais encontrados no arquipélago dos Açores.

TABELA I - Intervalos de variação de parâmetros de resistência ao corte para diferentes litotípos.

TABLE I - Variation ranges of shear strength parameters for different lithotypes.

Litologia	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)
DPP-F	0 - 6	30 - 37
DPP-I/DPP-G	0 - 2	36 - 43
DV	0 - 9	25 - 39
INS	16-24	35 - 37

#### Legenda:

DPP-F: Depósitos piroclásticos pomíticos finos; DPP-I: Depósitos piroclásticos pomíticos indiferenciados; DPP-G: Depósitos piroclásticos pomíticos grosseiros; DV: Depósitos de vertente; INS: Ignimbritos não soldados.

Os parâmetros que mais influenciam o ângulo de atrito interno são o índice de vazios, a compacidade, a forma e o estado da superfície das partículas, a granulometria (coeficientes e tamanho das partículas), as condições de drenagem e do conteúdo de água no solo (Holtz e Kovacs, 1981).

Considerando os parâmetros mecânicos obtidos por Amaral (2010) e os obtidos pelos ensaios de compressão triaxial, foram realizadas análises granulométricas de modo a obter elementos/índices granulométricos explicativos dos parâmetros de resistência ao corte. A fig. 3 mostra a correlação existente entre o ângulo de atrito interno e a soma da percentagem de areia e cascalho, na qual é expressa na equação 1, com um coeficiente de correlação de 77%.

$$\phi' (\text{°}) = 0,16 \cdot (\% \text{ Casc.} + \% \text{ Areia}) + 26,63 \quad [1]$$

onde  $\phi'$  é o ângulo de atrito interno. A expressão 1 permite obter o ângulo de atrito interno a partir de uma simples análise granulométrica, que pode ser facilmente realizada em laboratório ou até mesmo no terreno.

As análises de estabilidade apresentadas na ficha de campo são apenas válidas para maciços terrosos constituídos por depósitos vulcânicos, nomeadamente: depósitos piroclásticos pomíticos finos (cinzas vulcânicas e paleosolos) e grosseiros (pedra pomes, ignimbritos não soldados), depósitos piroclásticos basálticos (escórias vulcânicas) e depósitos de vertente), caracterizados

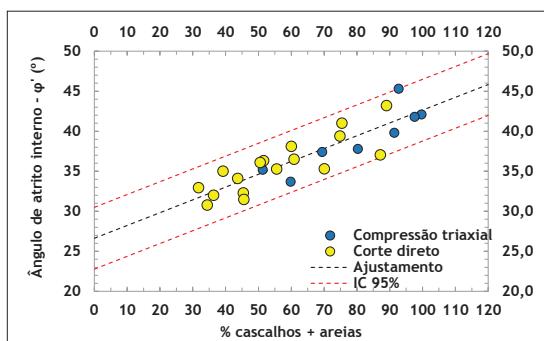


Fig. 3 - Relação existente entre o ângulo de atrito interno e a soma da percentagem de cascalho e areia.

Fig. 3 - Relationship between the internal friction angle and the sum of the percentage of gravel and sand.

por serem granulares e incoerentes, deixando de fora depósitos vulcânicos de textura argilosa como é o caso da existência em alguns locais da ilha de Santa Maria (ex: Praia Formosa, São Lourenço) e das Flores (ex: Fajãzinha, Lajedo).

#### Faixas de Risco e de proteção para o topo e para a base

##### Topo: Faixas de risco e de proteção

A evolução de arribas e/ou taludes é extremamente complexa, sendo dominada pela ocorrência de movimentos de vertente de diferentes tipologias, com distribuição espacial e temporal variável. É caracterizada pelo recuo pontual, de magnitude variável, seguido por um período de inatividade. Os movimentos de maior dimensão são menos frequentes, mas são os principais responsáveis para o recuo a longo prazo. Os movimentos de vertente de menor dimensão são os mais frequentes e causadores de elevada perigosidade.

Assim sendo, os recuos locais máximos constituem a variável mais importante para a delimitação de faixas com limitação de ocupação (Marques, 1997).

A Faixa de Risco do Topo (FRT) representa a zona potencial de rotura, ou seja, a potencial distância de recuo no topo do talude na eventualidade da ocorrência de um processo geomorfológico. A Faixa de Proteção do Topo (FPT) constitui um limite de segurança para poder absorver eventuais incertezas de recuo causado pelos processos de instabilidade de taludes.

O estabelecimento de zonamentos de perigosidade geomorfológica, por exemplo, na costa portuguesa baseia-se na análise sistemática de fotos aéreas multitemporais, por técnicas de estereoscopia e fotogrametria (Marques, 1997; 2009), de modo a ser possível determinar taxas de recuo e cenários quantitativos de evolução do comportamento em horizontes temporais de aproximadamente meio século (Marques, 2009).

Para suportar as faixas de risco e de proteção deste trabalho, foi efetuado um levantamento de várias ocorrências de instabilidades geomorfológicas ocorridas no arquipélago dos Açores (ilhas de São Miguel, Pico e Flores), através da interpretação em ortofotomaps e trabalho de campo. Os casos analisados apresentam alturas entre os 13 e os 450 m, cujos recuos máximos determinados variam entre os 2 e os 340 m. O caso mais gravoso situa-se na fajã do Conde, na ilha das Flores e está seguramente relacionado com processos de instabilidade resultantes de atividade vulcânica passada, cujas características morfológicas ainda se encontram relativamente bem preservadas.

As ocorrências de instabilidade aconteceram em geoformas constituídas por um contexto geológico diversificado, desde depósitos piroclásticos pomíticos de queda (cinzas e pedra pomes) e rocha de natureza basáltica em todo o corpo e com intercalações de piroclastos basálticos ou pomíticos com bancadas rochosas.

O recuo máximo sofrido no topo, as áreas de depleção e a distância horizontal percorrida pelos materiais após a rotura foram determinados e a informação obtida pelo cruzamento das características morfométricas dos taludes permitiu verificar a existência de relações entre, por exemplo, a altura e as distâncias de recuo e de propagação.

Da análise de toda a informação, concluiu-se que existe uma relação positiva entre a altura da geoforma (talude e/ou arriba) e o recuo observado.

Apresenta-se na fig. 4 a relação entre a altura (h) do talude ou arriba e o recuo máximo observado no topo. Desta relação foi determinada a linha de tendência definida pela expressão 2. Esta envolvente define a faixa de risco do topo (FRT).

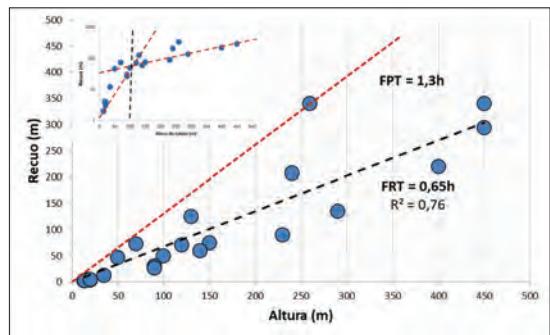
$$FRT = 0,65 \cdot h \quad [2]$$

A fronteira máxima pela qual não há registos de situações de recuo em relação à altura permite obter a envolvente da faixa de proteção do topo (FPT), definida pela expressão 3:

$$FPT = 1,3 \cdot h \quad [3]$$

Analizando os dados numa outra perspetiva, através da projeção da informação em escala semilogarítmica (ver fig. 4, no canto superior direito), verifica-se um efeito de escala do recuo até cerca dos 100 m, ocorrendo uma mudança de comportamento a partir do ponto de inflexão. Este efeito de escala é igualmente verificado nas propagações, como adiante se apresenta. Neste sentido, detalhou-se a análise da faixa de recuo até alturas de 100 m e maiores do que 100 m.

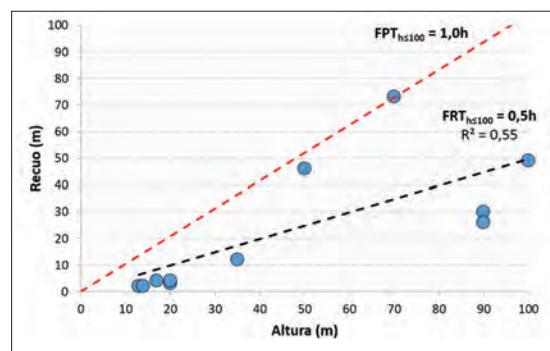
Para alturas iguais ou inferiores a 100 m, a faixa de risco apresenta um comportamento de  $0,5 \cdot h$  e a de



**Fig. 4 - Relação entre a altura do talude e/ou arriba e a distância de recuo no topo para o conjunto dos dados. Na figura menor faz-se a representação da mesma informação em escala semilogarítmica.**

**Fig. 4 - Relationship between the height of the slope and/or cliff and the recession distance at the top for the all data set. The smaller figure represents the same information on a semi-logarithmic scale.**

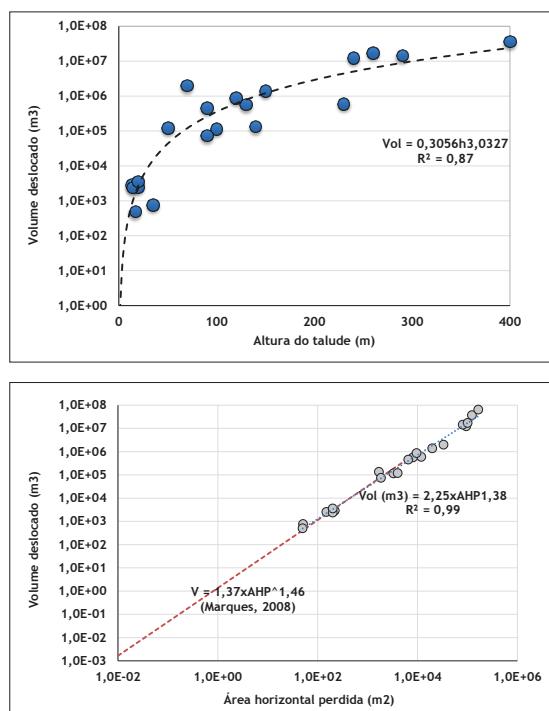
proteção de  $1 \cdot h$  (fig. 5). Para alturas superiores a 100 m, a faixa de risco e de proteção assumem valores iguais ou muito próximos do conjunto dos dados, em função de serem a informação mais condicionante a suportar a faixa de proteção.



**Fig. 5 - Relação entre a altura do talude e/ou arriba e a distância de recuo no topo para alturas iguais ou inferiores a 100 m (top image) e superiores a 100 m (bottom image).**

**Fig. 5 - Relationship between the height of the slope and/or cliff and the retreat recession distance at the top for heights equal to or less than 100 m (top image) and greater than 100 m (bottom image).**

Para o conjunto dos dados, foi possível verificar ainda a relação entre a altura da geoforma e o volume deslocado, assim como a área horizontal perdida e o volume deslocado (fig.6). A relação entre a área horizontal perdida e o volume apresenta um comportamento semelhante ao encontrado por Marques (2008) para o continente português.



**Fig. 6 - Relação entre a área horizontal perdida (AHP) e o volume deslocado e (b) relação entre a altura e o volume deslocado.**

**Fig. 6 - Relationship between the lost horizontal area (AHP) and the displaced volume (upper image); and (b) relationship between height and displaced volume (lower image).**

#### Base: Faixas de risco e de proteção

A Faixa de Risco na Base (FRB) representa a zona potencial de propagação dos materiais após o seu desprendimento da zona de iniciação. Na mesma linha da Faixa de Proteção do Topo, referida anteriormente, a da base (FPB) constitui um limite de segurança para poder absorver eventuais incertezas de propagação.

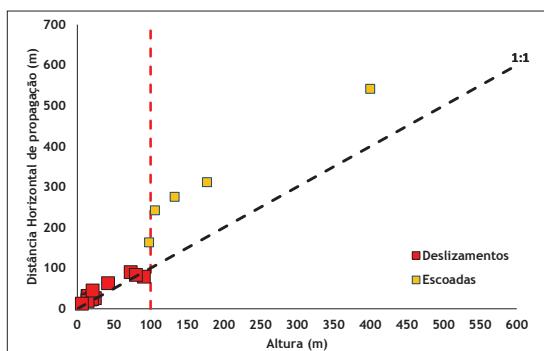
O estudo das propagações foi uma tarefa mais complexa tendo em consideração que os depósitos de vertente muitas vezes desaparecem do local onde se depositaram, fruto de vários fatores (ação humana, dinâmica marinha e fluvial, etc.). Apesar desse aspecto, foi possível cartografar algumas situações de instabilidade com os seus depósitos bem preservados, tendo sido posteriormente validados por trabalho de campo. Para além disso, foram considerados alguns eventos de instabilidade recentes no arquipélago, entre 2018

e 2019, tendo sido possível determinar características dimensionais das propagações.

À imagem do tratamento de dados efetuado para as faixas de risco e de proteção do topo, a mesma metodologia foi efetuada para as faixas de risco e de proteção da base.

Tendo em consideração que os efeitos de propagação podem ser distintos em função da tipologia da instabilidade, e dos materiais solicitados optou-se por distinguir processos de instabilidade da tipologia deslizamento/desabamentos e escoada detritica. O contexto geológico em que ocorreram estes fenómenos é igualmente diversificado, sendo na maioria das situações, difícil atribuir o material predominante uma vez que fruto do enquadramento geológico em que ocorrem, normalmente mobilizam grandes quantidades de solos e rocha, quer ao nível dos deslizamentos/desabamentos, quer ao nível das escoadas detriticas.

Na fig. 7 projeta-se a informação das propagações em relação às alturas dos taludes. Apesar de ainda não existir uma grande representatividade da informação, pelos motivos mencionados anteriormente, nesta figura pode observar-se que até uma altura de 100 m a relação entre altura do talude e a distância horizontal percorrida é de, sensivelmente, 1:1, passando a ser de, aproximadamente, 1:1,5 após esta altura. Este aspeto revela um efeito de escala. A existência de um ressalto a partir dos 100 m de altura é coincidente com a transição da ocorrência de deslizamentos para escoadas detriticas.



**Fig. 7 - Relação entre a distância horizontal de propagação e a altura para deslizamentos e escoadas. A linha tracejada define uma relação de 1:1. A linha tracejada a vermelho representa a separação de deslizamentos para escoadas.**

**Fig. 7 - Relationship between the horizontal propagation distance and the height for landslides and flows. The dashed line defines a 1:1 ratio. The red dashed line represents the separation of landslides from flows.**

As faixas de risco e proteção foram obtidas do mesmo modo que para o topo (fig. 8). As expressões (4) e (5) definem, respetivamente, as faixas de risco e de proteção da base num talude com altura menor ou igual a 100 m (fig. 8a). A fig. 8b representa a faixa de

risco e de proteção da base para geoformas com alturas superiores a 100 m.

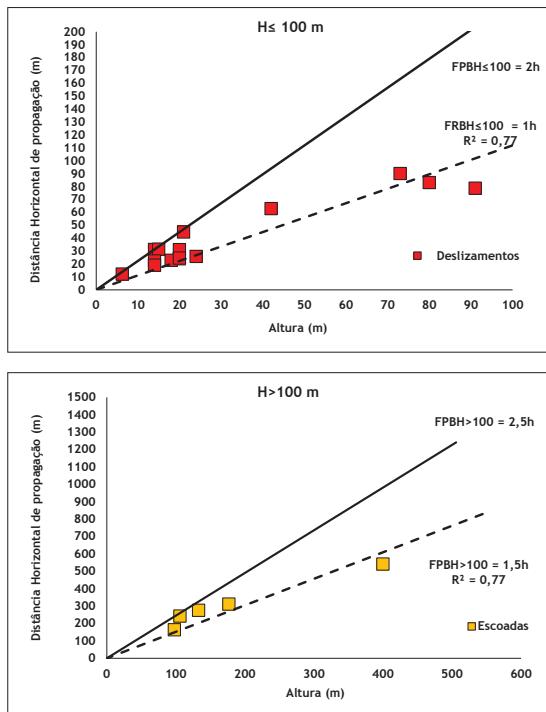
$$FRB_{H \leq 100} = 1 \cdot h \quad [4]$$

$$FPB_{H \leq 100} = 2 \cdot h \quad [5]$$

As expressões (6) e (7) definem as faixas de risco e proteção da base num talude com altura acima de 100 m.

$$FRB_{H > 100} = 1,5 \cdot h \quad [6]$$

$$FPB_{H > 100} = 2,5 \cdot h \quad [7]$$



**Fig. 8** - Faixas de risco e de proteção da base para geoformas com alturas menores ou iguais a 100 m (imagem superior) e alturas maiores do que 100 m (imagem inferior).

**Fig. 8 - Risk and base protection ranges for geoforms with heights less than or equal to 100 m (upper image) and heights greater than 100 m (bottom image).**

## Conclusão

A instabilidade de taludes e/ou arribas é um problema que afeta diversos locais do arquipélago dos Açores, resultando em avultadas perdas económicas (estabilização de maciços, realojamento, etc.), comprometendo a segurança de pessoas e bens. Nos últimos 100 anos foi a principal causa de morte decorrente de processos geológicos.

Para minimizar o risco de deslizamentos, é essencial analisar a estabilidade das geoformas em condições de longo prazo, a fim de prevenir futuros acidentes e mitigar os efeitos negativos associados a este tipo de fenómenos.

O objetivo deste trabalho foi obter uma ferramenta de apoio à avaliação da estabilidade de taludes,

servindo como uma análise preliminar das condições de estabilidade, essencial em tempos de crise geomorfológica ocorrentes no arquipélago dos Açores. A avaliação expedita do estado de segurança permitirá, numa fase precoce, determinar o fator de segurança e, deste modo, a definição de medidas de segurança a adotar para evitar a perda de bens materiais e humanos.

Com os resultados obtidos, é possível determinar as condições de estabilidade de um determinado talude de solos de uma forma simples e rápida, com o conhecimento da geometria do talude (altura e inclinação), das condições de água e dos parâmetros de resistência ao corte estimados empiricamente. Não obstante a determinação expedita do Fator de Segurança, válida para taludes constituídos por materiais granulares e incoerentes de natureza vulcânica, como são os depósitos piroclásticos pomíticos e basálticos, os ignimbritos não soldados, os depósitos de vertente e os aterros, para uma avaliação mais fina e robusta, será sempre necessário recorrer a uma análise geológica e geotécnica mais detalhada, com recurso a ensaios laboratoriais e de campo, para o apoio à análise de estabilidade a realizar com modelos numéricos de análise de tensão/deformação ou de equilíbrio limite dos maciços em estudo. No entanto, este tipo de análise numérica requer um maior dispêndio de tempo para a realização de ensaios e para a execução das tarefas de modelação, elemento que não se coaduna com a necessidade de as entidades darem respostas rápidas sobre o estado da estabilidade de um dado local aquando de uma crise geomorfológica.

As faixas de risco e de proteção determinadas através do conhecimento das características morfológicas de taludes podem servir de base para a definição de faixas de segurança, que são de extrema importância na gestão e no ordenamento do território, em particular numa região como a dos Açores.

Como trabalhos a desenvolver neste domínio, pretende-se analisar um número mais significativo de casos, de modo a aumentar a robustez na estimativa de faixas de risco e de proteção. Complementarmente, pretende-se determinar funções que tenham em consideração as condições geológicas dos maciços, pois diferentes materiais têm comportamentos mecânicos distintos e de evolução temporal e espacial.

Dada a sua importância no contexto do ordenamento do território, estas faixas são relativamente simples de aplicar em sistemas de informação geográfica e são de extrema importância na aplicação em Instrumentos de Gestão Territorial, em particular nos Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOCs) e nos Planos Diretores Municipais (PDM), em particular nas áreas da Reserva Ecológica referente à tipologia de Arribas e Faixas de Proteção.

## Referências bibliográficas

- Abramson, L. W. Lee, T.S. Sharma, S. e Boyce, G. M. (2002). Slope Stability and Stabilization Methods (2nd ed.), John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 712 p.
- Amaral, P., Marques, R., Zêzere, J. L., Marques, F., Queiroz, G., Ramos, T. e Gonçalves, M. C. (2008). Caracterização hidrológica e geotécnica de solos vulcânicos pomíticos com vista à integração em modelos determinísticos para avaliação da instabilidade de vertentes no concelho da Povoação (S. Miguel, Açores). *Resumos do congresso de Geomorfologia 2008, IV Congresso Nacional de Geomorfologia*. Eixo temático H - Riscos naturais, processos erosivos e dinâmica de vertentes, 44 p.
- Amaral, P. Marques, R. Zêzere, J. L. Queiroz, G. e Marques, F. (2009). Distributed transient modelling of rainfall triggered shallow landslides for susceptibility assessment in Ribeira Quente valley (S. Miguel, Azores), In: Landslide Processes, from geomorphological mapping to dynamic modelling, Strasburg, France 6-7 February 2009. Strasburg, CERG, France: 29-94.
- Amaral, P. (2010). Caracterização geotécnica e hidrológica de depósitos vulcânicos: Modelação da estabilidade de taludes no concelho da Povoação (ilha de S. Miguel - Açores). Dissertação de Doutoramento em Geologia especialidade de Vulcanologia. Departamento de Geociências da Universidade dos Açores, 277 p.
- Amaral, P., Malheiro, A., Marques, F., e Moniz, L. (2016). Determinação de parâmetros de resistência ao corte de depósitos piroclásticos pomíticos por análise inversa a roturas de taludes. Comparação de análise entre técnicas de equilíbrio limite e elementos finitos. 15º Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.
- Begueria, S. van Asch, Th.W.J. Malet, J.-P e Grondahl, S. (2009). A GIS-based numerical model for simulating the kinematics of mud and debris flows over complex terrain. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, p 1897-1909.
- Bolarinho, R. (2015). Análise de estabilidade do talude do Salto do fojo com recurso a Métodos determinísticos. Tese de Mestrado. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores, 148.
- Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology*, 15(3):403-427.
- Corominas, J. (1996). The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Canadian Geotechnical Journal* 33 (2), 260-271.
- Dai, F.C. Lee, C.F. e Ngai, Y.Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology* 64 (1), 65-87.
- González de Vallejo, L. Miranda, A. Campos, S.L. Gutiérrez, L.H. Péres, J.J. Vieira de Sousa, J.F. Perneta, J. Amaral, P. Malheiro, A. Teixeira, L. Delgado, A. Victória, S. (2019). Bases para a elaboração de um Guia Metodológico para a gestão do risco natural produzido pela instabilidade de encostas e taludes de natureza vulcânica na Macaronésia. MACASTAB Homepage, <http://macastab.com/?lang=en>, last accessed 08/05/2024.
- Goth, J. W., Baum, R. L., Savage, W. Z., Salciarini, D., Schulz, W. H. e Harp, E. L. (2008). Transient deterministic shallow landslide modeling: Requirements for susceptibility and hazard assessments in a GIS framework. *Eng. Geology*, 214 - 226.
- Guzzetti, F. (2005). Landslide hazard and risk assessment. Bona: Dissertação de Doutoramento apresentada na Universidade de Bona, 373 p.
- Holtz, R. D. e Kovacs, W. D. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 733 p.
- Hsu, K. J. (1975). Catastrophic debris streams (Sturzstroms) generated by rockfalls. *Geological Society of America Bulletin*, 86: 129-140.
- Hurlimann, M., Rickenmann, D., Medina, V. e Bateman, A. (2008). Evaluation of approaches to calculate debris-flow parameters for hazard assement. *Eng. Geology* 102., p 152-163.
- Marques, F. M. S. F. (1997). As Arribas do Litoral do Algarve - Dinâmica, Processos e Mecanismos. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 556 p.
- Marques, F. (2009). Sea cliff instability hazard prevention and planning: examples of practice in Portugal. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 56., p 856-860.
- Marques, R. (2013). Estudo de movimentos de vertente no concelho da Povoação (ilha de São Miguel, Açores): Inventariação, caracterização e análise da suscetibilidade. Tese de doutoramento em geologia, especialidade de Riscos Geológicos. Universidade dos Açores, 456 p.
- Marques, R., Amaral, P., Araújo, I., Gaspar, J. L. e Zêzere, J. L. (2015). Susceptibility analysis and validation of rupture zones using a bivariate GIS-based statistical approach, in *Landslides on São Miguel Island (Azores)*. *Geological Society, London, Memoirs*, 44., 167-184.
- Moniz, L., Marques, F., Amaral, P. e Malheiro, A. (2016) - Contribuição para a caracterização de parâmetros de resistência ao corte de produtos vulcânicos por ensaios de compressão triaxial. 15º Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.

- Moniz, L., Marques, F., Amaral, P. e Malheiro, A. (2020). Efeito da Secagem na determinação dos limites de Atterberg en solos vulcânicos. 17 CNG. 12 p.
- Scheidegger, A. E. (1973). On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. Rock Mechanics, 5: 231-236.
- Valadão, P., Gaspar, J. L., Queiroz, G. e Ferreira, T. (2002). Landslides density map of S. Miguel Island (Azores archipelago). Natural Hazards, 2: 51-56.
- Yin, K. L. e Yan, T. Z. (1988). Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. In: C. Bonnard (Ed.) Proc. Fifth International Symposium in Landslides, Lausanne, A.A. Balkema, Rotterdam, Holanda, Vol.2., 1269-1272.
- Zêzere, J. L. (1997). Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa. (Dissertação de Doutoramento em Geografia Física). Apresentada à Universidade de Lisboa, Lisboa, 575 p.





**DETERMINAÇÃO DE EVENTOS SECOS E CHUVOSOS EM REGIÕES DO NORDESTE BRASILEIRO-BRASIL,  
USANDO O ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NORMALIZADA\***

45

**DETERMINATION OF DRY AND RAINY EVENTS IN BRAZILIAN-BRAZILIAN NORTHEAST REGIONS OF BRAZIL,  
USING THE NORMALIZED RAINFALL INDEX**

**Antônia Silânia de Andrade**

Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Núcleo de Desertificação (Brasil)

 0000-0001-9333-8251 [antonia.andrade@pesquisa.insa.gov.br](mailto:antonia.andrade@pesquisa.insa.gov.br)

**Célia Campos Braga**

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)

Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas

 0000-0001-6383-3112 [celia.braga@ufcg.edu.br](mailto:celia.braga@ufcg.edu.br)

**Welinagila Grangeiro de Sousa**

Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Núcleo de Gestão da Informação e Popularização da Ciência (Brasil)

 0000-0002-5161-6345 [welinagila.sousa@pesquisa.insa.gov.br](mailto:welinagila.sousa@pesquisa.insa.gov.br)

**Madson Tavares Silva**

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)

Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas

 0000-0003-1823-2742 [madson.tavares@professor.ufcg.edu.br](mailto:madson.tavares@professor.ufcg.edu.br)

## RESUMO

A seca é um evento extremo recorrente que afeta basicamente todos os regimes climáticos, prejudicando diferentes setores da sociedade, como a geração de energia hidroelétrica, agricultura e os ecossistemas. Sendo assim, diferentes índices de secas vêm sendo utilizados, com o objetivo entender o comportamento desse fenômeno, dentre eles, o Índice de Precipitação Normalizado - Standardized Precipitation Index (SPI). Neste estudo, avaliou-se a variabilidade espaço temporal de eventos secos e chuvosos, a partir da metodologia do SPI em regiões homogêneas no estado Paraíba. Calcularam-se os índices SPI-3 e SPI-6 (sazonal e semestral), para o período de 1962-2019. A análise dos índices mostraram que as regiões mais secas para o SPI-3 e SPI-6 são Sertão e o Cariri e que a mais úmida é o litoral, indicando que a metodologia permite identificar o padrão climático da região. Portanto o Índice de Precipitação Normalizada mostrou-se eficaz para quantificar os eventos secos e chuvosos, assim como no monitorando déficit/excesso de precipitação, ressaltando a importância dessa ferramenta para avaliar a variabilidade espaço-temporal de uma região, uma vez que identifica eventos secos/úmidos como base em valores mensais.

**Palavras-chave:** Eventos extremos, SPI, regime climático.

## ABSTRACT

Drought is a recurring extreme event that affects basically all climate regimes, and harming different sectors of society, such as hydroelectric power generation, agriculture, and ecosystems. Therefore, different drought indices have been used to understand the behaviour of this phenomenon, among one of them being, the Standardized Precipitation Index (SPI). In this study evaluated, the spatial and temporal variability of dry and rainy events was evaluated, based on the SPI methodology, in homogeneous regions in the state of Paraíba. The SPI-3 and SPI-6 indices (seasonal and semi-annual) were calculated for the period 1962-2019. The analysis of the indices showed that the driest regions for SPI-3 and SPI-6 are Sertão and Cariri and that the wettest is the coast, indicating that the methodology allows identifying the climate pattern of the region to be identified. Therefore, the Normalized Precipitation Index proved to be effective in for quantifying dry and rainy events, as well as in for monitoring precipitation deficit/excess, highlighting. This highlights the importance of this tool in when it comes to assessing the spatial-temporal variability of a region, since it identifies dry/wet events based on monthly values.

**Keywords:** Extreme events, SPI, patterns.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 26-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 19-02-2025. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Vista como um fenômeno natural que se repete regularmente, a seca afeta praticamente todos os tipos de clima, causando impactos negativos em diversos setores da sociedade, tais como a produção de energia elétrica, agricultura, turismo e ecossistemas (Zhao *et al.*, 2018; Marengo *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023). Um grande desafio para os gestores do meio ambiente e os responsáveis por tomar decisões é acompanhar o início, o desenvolvimento e o final dos períodos de estiagem (Dantas *et al.*, 2020).

O Semiárido é uma região de alta sensibilidade, principalmente quando se considera às variações climáticas e suas particularidades. Sendo caracterizado por um período seco e de recorrente déficit hídrico sazonal, onde muitas das vezes se estendem por 6 (seis) a 8 (oito) meses ao longo de um mesmo ano, apresenta precipitações irregulares que se situam na faixa dos 300 a 800 mm (Araújo Filho *et al.*, 2019). Sendo assim avaliar as secas e seus efeitos não é uma tarefa fácil principalmente nas regiões áridas e semiáridas. Consequentemente, diferentes índices vêm sendo aplicados para mensurar a severidade das secas com o intuito de facilitar o entendimento desse fenômeno, e dentre eles, o Índice de Precipitação Normalizado - Standardized Precipitation Index (SPI) McKee *et al.* (1993)

O SPI apresenta uma série de vantagens associadas ao seu uso, sendo elas: possibilidade de determinação do período de retorno da seca, ampla flexibilidade (aplica-se em diferentes escalas temporais), simplicidade de aplicação, versatilidade (pode ser combinado com outras variáveis), capacidade de adequação às diversas situações climáticas (permite a análise espacial e a comparação de diferentes regiões), possibilita o monitoramento e aviso prévio da seca (Santos, 2020; Svoboda e Fuchs, 2017; Santos e Portela, 2010; López-Moreno *et al.*, 2009).

Diversos estudos já foram realizados para analisar a capacidade do SPI em identificar e caracterizar eventos de secas. Ganapathi (2018), utilizou as informações advindas do índice para identificar a gravidade da seca no Distrito Ahmednagar, na Índia, tendo constatado que o SPI pode ser usado como ferramenta para fins de avaliação e monitoramento da seca na região, podendo ser aplicado em diversas escalas temporais e espaciais, com o intuito de trazer uma melhor análise da severidade da seca. Zarch *et al.* (2015) analisaram a tendência de ocorrência de secas, no período de 1960 a 2009, para as várias zonas climáticas do planeta. Com isso, eles chegaram à conclusão de que o SPI não tem a capacidade de identificar secas futuras diante da ocorrência do aquecimento global, necessitando assim, ser associado a outros índices. Wu *et al.* (2007) analisaram a atuação do clima árido e dos períodos secos na determinação do SPI de curto prazo para os EUA. Neste estudo, os autores

concluíram que, quando existe uma grande quantidade de dias sem ocorrência de precipitação (valor zero), os valores de SPI não indicam adequadamente a ocorrência de secas. Além disso, os autores pedem aos usuários que sejam cautelosos ao aplicar e analisar os valores de SPI em regiões com regimes climáticos variáveis, no caso de clima mais seco, deve-se focar na duração da seca e não apenas na sua gravidade.

No Brasil, Silva *et al.* (2020), Gandu *et al.* (2015), Fechine (2015), Macedo *et al.* (2011) e Blain *et al.* (2010) realizaram estudos com o intuito de aplicar o SPI no monitoramento e caracterização das secas para os estados, utilizando uma escala regional, que foi adaptada para a área de estudo. O trabalho realizado por Silva *et al.* (2020) buscou caracterizar os eventos extremos e suas causas climáticas através da utilização do SPI para o Leste do Nordeste Brasileiro. Desse modo, eles concluíram que, o SPI mostrou-se capaz de quantificar eventos de seca ou de abundância de chuvas, assim como monitorar a precipitação, revelando ser uma ferramenta eficiente para ser utilizada na mitigação de secas.

Já o estudo realizado por Fechine (2015) teve como finalidade identificar as secas meteorológicas na região Metropolitana de Fortaleza. Foi utilizado o SPI na escala quadrimestral (04 meses), correspondendo aos meses de fevereiro a maio. Os eventos de seca apontados pelo índice foram correlacionados com os episódios de El Niño, La Niña, Dipolo do Atlântico Tropical e com a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Desse modo, verificou-se que, quase todos os eventos de seca encontrados pelo índice foram em anos de atuação do fenômeno El Niño, em conjunto com o gradiente meridional de anomalia da Temperatura de Superfície do Mar (TSM). Além disso, também foi observado pelo autor que, as principais secas ocorridas na área de estudo, foram classificadas entre moderadas a severas.

Macedo *et al.* (2011) realizaram o monitoramento e a identificação da intensidade das secas, assim como dos períodos chuvosos para a cidade de Campina Grande no estado da Paraíba. Para isso, os autores utilizaram o SPI em diversas escalas temporais (01, 03, 06, 12 e 24) e constataram que o índice expressa de forma satisfatória a realidade pluviométrica da região. Nascimento *et al.* (2017) utilizaram a metodologia do SPI para quantificar os eventos extremos de seca e chuva no estado do Maranhão no período de 1987- 2015. Os autores delimitaram o estado em 5 cinco regiões homogêneas, e que o SPI-6 explica bem o regime pluviométrico, apresentado duas estações bem definida. A maioria dos eventos secos / chuvosos ocorreram em anos El Niño/La Niña.

Para Mendonça *et al.* (2007) e Cunha (2020), o El Niño é um fenômeno oceânico bem caracterizado pelo aquecimento incomum das águas superficiais na poção central e leste do Oceano Pacífico. Esse aquecimento

proporciona nas proximidades da América do Sul, algumas consequências que foram relacionadas às graves perturbações climáticas que causam ora déficit hídricos (secas anormais) ou superávit de umidade (com ciclones e chuvas com totais pluviométricos elevados em relação às normais locais e regionais) nas precipitações, em regiões habitualmente isentas de tais eventos. Já a ocorrência da La Niña, causa um resfriamento atípico das águas do Oceano Pacífico e desempenha impactos positivos nas atividades humanas, principalmente em regiões Semiáridas por proporcionar a manutenção ou aumento da umidade e das precipitações.

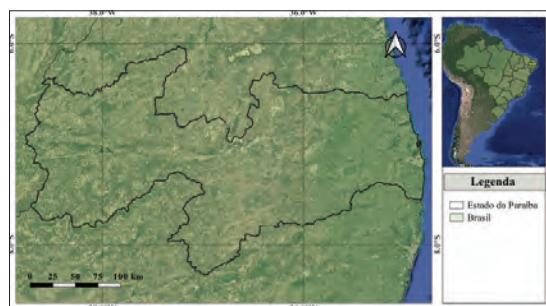
Sendo assim o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) é uma ferramenta importante na análise e monitoramento da variabilidade climática e dos eventos de seca e excesso de chuva. Para o estado da Paraíba, o estudo do SPI é particularmente relevante devido às características climáticas da região, por estar inserido no semiárido, onde a irregularidade das chuvas e a ocorrência de secas prolongadas são comuns.

Portanto, estudar o comportamento espaço temporal de áreas susceptíveis a evento extremos, ajuda no planejamento das distintas atividades, tais como: agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos. Com base no exposto, o artigo teve como objetivo avaliar e compreender variabilidade espaço temporal e espacial dos eventos secos e chuvosos ocorridos em distintas RH no estado da Paraíba, a partir Índice de Precipitação Padronizada - SPI, no período de 1962 a 2019.

## Metodologia

### Área de estudo

O Estado da Paraíba localiza-se na região Nordeste do Brasil com uma área de 56.372 km<sup>2</sup>, correspondente a 0,66% do território nacional, estando posicionado entre os paralelos 6°02'12"S e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54"E e 38°45'45"W. Ao norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o Estado do Ceará; e ao sul, com o Estado de Pernambuco (fig. 1), (IBGE, 2024).



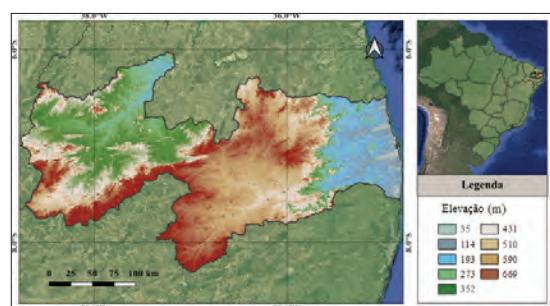
*Fig. 1 - Map of Brazil highlighting the State of Paraiba.*

### Relevo e clima

O relevo da Paraíba é bastante diversificado e pode ser dividido em três grandes unidades geomorfológicas: A faixa litorânea é relativamente plana e caracteriza-se pela presença de praias, dunas e tabuleiros costeiros, com altitudes que variam de 0 a 200 metros. O Planalto da Borborema é a região mais elevada do estado, com altitudes que podem chegar a 1.197 metros. É uma formação antiga e bastante erodida, com paisagens de serras, chapadas e vales profundos. Finalmente, a Depressão Sertaneja, situada entre o Planalto da Borborema e a faixa litorânea, apresenta altitudes menores, geralmente entre 200 e 500 metros, e é caracterizada por uma paisagem de transição entre o litoral e o sertão (Francisco; Santos, 2017) (fig. 2).

A geomorfologia da Paraíba é influenciada pela sua posição geográfica e pela variedade de formações geológicas que compõem o estado: As Formações Sedimentares, abrangendo arenitos e calcários, estão presentes principalmente na faixa litorânea, nomeadamente nas falésias e os tabuleiros costeiros. As Formações Cristalinas dominam o Planalto da Borborema e são compostas principalmente por rochas ígneas e metamórficas, como granito e gnaisse. Essas formações são responsáveis pelas serras e chapadas que caracterizam a região. Nas planícies e nos vales dos rios, especialmente na Depressão Sertaneja, encontram-se Depósitos Aluviais formados por sedimentos trazidos pela água, como argilas, areias e siltes.

Essas características combinadas tornam a Paraíba um estado de contrastes, com paisagens que vão desde praias paradisíacas até serras imponentes e sertões áridos.

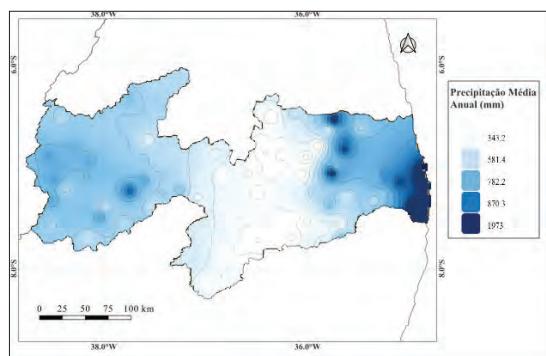


*Fig. 2 - Hypsometric map of the State of Paraiba - Brazil  
(Source: adapted from Brazil in Relief 2025).*

O clima da Paraíba varia consideravelmente de acordo com a região: No Litoral, o clima é tropical úmido, com temperaturas médias anuais em torno de 25°C a 30°C e uma estação chuvosa que se estende de março a agosto. O clima é tropical semiárido, com chuvas concentradas

no primeiro semestre do ano e temperaturas médias anuais entre 22 °C e 26 °C. No Sertão, o clima é semiárido, caracterizado por longos períodos de seca, chuvas irregulares e temperaturas médias anuais altas, que podem ultrapassar os 30 °C. A estação chuvosa é curta e ocorre geralmente entre janeiro e abril (AES, 2022).

A variabilidade espaço-temporal da precipitação é bastante diversificada, como consequência da atuação de diferentes sistemas atmosféricos ou resposta aos efeitos dinâmicos provocados pela sua posição geográfica e orografia. Os totais médios anuais de precipitação decrescem rapidamente no sentido leste-oeste até região central, em seguida aumenta gradativamente até o extremo oeste do estado, com precipitações que variam entre 300 mm na região central (mais seca) até superiores a 1900 mm no litoral como é identificado na fig. 3. As chuvas no estado são afetadas pela atuação de diferentes sistemas atmosféricos que atua em distintas épocas do ano, tais como: ZCIT, VCAS, Ondas de Leste, Brisas (Gan e Kousky, 1986; Uvo, 1989; Ferreira; Mello, 2005). No setor leste o período mais chuvoso ocorre de maio a julho, cuja precipitação é proveniente dos sistemas de leste, tais como ondas de leste e brisas (Ferreira; Mello, 2005). Na região central e oeste o trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril, os quais são influenciados pela ZCIT e VCANs (Uvo, 1989) e efeitos dinâmicos devido à orografia (planalto da Borborema).



**Fig. 3 - Distribuição espacial da precipitação no período de 1962 a 2019.**

**Fig. 3 - Spatial distribution of precipitation in the period from 1962 to 2019.**

## Dados Utilizados

Os dados mensais utilizados neste estudo são provenientes de séries temporais de 96 postos pluviométricos especializados no Estado da Paraíba no de 1962 a 2019 (fig. 3). Esses dados foram obtidos da Agência Executiva de Gestão das Águas (AES). Nesta pesquisa determinaram-se os Índices Secas nas escalas de tempo de três e seis meses (SPI-3 e SPI-6) para seis regiões homogêneas previamente determinadas.

## Análise de agrupamento

As regiões homogêneas (RH) foram obtidas a partir do método de agrupamento hierárquico. Os métodos de agrupamentos em geral permitem classificar elementos de um conjunto em grupos homogêneos a partir da identificação de suas características comuns. O conjunto é particionando em diferentes grupos de padrões semelhantes (Ahmad; Starkey, 2018). De acordo com Karaboga e Ozturko (2011) o objetivo da Análise de Agrupamentos é agrupar dados em grupos (clusters) de tal forma que as semelhanças entre membros de dentro do mesmo cluster sejam máximas, enquanto as semelhanças entre membros de diferentes clusters são mínimas. Entre os métodos de classificação conhecidos na literatura, optou-se determinar as RH pelo método de hierarquização proposto por Ward 1963, por apresentar melhor coerência espacial com o regime pluviométrico da região. Este método utiliza como função de agrupamento a Distância Euclidiana e como critério de agrupamento a soma dos quadrados dos desvios.

Segundo Wilks (2006) a função de dissimilaridade ou similaridade empregada para medir a distância entre duas variáveis ou para designar o quanto eles são semelhantes é a distância euclidiana dada pela Equação (1):

$$d_{ij} = [X_i - X_j] = \left[ \sum_{k=1}^p (X_{i,k} - X_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

em que

$X_{ik}$  é o valor da variável  $X_k$  para o objeto  $i$ ;

$X_{jk}$  é o valor da variável  $X_k$  para o objeto  $j$  e

$p$  variáveis usadas  $X_1, X_p$

O método de Ward interliga as amostras por suas associações e considera, para a formação inicial dos grupos, aqueles indivíduos que proporcionam a menor soma de quadrados dos desvios. As regiões homogêneas foram obtidas por meio de uma matriz de dados, organizada da seguinte maneira: as linhas são compostas pelas microrregiões e as colunas pelos valores médios da precipitação para todo o período.

Segundo Wilks (2006) e Bem *et al.* (2015) a função de dissimilaridade é empregue como critério para medir a distância entre dois pontos ou para designar o quanto eles são semelhantes, através da raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças de valores para cada variável.

O método hierárquico de Ward procura por partições que minimizem a perda associada a cada agrupamento (Everitt, 1974; Bussab *et al.*, 1990; Mingoti, 2005). A perda é calculada mediante diferença entre a soma dos erros quadráticos entre os indivíduos e a média da partição em que está contido, conforme Equação (2):

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (2)$$

em que:

n é o número total de elementos do agrupamento e  
 $x_i$  é o i-ésimo elemento do agrupamento.

#### *Índice Normalizado de Precipitação (SPI)*

O Índice Normalizado de Precipitação (SPI) é utilizado para estudar flutuação da precipitação de um determinado local em diferentes escalas de tempo, necessitando apenas dos dados da precipitação. Pode ser determinado para diferentes escalas de tempo, de mensal a anual, passando por sazonal ou semestral. Estas escalas refletem as condições de curto prazo que são importantes para monitoramento das secas-

O cálculo do SPI consiste inicialmente em ajustar uma função densidade de probabilidade à distribuição de frequência da precipitação de uma determinada localidade. Há uma variedade de distribuições de probabilidade usadas para representar um conjunto de dados. A escolha frequente, usada para representar dados de precipitação, é a distribuição Gama (Wilks, 2006). A função densidade de probabilidade Gama é dada por:

Em que:

$\alpha > 0$  (parâmetro de forma)

$\beta > 0$  (parâmetro de escala)

$x > 0$  (quantidade de precipitação)

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \text{ (função Gama)} \quad (3)$$

Nos casos em que a série pesquisada se ajustar a uma distribuição gaussiana, o SPI pode ser obtido simplesmente subtraindo-se cada valor da precipitação a sua média e dividindo pelo desvio-padrão (Wilks, 2006):

$$SPI = Z_i = \frac{x_i - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (4)$$

Sendo:

i: escala temporal (3, 6 ou 12 meses)

$X_i$ : precipitação acumulada no período considerado

$\bar{X}_i$ : média da série precipitação no período considerado

$\sigma_i$ : desvio-padrão da série de precipitação no período considerado

A precipitação total para o período é então especificada com um valor de SPI consistente com a probabilidade. Ou seja, valores de SPI positivos ou negativos significam valores superiores ou inferiores à mediana da precipitação. Os valores diferentes de zero são uma medida probabilística da gravidade de um evento ser

chuoso ou seco, que pode ser usado para avaliação de risco. O valor zero indica precipitação média. Na TABELA I constam as categorias de SPI de acordo com o descrito por McKee *et al.* (1993).

TABELA I - Caracterização dos eventos secos e chuvosos segundo o SPI.

TABLE I - Characterization of dry and rainy events according to the SPI.

Valor do SPI	Categoria
>2,00	Chuva Extrema
1,51 a 2,00	Chuva Severa
1,01 a 1,50	Chuva Moderada
0,51 a 1,00	Chuva Fraca
-0,50 a 0,50	Normal
-0,51 a-1,00	Seca Fraca
-1,01 a-1,50	Seca Moderada
-1,51 a-2,00	Seca Severa
<-2,00	Seca Extrema

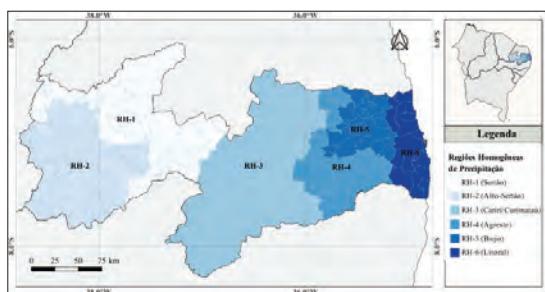
Fonte/Source: adaptado de / adapted from McKee *et al.*, 1995.

Neste estudo foi calculado o SPI nas escalas de tempo que melhor representem o monitoramento da escassez e/ou dos excessos de precipitação para o Estado da Paraíba.

#### Resultados e Discussões

##### *Regiões Homogêneas da precipitação na Paraíba*

Brito e Braga (2005) dividiram o Estado da Paraíba em seis Regiões Homogêneas (RH) de precipitação. Neste estudo, utilizaram-se séries de precipitação atualizada e procedeu-se a uma nova classificação das RH, no sentido de verificar se houve ou não alterações das obtidas anteriormente. Foi utilizada a mesma metodologia de classificação hierárquica para encontrar as RH, ou seja, o método proposto por Ward (1963), tendo como métrica a função de agrupamento a distância euclidiana e critério de agregação à soma dos quadrados dos desvios (Everitt, 1993; Wilks, 2006). O número de RH foi determinado a partir de cortes transversais no dendrograma (árvore de classificação), efetuado com base no critério de agrupamento e do conhecimento prévio do regime de chuva da Paraíba. É importante salientar que a precipitação total média anual no Estado, oscila de 300 mm nas regiões mais semiáridas e superam os 1200 mm na região litorânea (fig. 4). Levando em consideração estes procedimentos o estado foi subdividido em seis (06) Regiões Homogêneas da precipitação do ponto de vista de sua variabilidade sazonal e interanual, concordando os resultados de Brito e Braga (2005). As RH da precipitação estão ilustradas na fig. 4.



**Fig. 4 - Espacialização das regiões homogêneas da precipitação no período de janeiro de 1962 a dezembro de 2019.**

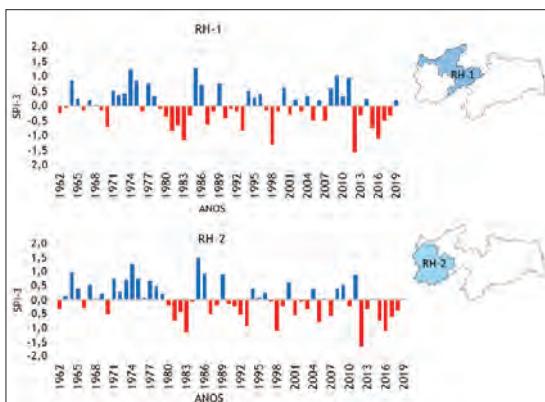
**Fig. 4 - Spatialization of homogeneous precipitation regions from January 1962 to December 2019.**

#### Análise do Índice Normalizado de Chuva (SPI)

A seguir são apresentados e analisados os resultados obtidos dos SPI para cada região homogênea do estado da Paraíba. São analisados os resultados do SPI nas escalas de tempo de 3 e 6 meses, objetivando identificar os períodos mais secos e úmidos para cada região.

Os valores obtidos para o SPI-3 estão ilustrados na fig. 5. Os maiores picos negativo -2,66 e -3,19 ocorreram em 2012 na RH1 e em 2004 na RH2, respectivamente. Essas regiões mostraram o maior número de casos de episódios de seca na escala sazonal (SPI-3).

Os anos que se destacaram com valores elevados de SPI negativos nas duas regiões foram anos de 1970, 1980, 1981, 1983, 1990, 1993, 1998, 2012, 2013, 2016 e 2018, mostrando que os resultados encontrados com a análise do SPI-3 se assemelham aos eventos de seca severa nas escalas maiores com: SPI-12 (1976, 1983, 1998); SPI-24 e SPI-48 (1999), que estão de acordo com secas históricas na região do Nordeste (Marengo *et al.*, 2017). Estas ocorrências coincidem com episódios de El Niño: 1976-1997, 1982-1983 e 1997-1998 (INPE, 2021).



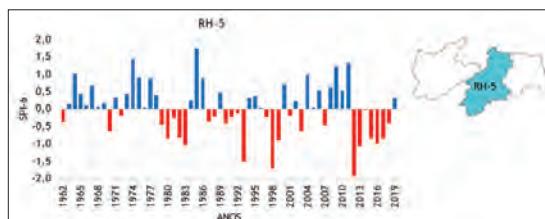
**Fig. 5 - Distribuição espacial das regiões homogêneas mais secas com base nos valores de SPI-3 no período de janeiro de 1962 a dezembro de 2019.**

**Fig. 5 - Spatial distribution of the driest homogeneous regions based on SPI-3 values from January 1962 to December 2019.**

É importante salientar que as RH1 e RH2 (fig. 5), têm sua concentração de chuvas entre janeiro e abril, visto que seu maior índice pluviométrico ocorre no mês de março. Sendo assim as chuvas nessas regiões estão associadas aos efeitos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e efeitos orográficos locais (Gan; Kousky, 1986; Ferreira; Mello, 2005).

No fig. 6, são ilustradas as séries temporais do SPI-6 para as RH5, podendo-se observar que os anos mais secos foram de 1981, 1993, 1998, 2012, 2013, 2016, 2017 e 2018; os anos de 1998 e 2016 como já comentado da seção anterior, teve eventos de El Niño, responsável por ocorrência de secas no nordeste brasileiro. O SPI-6 para RH5 apresentou alta flutuação entre SP-6 negativos (secas) e positivos (chuvinhos), tendo assim, poucos períodos com meses seguidos considerados normais (sem anomalias).

Entre os valores negativos de Precipitação pelo SPI para as RH5, tem-se o ano de 2016 (-3,28) o menor valor, o qual não apresentou união de escalas temporais diferentes nem fenômeno com forte atuação, apenas vestígios da escala decadal. A ausência dos fenômenos e a não junção de escalas nas mesmas fases podem ser as possíveis causas de anos com valores de precipitação baixos (Da Silva *et al.*, 2020).



**Fig. 6 - Distribuição espacial das regiões homogêneas mais secas com base nos valores de SPI-6 para o período de janeiro de 1962 a dezembro de 2019.**

**Fig. 6 - Spatial distribution of the driest homogeneous regions based on SPI-6 values from January 1962 to December 2019.**

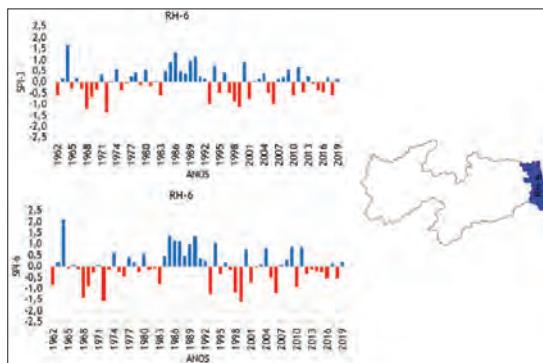
O período chuvoso da RH5, desloca de oeste para leste, assim, sua quadra chuvosa iniciando em fevereiro e vai até maio, sendo abril o mês com maiores índices pluviométricos. Tem como principal sistema meteorológico responsável pela pluviosidade na região a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

As séries temporais do SPI-3 e SPI-6 (fig. 7) ocorreram períodos mais chuvosos que decorrem nos anos de 1963 a 1964; 1978 a 1979; 1989 a 1990 e de 2004 a 2011. Nestes anos os maiores valores de SPI (> 2,0) caracterizando precipitação de extrema intensidade, sendo que o período de 63/64 ocorreu uma transição de El Niño fraco para La Niña moderada. O máximo pico

de precipitação 2,85 para SPI-3 ocorreu em 1989 ano de La Niña, coincidindo com a fase quente da Oscilação Decadal do Pacífico, contribuindo para o um aumento na precipitação nestas regiões (Mantua *et al.*, 1997).

Para os SPI-6 os extremos positivos ocorreram principalmente em 1985 a 1991 atingindo valores de 2,94 em 1964 e 2,35 em 1990. Lembrando que os eventos chuvosos observados em 1967 (SPI-6, SPI-12), 1968 (SPI-1), 1988 (SPI-24, SPI-48) e 2000 (SPI-3, SPI-6, SPI-12), coincidem com os episódios de La Niña: 1967-1968, 1988-1989 e 1999-2000 (INPE, 2021).

A fig. 7 ilustra as séries temporais dos SPI-3 e SPI-6 para a RH6. Os maiores valores de SPI's estão ligados a escala sazonal e interanual de 1-2 anos associada ao ENOS, essas escalas se revelaram dominantes por estarem presentes em toda a série.



**Fig. 7 - Distribuição espacial das regiões homogêneas mais úmidas com base nos valores de SPI-3 e SPI-6 para o período de janeiro de 1962 a dezembro de 2019.**

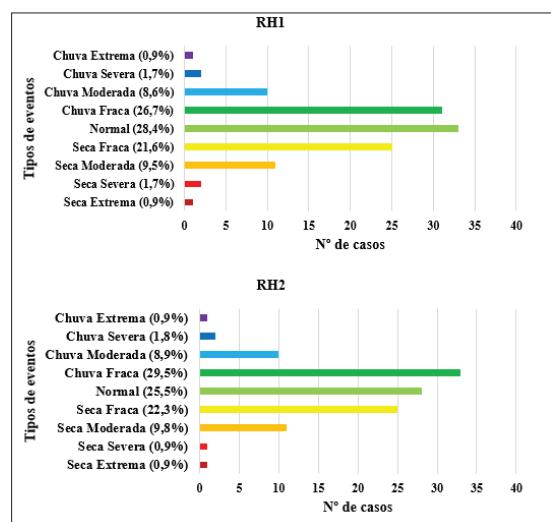
*Fig. 7 - Spatial distribution of the wettest homogeneous regions based on SPI-3 and SPI-6 values for the period from January 1962 to December 2019.*

Considerando que o período chuvoso RH6 se inicia em abril e vai até julho sendo junho o mês com índices de precipitação mais elevados. Observa-se ainda que durante todos os meses do ano os totais pluviométricos mais elevados ocorrem no litoral sul da Paraíba. As chuvas nesta região são favorecidas pelas Ondas de Leste (são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos Ventos Alísios, e se deslocam de Oeste para Leste, ou seja, desde a costa da África até o Litoral leste do Brasil (Nascimento, *et al.* 2019).

#### *Probabilidade de ocorrência de diferentes categorias de período úmido e seco*

Na classificação dos eventos secos e chuvosos do Estado da Paraíba através da aplicação do índice de SPI, os resultados mostraram que os eventos mensais normais foram os mais frequentes em todas as regiões homogêneas (RH).

A probabilidade de ocorrência de várias categorias de períodos úmidos e secos nas RH's 1 e 2, é apresentada na fig. 8. Para SPI-3, retratada na fig. 7, os resultados mostram que o período normal apresenta o maior percentual e probabilidade de ocorrência variando entre 28,4% na RH1 e 25,5% na RH2. Isso é seguido por chuva fraca com porcentagem e probabilidade de ocorrência de 26,7% na RH1 e 29,5% na RH2. Os períodos extremamente seco e extremamente úmido apresentaram as menores porcentagens, 0,9% e 0,9%, nas duas RH's.



**Fig. 8 - Distribuição da frequência dos eventos, por categoria do SPI-3, para as Regiões homogêneas (1 e 2).**

*Fig. 8 - Event frequency distribution, by SPI-3 category, for homogeneous regions (1 and 2).*

O histograma de frequências das 7 categorias do SPI-6 é ilustrado na fig. 9. De modo geral, observa-se que a frequência dos eventos secos/úmidos é inversamente proporcional à escala de tempo do SPI, isto é, à medida que a escala de tempo do SPI aumenta a frequência de eventos secos/chuvosos diminui (Dos Santos *et al.*, 2017).

Na análise do SPI-6 para a RH5, os resultados, expostos na fig. 8, revelaram que a categoria normal apresentou a maior porcentagem e probabilidade de ocorrência. Observa-se que os períodos úmidos obtiveram 28,9% de ocorrência, e os eventos extremamente úmidos, especificamente, apresentaram a menor porcentagem (1,3%). Enquanto os períodos secos totalizaram 25% com intensidades variadas. A persistência de períodos de seca requer atenção, visto que, os eventos menos intensos de secas podem se desenvolver para mais intensos, de acordo com a atuação de fenômenos externos (Nascimento *et al.*, 2017), o que pode contribuir com agravamentos nos setores hídricos.

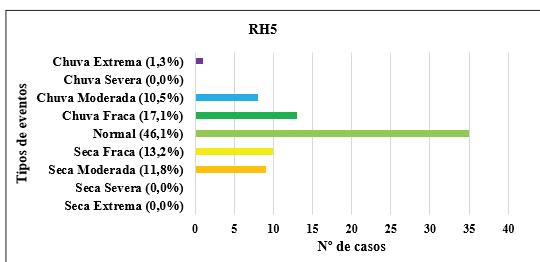


Fig. 9 - Distribuição da frequência dos eventos, por categoria do SPI-6, para as Regiões homogêneas (5 e 7).

Fig. 9 - Event frequency distribution, by SPI-6 category, for homogeneous regions (5 and 7).

Para a RH6, a distribuição de frequência do SPI (3 e 6) (fig. 10) registrou a distribuição de eventos 28,1% (SPI-3) e 15,5% (SPI-6) de chuva fraca, 8,8% (SPI-3) e 8,5% (SPI-6) de chuva moderada, 0,9% (SPI-3) e 1,4% (SPI-6) de chuva severa. O maior valor de SPI positivo registrado foi de +2,85 em 1989, ano que houve atuação do fenômeno La Niña de forte intensidade conforme CPTEC (2018) o que intensifica o evento de precipitação.

A maioria das secas foram de intensidade fraca, seguida por seca moderada, tendo somente 0,9 % de seca severa, corroborando com Macedo *et al.* (2010), que segundo seus resultados os eventos de seca mostraram-se mais frequentes que os eventos de chuvas, tendo duração de 14 meses, contudo as incidências de eventos chuvosos foram mais intensos, como resultados encontrados também por Bonfim e Da Silva (2017).

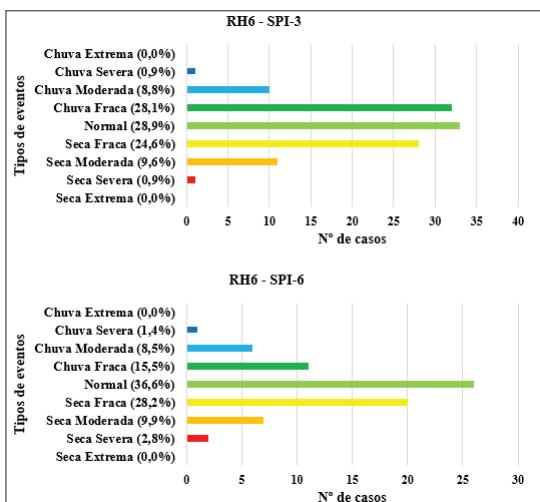


Fig. 10 - Distribuição da frequência dos eventos, por categoria do SPI-3 e SPI-6, para a RH6.

Fig. 10 - Event frequency distribution, by SPI-3 and SPI-6 category, for RH6.

As quantidades de secas leves e secas moderadas foram maiores que os de chuvas leves e chuvas moderadas em todas as RH's analisadas; a persistência de secas com inten-

sidade leve requer atenção, visto que, os eventos menos intensos de secas podem se desenvolver para mais intensos, consoante à atuação de fenômenos externos (Nascimento *et al.*, 2017), contribuindo com possíveis agravamentos nos setores hidrográfico, e agro econômico. Cabe ressaltar que, todos os episódios de secas leves de cada cidade ultrapassam o total de todas as respectivas chuvas juntas.

O SPI tem sido utilizado para classificação de secas por diferentes pesquisadores em todo mundo, dentre eles destacam-se Macedo *et al.*, 2010); Piauí (Guedes *et al.*, 2012); Espírito Santo (Uliana *et al.*, 2015); Bahia (Sousa *et al.*, 2016); Maranhão (Nascimento *et al.*, 2017); Amazônia (Santos *et al.*, 2017); São Paulo (Bonfim e Da Silva, 2018); Estados Unidos (Cañón *et al.* (2007); na Bacia do rio Huaihe na Yan-jun *et al.* (2012) dentre outros, mostrando que SPI é uma importante ferramenta na detecção dos eventos extremos de chuvas/secas.

Bonfim e Da Silva (2018) as ocorrências de extremos de chuvas ocasionam um aumento significativo na intensidade e não necessariamente na frequência de eventos de chuvas. Os casos de chuvas leves a extremas se apresentam em menor número, mas com maior intensidade.

Recentemente Da Silva *et al.* (2020) analisaram casos/anos de eventos secos e chuvosos no período de 1961 a 2014, para o leste do Nordeste do Brasil através do índice SPI-1 e na distribuição de frequência do SPI, verificaram que 38,42% dos eventos ocorreram na categoria de seca e 27,32 % dos eventos na categoria úmida. O SPI-3 e SPI-6 indicam tendências sazonais a médio prazo na precipitação (pode estar associado a fluxos anômalos e níveis de reservatórios), SPI-12, SPI-24 e SPI-48 que pode ser usado como um indicador para redução da recarga do reservatório e da água subterrânea, todos mostram tendência negativa (Svoboda, *et al.*, 2012).

Foram verificados eventos de secas por todos os SPIs analisados no estudo e este fato possivelmente sofreu influência do fenômeno El Niño, principalmente a seca histórica que ocorreu em todo o Estado no ano de 1998. Assim como as secas observadas entre 2014/2016. As secas observadas em 2012/2014 possivelmente foram fortemente influenciadas pelas anomalias da TSM do Oceano Atlântico (Dipolo do Atlântico), visto que nesse período havia atuação de La Niña fraca.

#### Importância do Estudo do SPI para os Recursos Hídricos da Paraíba

Este índice é uma ferramenta fundamental na avaliação e monitoramento das condições de seca e de chuvas excessivas, proporcionando uma base sólida para a tomada de decisões relacionadas à gestão hídrica. A seguir estão alguns pontos que destacam a importância do estudo do SPI para os recursos hídricos da Paraíba: Monitoramento de Secas e Chuvas: O SPI permite

monitorar e quantificar a severidade das secas e dos períodos de chuvas excessivas. No contexto da Paraíba, onde a variabilidade climática é alta e as secas são frequentes, este índice ajuda a identificar períodos críticos e a planejar ações de mitigação:

- A Gestão de Recursos Hídricos: Com a ajuda do SPI, é possível planejar melhor a alocação e o uso dos recursos hídricos. Durante períodos de seca, medidas como o racionamento de água, a construção de cisternas e a implementação de sistemas de irrigação eficientes podem ser adotadas. Em períodos de chuvas intensas, o SPI ajuda a prever e a gerenciar enchentes e a garantir que a infraestrutura hídrica, como barragens e reservatórios, seja utilizada de forma eficaz;
- O Planejamento Agrícola: A agricultura é uma atividade essencial na Paraíba, e a variabilidade climática pode impactar significativamente a produção agrícola. O SPI fornece informações valiosas para o planejamento das safras, ajudando os agricultores a decidir o melhor momento para plantar e colher, além de identificar a necessidade de técnicas de irrigação ou de proteção contra chuvas excessivas;
- As Políticas Públicas e Planejamento de Emergências: O estudo do SPI pode subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas para a gestão dos recursos hídricos e a mitigação dos impactos das secas e das enchentes. Além disso, é uma ferramenta importante para o planejamento de emergências, permitindo que as autoridades antecipem problemas e implementem medidas preventivas e de resposta rápida;
- A Conservação Ambiental: A conservação dos ecossistemas aquáticos e a gestão sustentável dos recursos naturais dependem de um monitoramento eficaz das condições climáticas. O SPI ajuda a identificar períodos de stress hídrico que podem afetar a fauna e a flora locais, orientando ações de conservação e manejo ambiental.

Alguns exemplos de aplicação do SPI na Paraíba são:  
**Açudes e Reservatórios:** Monitoramento dos níveis de água e planejamento de operações de liberação e retenção de água. Sistema de Alerta de Secas: Implementação de sistemas de alerta precoce para comunidades vulneráveis. **Planejamento Agrícola:** Orientação sobre melhores períodos para o plantio e colheita, bem como a escolha de culturas mais resilientes à seca.

## Conclusão

A aplicação da técnica do Índice de Precipitação Normalizada-SPI no estado da Paraíba possibilitou avaliar e conhecer frequência de ocorrer dos eventos extremos climáticos, que ocorrem no estado da Paraíba no período de 1962 a 2019 e chegar as seguintes conclusões:

- Os SPI's mudam com o aumento da escala temporal, à medida que as escalas crescem, as séries vão apresentando menores picos e os períodos de seca são mais prolongados;
- A quantidade de secas leves e moderadas estão associados a magnitude dos índices pluviométricos (baixos/moderados) para todas as regiões homogêneas. Os episódios de normalidade ultrapassam os totais das respectivas classes de chuvas juntas, no entanto, casos com intensidade extrema de precipitação são mais persistentes, quando comparado aos eventos de seca de mesma intensidade. A RH2 e RH6 apresentaram mais ocorrências de eventos chuvosos do que secos nas duas SP3 e SPI-6 respectivamente;
- Grande parte dos eventos de chuva e seca estão associados, principalmente, ao fenômeno ENOS, apesar disso observou-se um comportamento convencional do fenômeno, fato relacionado ao tipo de ENOS, Canônico ou Modoki;
- O Índice de Precipitação Normalizada mostrou-se eficaz para quantificar os eventos secos e chuvosos, assim como no monitorando déficit/excesso de precipitação, ressaltando a importância dessa ferramenta para avaliar a variabilidade espaço-temporal de uma região, uma vez que identifica eventos secos/úmidos como base em valores mensais;
- O Índice de Precipitação Padronizado é uma ferramenta essencial para a gestão dos recursos hídricos na Paraíba, fornecendo dados cruciais para o monitoramento das condições climáticas, a gestão sustentável da água, o planejamento agrícola e a formulação de políticas públicas. A sua utilização pode contribuir significativamente para a mitigação dos impactos das secas e enchentes, promovendo a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental no estado.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro, e a Universidade Federal de Campina Grande-UFCG.

## Referências bibliográficas

- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS (2022). Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>
- Ahmad, A. U., Starkey, A. (2018). Aplicação de métodos de seleção de recursos para análise automatizada de agrupamento: uma revisão sobre conjuntos de dados sintéticos. *Neural Comput & Applic* 29, 317-328. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3005-9>

- Araújo, F. J. C. de, Correia, R. C., Cunha, T. J. F., Oliveira Neto, M. B. de, Araújo, J. L. P., Silva, M. M. de L. (2019). Ambientes e solos do semiárido: potencialidades, limitações e aspectos socioeconômicos. In: Ximenes, L. F., Silva, M. S. L. dá; Brito, L. T. de L. (ed.). *Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 19-84. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1111513>
- Bonfim, O. E. T., Da Silva, D. F. (2018). Influência do ENOS canônico e modoki sobre a ocorrência de eventos extremos na bacia hidrográfica Aguapeí-Peixe (SP). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 3, 83-94.  
DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0007>
- Blain, G. C., Pezzopane, J.R.M., Pezzopane, J.E.M., Bonomo, R. (2010). Índice Padronizado de Precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 10, 1067-1073.  
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001000007>
- Brito, J. I. B. de; Braga, C. C. (2005). Chuvas no estado da Paraíba em 2004. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n 1, 27-32.
- Bussab, W. de O., Miazaki, E. S., & Andrade, D. F. de. (1990). *Introdução à análise de agrupamentos*. São Paulo: IME-USP.
- Cañón, J., González, J., Valdés, J. (2007). Precipitation in the Colorado River Basin and its low frequency associations with PDO and ENSO signals. *Journal of Hydrology*, v. 333, 252-264.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.08.015>
- Cunha, S. C. M. (2020). *Variabilidade da precipitação e a prática turística em foz do Iguaçu-PR: interações e repercuções no Parque Nacional do Iguaçu (Tese doutorado)*. UNESP, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), 205.
- Da Silva, D. F., Lima, M. J. S., Souza Neto, P. F., Gomes, H. B., Silva, F. D. S., Almeida, H. R. R. C., & Pereira, M. P. S. (2020). Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, 449-464.  
DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p449-464>
- Dantas, J. C., Silva, R. M., Santos, C. A. G. 2020. Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin. *Environ Monit Assess*, v. 192.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020- 8219-0>
- Dos Santos, S. R. Q. D., Braga, C. C., Sansigolo, C. A., & Santos, A. P. P. D. (2017). Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.32, n. 1, 111-122.  
DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778632120160013>
- Everitt, B. S. (1974). *Cluster Analysis*. London: Heinemann Educational Books, 121 p.
- Fechine, J.A.L. (2015). Identificação de secas meteorológicas na região metropolitana de Fortaleza, usando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). *Boletim de Geografia*, v. 33, n. 2, 18 p.  
DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v33i2.22671>
- Fedorova, N. (2001). *Meteorologia Sinótica*, V. 1. Pelotas, Editora Universitária - UFPel, 242 p.
- Ferreira, A. G., Mello, N. G. S. (2005). Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, 15 - 28.
- Francisco, P. R. M., Santos, D. (2017). *Climatologia do Estado da Paraíba*, Campina Grande: ADUFCG, 75 p.
- Gan, M. A., Kousky, V. E. (1986). Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 1, 19-28.
- Ganapathi, H. (2018). Assessment of drought severity using Standard Precipitation Index in Ahmednagar district, India. *Assessment*, v. 5, n. 5, ISSN: 2395-0056, 1777-1780.
- Gandu, A. W., Silva, R.F., Martins, E. S. (2015). Drought identification in Cearà state using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Proceedings of the VI Simpósio Internacional de Climatologia*, Natal, Brazil, 13-16.
- Guedes, R. V. S., Macedo, M. J. H., Sousa, F. A. S. (2012). Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 23, 55-65.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PORTAL CIDADES (2024). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>
- INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). (2021). El Niño e La Niña. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>
- Karaboga, D., Ozturk, C. (2011). A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. *Applied soft computing*, v. 11, n. 1., 652-657.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.12.025>
- Lopez-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., García-Ruiz, J.M., Portela, M.M. et al. (2009). Dam effects on droughts magnitude and duration

- in a transboundary basin: The Lower River Tagus, Spain and Portugal. *Water Resour. Res.*, v. 45, n. 2, W02405.
- DOI: <https://doi.org/10.1029/2008WR007198>
- Macedo, M. J. H., Guedes, R. V. S., Souza, F. A. S., Dantas, F. R. C. (2010). Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. *Ambiente Água, Taubaté*, v. 5, n. 1, 204-214.
- Mantua, N. J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., Francis, R.C. (1997). A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78, 1069-1079. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2)
- Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, 1189-1200.
- DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- Marengo, J. A., Jimenez, J. C., Espinoza, J. C., Cunha, A. P., Aragão, L. E. L. O. (2022). Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. *Scientific Reports*, v. 10, 457 p.
- DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. In: Conference on Applied Climatology, 9, 1995. Dallas, Texas. *American Meteorological Society*, 233-236.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, 17-22 January 1993, 179-184.
- Mendonça, F., Oliveira, I. (2007). *Climatologia noções básicas e climas do Brasil*, São Paulo: Oficina de Textos, 208 p.
- Mingoti, S. A. (2007). *Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma abordagem Aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 297 p.
- Nascimento, F. C. A., Braga, C. C., Araújo, F. R. C. D. (2017). Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, 375-386.
- DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863230005>
- Nascimento, M. B. DO; Bandeira, M. M., Araújo, L. E. DE. (2019). Variabilidade climática da precipitação do município de Areia/Paraíba, Brasil. *Gaia Scientia*, v. 13, n. 3, 24-37.
- DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2019v13n3.41925>
- Santos, J. F., Portela, M.M. (2010). Caracterização de Secas em Bacias Hidrográficas de Portugal Continental: Aplicação do Índice de Precipitação Padronizada, SPI, a Séries de Precipitação e de Escoamento. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 1-19.
- Santos, S. R. Q., Braga, C. C., Sansigolo, C. A., Santos, A. P. P. (2017). Determinação de Regiões Homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 1, 111-122.
- DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778632120160013>
- Santos, K. M. S. (2020) *Avaliação da Eficiência do Monitor de Secas para Definição de Secas em Sergipe. (Dissertação de Mestrado)*, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 147 p.
- Silva, D. F da., Lima, M. J. S., Souza Neto, P. F., Gomes, H. B., Silva, F. D. S. et al. (2020). Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, 449-464.
- DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p449-464>
- Sousa, F. A. S., Macedo, M. J. H., Guedes, R. V. S., Silva, V. P. R. (2016) O Índice de Precipitação Padronizada (IPP) na identificação de extremos de chuvas e secas na bacia do rio Paraguaçu. *Ambiência*, v. 12, n. 2, 707-719.
- DOI: <https://doi.org/10.5935/ambiciencia.2016.02.14>
- Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. (2012). *Standardized precipitation index user guide*. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- Svoboda, M., Fuchs, B. (2017). Handbook of Drought Indicators and Indices Integrated Drought Management Programme (IDMP). World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
- Uliana, E. M., Dos Reis, E. F., De Souza A. P., Da Silva, J. G. F. e Xavier, A. C. (2015). Utilização do Índice de Precipitação Padronizado para a Região Norte do Estado do Espírito Santo. *Revista Irriga*, Botucatu, v. 20, n. 3, 414-428.
- DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p414>
- Uvo, C. B. A (1989). *Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação na Região Norte do Nordeste Brasileiro (Dissertação de Mestrado em Meteorologia)*. INPE, São José dos Campos-SP.
- Wang, T. Xinjun T, Vijay P. S., Chen, X., Lin, K., Zhou, Z., Zhu, J. (2023). A CMIP6-based framework for propagation from meteorological and hydrological

- droughts to socioeconomic drought. *Journal of Hydrology*, v. 623.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129782>
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, v. 58, 236-244.
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2 ed, 649 p.
- Wu, H., Svoboda, M. D., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., We, F. (2007). Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, v. 27, n. 1, 65-79.
- DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1371>
- Yan-Jun, L., Zheng, X., LU, V., MA, J. (2012). Analysis of Drought Evolvement Characteristics Based on Standardized Precipitation Index in the Huaihe River Basin. *Procedia Engineering*, v. 28, 434-437.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.746>
- Zarch, M. A.A., Sivakumar, B., Sharma, A. (2015). Droughts in a warming climate: a global assessment of Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought index (RDI). *Journal of Hydrology*, v. 526, 183-195.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.071>
- Zhao Q., Chen Q., Jiao, M., Wu, P., Gao, X., Ma, M., Hong, Y. (2018). The temporal-spatial characteristics of drought in the Loess Plateau using the remote-sensed TRMM precipitation data from 1998 to 2014. *Remote Sensing*, v. 10, 838 p.
- DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10060838>



## ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DA SECA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE-BRASIL\*

57

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF DROUGHT IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE-BRAZIL

Santana Lívia de Lima

Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Biossistemas (Brasil)  
 0000-0001-7873-4299 [santana.livia@estudante.ufcg.edu.br](mailto:santana.livia@estudante.ufcg.edu.br)

Madson Tavares Silva

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)  
Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
 0000-0003-1823-2742 [madson.geotech@gmail.com](mailto:madson.geotech@gmail.com)

Célia Campos Braga

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)  
Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
 0000-0001-6383-3112 [celiadca@hotmail.com](mailto:celiadca@hotmail.com)

Mariana da Silva Siqueira

Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (Brasil)  
 0000-0002-3527-6109 [silva.siqueira@estudante.ufcg.edu.br](mailto:silva.siqueira@estudante.ufcg.edu.br)

Welinagila Grangeiro de Sousa

Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Núcleo de Gestão da Informação e Popularização da Ciência (Brasil)  
 0000-0002-5161-6345 [welinagila.sousa@pesquisa.insa.gov.br](mailto:welinagila.sousa@pesquisa.insa.gov.br)

### RESUMO

A seca é um fenômeno natural provocado pela diminuição ou falta de precipitação. Diversos estudos sobre a seca estão sendo realizados através de métodos estatísticos e modelos de previsão. O objetivo do trabalho foi analisar eventos de secas hidrológicas no Estado do Rio Grande do Norte com ênfase para os grupos (G1 e G4), e identificar secas futuras através de modelos de previsão usando dados do SPEI-24 durante o período de 1950 a 2018. Os resultados mostram que o G1 retrata condições de seca de menor intensidade e poucos episódios de seca hidrológica, evidenciando a evolução de períodos úmidos com valores máximos entre as décadas 1970-1980. O grupo G4 passa por longos períodos de deficiência hídrica, com uma maior frequência de episódios de seca hidrológica, causando um grande déficit de recursos hídricos, prejuízos na produção agrícola e pecuária, e redução da disponibilidade de água para a população. Quando aplicado o modelo de previsão ARIMA tanto o G1 como o G4 apresentaram ajustes significativos, validando assim a previsão, pois a série prevista segue um padrão da série observada para o G1 e G4.

**Palavras-chave:** Simulação, ARIMA, SPEI-24.

### ABSTRACT

Drought is a natural phenomenon caused by the decrease or lack of precipitation. Several studies on drought are being carried out using statistical methods and forecasting models. The objective of this work was to analyse hydrological droughts in the State of Rio Grande do Norte with emphasis on the groups (G1 and G4), and to identify future droughts through forecast models using SPEI-24 data during the period from 1950 to 2018. Results show that G1 portrays less intense drought conditions and few episodes of hydrological drought, evidencing highlighting the evolution of wet periods with maximum values between the 1970s and 1980s. The G4 group goes through long periods of water deficit shortage, with a higher frequency of hydrological drought episodes, causing. The result is a large deficit of water resources, benefits losses in agricultural and livestock production, and reduced water availability for the population. When the ARIMA forecast model was applied, both G1 and G4 presented showed significant adjustments, thus validating the forecast, since the predicted forecast series follows a pattern of the series observed for G1 and G4.

**Keywords:** Simulation, ARIMA, SPEI-24.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 27-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 12-03-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

A seca constitui um fenômeno que acarreta diversos problemas que podem afetar a segurança alimentar e a sobrevivência da população. Este fenômeno abrange vastas áreas do planeta, podendo atingir até 41% (Solh e Ginkel, 2014). A seca é considerada um fenômeno natural provocado pela diminuição ou falta de precipitação, isto é, escassez de chuvas, pelo Brasil e no mundo. No Brasil essa escassez ocorre com maior frequência na região Nordeste, particularmente no Semiárido (Camurça *et al.*, 2016). A ocorrência das secas no semiárido teve um grande destaque nos anos 2012 e 2013, onde 1.400 municípios da região Nordeste e do norte de Minas Gerais foram afetados de forma severa. Por se tratar de uma região que apresenta baixos índices pluviométricos, registrando uma média de 800 mm por ano, registra um maior risco de seca (Femurn, 2018).

Obviamente, a escassez de chuva e de políticas públicas voltadas para implantação de ações capazes de enfrentar as adversidades oriundas da seca acarreta a inviabilidade do desenvolvimento das áreas afetadas pela deficiência e irregularidade das chuvas, colocando diversas dificuldades à população (Santos *et al.*, 2014). Índices de seca são bastante usados para auxiliar na identificação e definição de períodos de seca, no entanto, não é fácil determinar um índice universal capaz de identificar a seca (Heim, 2012). Dentre os numerosos índices existentes estão o SPI (Índice Padronizado de Precipitação), PDSI (Índice de Severidade de Seca de Palmer) e o SPEI (Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração).

O Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) adapta os variados tempos de resposta das variáveis hidrológicas à variabilidade climática e facilita a identificação da complexidade da resposta do ecossistema a várias escalas de tempo de seca (Vicente-Serrano *et al.*, 2010). O SPEI avalia a gravidade da seca conforme sua intensidade e duração, e identifica o início e fim dos episódios de seca ao longo do tempo e do espaço.

O SPEI tem como vantagem sobre os outros índices o fato de considerar o efeito de valores de temperatura e evapotranspiração potencial (ETP) na severidade da seca, onde suas características permitem identificar diferentes tipos de seca e seus impactos (Vicente-Serrano *et al.*, 2012). Atualmente vários estudos têm sido realizados com o intuito de tornar público medidas e elementos mitigadores dos efeitos das secas, dentre eles podem ser citados, Andrade e Nunes, 2014; CGEE, 2016; Lima *et al.*, 2019.

Conforme Solh e Ginkel, (2014), a seca pode ser definida como um evento climático difícil de ser previsto, mas intervenções e estratégias podem ajudar as populações a estarem mais preparadas para conviverem com o fenômeno, como a utilização de modelos estatísticos

como, análise de tendências, o teste de estacionariedade de Dickey-Fuller, o teste de tendência de Mann Kendall e Pettitt assim como os modelos de previsão como o Auto Regressivo Integrado de Media Móvel (ARIMA). De acordo com Maia e Cribari-Neto, (2006), o teste de estacionariedade de Dickey-Fuller é utilizado para verificar a existência de raiz unitária nos polinômios autorregressivos de séries temporais, onde o número de raízes unitárias é dado pela quantidade de vezes que a série deve ser integrada para se transformar em estacionaria.

O teste de Mann-Kendall tem sido extensivamente utilizado para analisar tendências climáticas em séries climáticas. Além disso, a detecção de tendências mostra-se de extrema importância no sentido de mostrar antecipadamente projeções que virão acontecer e assim auxiliar na gestão e aproveitamento hídrico. De acordo com Goossens e Berger (1986), a análise espacial de tendências permite observar as mudanças no comportamento e determinar em quais regiões uma determinada variável vem sofrendo mudanças significativas ao longo do tempo. O teste de Pettitt é bastante utilizado, pois ele permite a identificação de tendência em séries históricas, realizada através de análise estatística. Este teste não paramétrico permite confirmar a estacionariedade da série histórica, ou seja, excetuando as flutuações aleatórias, as observações são invariantes com relação à cronologia de suas ocorrências (Pettitt, 1979).

O modelo ARIMA resulta da combinação de três componentes, a componente Autorregressivo (AR), o filtro de Integração (I) e o componente de Médias Móveis (MA). A abordagem Box-Jenkins é uma das metodologias mais usadas para a análise de dados em séries temporais, podendo ser aplicada a qualquer série, estacionária ou não, com ou sem elementos sazonais. A aplicação do modelo ARIMA é composta de quatro etapas, identificação, estimativa, verificação e previsão (Fava, 2000).

Lima *et al.*, (2019), buscando verificar a distribuição de seca do estado do Rio Grande do Norte por meio de dados do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração na escala de três meses (SPEI-3), aplicou a análise de agrupamento para identificar as localidades mais úmidas e mais secas do estado. Pela análise dos resultados, foram determinados cinco grupos, dos quais se destacaram os grupos (G1 e G4). O G1 foi identificado como o grupo mais úmido e o G4 como o mais seco. A presente pesquisa tem como objetivo analisar a ocorrência de secas hidrológicas no Estado do Rio Grande do Norte, assim como identificar secas futuras através da utilização de modelos de previsão usando dados do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração na escala de vinte e quatro meses (SPEI-24).

## Material e Métodos

### Área de estudo

A área de estudo compreende o estado do Rio Grande Norte, em que faz parte da Região Nordeste Brasil, que é composto por nove Estados, Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, localiza-se entre os paralelos 4 ° 49'53.5"S e 6 ° 58'57 "S e os meridianos 35 ° 58'03 "W e 38 ° 36'12 "W (IDEMA, 2010). O Estado apresenta uma temperatura média anual de 25,5°C, sendo a máxima de 31,1°C e a mínima de 21,1°C. O número de horas de insolação anual está entre 2.400 e 2.700 horas, com destaque para a região litorânea que chega a 300 dias de sol por ano (IBAMA, 2007).

Conforme o IBGE (2010), o Estado limita-se ao norte e ao leste com o Oceano Atlântico, ao sul com o Estado da Paraíba, e ao oeste com o Estado do Ceará, apresentando uma extensão territorial de 52.796,791 km<sup>2</sup>, sendo o 22º maior estado brasileiro em dimensão territorial, correspondente a 0,62%, da área do país, e 3,40%, da Região Nordeste (Fig. 1). De acordo com a classificação de Köppen (1948), pode-se dividir o Estado do Rio Grande do Norte em três tipos de clima: úmido tropical (As ·), semi-úmido tropical (Aw ·) e semiárido quente (BSh). As médias de temperaturas rondam os 26 ° C, enquanto as precipitações são irregulares, resultando em períodos de seca com registros de índices pluviométricos inferiores a 600 mm/ano.

### Processamento dos Dados

Para esse estudo foi utilizado dados do GlobalSPEI, SPEIbase, com resolução espacial de 0,5 graus, aproximadamente 56 km, e uma resolução mensal

fornecendo escalas de tempo entre 1 e 48 meses. Esse banco de dados oferece informações robustas e de longa data sobre condições de seca em escala global. A SPEIbase se baseia em dados de precipitação e evapotranspiração potencial da Unidade de Pesquisa Climática da Universidade de East Anglia. Os dados do SPEIbase são disponibilizados no site: <https://spei.csic.es/database.html>. O índice padronizado de precipitação e evapotranspiração SPEI foi desenvolvido por Serrano *et al.* (2010), seu cálculo permite comparar a severidade da seca através do tempo e do espaço, uma vez que pode ser calculado em uma ampla variedade de climas.

O SPEI é obtido pela diferença entre a precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP), estimando, assim, a descrição da severidade das condições de seca em determinadas regiões (Lee *et al.*, 2017). Para este estudo a ETP foi estimada a partir da equação de Thornthwaite, como descrito em (Ometto *et al.*, 1981), de acordo com as seguintes equações (1- 4):

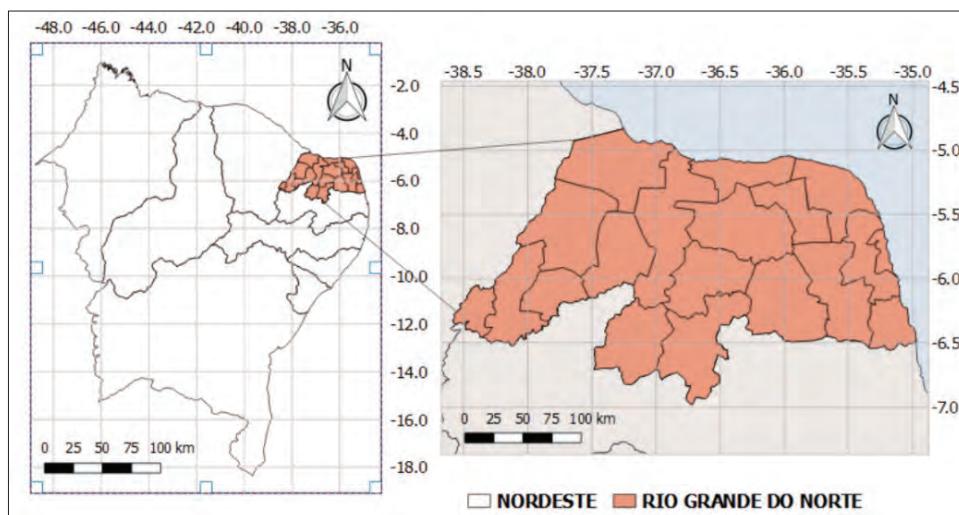
$$ETP = 16K \left( \frac{10T}{I} \right)^m \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (2)$$

$$K = \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{NDM}{30} \right) \quad (3)$$

$$m = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,492 \quad (4)$$

Em que: ETP; T é a temperatura média mensal (°C); I é o índice de calor, que é calculado como a soma de 12 valores mensais do índice (i); Ti é derivado da temperatura média mensal; K é o coeficiente de correção, calculado em função da latitude e mês, e m é um coeficiente baseado no índice de calor I; NDM é o número de dias do mês e N é o número máximo de horas de sol.



**Fig. 1 - Localização da área de estudo (Fonte: autor).**

**Fig. 1 - Location of the study area (Source: author).**

Dessa maneira, a medida simples do excedente ou déficit de água para o mês em análise foi expressa pela diferença ( $D_i$ ) entre a precipitação ( $P_i$ ) e a evapotranspiração potencial (ETPi) para o mês  $i$  obtido a partir da Equação (5):

$$D_i = P_i - ETP_i \quad (5)$$

60

Os valores de  $D_i$  calculados foram agregados em diferentes escalas de tempo para detecção de padrões temporais da seca (Equação 6). Sendo assim, os valores SPEI são calculados para as escalas mensal, trimestral, semestral e anual, especificados como SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6 e SPEI-12, respectivamente.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-i} - ETP_{n-i}), \quad n \geq k \quad (6)$$

em que:  $n$  é a frequência de cálculo e  $k$  é a escala de tempo.

O balanço hídrico, expresso por  $D_i$  é então normalizado usando a função densidade de probabilidade da distribuição log-logística para calcular a série temporal do SPEI, Equação (7):

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left( 1 + \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right)^{-2} \quad (7)$$

em que:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são parâmetros de escala, forma e origem, respectivamente, para valores de  $D$  no intervalo ( $> D < \infty$ ). A função de distribuição de probabilidade F(x) da série temporal do índice  $D_i$  é então definida como Equação (8):

$$F(x) = \int_0^x f(t) dt = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (8)$$

O SPEI (Equação 9) pode ser facilmente obtido como os valores padronizados de F(x) segundo (Serrano *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2015) como:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (9)$$

Em que  $W = (-2\ln(p))^{0.5}$ , para  $p \leq 0.5$ , sendo  $p$  a probabilidade de exceder um valor  $D$  determinado,  $p = 1 - F(x)$ . Se  $p > 0.5$ ,  $p$  é substituído por  $1-p$  e o sinal do SPEI resultante é invertido. As constantes são:  $C_0 = 2,515517$ ,  $C_1 = 0,802853$ ,  $C_2 = 0,010328$ ,  $d_1 = 1,432788$ ,  $d_2 = 0,189269$ ,  $d_3 = 0,001308$ .

Assim, SPEI torna-se uma variável padronizada, com média 0 e o desvio padrão 1 e pode ser comparado com outros valores de SPEI ao longo do tempo e do espaço. A TABELA I destaca as categorias de seca de acordo com os valores do SPEI (Mckee *et al.*, 1993; Tan *et al.*, 2015). Os autores (Mckee *et al.*, 1993; Tan *et al.*, 2015) classificam a seca em cinco categorias de acordo com os valores do SPEI, as quais são: sem seca ( $\geq -0,5$ ); seca suave ( $-1,0$ ;  $-0,5$ ); seca moderada ( $-1,5$ ;  $-1,0$ ); seca severa ( $-2,0$ ;  $-1,5$ ) e seca extrema ( $\leq -2,0$ ).

## Metodologia

Para constatar a ordem de diferenciação da série temporal, foi realizado o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller. O teste apresenta duas variações, o teste Dickey-Fuller (1979) e o Dickey-Fuller Aumentado (1981). O teste de raiz unitária Dickey-Fuller basicamente estima a auto regressão expressa pela equação (10):

$$\Delta y_t = (\rho-1) y_{t-1} + \varepsilon_t. \quad (10)$$

em que:  $\Delta y_t = (\rho-1)$  é o operador diferença e  $\gamma = \rho-1$ . Sendo assim, entende-se que a hipótese nula ( $H_0$ ) é de que existe pelo menos uma raiz unitária, logo a variável não é estacionária e  $\gamma = 0$ . Por sua vez, a hipótese alternativa ( $H_a$ ) é que a variável seja fracamente estacionária, nesse caso não há nenhuma raiz unitária e consequentemente  $\gamma < 0$ .

O teste de Mann-Kendall, é um teste não-paramétrico utilizado para avaliar tendências em séries temporais (Yue *et al.*, 2002). Esse teste foi desenvolvido por Mann (1945) e Kendall (1975).

Em que  $X_i$  e  $X_j$  são valores de dados para anos;  $n$  o numero de pontos de dados usados;  $i$  e  $j$  ( $j > i$ ) respectivamente, e  $sgn(X_j - X_i)$  é a função de sinal dada pelas equações (11) e (12):

$$ES = \sum_{t=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(X_{j-} - X_i) \quad (11)$$

$$sgn(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } X_j - X_i > 0 \\ 0 & \text{if } X_j - X_i = 0 \\ -1 & \text{if } X_j - X_i < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram que a estatística S é normalmente distribuída com média e variância dada pelas Equações (13) e (14):

$$E[S] = 0 \quad (13)$$

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n ti(ti-1)(2ti+5)}{18} \quad (14)$$

O valor da estatística Z é dado pela equação (15):

$$Z_{MK} \left\{ \begin{array}{l} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \text{ if } S > 0 \\ 0 \text{ if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \text{ if } S < 0 \end{array} \right. \quad (15)$$

$$sgn(X_j - X_i) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \text{ if } S > 0 \\ 0 \text{ if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \text{ if } S < 0 \end{array} \right. \quad (16)$$

A hipótese nula de ausência de tendência ( $H_0$ ), é rejeitada sempre que  $|Z| > Z_\alpha/2$ , em que  $\alpha$  é o nível de significância adotado e  $Z_\alpha/2$  é o valor crítico de Z a partir da tabela padrão normal. Para o nível de significância de 5% o valor de  $Z_\alpha / 2$  é 1.96. Os valores positivos de Z indicam tendências crescentes, enquanto que os valores negativos indicam tendências decrescentes.

O teste estatístico não-paramétrico de Pettitt realiza a verificação de duas amostras  $Y_1, Y_2, Y_t$  e  $Y_{t+1}, Y_{t+2}, Y_p$ , provenientes de populações iguais. Esta metodologia é capaz de localizar o ponto onde houve uma mudança brusca na média da série temporal, além de fornecer informações acerca da homogeneidade dos dados da série analisada (Pettitt, 1979).

O estatístico  $U_t, T$  faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda, e pode ser escrita:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T sgn(Y_t - Y_j) \quad (17)$$

para  $t = 2, T$

onde:  $sgn(x) = 1$  para  $x > 0$ ;

$sgn(x) = 0$  para  $x = 0$  e  $sgn(x) = -1$  para  $x < 0$ .

A estatística  $U_t, T$  é então calculada para os valores de  $1 \leq t \leq T$  e a estatística  $k(t)$  do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de  $U_t, T$ . Esta estatística localiza o ponto onde houve uma quebra da série temporal e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação (18):

$$p \cong 2 \exp \left\{ -6k(t^2) / t^{3+t^2} \right\} \quad (18)$$

A TABELA I representa um resumo dos testes utilizados, sendo que os mesmos foram aplicados ao nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

No presente trabalho foi utilizado o método ARIMA para elaborar e analisar a previsão de seca para o Estado do Rio Grande do norte. A metodologia de Box-Jenkins (1970) se refere aos modelos Autorregressivos Integrados de Médias Móveis, comumente denominados de modelos da classe geral ARIMA. Os modelos ARIMA resultam da combinação dos filtros: componente autorregressivo (AR), filtro de integração (I) e o componente de médias móveis (MA).

A modelagem de Box-Jenkins se constitui de um ciclo, permitindo ao fim determinar o melhor modelo previsor com base nas características de autocorrelação da série estudada. Os procedimentos abordados são: (i) identificação: nesta etapa é determinado o modelo para representar a série; (ii) estimação: são estimados os parâmetros autorregressivos e de médias móveis;

(iii) validação: verificação da adequação do modelo ajustado ao comportamento real da série; (iv) previsão: tal etapa é realizada quando as demais anteriores são satisfatoriamente atendidas (Kirchner *et al.*, 2011; Noronha *et al.*, 2016; Marasca *et al.*, 2017).

Os modelos ARIMA ( $p, d, q$ ), genericamente, são representados pela Equação 19:

$$\phi(B)\Delta^d X_t = \theta(B)a \quad (19)$$

em que:  $B$  representa o operador retroativo,  $d$  o número de diferenciações,  $\Delta$  o parâmetro autorregressivo de ordem  $p$ ,  $\theta$  o termo de médias móveis de ordem  $q$  (Souza *et al.*, 2012).

Para medir o ajuste do modelo escolhido, os critérios Akaike Information Criteria - AIC (Akaike, 1973) e Bayesian Information Criteria - BIC (Schwarz, 1978) são utilizados como parâmetros na seleção do modelo final entre os modelos ARIMA possíveis ajustados. Tais critérios são considerados penalizadores, pois levam em consideração o número de parâmetros dos modelos e a variância dos erros gerados, dessa forma o modelo que apresentar menores valores para os critérios e AIC e BIC terá o melhor ajuste (Moretin, 2008).

Os critérios de AIC e BIC são definidos pelas seguintes Equações (20) e (21):

$$AIC(p, q) = \ln \sigma_{p,q}^2 + \frac{2(p+q)}{n} \quad (20)$$

$$BIC(p, q) = \ln \sigma_{p,q}^2 (p+q) \frac{\ln N}{N} \quad (21)$$

em que:  $p$  e  $q$  são os parâmetros conhecidos,  $n$  é o tamanho da amostra, e  $\sigma^2$  a variância estimada dos erros.

Para avaliar a precisão de um modelo de previsão, alguns métodos são usados para confirmar a validade de um modelo, comparando os resultados estimados com os dados reais da série. Neste trabalho foram usados os parâmetros estatísticos, para análise da quantificação dos erros resultantes das estimativas. O Erro Médio (EM) foi utilizado para avaliar a magnitude dos erros. Os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) e Correlação de Pearson ( $r$ ) são utilizados para análise de confiança (Santhi *et al.*, 2001)

O (EM) mede o valor médio de erro de acordo com a diferença entre os valores obtidos nos métodos que se deseja avaliar e os valores do método que se tomou

TABELA I - Representação dos testes estatísticos.

TABLE I - Representation of statistical tests.

Testes	Hipóteses		
	$H_0$	$H_a$	p-valor <0,05
Dickey-Fuller	Há uma raiz unitária para a série	Não há raiz unitária para a série	Rejeita-se $H_0$
Mann-Kendall	Não há tendência na série	Há uma tendência positiva na série	Rejeita-se $H_0$
Pettitt	Os dados são homogêneos	Houver uma mudança negativa nos dados	Rejeita-se $H_0$

como parâmetro, indicando assim possíveis tendências de subestimativas ou superestimativas do modelo, e é calculado pela Equação:

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i) \quad (22)$$

Em que,  $O_i$  é o valor tido como referência para o observado;  $S_i$ , o evento simulado pelo modelo; e  $N$ , o número de eventos. Este índice é dado nas mesmas dimensões da variável analisada.

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) Equação (13) é uma medida estatística usada para avaliar a intensidade da associação linear entre duas variáveis. O coeficiente de correlação  $r$  varia entre -1 e 1, sendo quanto mais próximo de 1 e -1 maior é a tendência de relação linear positiva (diretamente correlacionadas) e negativa (inversamente correlacionada) respectivamente e quando estiver próximo de zero indica ausência de correlação linear entre as variáveis.

O coeficiente de determinação  $r^2$  permite avaliar o quanto o modelo reflete a variância entre os valores observados e simulados (Santhi *et al.*, 2001). O coeficiente de determinação é o quadrado do coeficiente de correlação e informa que fração da variabilidade de uma característica é explicada estatisticamente pela outra variável (Callegari-Jacques, 2003). Para o coeficiente de determinação se os valores forem iguais ou muito próximos de zero, a previsão do modelo será considerada inaceitável ou ruim, e para valores iguais a um, a simulação do modelo é perfeita (Santhi *et al.*, 2001).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}_i) \times (O_i - \bar{O}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}_i)^2}} \quad (23)$$

Em que,  $O_i$  é o valor adotado como referência;  $S_i$ , o evento simulado pelo modelo; e  $N$ , o número de eventos. Este índice é dado nas mesmas dimensões que a variável analisada.

Para o coeficiente de determinação se os valores forem iguais ou muito próximos de zero, a previsão do modelo será considerada inaceitável ou ruim, e para valores iguais a um, a simulação do modelo é perfeita (SANTHI *et al.*, 2001). Callegari-Jacques (2003) destaca que uma vez determinada a existência de correlação entre variáveis, pode-se avalia-la qualitativamente quanto à intensidade usando o critério apresentado na TABELA II.

TABELA II - Critérios adotados para avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis (Callegari-Jacques, 2003)

TABLE II - Criteria adopted for qualitative assessment of the degree of correlation between two variables  
(Callegari-Jacques, 2003).

Valor de $ r $	Nível da correlação
0	Nula
$0 <  r  < 0,3$	Fraca
$0,3 \leq  r  < 0,6$	Regular
$0,6 \leq  r  < 0,9$	Forte
$0,9 \leq  r  < 1$	Muito forte
1	Plena ou perfeita

## Resultados

Os testes de Dickey-Fuller, Mann-Kendall e Pettitt foram aplicados para todos os grupos definidos por Lima *et al.* (2019), (fig. 2) e para toda a série temporal do SPEI-24, a fim de avaliar se a variável utilizada segue um processo estocástico estacionário, como também para verificar se a série possui tendência.

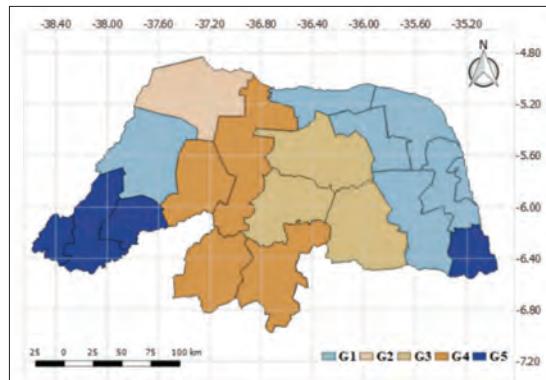


Fig. 2 - Microrregiões com padrões semelhantes de seca.

Fig. 2 - Microregions with similar drought patterns.

A TABELA III apresenta os resultados do teste Dickey-Fuller, no qual a hipótese nula ( $H_0$ ), de que a série testada possui raiz unitária, é rejeitada para os cinco grupos em questão ao nível de significância a 5%.

Para o teste de tendência de Mann-Kendall os grupos G2 e G3 mostraram valores que representam uma tendência positiva e os grupos G1, G4, e G5 apresentaram valores que representam tendência negativa na série, indicando um aumento de seca. O teste foi realizado a um nível de significância de 5%, no qual a hipótese nula ( $H_0$ ), é rejeitada para os grupos G1 e G3, e é aceita para os demais.

Conforme observado, a diferença entre as médias de  $\mu_1$  e  $\mu_2$  para os cinco grupos foi negativa, e os testes correspondentes resultaram em valores de  $p < 0,05$ , levando a rejeição da hipótese nula  $H_0$ . Esse resultado coincidiu com a identificação do momento de quebra estrutural na série, indicando períodos com comportamentos distintos. Essa ruptura foi identificada entre as décadas de 80 e 90, tal como mostrado na fig 2.

Através dos resultados alcançados por meio do teste de Pettitt é possível verificar que em todos os grupos os valores obtidos foram positivos, e ocorreu uma quebra estrutural, representando uma mudança brusca no comportamento da série.

Conforme a fig. 3 é possível verificar o comportamento da série histórica quando aplicado o teste de Pettitt, no qual observa-se uma a ruptura na série evidenciando assim uma mudança significante do comportamento dos valores do SPEI-24, essa ruptura que acontece permite

TABELA III - Resultados dos testes de Pettitt, Mann-Kendall-MK e Dickey-Fuller-ADF.

TABLE III - Results of the Pettitt, Mann-Kendall-MK, and Dickey-Fuller-ADF tests.

Grupos	ADF		MK		t	Pettitt		$\Delta$
	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor		mu1	mu2	
G1	0, 0070	0, 0008	<0.0001	<0.0001	abr/90	0,16	-0,42	-0,58
G2	0, 0094	0, 1024	<0.0001	<0.0001	dez/87	0,22	-0,18	-0,40
G3	0, 0113	0, 0357	<0.0001	<0.0001	jan/88	0,19	-0,18	-0,37
G4	0, 0061	0, 1549	<0.0001	<0.0001	mai/80	0,15	-0,25	-0,39
G5	0, 0033	0, 0974	<0.0001	<0.0001	jun/90	0,13	-0,32	-0,45

a identificação do ponto de mudança de tendência na série histórica para os cinco grupos analisados, essa alteração permite identificar a mudança de um período úmido para um período seco.

Foi aplicada a linha de tendência na série histórica antes e depois da quebra, sendo possível verificar que os cinco grupos apresentam tendência positiva antes da quebra, após a quebra apenas os grupos G2 e G3 indicam uma tendência crescente, o G1 não apresentou tendência ficando linear, já os grupos G4 e G5 mostraram uma tendência negativa com ênfase para o G4.

Através da fig. 4 é possível verificar tendência de seca ao longo do período em análise, se mostrando presente em todas as escalas de tempo no período de 1950-1960 e 2012-2018, sendo que a maior magnitude de seca foi identificada no período de 1950-1960 com os valores do índice entre (-1,0 a -1,5) na escala de tempo dos SPEI-36 ao SPEI-48. Em escalas de tempo menores do SPEI-6 ao SPEI-18 é notório a existência de episódios de seca com frequência similar, porém com menor intensidade, em que os valores do SPEI variam de (0 a -0,5).

Mediante a análise é possível constatar a presença de períodos úmidos bem significativos. Esse período é identificado para todas as escalas de tempo do SPEI, durante um intervalo de tempo que abrange as décadas de 1960 a 2010, no entanto, é notório que as décadas de 1970-1980 retrata o período com maior volumes de precipitação caracterizando a época mais úmida da série, com valores variando de (1,0 a 2,5), assim como pode ser observado nas fig's 4(A), 4(B) e 4(C). Resultados análogos foram apresentados por Cunha *et al.* (2018) ao analisar mudanças nos padrões espaço-temporais das secas no Nordeste brasileiro.

De acordo com a fig. 5, é possível identificar uma maior frequência de episódios de seca, evidenciando uma evolução gradual desses eventos nas escalas de tempo de SPEI-6 a SPEI-48. Observa-se um sinal mais negativo para a década de 1950, assim como para os períodos de 1990-2008 e 2012-2018, indicando uma intensificação e aumento da severidade das secas ao longo do tempo. Esse aumento é mais pronunciado nos intervalos de tempo correspondente a SPEI-36 a SPEI-48 para os períodos de 1950-1955 e 2012-2018, com valores do índice variando entre -1,0 e -1,3. Ao considerar escalas

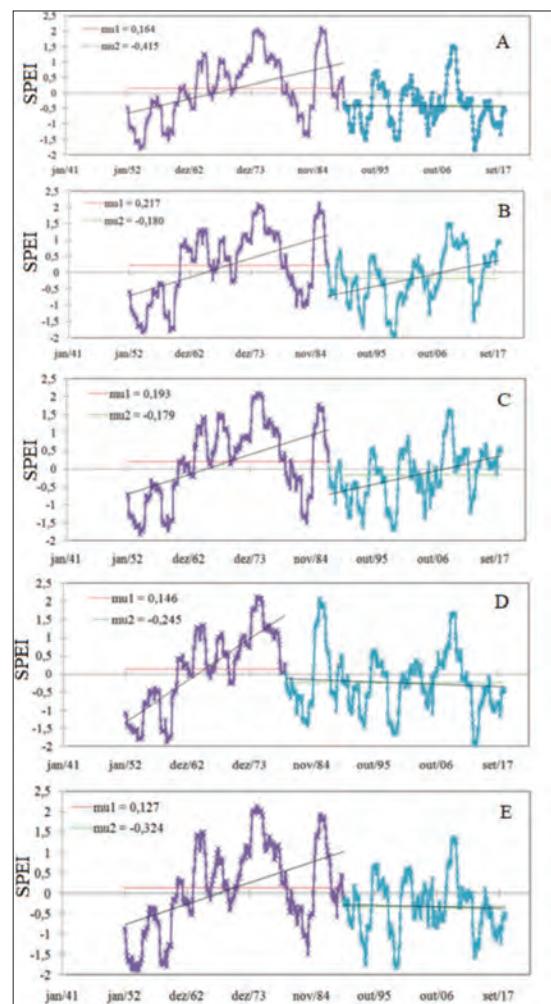
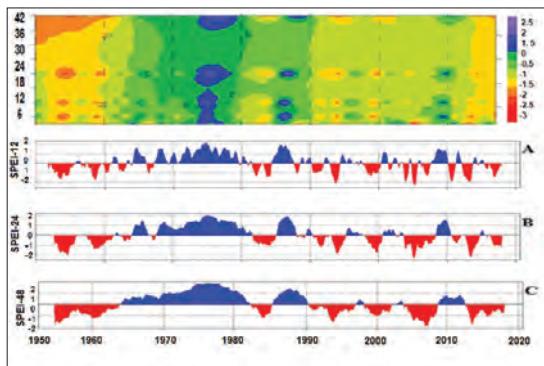


Fig. 3 - Variabilidade temporal e estatística do teste não - paramétricos de Pettitt do SPEI-24 para o Grupo 1 (A), Grupo 2 (B), Grupo 3 (C), Grupo 4 (D) e Grupo 5 (E) no período de jan/1950 à dez 2018.

Fig. 3 - Temporal and statistical variability of the non-parametric Pettitt test of the SPEI-24 for Group 1 (A), Group 2 (B), Group 3 (C), Group 4 (D), and Group 5 (E) in period from Jan /1950 to Dec 2018.

temporais maiores, torna-se evidente a formação de padrões de seca (fig. 5A, 5B e 5C).

A fig. 5 mostra a presença de períodos úmidos, embora menores em comparação ao G1, abrangendo toda a década de 1970, com maior destaque nas escalas



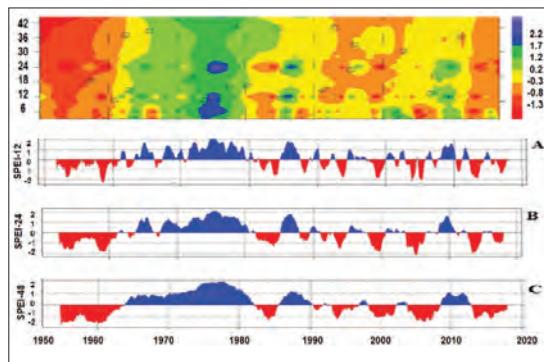
**Fig. 4 - Distribuição da variabilidade temporal acumulada dos valores do SPEI-12 (A), do SPEI-24 (B) e SPEI-48 (C) no período de 1950 a 2018 para o Grupo 1.**

**Fig. 4 - Distribution of cumulative temporal variability of SPEI-12 (A), SPEI-24 (B), and SPEI-48 (C) values from 1950 to 2018 for Group 1.**

temporais de SPEI-6, SPEI-12, SPEI-24 e SPEI-48, especialmente entre os anos de 1974 a 1978, assim como nos anos de 1985 e 2010. Nesses períodos, os valores do índice oscilam entre 1,2 e 2,2. Comportamentos semelhantes foram observados por Marengo *et al.* (2017) ao analisar as secas no nordeste do Brasil para o passado, presente e futuro.

Observar a existência de períodos úmidos, porém bem menores quando comparados ao G1, abrangendo toda a década de 1970, com maior evidencia para as escalas de tempo do SPEI-6, SPEI-12, SPEI-24 e o SPEI-48, mais precisamente entre os anos de 1974-1978, assim como o ano de 1985 e 2010, com valores do índice oscilando entre (1,2 e 2,2). Comportamento semelhantes foram vistos por Marengo *et al.* (2017), ao analisar as secas no nordeste do Brasil para o passado, presente e futuro.

De acordo com a fig. 6, pode-se verificar os resultados para a comparação entre a previsão do modelo ARIMA e a série temporal observada no período de janeiro de 1950 até novembro de 2018 para os grupos G1 e G4. A análise dos valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) é possível verificar que o grupo que apresentou o menor



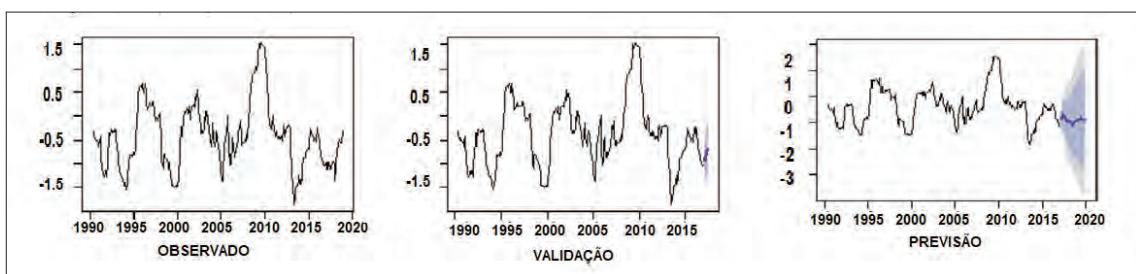
**Fig. 5 - Distribuição da variabilidade temporal acumulada dos valores do SPEI-12 (A), do SPEI-24 (B) e SPEI-48 (C) no período de 1950 a 2018 para o Grupo 4.**

**Fig. 5 - Distribution of cumulative temporal variability of SPEI-12 (A), SPEI-24 (B), and SPEI-48 (C) values from 1950 to 2018 for Group 4.**

valor para o  $r^2$  foi o G1 com 0,6028. Isso significa que o G1 mostra um nível mais significativo de dispersão entre os valores simulados pelo modelo ARIMA (Fig. 5(A)). Em contrapartida O G4 apresentou melhor precisão das estimativas de previsão do modelo ARIMA para o período estudado, apresentando um  $r^2 = 0,9061$ , (Fig. 5(B)).

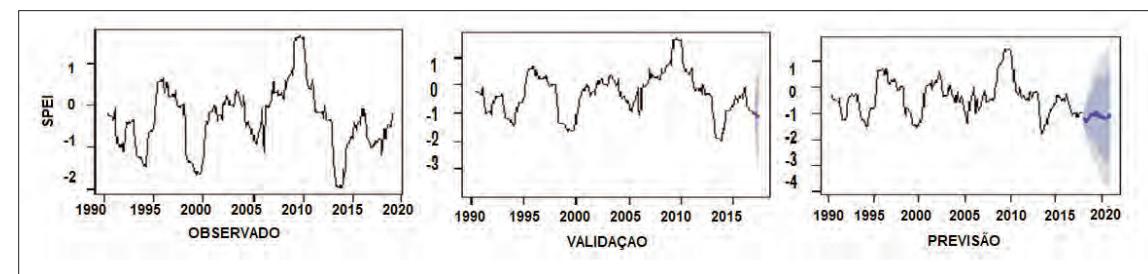
Conforme as fig.'s 7(A), 7(B) e 7(C), mostram a comparação entre a previsão do modelo ARIMA e a série temporal observada no período de janeiro de 1952 até novembro de 2018 para o devido grupo em estudo. Por meio da análise foi possível observar que o grupo possui um ajuste significativo, considerando-se assim a previsão válida para o mesmo, destacando que a série prevista segue o padrão da série validada, na qual foi obtido o  $r^2$  de 0,6028. Em estudo correlato, Lucio *et al.* (2010) obtiveram resultados similares ao explorar o comportamento de séries temporais de precipitações, visando a elaboração de previsões sazonais para o Brasil.

As fig.'s 8(A), 8(B) e 8(C) mostram que o período previsto segue um padrão de semelhança com o período observado e o validado. A previsão realizada pra o período de 36 meses foi validado pelo modelo por um período de



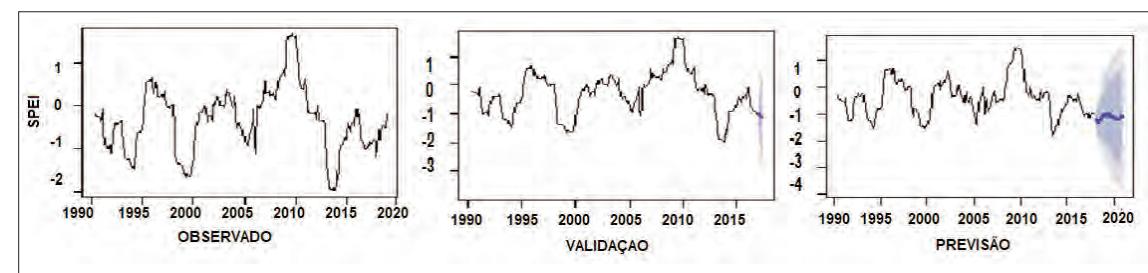
**Fig. 6 - Comparação da estimativa da previsão com valores estimados do SPEI-24. Para o G1(A) e o G4 (B) no período de janeiro de 2017 a julho de 2017.**

**Fig. 6 - Comparison of forecast estimate with estimated values from SPEI-24. For G1(A) and G4(B) in the period from January 2017 to July 2017.**



**Fig. 7** - Série temporal observada em todo período (A), série para validação do modelo de previsão ARIMA (B) e a série prevista pelo modelo ARIMA para o período de 36 meses (C) para o G1.

*Fig. 7 - Time series observed throughout the period (A), series for validation of the ARIMA forecast model (B), and the series predicted by the ARIMA model for the period of 36 months (C) for G1.*



**Fig. 8** - Série temporal observada em todo período (A), série para validação do modelo de previsão ARIMA (B) e a série prevista pelo modelo ARIMA para o período de 36 meses (C) para o G4.

*Fig. 8 - Time series observed throughout the period (A), series for validation of the ARIMA forecast model (B) and the series predicted by the ARIMA model for the period of 36 months (C) for G4.*

seis meses e obteve um resultado bem positivo com um coeficiente de determinação no valor de 0,9061 de acordo com a análise de erros. Diante disso o modelo pode ser considerado viável para a realização desse tipo de previsão. Resultados similares foram encontrados nos trabalhos de Lucio *et al.*, 2010 e Camelo *et al.*, 2017.

### Conclusões

Pela análise dos resultados obtidos, é possível identificar e compreender a distribuição das secas para os grupos G1 e G4 no período de 1952 a 2018 a partir de dados do SPEI-24. A análise mostra que o G1 apresenta condições de seca menos intensa, com poucos episódios de seca hidrologia, assim como reflete longos períodos úmidos. Em contrapartida o G4 retrata longos períodos de deficiência hídrica, caracterizado uma maior frequência de episódios de seca hidrológica, causando impactos no setor agrícola assim como, afetando a disponibilidade hídrica para a população.

Através da aplicação do modelo de previsão ARIMA foi possível verificar que os dois grupos analisados apresentaram ajustes significativos. É possível afirmar que a série temporal prevista consegue acompanhar o perfil da série temporal observada considerando o modelo ideal para a região estudada.

### Referências bibliográficas

- Andrade, J. A. & Nunes, M. A. (2014). Acesso à Água no Semiárido: uma análise das políticas públicas implementadas na região. *Revista Espinhaço*, 3: 28-39.
- Callegari-Jacques, S. M. (2003) *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Aramed, 255 p.
- Camelo, H. N., Lucio, P. S., Leal Junior, J. B. V., Carvalho, P. C. M. (2017). Métodos de Previsão de Séries Temporais e Modelagem Híbrida ambos Aplicados em Médias Mensais de Velocidade do Vento para Regiões do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, 565-574.
- Camurça, C. E., Alencar, A., Cidade, E. & Ximenes, V. (2016). Implicações psicosociais da seca na vida de moradores de um município da zona rural do nordeste do Brasil. *Avances em Psicología Latinoamericana*, 34(1): 117-128.
- CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (2016). Desertificação, degradação da terra e seca no semiárido Brasileiro. Relatório anual, Brasília.
- Cunha, A. P. M. A., Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G.G., Gracia, M. B. S. R., Brito, S. B. & Carvalho, M. A. (2018). Changes in the spatial-temporal patterns of

- droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, (19):e.10. 1-8.
- Fava, V. L. (2000). Análise de séries de tempo. In: Vasconcelos, M. A. S. & Alves, Denisard (Org.). *Manual de Econometria: nível intermediário*, 199-203.
- FEMURN - FEDERAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO NORTE. Disponível em: <http://www.femurn.org.br>. Acesso em: 15 jun. 2019.
- Figueiredo, S. C. S., Saraiva Júnior, J. C. & Figueiredo, J. S. (2016). Política de combate dos efeitos da seca no Semiárido potiguar: o caso de Riacho do sangue em Macaíba/RN, 2002-2010. *Caderno de Geografia*, 26: 201-223.
- GLOBAL SPEI DATABASE. Disponível em: <https://spei.csic.es/database.html>. Acesso em: mar 2019.
- Goossens, C. & Berger, A. (1986). Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, 4: 385-400.
- Heim, R.R., Brewer, M.J. (2012). The Global Drought Monitor Portal: The Foundation for a Global Drought Information System. *Earth Interactions*, v. 16, n. 15, 1-28.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. CECAV - CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS. NÚCLEO DO RIO GRANDE DO NORTE (2007). *Diagnóstico espeleológico do Rio Grande do Norte: caracterização geográfica do Rio Grande do Norte*. Natal: IBAMA, 2007. Disponível em: <http://www.ibama.rn.gov.br>, acesso em: 11 de jul de 2019.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). Cidades. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso: 25 abr. 2020.
- IDEMA. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE (2010). *Anuário estatístico 2010*. Governo do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte. Disponível: <http://www.idema.rn.gov.br>. Acesso: 25 abr. 2020.
- Kendall, M. (1975). Rank Correlation Measures. Charles Griffin: London, 220.
- Köppen, W. (1948). Climatología: con un estudio de los climas de la tierra. *Fundo de Cultura Econômica*, 478.
- Mann, H. (2009). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13:245-259.
- Lee, S.H., Yoo, S.H., Choi, J.Y., Bae, S., (2017). Assessment of the impact of climate change on drought characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea using time series SPI and SPEI: 1981- 2100. *Water*, 9, 579-598.
- DOI: <https://doi.org/10.3390/w11102184>
- Li, X., He, B., Quan, X., Liao, Z., Bai, Z., (2015). Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982-2012. *Remote Sensing*, 7, 10917-10937.
- Lima, S. L., Silva, M. T., Sousa, W. G., Silva, M. S., Andrade, A. S. & Melo, M. M. M. S. (2019). Space and temporal episode standards dry in the State of Rio Grande do Norte. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9:330-342.
- Lucio, P. S., Silva, F. D. S., Fortes, L. T. G., Santos, L. A. R., Ferreira, D. B., Salvador, M. A., Balbino, H. T., Sarmanho, G. F., Santos, L. S. F. C., Lucas, E. W. M., Barbosa, T. F. & Dias, P. L. S. (2010). Um modelo estocástico combinado de previsão sazonal para a precipitação no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25: 70 - 87.
- Maia, A. L. S. & Cribari-Neto, F. (2006). Dinâmica inflacionária brasileira: resultados de auto regressão quântica. *Brasileira de Economia*, 60:153-165.
- Marengo, J.A., Torres, R. R. & Alves L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, 129: 1189-1200.
- McKee, T.B., Doesken, N. J. & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society. *Anaheim*, 179-184.
- Morettin, P. A. (2008). *Econometria Financeira: um curso em séries temporais financeiras*. 1. ed. São Paulo: Blucher.
- Neeti, N. & Eastman, J. R. (2011). A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. *Transactions in GIS*, 15(5): 599-611.
- Ometto, J.C., (1981). *Bioclimatologia Vegetal*. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo.
- Pettitt, A. N. (1979). A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, 28: 126-135.
- Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., Srinivasan, R. e Hauck, L. M. (2001). “Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources”. *Journal of the American Water Resources Association*, 37 (5), 1169-1188.
- Santos, A. R. R., Santos, C. A., Santos, A. R. (2014). As relações de poder no Semiárido nordestino. *Revista Ambivalências*. v. 2, n.º 4, 151-164.
- Solh, M. & Ginkel, M. (2014). Drought preparedness and drought mitigation in the developing world's drylands. *Weather and Climate Extremes*, 3: 62-66.

- Serrano, V S. M., Beguería S., López, J. I. (2010). A Multi-Scalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI. *Journal of Climate*, 23.
- Souza, A., Fernandes, W. A., Albrez, E. A. (2012). Análise de agrupamento da precipitação e da temperatura no Mato Grosso do Sul. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, v.6, n.12, p109-124.
- Tan, C., Yang, J. & Li, M. (2015). Temporal-spatial variation of drought indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui autonomous region, China. *Atmosphere*, 6: 1399-1421.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., Lorenzolacruz, J., Camarero, J.J., Lopez-Moreno, J.I., Azorin-
- Molina, C., Revuelto, J., Morantejeda, E. & Sanchez-Lorenzo, A. (2012). Performance of drought indices for ecological, agricultural and hydrological applications. *Earth Interact*, 16: 1-27.
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S. & Lopezmoreno, J.I. 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 3: 1696-1718.
- Yue, S., Pilon P. & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman'S rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259: 254 - 271.





## USO DO SOLO E A OCORRÊNCIA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS NA CIDADE DE GOIÂNIA - GOIÁS\*

69

LAND USE AND THE OCCURRENCE OF HYDROLOGICAL EVENTS IN THE CITY OF GOIÂNIA - GOIÁS

Daiane Cardoso

Secretaria de Eficiência - Goiânia/GO (Brasil)

Gerência de Licenciamento e Qualidade Ambiental

 0009-0005-3483-7620 [dianemachado@egresso.ufg.br](mailto:dianemachado@egresso.ufg.br)

Livia Louza

Secretaria de Eficiência - Goiânia/GO (Brasil)

Gerência de Licenciamento e Qualidade Ambiental

 0009-0001-5722-2144 [livia.cor.bor@gmail.com](mailto:livia.cor.bor@gmail.com)

Denilson Teixeira

Universidade Federal de Goiás (Brasil)

Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Gestão e Geomática

 0000-0001-5103-9982 [dteixeira@ufg.br](mailto:dteixeira@ufg.br)

### RESUMO

As capitais são sistemas urbanos complexos, de relevante importância socioeconômica e com dinâmicas de crescimento muito semelhantes, principalmente as do âmbito do Sul Global. Tais similaridades também são observadas quando dos enfrentamentos dos desafios que são inerentes à expansão territorial, dentre eles o planejamento territorial urbano com ênfase no uso e ocupação do solo. Assim, entender este processo de ocupação é fundamental para a proposição de medidas que visem oferecer aos municípios um ambiente seguro e equilibrado. Neste contexto, o principal objetivo da pesquisa foi caracterizar o uso e ocupação do solo na área de estudo e relacionar o mesmo com a ocorrência de eventos hidrológicos. A metodologia utilizada baseia-se no modelo de classificação de Souza et al. (2020), o qual estabelece as categorias de uso do solo em diferentes pares de anos. Os resultados mostram que os eventos hidrológicos vêm ocorrendo majoritariamente em áreas classificadas como urbanizadas, sendo que os episódios de alagamento têm aumentado em números absolutos juntamente com a expansão das áreas urbanizadas e aumento demográfico da população.

**Palavras-chave:** Uso e ocupação do solo, eventos hidrológicos urbanos, perigo.

### ABSTRACT

Capital cities are complex urban systems of relevant significant socioeconomic importance and with very similar growth dynamics, especially in the Global South. Such similarities are also observed when facing the challenges that are inherent to territorial expansion, including urban territorial planning with an emphasis on land use and occupation. Therefore, the understanding of this occupation process is fundamental for proposing measures that aim to offer residents a safe and secured balanced environment. In that regard, the main objective of the research was to characterize the land use and occupation of land in the area studied and relate it to the occurrence of hydrological events. The methodology used is based on the classification model by Souza et al. (2020), which establishes land use categories for every couple in different pairs of years. The results show that hydrological events have been occurring mainly in areas classified as urbanized, with flooding episodes having increased in absolute numbers along with the increase in urbanized areas and demographic increase in the population growth.

**Keywords:** Land use and occupation, urban hydrological events, danger, risk.

\* O texto deste artigo foi submetido em 19-09-2023 sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 12-04-2024.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

As modificações dos ambientes naturais têm amplificado os problemas de ordem social e ambiental por todo o planeta. Década após década, temos assistido ao aumento da desigualdade social acompanhado pelo crescimento significativo dos desastres ambientais. No ambiente urbano, a expansão marcada pelo movimento campo-cidade potencializou essas modificações.

De acordo com o World Population Prospects, 55% da população mundial vive em áreas urbanas, com projeção de aumento para 70%, em 2050. Portanto, as cidades abrigarão cerca de 2/3 da população mundial (UN, 2018). No Brasil, os dados são ainda mais expressivos, pois cerca de 85% da população brasileira vive em áreas urbanas. Neste contexto, destacam-se as regiões Sudeste e Centro-Oeste, cujos percentuais chegam, respectivamente, a 93% e 90% da população habitando espaços categorizados como urbanos (IBGE, 2015). Esse intenso e acelerado processo de urbanização tem gerado o desenvolvimento de grandes centros metropolitanos.

Cabe destacar que, dentro da complexidade do fenômeno de metropolização, fatores como relevo, clima, solo, vegetação e cursos hídricos devem ser considerados quando do planejamento territorial urbano, uma vez que podem interferir significativamente na qualidade ambiental das cidades e sua suscetibilidade a eventos extremos (Gonçalves *et al.*, 2014).

No que diz respeito ao solo, seu uso e ocupação, Souza (2006), Guevara e Wallace (2023), discutem que as agendas de gestão do uso do solo encontram-se estruturadas de forma a privilegiar os interesses empresariais, em detrimento dos aspectos ambientais e sociais, gerando assim uma desregulamentação do uso do solo, e consequentemente o “empresarialismo urbano”.

Tal estruturação resulta em uma acelerada expansão urbana, transformando e fragmentando as paisagens, gerando comprometimento da biodiversidade e da capacidade dos ecossistemas de amortizar tais transformações (Marandola; Hogan, 2004).

Esse quadro torna-se ainda mais complexo e crítico se considerarmos a perspectiva das mudanças climáticas que estão causando perturbações perigosas e generalizadas na natureza e afetando a vida de bilhões de pessoas em todo o planeta, apesar dos esforços de alguns grupos para reduzir os riscos. Áreas urbanas encontram-se cada vez mais suscetíveis a riscos híbridos decorrentes das interações entre o clima severo das mudanças climáticas e o aumento da urbanização (IPCC, 2022). A identificação do perigo, constitui informação essencial à prevenção e ao controle desses eventos (COMPDEC, 2020/2021).

Assim sendo, essa pesquisa tem como objetivo caracterizar as formas de uso e ocupação do solo e relacioná-las à ocorrência de eventos hidrológicos, tendo como área de estudo a principal cidade da Região Centro-Oeste do Brasil, Goiânia. Sendo que os resultados poderão contribuir significativamente para a compreensão da relação existente entre a forma de uso e ocupação do solo e o aumento da ocorrência de alagamento.

Além disso, o presente estudo contribui para o avanço científico da temática de uso e ocupação do solo a partir da abordagem de deflagração do evento, com potencialidade para impactos globais em relação às adaptações necessárias às emergências climáticas.

Por fim, a caracterização do presente cenário poderá fornecer fundamentação aos processos de planejamento e gestão municipal, sendo um exercício capaz de contribuir para o desenvolvimento socioambiental urbano de forma justa e equânime para as cidades de agora e do futuro, o que caracteriza o vínculo desta pesquisa à Agenda 2030 da ONU para o desenvolvimento sustentável, no que tange especificamente ao seu objetivo 11, Cidades e comunidades sustentáveis, bem como ao quadro de Sendai para Redução do Risco 2015-2030.

## Bases conceituais

A partir de dados do *International Disaster Database*, nos países da América do Sul, entre os anos de 1960 a 2009, quase 80% das catástrofes e prejuízos econômicos ocorridos derivaram-se de desastres hidrometeorológicos, sendo que os mais comuns foram as inundações (Nunes, 2015).

No Brasil, nos últimos anos, os desastres ambientais com desdobramentos devastadores têm sido numerosos. Entre os anos de 1991 e 2019, 58.883 desastres naturais foram oficialmente registrados em 4.971 municípios, levando à morte de 4.065 pessoas e afetando 247.759.548 pessoas; sendo que cerca de 90% destes são de origem hidrológica, segundo dados do Atlas Digital de Desastres no Brasil (UFSC, 2020).

Assim, nos últimos 30 anos tendemos a perceber conceitualmente, que as definições sobre os desastres, que inicialmente eram considerados de origem natural, passaram a ser debatidos e interpretados como processos de caráter socioambientais diretamente relacionados ao uso e a ocupação do solo.

Aqui define-se o uso e ocupação do solo como a distribuição espacial das diferentes funções sociais da cidade, em que se destacam os usos residencial, industrial, comercial, de serviços, de lazer e institucional. Assim, a distribuição dos usos do solo sobre a área urbana determina a localização das atividades humanas e se estas estão permeadas por algum tipo de risco (Portis *et al.*, 2020), uma vez que o risco é um constructo social.

A junção de fatores sociais, econômicos, culturais, demográficos e de uso e ocupação do solo, fatores estes inerentes às relações entre os homens, os grupos sociais e entre estes e a natureza, resultam na materialização da condição de risco (Mendonça, 2021).

Em livro publicado no ano de 2003, Yvette Veyret, discorre que risco é um objeto social e que pode ser definido como a percepção do perigo. Portanto, quando se discute risco, infere-se que o mesmo não existe sem que uma população ou indivíduo o perceba e, consequentemente, sofra os seus efeitos. Ratificando a autora mencionada, Olímpio e Zanella (2017) complementam que a relação entre esses dois fenômenos deve ser descrita como causalidade, sendo que a ocorrência de um depende da existência do outro.

É a partir desse cenário que a noção de risco se torna importante na realidade atual, devido à complexidade e à intensificação dos problemas que se derivam dele e, somada a isso, a abrangência desses problemas na sociedade atual.

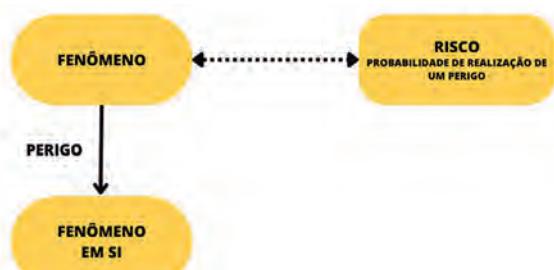
Para Almeida (2012), essa complexidade relacionada às concepções teórico-conceituais, metodológicas, de gestão advém, especialmente, por essa característica ser inerente à sociedade contemporânea que se encontra permeada pela incerteza, pelo medo e pela insegurança.

Dentro da perspectiva conceitual para Brüseke (1997), a abordagem da expressão risco no campo ambiental é feita não como uma corrente de determinações que conduzam a um resultado prognosticado, mas sim a movimentos lineares que levam imprevisivelmente à catástrofe ou ao menos a um dano irreparável. Sendo assim contradito por Amaro (2005) que define o risco como um fator probabilístico independente da sua quantificação.

Para Marandola Jr e Hogan (2004) a definição de risco remete diretamente à ocorrência de um evento futuro e conceitualmente pode-se ser distinguido de perigo quando se considera a métrica da temporalidade, podendo o perigo ser caracterizado como o fenômeno em si.

Os autores discutem em seu artigo de revisão conceitual a conceituação de risco e perigo descrito por Castro (2000), que define o risco como a possibilidade da deflagração de um perigo. No entanto, o perigo pode ser conceituado como o fenômeno em si (fig. 1), para a autora, os dois fenômenos coexistem, sendo que a deflagração de um perigo contém um risco embutido.

Corroborando com Castro (2000), Marandola Jr e Hogan (2004) descreve o perigo como um dos componentes do risco, uma ameaça potencial para pessoas e seus bens. Assim, riscos e perigos, a partir da perspectiva da geografia, tem expressiva relação com a forma que os grupos sociais transformam e utilizam o espaço, sendo a relação homem e ambiente indissociáveis quando da conceituação de tais termos.



**Fig. 1 - Relação entre os conceitos de risco e perigo**  
(Fonte: adaptado de Aneas de Castro, 2000).

**Fig. 1 - Relationship between the concepts of risk and danger**  
(Source: adapted from Aneas de Castro, 2000).

Portanto, a conceituação de perigo pode ser discutida como sendo um limiar de transição entre risco e crise, ou seja, o perigo corresponde à situação em que o risco deixa de estar latente para se manifestar. Deste modo, o perigo equivale ao início da manifestação da crise, que anteriormente nos foi dado pelos “sinais de alerta” que podem ser aqui entendido como risco (Lourenço, 2014).

Ressalta-se que, em áreas urbanas com características expansionistas aceleradas e com inobservância aos aspectos geográficos, ao zoneamento urbano e ao planejamento territorial, os níveis de urbanização são proporcionais ao aumento da intensidade e extensão dos perigos (Jatobá, 2011).

Entrementes, a temática de riscos de desastres é o lugar político que expõe as contradições entre os planejamentos urbanos referentes ao monitoramento e controle dos fatores de risco e perigos aos cidadãos e a capacidade efetiva de se fazer frente a essa problemática (Valencio, 2021). Sendo o perigo a equivalência da manifestação crise, identificar e mapear os tipos de riscos de uma determinada região não consiste diretamente em anular a existência, mas em diminuir os efeitos possíveis da crise por meio do conhecimento dos processos e pela instalação de dispositivos adequados contribuindo assim com a cultura antecipatória frente aos riscos e desastres.

De acordo com Aquino et al. (2017), os riscos ambientais urbanos são provenientes do uso e ocupação do solo urbano e englobam a instabilidade das encostas, proveniente da ocupação desordenada; enchentes provocadas pela impermeabilização do solo; a contaminação química industrial e domiciliar por falta de responsabilidade, conscientização e legislação adequada; a contaminação orgânica, por falta de saneamento básico, coleta e tratamento de lixo adequados; o aumento da temperatura global, provocado pela queima de combustíveis fósseis e pela impermeabilização do solo.

Segundo Moreira et al. (2021), estudos relacionados à impermeabilização, uso e ocupação do solo, surgem não somente como indicadores do grau de urbanização,

mas também como indicadores de qualidade ambiental, uma vez que estão diretamente relacionados às manifestações de perigo, risco e desastres relacionados aos eventos hidrológicos.

Para Romão (2009), compreender os eventos de urbanização e a partir disso nortear a forma com a qual os gestores, incluindo executivo e legislativo, norteiam as mudanças locais, leia-se métricas e parâmetros para zoneamento, são fatores preponderantes para a transformação das cidades em espaços mais democráticos e ambientalmente equilibrados.

A partir do apanhado geral a questão que nos permeia é a quem interessa não planejar, uma vez que, sendo o planejamento urbano um instrumento de gestão urbana considerado eficiente, porque as cidades brasileiras continuam vivenciando problemas relacionados à mobilidade, habitação, infraestrutura que acabam se desdobrando desastres naturais, temática que abordamos neste artigo.

Mocci e Leonelli (2021) propõe em seu artigo de revisão um apanhado geral sobre a legislação brasileira em relação ao uso e ocupação do solo, segundo as autoras o estatuto da cidade representa, após a redemocratização, um novo capítulo na questão urbana do Brasil. Promulgada em 2001, a Lei Federal 10.257 é um suporte jurídico-institucional aos municípios, uma vez que regulamenta sobre a política urbana ordenando sobre as questões sociais e ambientais da cidade a partir da elaboração dos Planos Diretores de cada município.

Outros aparatos legais formulados por cada município com o intuito de reduzir as desigualdades sociais, as ocupações em áreas tidas como suscetíveis ambientalmente são: Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, Lei de Zoneamento e Código de Obras (Carvalho, 2001).

No entanto, tais leis somente surtirão efeitos democráticos quando forem elaboradas considerando a realidade dos espaços urbanos locais de forma individualizada e democrática e levando em consideração os parâmetros relacionados ao social em consonância com o econômico. Assim, não há que se falar em sustentabilidade quando o capital em detrimento do social e do ambiental deram o tom aos textos das leis que norteiam as decisões da gestão municipal.

## Metodologia

### Delineamento da pesquisa

Trata-se de uma pesquisa descritiva uma vez que busca caracterizar a situação de uso e ocupação do solo, de forma temporal, correlacionando-as aos eventos hidrológicos na área de estudo. Para cumprirmos com o objetivo proposto, utilizamos dados provenientes do modelo de classificação de Souza *et al.* (2020), o qual estabelece as categorias de uso do solo para todo o território nacional em diferentes pares de anos (QUADRO I). Há que se ressaltar que na presente pesquisa relacionamos o uso a ocorrência de eventos hidrológicos (alagamentos).

### Área de estudo

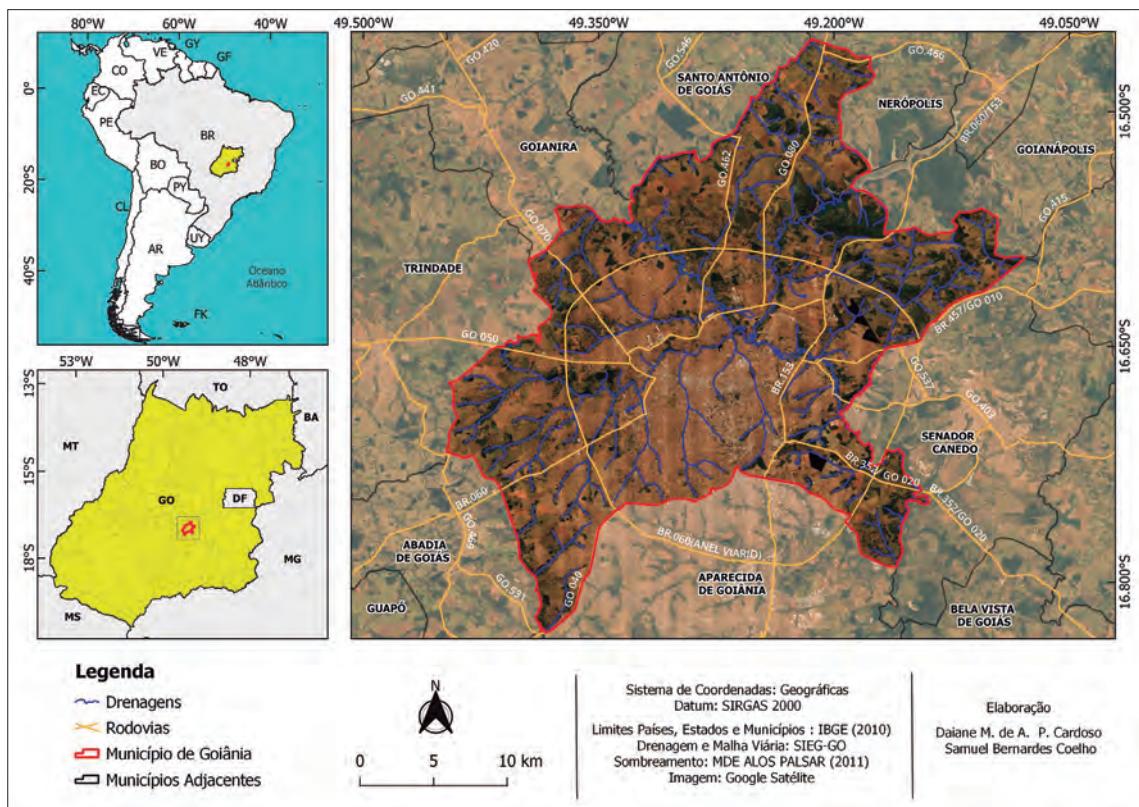
Fundada em 1933 e com planejamento inicial para 50 mil habitantes, a cidade de Goiânia chega ao ano de 2022 com população estimada de 1,5 milhão de habitantes (IBGE, 2021). O município de Goiânia apresenta extensão territorial de 729,296 km<sup>2</sup> e encontra-se situada na porção centro-sul do estado de Goiás, entre as coordenadas E: 662.000 e 760.000 m e N: 8.141.000 e 8.179.000 m (M.C. -51°W Gr., Hem. Sul) (fig. 2).

**QUADRO I - Descritivo das tipologias de uso e ocupação do solo.**

*TABLE I - Description of land use and occupation typologies.*

Tipologia	Uso
<b>Floresta</b>	Fitofisionomias com predomínio de espécies arbóreas com alta densidade contínua dossel, áreas que foram perturbadas por incêndios e/ou exploração madeireira e floresta resultante de rebrota natural.
<b>Formação natural não florestal</b>	Campo alagado ou pantanoso, formação campestre, apicum, afloramento rochoso, restinga herbácea e outras formações não florestais.
<b>Agropecuária</b>	Áreas predominantemente ocupadas por culturas e pastagens.
<b>Área urbanizada</b>	Áreas urbanas com predominância de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, rodovias e construções.
<b>Outras áreas não vegetadas</b>	Superfícies não vegetadas (infraestruturas, áreas urbanas ou mineração) não mapeadas suas classes e áreas de solo exposto (principalmente solo arenoso) não classificado como pastagem formação ou pastagem.
<b>Mineração</b>	Áreas relacionadas à extração mineral de grande porte, com exposição clara do solo devido à pesada maquinaria. Apenas áreas pertencentes ao Departamento Nacional de Minerais Gráfico de Produção (DNPM) (SIGMINE) foram consideradas.
<b>Rio, lago</b>	Rios, lagos, barragens, reservatórios e outros
<b>Aquicultura</b>	Lagos artificiais, onde a aquicultura e/ou predominam as atividades de produção de sal.

Fonte: adaptado de Souza *et al.*, 2020. Source: adapted from Souza *et al.*, 2020.



**Fig. 2 - Área de estudo (Fonte dos dados: malha viária, limites municipais e estadual, IBGE, 2021).**

**Fig. 2 - Study area (Data source: road network, municipal and state boundaries, BGE, 2021).**

A cidade é considerada a 5ª capital brasileira mais sustentável, conforme o Instituto Cidades Sustentáveis (ICS, 2022). Entretanto aparece como a 1ª mais desigual da América Latina, segundo dados do Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos ONU-Habitat (2012).

Uma cidade com tradição em planejamento foi inicialmente projetada sob os moldes da cidade-jardim concebida por Howard, na Inglaterra. Essa concepção objetivava, a partir do planejamento urbano, estabelecer a relação homem-natureza (Moreira; Silva, 2012). No entanto, devido à expansão acelerada e à ocupação de áreas de forma irregular, um novo plano surgiu, entre 1969 e 1971, e dentro dessa concepção, as áreas verdes passaram a assumir funções de utilidade pública, sem nenhum caráter de preservação.

No ano de 1990, um novo plano de ordenamento foi originado pelo Plano Diretor Integrado de Goiânia, em decorrência do qual elaborou-se a Lei Complementar 031/94, que trata sobre o uso e a ocupação do solo nas zonas urbanas e de expansão urbana do município de Goiânia. Na questão ambiental, o plano diagnosticou, com base na Carta de Risco do Município de Goiânia de 1991, que os maiores problemas se referiam: à presença reduzida da cobertura vegetal e à intensa contaminação e poluição dos cursos d'água (Ribeiro, 2010).

Atualmente, o Plano Diretor (Lei Complementar 349/2022) com caráter expansionista encontra-se vigente. O documento aprovado acaba por descaracterizar algumas áreas que antes de sua aprovação eram classificadas como Áreas de Preservação Permanente. Sendo o uso e ocupação do solo relacionados a esse parâmetro. Assim, Goiânia se apresenta como um município de grande destaque para a aplicação da metodologia aqui proposta.

## *Uso e ocupação do solo*

No esforço de caracterizar alguns aspectos físicos da área de estudo, optamos por visualizar, por meio de mapas temáticos, os elementos relacionados ao uso e ocupação do solo, correlacionando-os às áreas de ocorrência de eventos hidrológicos. Para tanto, utilizou-se a Coleção 7.1 do MapBiomas (2021).

Ainda no que diz respeito às classes de uso e ocupação do solo, escolhemos realizar uma análise temporal desse parâmetro. Com esse intuito utilizamos das séries históricas dos anos de 1985, 1997, 2009 e 2021. Sendo que, para todos os anos, realizamos sobreposição dos dados de eventos hidrológicos devidamente registrados e catalogados.

Referente à espacialização das áreas de suscetibilidade ambiental foram utilizados dados disponíveis no

Relatório B bianual 2020/2021 da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (2022), e com o auxílio da ferramenta Google Earth, os pontos referentes aos eventos hidrológicos foram plotados e processados em ambiente SIG, para a visualização das áreas de ocorrência. Ressalta-se que o relatório disponibilizado não apresenta clareza quanto ao tipo de processo ocorrido, se de alagamento ou de inundação. Mediante essa constatação, optou-se por proceder com a especialização sem diferenciar os processos.

No que diz respeito às limitações da pesquisa, destaca-se que os dados de ocorrência de eventos limitam-se àqueles catalogados e validados pela Defesa Civil, no entanto, dados de áreas suscetíveis ambientalmente à ocorrência dos eventos, considerando sua proximidade aos cursos hídricos, bem como seus aspectos físicos de declividade deverão ser consideradas, podendo gerar resultados para uma discussão no que tange os riscos relacionados ao uso e ocupação do solo.

#### Análise dos resultados

Para evidenciar os pontos de suscetibilidade ambiental relacionado a eventos hidrológicos adotamos a conceituação de perigo ambiental considerando que o mesmo se dá pela materialização dos eventos hidrológicos. Para essa pesquisa, conforme explicitado anteriormente, os dados utilizados são dados identificados e validados pela Defesa Civil da cidade de Goiânia.

Segundo o documento técnico da Defesa Civil (2021), a cidade conta hoje com 99 pontos de alagamento identificados e em monitoramento, sendo as regiões Sul e Centro/Campinas com o maior número de ocorrências registradas, 28 e 21 respectivamente.

Moreira *et al.* (2021) e Luiz e Romão (2019), identificaram como os pontos de maior ocorrência dos processos de alagamentos e inundações na cidade de Goiânia, as regiões central e sul, isto está relacionado ao alto grau de urbanização nestas áreas e a terrenos extensamente impermeabilizados, os resultados da nossa pesquisa confirmam os achados dos autores.

Notamos que as ocorrências estão especializadas das seguintes formas: para a região sul o setor Parque Amazonas aparece com maior número de ocorrências juntamente com setor Bueno. Já na região central o bairro com maior ocorrência é o Centro, e a Vila Roriz encontra-se classificada como Região Norte. No entanto, o Relatório da Defesa Civil chama atenção para essa área, sendo classificada como área de alto risco devido à proximidade com o Córrego Anicuns.

Rego e Barros (2014) ao analisarem os dados quantitativos referentes aos pontos de alagamento na cidade de Goiânia, a partir de levantamento na imprensa e dados

da Defesa Civil, pontuam que nos anos de 2003 a 2006 foram registradas 64 ocorrências de eventos hidrológicos e de, 2006 a 2010, 74 ocorrências, sendo que os setores mais afetados são Bueno, Jardim Guanabara I e II, Jardim América, Urias Magalhães, Pedro Ludovico e Campinas. Em nossa pesquisa o Bairro Parque Amazonas aparece na lista dos mais afetados, corroborando com as autoras no que diz respeito ao aumento das ocorrências de eventos hidrológicos em bairros já consolidados desde o fim da década de 1980.

A ocorrência de eventos de alagamento fora de áreas consideradas suscetíveis é um fenômeno que pode ser relacionado com as formas de uso e ocupação do solo.

Assim, a análise temporal relativa a uso e ocupação do solo para a cidade de Goiânia (fig. 3 a 6) revelou que os eventos ocorrem majoritariamente em áreas classificadas como urbanizadas corroborando com a literatura no que diz respeito ao aumento de eventos hidrológicos em áreas antropizadas (Veyret, 2003; Sampaio e Ricardo - Junior, 2007).

Para os anos de 1985, cerca de 17,03% da área era categorizada como urbanizada e a projeção dos dados atuais revelam que a incidência de alagamento na área em questão é de 45,45%.

Em 1997 o percentual de área urbanizada era de 28,08% e a projeção de incidência de ocorrência de eventos hidrológicos 71,72%.

Cabe destacar que, nos anos de 2009 e 2021 o percentual de área urbanizada não sofre modificação, no entanto o índice de ocorrência de alagamento que no primeiro é de 80,81% passa para 85,86% no ano de 2021.

Em estudo publicado no ano de 2021 Moreira *et al.* discutem sobre a qualidade da drenagem urbana na cidade de Goiânia. Como resultado, verificaram que 71% dos pontos com ocorrência de eventos hidrológicos no ano de 2019 localizavam-se em áreas classificadas com uma qualidade de drenagem desfavorável ou muito desfavorável, que também são áreas amplamente impermeabilizadas.

O incremento relativo à ocorrência de eventos hidrológicos pode ser justificado devido ao crescimento demográfico da população, em cerca de 19,48% nesse mesmo período (IBGE, 2010; IBGE 2021), com consequente aumento do processo de verticalização na área, contribuindo para uma maior impermeabilização do solo, maior utilização dos espaços, visto que as edificações multifamiliares usufruem mais do terreno (inclusive o subsolo) para área construída, tendo como resultado a diminuição das áreas de infiltração.

Santos *et al.* (2017) observaram que apesar de as diferenças do uso e ocupação não serem tão evidentes quanto a tipologia em pequenos recortes temporais, o

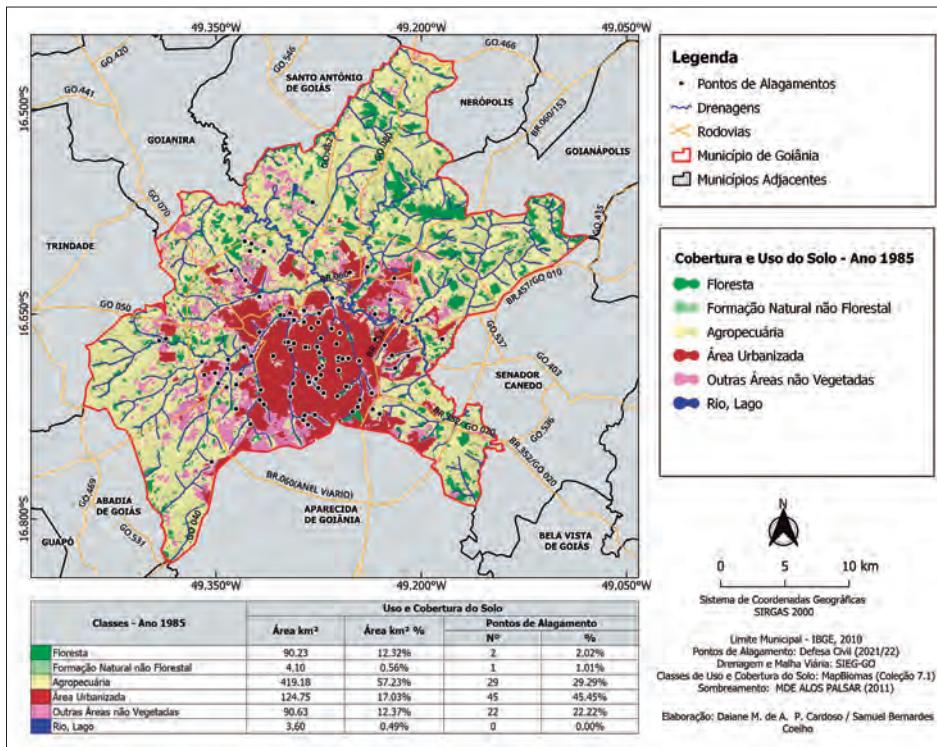


Fig. 3 - Uso e ocupação do solo no ano de 1985 com projeção da incidência de eventos hidrológicos nos anos de 2020/2021  
(Fonte dos dados: IBGE, 2010; MapBiomas Coleção 7.1).

Fig. 3 - Land use and occupation in 1985 with estimated incidence of hydrological events in 2020/2021  
(Data source: IBGE, 2010; MapBiomas Collection 7.1).

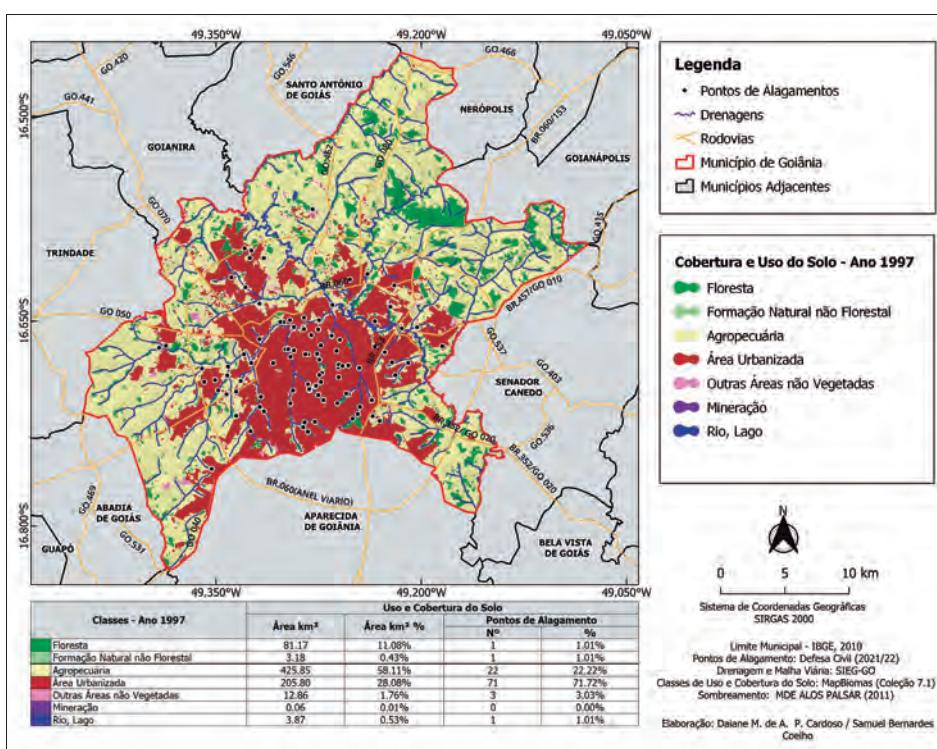


Fig. 4 - Uso e ocupação do solo no ano de 1997 com projeção da incidência de eventos hidrológicos nos anos de 2020/2021  
(Fonte: IBGE, 2010; MapBiomas Coleção 7.1).

Fig. 4 - Land use and occupation in 1997 with estimated incidence of hydrological events in 2020/2021  
(Source: IBGE, 2010; MapBiomas Collection 7.1).

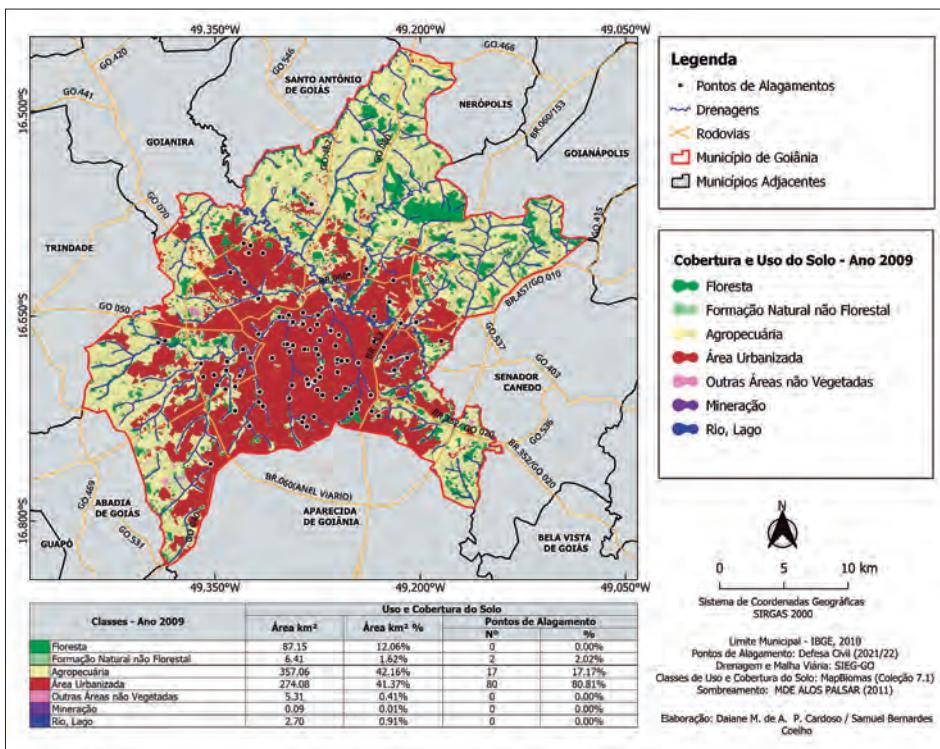


Fig. 5 - Uso e ocupação do solo no ano de 2009 com projeção da incidência de eventos hidrológicos nos anos de 2020/2021  
(Fonte dos dados: IBGE, 2010; MapBiomas Coleção 7.1).

*Fig. 5 - Land use and occupation in 2009 with estimated incidence of hydrological events in 2020/2021  
(Data source: IBGE, 2010; MapBiomas Collection 7.1).*

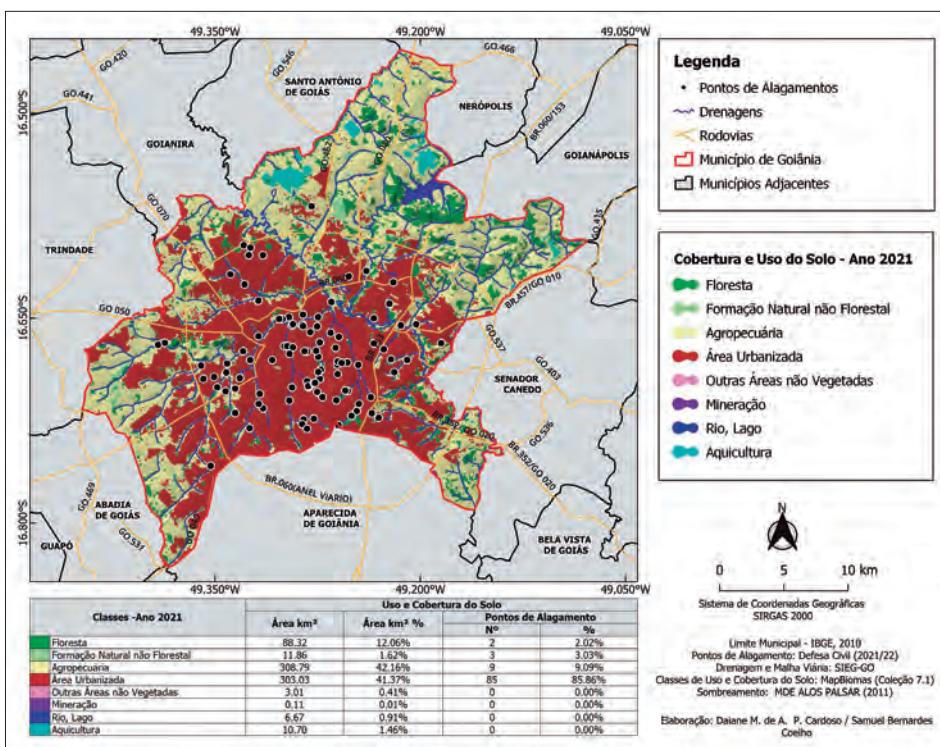


Fig. 6 - Uso e ocupação do solo no ano de 2021 com projeção da incidência de eventos hidrológicos nos anos de 2020/2021  
(Fonte: IBGE, 2010; MapBiomas Coleção 7.1).

*Fig. 6 - Land use and occupation in 2021 with estimated incidence of hydrological events in 2020/2021  
(Source: IBGE, 2010; MapBiomas Collection 7.1).*

processo de verticalização deve ser considerado, uma vez que disponibiliza menos espaço para áreas verdes naturais, acarretando em maior escoamento superficial em períodos de chuva.

Segundo a classificação do MapBiomas, áreas urbanas são aquelas com predominância de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, rodovias e construções. Rego e Barros (2014) discutem que o processo de urbanização, relacionado aos eventos analisados, por meio da impermeabilização contínua do solo e da retirada da cobertura vegetal, tem afetado tanto áreas em processo de urbanização quanto áreas já consolidadas. De acordo com as autoras, tais fenômenos aumentam a quantidade de água acumulada nas vias de circulação pública e o volume de água que atinge os cursos d'água sem infiltrar no solo. Os resultados desta pesquisa corroboram os achados das autoras.

A partir da análise dos dados observamos que nesse intervalo de tempo o uso do solo para a classe urbanização mais que dobrou, em contrapartida áreas classificadas como ‘outras áreas não vegetadas’, diminuíram consideravelmente, passando 12,37% para 0,41% da área total do território. Também podemos observar diminuição em números absolutos de áreas classificadas como agropecuárias e florestas.

## Conclusão

A presente pesquisa teve como objetivo caracterizar as formas de uso e ocupação do solo e relacioná-las à ocorrência de eventos hidrológicos na cidade de Goiânia. Os resultados mostram que os eventos hidrológicos vêm ocorrendo majoritariamente em áreas classificadas como urbanizadas, sendo que os episódios têm aumentado em números absolutos juntamente com o aumento das áreas urbanizadas e ao aumento demográfico da população.

A região centro/sul destaca-se pelo quantitativo de incidência de eventos hidrológicos, os setores Parque Amazônia e Bueno são os bairros com maior número de ocorrência, sendo estes de classe média com característica residencial e também comercial. Esses bairros foram criados na década de cinquenta e hoje encontram-se em franca expansão imobiliária. Já na região Central, o bairro com maior ocorrência é o Centro, com as mesmas características de uso e ocupação do solo e de recorte socioeconômico. Os três bairros citados estão entre os mais populosos de Goiânia com uma população estimada de 24.204, 20.907 e 39.394 habitantes respectivamente.

Tais achados contribuem para o avanço da temática de uso e ocupação do solo sob a perspectiva de perigo, uma vez que correlaciona aspectos de mudança de uso, impermeabilização correlacionados aos desastres

ambientais intensamente recorrentes em áreas urbanas, sendo um contributo para o debate conceitual. Podendo ainda contribuir com as decisões técnicas dos órgãos municipais incluindo a Agência Municipal do Meio Ambiente e a Secretaria de Planejamento do município de Goiânia, uma vez que os resultados dessa pesquisa podem embasar a tomada de decisão no que diz respeito à propositura e aprovação de projetos.

Do ponto de vista das políticas públicas, a pesquisa em questão poderá ser utilizada como norteador de pauta, bem como um referencial teórico no que tange o planejamento territorial urbano incluindo ações regionalizadas de médio a longo prazo voltadas ao uso e ocupação das áreas, bem como à educação (cultura) e prevenção aos desastres ambientais, podendo assim, proporcionar à sociedade goiana a vivência em um ambiente menos suscetível. A informação de perigo relacionado aos aspectos socioeconômicos e sua espacialização (mapeamento) podem ser dispositivos eficientes no que diz respeito à capacitação do poder público e da população frente aos desastres ambientais, sendo que a partir desses dados, pode-se gerar uma agenda de ação municipal de cultura e prevenção aos desastres ambientais.

No que se refere às pesquisas futuras, sugere-se analisar as categorias de uso e ocupação do solo relacionando-as ao regime de precipitação pluviométrica, com recorte temporal, podendo assim relacionar os impactos das alterações climáticas com as ações locais.

## Referências bibliográficas

- Almeida, L. Q. (2012). Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações. *Coleção PROPG Digital (UNESP)*.
- Amaro, A. (2005). Consciência e cultura do risco nas organizações. *Territorium - Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurabça, ISSN: 0872-8941*, Minerva Coimbra | RISCOS, Coimbra, n.º 12, 5-9.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_12\\_1](https://doi.org/10.14195/1647-7723_12_1)
- Aquino, A. R. de, Piedade, A. L. F., Buongermino, C. R. P., Santos, D. R. A. dos, Rocha, E. D., Kiiper, F. de M., Paletta, F. C., Affonso, G. S., Bordon, I. C. A., Coelho, J. M. S., Almeida, J. R. de, Pidone, L. A., Oliveira, M. J. A. de, Ribeiro, R. B., Yamagishi, R. B., Muller, R. M. L., Mattioli, S. R., Boemer, V. A., Rubbia, W. M. (2017). “Riscos ambientais urbanos”, In: *Risco ambiental*. São Paulo: Blucher, 25 -32.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL: SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (2021). *GIRD+10: caderno técnico de gestão integrada de riscos e desastres*. Brasília, DF.

- Brüseke, F. J. (1997). Risco social, risco ambiental, risco individual. *Ambiente & Sociedade*. Campinas, v. 1, n. 1, 117-134.
- Carvalho, S. N. (2001). Estatuto da Cidade: aspectos políticos e técnicos do plano diretor. *São Paulo em Perspectiva*, v. 15, n. 4, 130-135.
- De Castro, S. A. (2000). *Riesgos y peligros: una visión desde la geografía*. Universidad de Barcelona.
- De Sampaio D., Ricardo., Junior, S.C. (2007). Risco ambiental: conceitos e aplicações. *CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem*, v. 2, n. 2.
- De Souza, M. L. (2006). Cidades, globalização e determinismo econômico. *Revista Cidades*, v. 3, n. 5.
- Goiânia. Lei Complementar nº 349, de 04 de março de 2022. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município Goiânia e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Goiânia, n. 7752, 04 mar. 2022.
- Goiás. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil. *Monitoramento Preventivo em Pontos de Alagamentos (2020/2021)*. Goiânia, GO.
- Gonçalves, K. D. S., Siqueira, A. S. P., Castro, H. A. D., Hacon, S. D. S. (2014). Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19, 3809-3818.
- Guevara, T., & Wallace, J. (2023). Planeamiento y crecimiento urbano en la ciudad de San Carlos de Bariloche (2001-2019). urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 15, e20220161.
- Hogan, D. J., Cunha, J. D., Carmo, R. D., & Oliveira, A. D. *Urbanização e vulnerabilidade socioambiental: o caso de Campinas*. Migração e ambiente nas aglomerações urbanas. Campinas: NEPO/UNICAMP, 395-418, 2001.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2015). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 08 ago. 2022.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 07 fev. 2021.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Cidades e Estados*. Disponível em: <https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/goiania>. Acesso em: 03 jul. 2023.
- ICS - INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS. *Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades - Brasil*, 2022. Disponível em: <http://idcs.cidadessustentaveis.org.br>. Acesso em: 22 set. 2022.
- IPCC - CLIMATE CHANGE (2014). Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds., IPCC: Geneva, Switzerland,, 151.
- Jatobá, S. U. S. (2011). *Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social*.
- Lourenço, L. (2014). Risco, Perigo e Crise. Trilogia de base na definição de um modelo conceptual-operacional. *Realidades e desafios na gestão dos riscos-Diálogo entre ciência e utilizadores*, 61-72.
- Luiz, G. C., Romão, P. A. (2019). Interação Solo-Atmosfera e Processos de Inundação e Alagamento na Cidade de Goiânia-GO. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.05, 1891-1903.
- Marandola Jr, E., Hogan, D. J. (2004). Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. *Ambiente & Sociedade*, v. 7, 95-110.
- Marques, M. L., Silva, M. C., Camargo, D. M. (2017). Análise espacial da vulnerabilidade socioambiental no município de Campinas, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 9, 1711-1723.
- Mendonça, F. (org.) (2021). *Riscos híbridos: concepções e perspectivas socioambientais*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Mocci, M. A., Leonelli, G. Cunha V. (2021). Expansão urbana na legislação urbana brasileira: uma revisão temporal. *Revista Brasileira de Direito Urbanístico| RBDU*, 61-80.
- Moreira, P. A. G., Ferreira, N. C., Mendes, T. A. (2021). Determinação de áreas impermeáveis por meio de ferramentas de geoprocessamento. *Geociências*, São Paulo, UNESP, v. 40, n.4, 1081-1099.
- Moreira, J. F. R., Silva, C. A. (2012). Paisagem urbana e áreas verdes: contexto dos parques urbanos de Goiânia. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 32, n. 2, 239-254.
- Nunes, L. H. (org.). (2015). *Urbanização e desastres naturais: abrangência América do Sul*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Olímpio, J. L. S., Zanella, M. E. (2017). Riscos naturais: conceitos, componentes e relações entre natureza e sociedade. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, v. 40, 94-109.
- Portis, G. T., Santos, A. M. dos, Nunes, F. G. (2020). Análise espaço temporal da alteração do uso do solo sob influência de um polo gerador de viagens em Goiânia, GO, Brasil. *Ambiente Construído*, v. 20, 513-525.

- Rego, T. L., Barros, J. R. (2014). *Alagamentos e inundações em Goiânia: uma análise a partir da imprensa local e dos registros da defesa civil.*
- Ribeiro, M. E. J. (2010). *Goiânia: os planos, a cidade e o sistema de áreas verdes, 2000* (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Santos, K. A., Rufino, I. A. A., Barros, M. N. M. (2017). Impacts da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande-PB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, 943-952.
- Souza Jr, C. M., Z. Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A. Alencar, A., Rudorff, B. F., ... & Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, 2735 p.
- UNITED NATIONS - UN (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. New York: United Nations. Disponível em: [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/files/documents/2020/Jan/un\\_2017\\_world\\_population\\_prospects-2017\\_revision\\_databooklet.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/files/documents/2020/Jan/un_2017_world_population_prospects-2017_revision_databooklet.pdf). Acesso em: 3 ago. 2022.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC. (2020). *Atlas Digital de Desastres no Brasil*. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil - Ceped/UFSC. Disponível em: [www.atlas.ceped.ufsc.br](http://www.atlas.ceped.ufsc.br). Acesso em: 22 set. 2022.
- Veyret, Y. (org.). (2003). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto.





**RISCO DE DESASTRES HIDROMETEOROLÓGICOS E CIDADES MÉDIAS:  
UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE POUSO ALEGRE\***

81

**HYDROMETEOROLOGICAL DISASTER RISK AND MEDIUM-SIZED CITIES:  
A CASE STUDY IN THE MUNICIPALITY OF POUSO ALEGRE**

Carolina Galhardo

Universidade Estadual Paulista, São José dos Campos, SP (Brasil)  
Instituto de Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais  
 0000-0002-3419-6190 [carolinagalhardo@gmail.com](mailto:carolinagalhardo@gmail.com)

Ana Paula Martins do Amaral Cunha

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Brasil)  
 0000-0002-9924-6523 [ana.cunha@cemaden.gov.br](mailto:ana.cunha@cemaden.gov.br)

Regina Célia dos Santos Alvalá

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Brasil)  
 0000-0002-7528-5026 [regina.alvala@cemaden.gov.br](mailto:regina.alvala@cemaden.gov.br)

Adriano Mota Ferreira

Universidade Estadual Paulista, São José dos Campos, SP (Brasil)  
Instituto de Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais  
 0000-0003-2885-000X [adrianomotaferreira@gmail.com](mailto:adrianomotaferreira@gmail.com)

**RESUMO**

A expansão das áreas urbanas ao longo dos últimos anos tem se singularizado pelo crescimento desordenado, o que agrava a exposição de pessoas ao risco de desastres de diversas naturezas, devido à ocupação, sem planejamento integrado, de áreas suscetíveis a inundações, enxurradas e alagamentos. O objetivo principal deste estudo foi explorar as diferentes componentes do risco de desastres em relação à expansão urbana e principais instrumentos de planejamento urbano em uma cidade média monitorada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta e Desastres Naturais (CEMADEN). Ao analisar os extremos de precipitação máxima anual de um dia (Rx1) e máxima de cinco dias consecutivos (Rx5) observou-se que a tendência de eventos extremos de chuvas não é de aumento no município, ao contrário do observado nos registros de ocorrência de inundações e alagamentos. Além disso, foi possível evidenciar a vulnerabilidade social no território, o expressivo crescimento do município entre os anos 2000 e 2019, e correlacionar os bairros mais afetados pelos extremos de precipitação. Por fim, reitera-se a necessidade de instrumentos de planejamento integrados e redução da vulnerabilidade social no município para a melhoria na gestão do risco de desastre.

**Palavras-chave:** Expansão urbana, inundações, vulnerabilidade, redução do risco de desastres.

**ABSTRACT**

Urban expansion in recent years has been characterized by unregulated growth, which increases people's exposure to disaster risks due to the unplanned occupation of areas prone to flooding, flash floods, and waterlogging. This study investigates the components of disaster risk in relation to urban expansion and the role of urban planning instruments in a medium-sized city monitored by the National Centre for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (CEMADEN). Analysis of maximum annual one-day precipitation (Rx1) and maximum rainfall over five consecutive days (Rx5) revealed that the frequency of extreme precipitation events has not increased in the municipality, contrary to the records of flood and flash flood events. The study also highlights the municipality's significant population growth between 2000 and 2019, its social vulnerability, and the neighbourhoods most affected by extreme precipitation. The findings underscore the urgent need for integrated planning tools and strategies to mitigate social vulnerability and strengthen disaster risk management.

**Keywords:** Urban expansion, floods, vulnerability, disaster risk reduction.

\* O texto deste artigo foi submetido em 28-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 10-02-2025.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

O Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres (UNDRR, 2017) apresenta a definição de desastre como “[...] uma série interrupção do funcionamento de uma comunidade ou uma sociedade, em qualquer escala, devido a eventos de ameaça que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, levando a uma ou mais das seguintes consequências: perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais”. Considera-se como “[...] ameaças os processos, fenômenos ou atividades humanas que podem causar perda de vidas, lesões ou outros impactos na saúde, danos materiais, perturbações sociais e econômicas ou degradação ambiental” (UNDRR, 2017; 2021). Dentro das classificações das diferentes ameaças estão as chamadas hidrometeorológicas que têm origem atmosférica, hidrológica ou oceanográfica. Exemplos são inundações, incluindo inundações repentinas, seca, ondas de calor ou de frio e tempestades costeiras (UNDRR, 2017; 2020; 2021).

O fator exposição refere-se à situação de pessoas, comunidades ou sistemas, infraestrutura, habitação, capacidade de produção e outros bens materiais que podem estar localizados e sujeitos às ameaças em determinada escala temporal e espacial (Monte et al., 2020; UNISDR, 2009). Já a vulnerabilidade, considerada um conceito complexo, envolve muitas características de pessoas e grupos que os expõem a danos e limitam sua capacidade de prever, enfrentar e se recuperar de danos (Wisner, 2016). Kelman (2019) explica que a vulnerabilidade dita como a sociedade e seus grupos sociais são ou podem ser afetados pelas ameaças, enquanto Valencio (2009) afirma que um grupo que se encontra vulnerável é aquele que, diante de uma ameaça, não pode antecipá-la, lidar com ela, resistir e recuperar-se de seus possíveis danos e impactos. Características como gênero, idade, estado de saúde física e mental, ocupação, estado civil, sexualidade, raça, etnia, religião e status de imigração podem ter influência em potencial perda, lesão ou morte em face a ameaças (Wisner; Gaillard; Kelman, 2012).

Entende-se por capacidade “[...] a combinação de todos os pontos fortes, atributos e recursos disponíveis dentro de uma organização, comunidade ou sociedade para gerir e reduzir os riscos de desastres e fortalecer a resiliência” (UNDRR, 2017). Nesse contexto, quando abordado o meio urbano, o ordenamento territorial tem sido considerado uma das soluções mais viáveis e ferramenta crucial para reduzir as vulnerabilidades em áreas expostas (Ku, 2024; Zhang et al., 2024).

Muito tem se debatido sobre o crescimento das cidades e aumento da população urbana, assim como os desastres em grande, média e pequena escala têm se tornado mais

frequentes (UNISDR, 2009; 2011; 2015; ONU, 2019). A rápida urbanização e degradação do solo, a globalização socioeconômica e as mudanças climáticas estão entre as tendências que afetam o mundo em geral e, se não são a causa, acabam sendo os agravantes dos desastres de origem hidrometeorológica, tais como inundações e enxurradas (Genser, 2013; Prashar et al., 2023).

Adotado na 3ª Conferência Mundial sobre a Redução do Risco de Desastres pelas Nações Unidas, UNISDR (2015), o Marco de Ação de Sendai relata evidências de que a exposição de pessoas e ativos em todos os países cresce mais rapidamente do que a redução da vulnerabilidade. No documento ainda é constatado que tal evidência gera novos riscos, além de aumentar constantemente as perdas por desastres, com significativo impacto sobre a economia, a sociedade, a saúde, a cultura e o meio ambiente, a curto, médio e longo prazo, especialmente nos níveis local e comunitário. Portanto, pode-se aferir sobre a importância em se planejar e executar medidas para prevenção ou minimização de riscos de desastres em articulação com outros temas e setores, segmentos governamentais ou não governamentais e sociedade (Coutinho et al., 2015).

Nos últimos vinte e três anos, 7763 eventos de desastres relacionados a inundações foram registrados em todo o mundo pelo Emergency Events Database (EM-DAT), uma das principais bases de dados internacionais de desastres. Conforme o Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), órgão a frente dos dados, entre 2000 e 2023, houve 510.837 mortes e 3,9 bilhões de pessoas afetadas por 6.681 desastres relacionados ao clima (CRED, 2020a) sendo que, as inundações foram consideradas os eventos mais mortais, representando 43,5% das mortes apenas no ano de 2019 (CRED, 2020b).

No contexto do Brasil, conforme o Atlas Brasileiro de Desastres (Brasil, 2023), no período entre 1991 e 2023, inundações, enxurradas e alagamentos totalizaram 17.655 ocorrências registradas. Destes, 5.213 (29,53%) localizam-se na região Sudeste, entre os quais, 2.458 ocorreram no estado de Minas Gerais, representando 13,92% das ocorrências dessa tipologia no país. No período avaliado, as inundações, enxurradas e alagamentos culminaram em 51,5% dos óbitos e 39,5% dos afetados por desastres no Brasil.

Considerando o cenário descrito, a presente pesquisa tem como objetivo explorar as diferentes componentes do risco de desastres em relação à expansão urbana e principais instrumentos de planejamento urbano, em uma cidade média monitorada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta e Desastres Naturais (CEMADEN). Através de um estudo de caso para o município de Pouso Alegre, Minas Gerais, foram investigados os eventos extremos de chuva, a exposição às ameaças hidrometeorológicas, em especial as inundações,

enxurradas e alagamentos, a distribuição espacial da vulnerabilidade social, ocorrências de desastres no município, assim como a expansão da malha urbana.

## Materiais e Métodos

### Área de Estudo

O município de Pouso Alegre está situado na região sul de Minas Gerais, na microrregião do Vale do Sapucaí (fig. 1). Faz parte da Bacia Hidrográfica do Sapucaí e se localiza a Latitude 22° 13' 48" sul e Longitude 45° 56' 11" oeste, com altitude de 832 metros. A altitude máxima encontrada no município é de 1347 metros (na Serra de Santo Antônio) e a altitude mínima encontrada no município é de 810 metros (na foz do Rio Cervo).

O município possui uma população de 152.217 habitantes (IBGE, 2023) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,774 (IBGE, 2018), considerado IDHM Alto (Malik, 2013). Além disso, consiste em um

importante polo industrial e comercial para a região devido, principalmente, à sua localização às margens da Rodovia Fernão Dias, a 180 km de São Paulo, a 373 km de Belo Horizonte e a 391 km do Rio de Janeiro.

Partindo da abordagem de que o risco de desastre dá-se em função da combinação entre ameaça, exposição, vulnerabilidade e capacidade (UNDRR, 2017), a metodologia adotada baseou-se em i) análise da ameaça - extremos de chuvas que podem levar a inundações, enxurradas ou alagamentos; ii) análise da exposição - áreas de risco no município; iii) análise da vulnerabilidade social e iv) análise da capacidades, realizada através da análise dos instrumentos de planejamento territorial.

### Análise dos eventos extremos de chuva na área de estudo

A primeira etapa do estudo consistiu em avaliar os extremos hidrometeorológicos que possam ter causado os desastres associados às inundações, enxurradas e alagamentos no município de Pouso Alegre. Para isso,

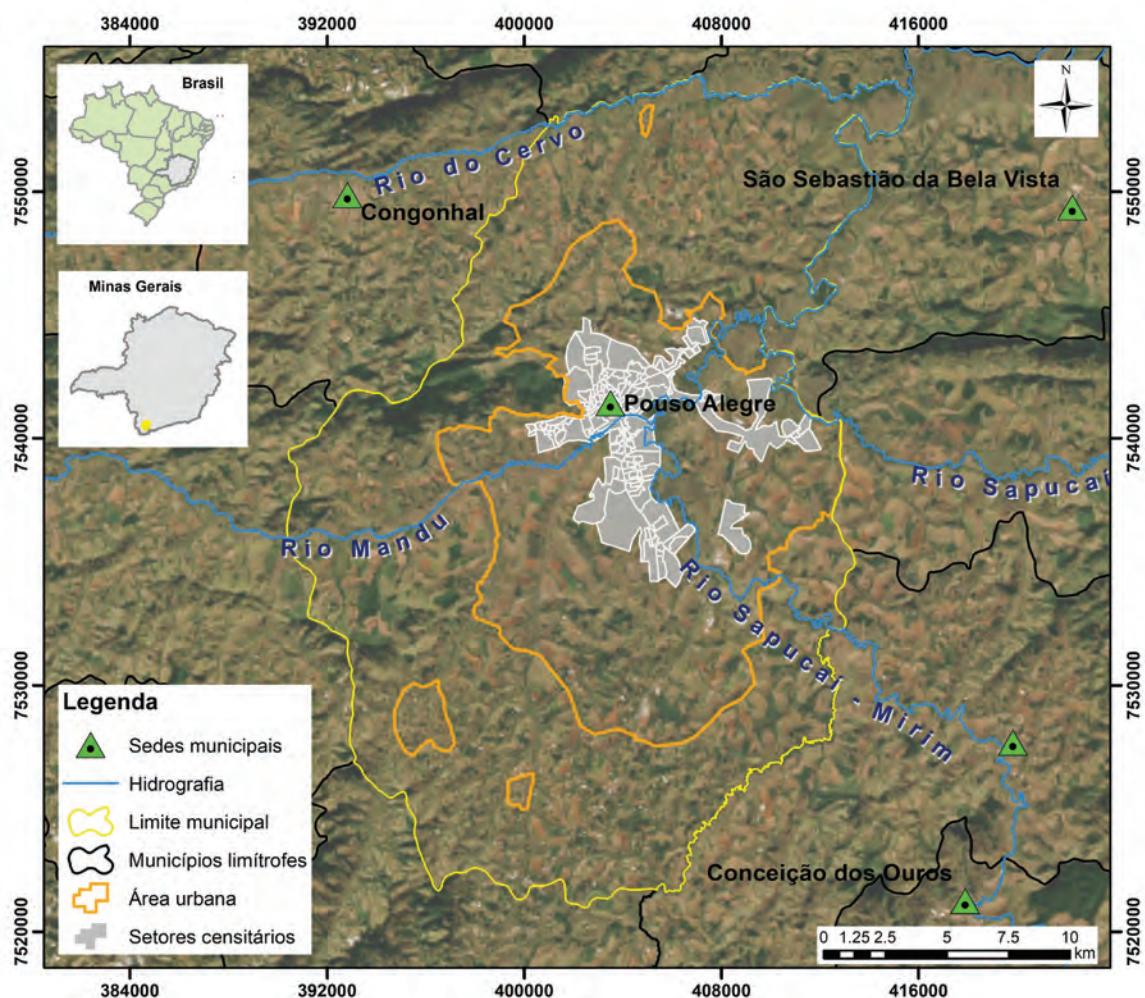


Fig. 1 - Localização do Município de Pouso Alegre, MG.

Fig. 1 - Location of Pouso Alegre, MG.

dados diários de precipitação foram obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, <https://bdmep.inmet.gov.br/>) e da plataforma HIDROWEB da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, <https://www.ssnirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>). Uma vez que a maior parte das estações meteorológicas na área de estudo apresentam falhas em suas séries históricas, todas as estações disponíveis inseridas na área de estudo (região do município de Pouso Alegre, fig.1) foram utilizadas para criar uma série histórica consistente para o período de 1980 a 2021.

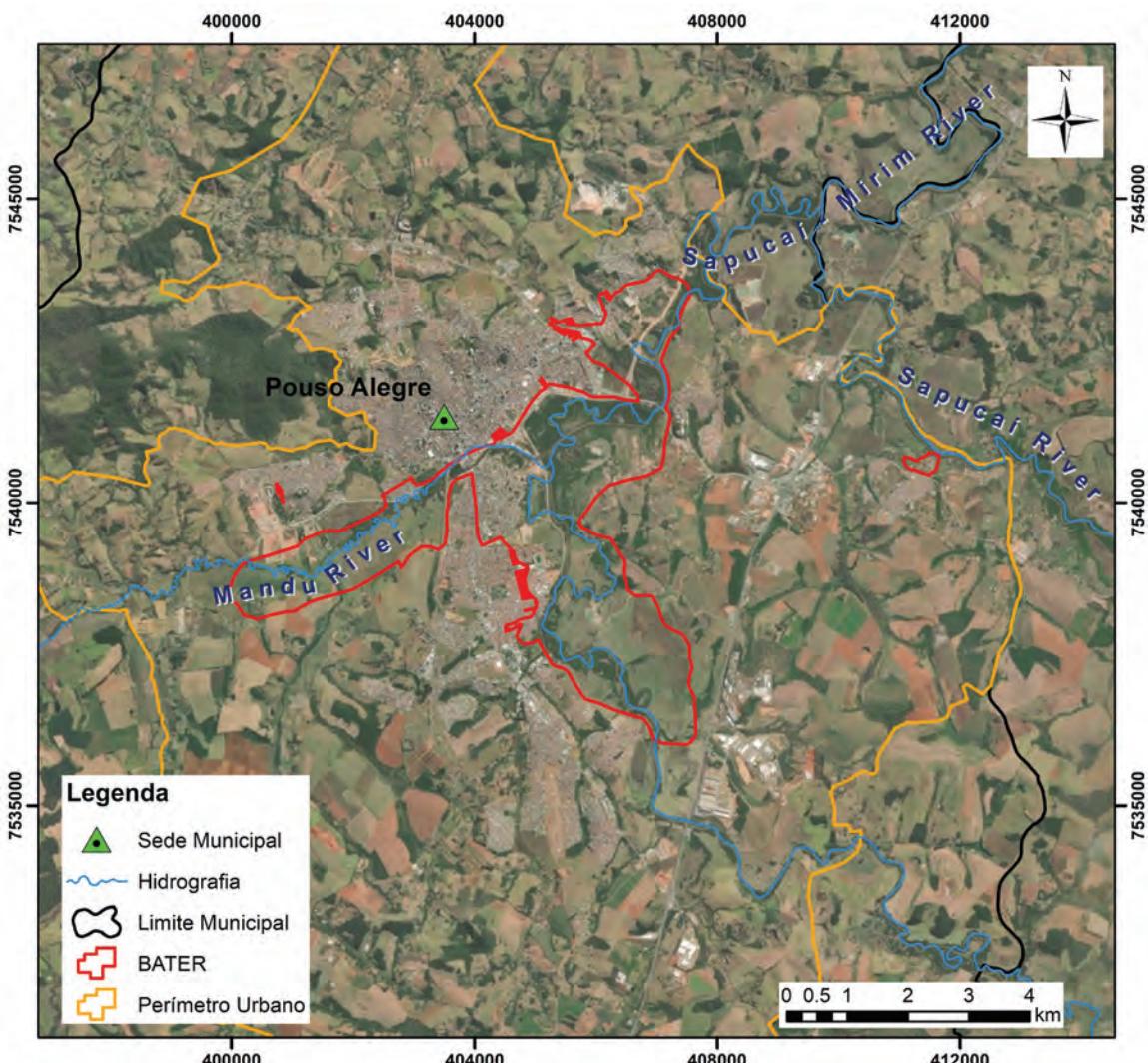
A fim de avaliar os extremos de chuvas que podem estar associados às ocorrências de desastres, os índices climáticos Precipitação máxima anual de um dia (Rx1) e Precipitação máxima de 5 dias consecutivos (Rx5) foram calculados a partir da série temporal de dados

diários de precipitação (1980-2021). Tais índices têm sido amplamente utilizados em estudos de extremos climáticos, conforme indicado pelo “Expert Team on Climate Change Detection and Indices” (ETCCDI) e pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2009).

O teste de tendência linear de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) foi aplicado à série temporal de Rx5 para avaliar alguma tendência (positiva ou negativa) na ocorrência de eventos extremos de chuva no município de Pouso Alegre.

#### *Exposição a ameaças hidrometeorológicas*

Os dados referentes à população exposta (fig. 2) foram obtidos por meio da Base Territorial Estatística de Áreas de Risco - BATER (Dos Santos *et al.*, 2019; CEMADEN; IBGE, 2018; <https://www.ibge.gov.br/>



**Fig. 2 - Base Territorial Estatística de Áreas de Risco - BATER no município**  
(Fonte: elaborado pela autora. Adaptado de IBGE e CEMADEN, 2018).

**Fig. 2 - Statistical Territorial Database of Risk Areas (BATER) in Pouso Alegre, MG**  
(Source: prepared by the author, adapted from IBGE and CEMADEN, 2018).

[geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/21538-populacao-em-areas-de-risco-no-brasil.html?=&t=sobre](https://geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/21538-populacao-em-areas-de-risco-no-brasil.html?=&t=sobre)). Trata-se de uma associação das geometrias das áreas de risco com dados sociodemográficos derivados de faces de quadra e/ou setores censitários. Dessa forma, é possível ter acesso aos dados sociodemográficos associados às áreas de risco de inundações, enxurradas e movimentos de massa (fig. 2) para os municípios monitorados pelo CEMADEN (CEMADEN; IBGE, 2018; Assis Dias et al., 2018, Assis Dias et al., 2020; Dos Santos Alvalá et al., 2019).

Importante destacar que o município em estudo é considerado prioritário para monitoramento pelo CEMADEN/MCTI no que se refere aos riscos de desastres deflagrados por eventos hidrometeorológicos extremos que culminam em inundações, enxurradas e alagamentos.

#### *Caracterização da vulnerabilidade social na área de estudo*

Nesta etapa foi construído um Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) a partir de adaptação de Medeiros (2018). Os dados necessários para a estimativa do IVS foram extraídos do Censo de 2010 fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, <https://censo2010.ibge.gov.br/>) a nível de setores censitários junto às áreas urbanas. No presente estudo foram abordadas 4 dimensões para a identificação da vulnerabilidade, sendo: (i) Habitação e Saneamento; (ii) Renda; (iii) Educação e (iv) Situação Social. A TABELA I apresenta os indicadores utilizados dentre as dimensões selecionadas.

Dos quatorze indicadores, seis deles são inversamente proporcionais à vulnerabilidade social, isto é: % de moradores em domicílios próprios; % de moradores em domicílios ligados à rede geral de água; % de

moradores em domicílios ligados à rede geral de esgoto ou com fossa séptica; % de moradores em domicílios com lixo coletado por serviço de limpeza; % de moradores em domicílios com energia elétrica e renda média mensal domiciliar. Ou seja, quanto maiores os valores dos indicadores acima, menos vulnerável é a população. Por outro lado, os demais 8 indicadores são diretamente proporcionais com a vulnerabilidade social, portanto, quanto maior o valor do indicador, maior a vulnerabilidade.

Tratando-se de diferentes valores e ordens de grandeza, torna-se necessária a padronização dos valores obtidos. Para isso, o indicador normalizado no setor censitário “s” foi obtido através da Equação (I) (IPECE, 2018) abaixo:

$$Ips = (Is - IVmin) / (Vmáx - IVmin) \quad (I)$$

em que:

$Ips$  = Valor normalizado do indicador “I” no setor censitário “s”;

$Is$  = Valor do indicador “I” no setor censitário “s”;

$IVmin$  = Menor valor do indicador “I” dentre o universo de setores censitários;

$IVmáx$  = Maior valor do indicador “I” dentre o universo de setores censitários.

Na execução do cálculo, nos casos em que há uma relação diretamente proporcional à vulnerabilidade, tem-se  $IVmin = I_{min}$  e  $IVmáx = I_{máx}$ . Já nos casos de relação inversamente proporcional com a vulnerabilidade, do qual o menor valor aponta maior vulnerabilidade, tem-se  $IVmáx = I_{min}$  e  $IVmin = I_{máx}$ . O índice de vulnerabilidade social (IVS) foi obtido através do valor médio e desvio padrão dos indicadores, tendo por base a seguinte classificação:

TABELA I - Indicadores utilizados na construção do IVS segundo as dimensões utilizadas.

TABLE I - Indicators used in the Social Vulnerability Index (SVI) construction by dimension.

<b>Habitação e Saneamento</b>	% de moradores em domicílios próprios.
	% de moradores em domicílios ligados à rede geral de água.
	% de moradores em domicílios ligados à rede geral de esgoto ou com fossa séptica.
	% de moradores em domicílios com lixo coletado por serviço de limpeza.
<b>Renda</b>	% de moradores em domicílios com energia elétrica.
	Renda média mensal domiciliar.
<b>Educação</b>	% de domicílios com renda per capita inferior a $\frac{1}{2}$ salário-mínimo.
	Variância da renda média domiciliar.
	% da população com 15 anos ou mais de idade analfabeto.
<b>Situação Social</b>	% de chefes de domicílio analfabetos.
	Média de moradores por domicílio.
	Razão de dependência.
	% de mulheres chefes de domicílios.
	% de agregados a família.

Fonte: Adaptado de IBGE, 2010; \*Dados obtidos em <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>.

Source: Adapted from IBGE, 2010 \*Data obtained from <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>.

- Alta Vulnerabilidade: valores superiores ao índice médio somado ao valor do desvio-padrão;
- Média-alta Vulnerabilidade: valores maiores que o valor médio e menores que a média somada ao desvio-padrão;
- Média-baixa Vulnerabilidade: valores inferiores à média e superiores à média menos um desvio-padrão;
- Baixa Vulnerabilidade: valores inferiores à média menos um desvio-padrão.

Por fim, após cálculo do índice por meio de planilha eletrônica, foi realizada a manipulação e espacialização dos dados em ambiente SIG através do software ArcGIS Pro®, por meio da associação da planilha de cálculo e os códigos correspondentes para cada setor censitário.

#### *Caracterização espaço-temporal da ocorrência de desastres hidrometeorológicos e da expansão urbana*

Os registros de ocorrências de desastres foram extraídos do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD, <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>), a partir do qual foram adquiridas as séries históricas das ocorrências, sendo estas complementadas com dados advindos da Sala de Situação do CEMADEN/MCTI.

Os dados relativos à expansão urbana foram extraídos da plataforma MapBiomas (<https://mapbiomas.org/download>) a partir da qual, através da camada “Infraestrutura Urbana” foi possível analisar a expansão em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esta camada apresenta as áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções (Souza *et al.*, 2020) sendo possível verificar as áreas urbanas de interesse. Além disso, foi utilizado o produto denominado ‘Coleção 5’, a partir do qual foi possível obter dados de uso e cobertura do solo de 1985 a 2019, período este que abrange o considerado na presente pesquisa. É importante destacar que a metodologia proposta por Souza *et al.* (2020) é utilizada em inúmeros projetos que demandam dados de uso e cobertura do solo (Luiza Petroni *et al.*, 2022; Ribeiro *et al.*, 2024; Saraiva Farinha *et al.*, 2024). Ainda nesta etapa, foram consultados dados de população residente de IBGE (2012) em complemento aos de infraestrutura urbana acima citado.

Para analisar a correlação entre a expansão urbana do município e o histórico de ocorrências de desastres registrados, foram cruzadas as informações obtidas por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, visando obter a espacialização dessas informações. É importante ressaltar que, quando os registros não possuíam coordenadas geográficas disponíveis, tais localizações foram aproximadas através de nomes de ruas e ou bairros, juntamente aos

centróides dos respectivos polígonos, com auxílio do software Google Earth Pro (<https://www.google.com.br/earth/versions/#download-pro>).

#### *Instrumentos legais para gestão do risco de desastres*

Para identificar a existência de instrumentos legais voltados à gestão de risco de desastres no município, foram consultados os dados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais - MUNIC 2020 (IBGE, <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?=&t=o-que-e>) e, quando identificados, consultados junto ao site da Câmara Legislativa Municipal (<http://pousoalegre.siscam.com.br>) adaptando-se o proposto por Bernardini (2017).

Dada a relevância do Plano Diretor Municipal (PDM) enfatizada pela Lei 10.257 de 2001 (Estatuto da Cidade) que regulamenta a Política Urbana no Brasil e sua necessária interação com outras Políticas, tais como a Lei 12.608 de 2012 (Política Nacional de Proteção e Defesa Civil), foram consultados os dois PDM's existentes no histórico do município, o Código de Obras e instrumentos voltados às atividades de Proteção e Defesa Civil.

#### **Resultados e Discussão**

##### *Análise dos eventos extremos*

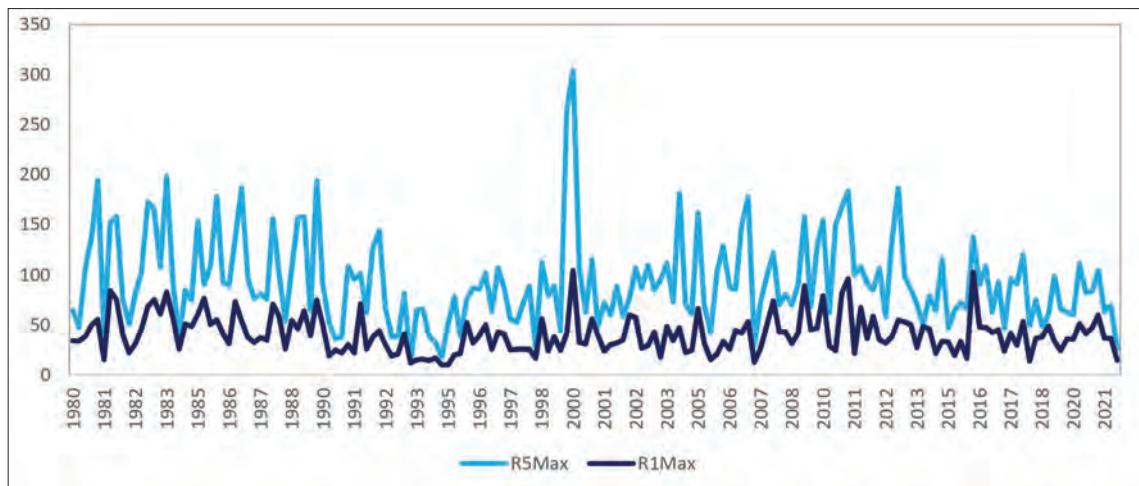
Conforme o Rx5, que indica o acumulado máximo de precipitação em cinco dias consecutivos, o evento mais extremo de chuva ocorreu entre dezembro de 1999 (264 mm) e janeiro de 2000 (304 mm). Após este evento, outros de menores magnitudes foram observados em fevereiro de 2004 (181 mm), janeiro de 2005 (162 mm), janeiro de 2007 (177 mm), fevereiro de 2009 (158mm), janeiro de 2011 (183 mm) e janeiro de 2013 (186 mm).

A partir do Rx1, destacam-se os acumulados diários de chuvas em janeiro de 2000 (104 mm/24h), de janeiro de 2011 (96 mm/24h) e janeiro de 2016 (103 mm/24h) (fig. 3).

Destaca-se que, de acordo com o teste de tendência linear realizado, apesar de uma tendência negativa na ocorrência de extremos de chuva (Tau de Kendal = -0.015), estes não são estatisticamente significativos (p-value = 0.629). Assim, de acordo com os dados de precipitação observados no município de Pouso Alegre, não foi verificada tendência de aumento na ocorrência de extremos de chuva.

##### *Caracterização da vulnerabilidade*

Os resultados obtidos para o IVS mostraram que os setores censitários de interesse no município abrangeram cerca de 36,96 km<sup>2</sup> de um total de 196,66 km<sup>2</sup>, o que contempla 18,79 % do perímetro urbano. Vale lembrar que os setores escolhidos foram os de situação 1 e 3



**Fig. 3 - Evolução temporal de Rx5 e Rx1 para o município de Pouso Alegre, MG.**

**Fig. 3 - Temporal evolution of Rx5 and Rx1 in Pouso Alegre, MG.**

que, em conformidade com IBGE (2012), são aqueles que apresentam (1) área urbanizada de cidade ou vila e (3) área urbana isolada.

Tal situação deve-se à exclusão de determinados setores onde dados não estavam disponíveis junto às bases ou por serem considerados setores rurais. Sendo assim, foram utilizados dados de 139 setores censitários de um total de 165 delimitados no município, o que corresponde a cerca de 84,24% do total de setores. Em termos populacionais, os setores contaram com uma abrangência de 110.230 habitantes que, neste caso, representou 84,40 % da população total (130.615), de acordo com IBGE (2012).

O valor obtido para IVSméd (IVS médio) calculado foi igual a 0,247 (adimensional) e o IVSσ (desvio padrão) de 0,079. Na TABELA II apresenta-se uma síntese das classes do IVS, suas respectivas áreas, setores censitários e população residente.

A partir da TABELA II, observa-se que as classes do IVS com maiores abrangências em termos de área no município seguiram a ordem: Média-Baixa > Média-Alta > Baixa > Alta. Com as maiores áreas, as classes Média-Baixa e Média-Alta concentraram, consequentemente, os maiores números de setores, assim como da população residente (aproximadamente 76%).

É importante ressaltar que, embora a classe de Baixa vulnerabilidade seja aproximadamente 1,12 vezes maior em termos de área do que a classe de Alta vulnerabilidade, esta última conta com 13,30 % da população total, enquanto a primeira conta com 10,73 % da população total dos setores (fig. 4).

Diante a espacialização do IVS, é possível perceber que as áreas periféricas do município compreendem áreas de vulnerabilidade Média-Baixa, Média-Alta e Alta

**TABELA II - Síntese dos resultados obtidos a partir do Índice de Vulnerabilidade Social.**

**TABLE II - Summary of results obtained from the Social Vulnerability Index (SVI).**

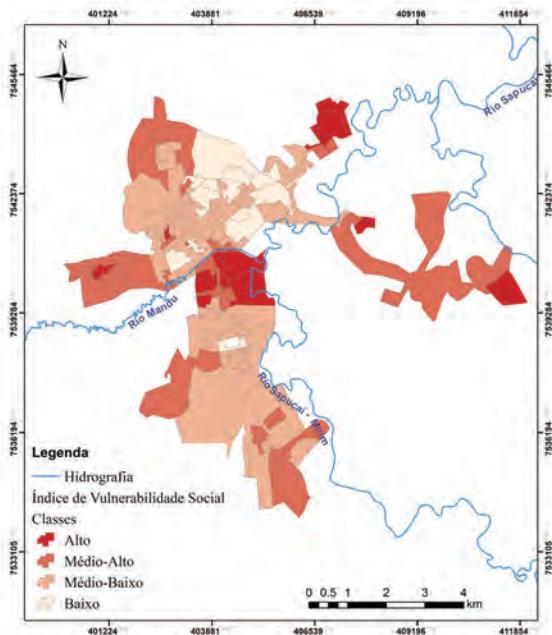
Classes - IVS	Áreas (km <sup>2</sup> )	Setores Censitários (nº)	População (nº)
Alta (IVS > 0,326)	3,71	17	14657
Média-Alta (0,247 < IVS < 0,326)	13,44	37	27630
Média-Baixa (0,168 < IVS < 0,247)	15,67	69	56106
Baixa (IVS < 0,168)	4,14	16	11837
Total	36,96	139	110230

Fonte dos dados: Censo Demográfico de 2010.  
Source: Demographic Census 2010.

(estas duas últimas concentradas a nordeste do mapa). Além dos setores a nordeste, é possível perceber uma concentração de Alta vulnerabilidade social ao centro do mapa, sobretudo ao entroncamento dos rios Mandu e Sapucaí-Mirim, região esta em intersecção ao polígono da BATER. As áreas de Baixa vulnerabilidade concentraram-se ao norte do mapa, especialmente àquelas localizadas ao centro do município.

#### *Ocorrência de desastres e expansão urbana*

O município de Pouso Alegre, MG, tem sua origem a partir do histórico de ocupação das planícies dos rios Sapucaí-Mirim, Mandú e suas proximidades. Como relatou Gouvêa (2004), onde originalmente corria o Rio Mandú foi construída uma avenida perimetral e, dessa forma, o rio teve seu leito natural modificado e seu canal passou



por uma retificação. O autor ressaltou ainda sobre este rio ter passado a receber grande volume de esgoto e produtos químicos industriais e que, anualmente, havia um represamento provindo do encontro das águas de ambos os rios, submergindo regiões da cidade.

De acordo com relatório do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014), relatos de moradores e funcionários da Defesa Civil pontuam a existência de histórico de inundações ocorridas nos anos de 2000, 2007, 2009 e 2011, sendo os eventos dos anos 2000 e 2011 considerados de maior impacto em relação aos demais. Conforme apresentado previamente (fig. 3), as análises de eventos extremos de chuva a partir dos índices Rx1 e Rx5 mostraram que o ano de 2000 correspondeu ao evento com o maior acumulado de chuva em 24 horas (104 mm) e em 5 dias consecutivos (304 mm).

O relatório cita bairros como São Geraldo, Jardim Yara, São José, Jardim Guanabara, Santa Cecília, Faisqueira, Fátima III, Shangrillá, Ipiranga, Francisca Rios, São Carlos e Foch II, situados na área de inundação dos rios Sapucaí-Mirim e Mandu, onde, no ano de 2011, a água atingiu o nível de 2,00 metros nas residências mais próximas ao leito do rio, com média entre 0,50 e 1,00 metro nas demais edificações (CPRM, 2014).

Em consulta realizada no Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres (S2ID), foram encontrados registros de desastres hidrometeorológicos no município a partir de 1997, sendo que os últimos eventos que constam nesta fonte datam do ano de 2016. Os eventos ocorridos posteriormente foram registrados na Sala de

Situação do CEMADEN/MCTI (TABELA III) e complementam a presente análise.

Ao relacionar dados gerados pelos índices de Rx5 e Rx1 é possível tirar algumas considerações. No caso do Rx5, os principais eventos identificados com precipitação máxima em 5 dias consecutivos, janeiro de 2000 mostrou-se o mais intenso com 304 mm de precipitação, fazendo com que fosse necessário o reconhecimento de estado de calamidade pública de, ao menos, 30 dias, como é mostrado na TABELA III. Outros eventos podem ser citados como de janeiro de 2007 onde, cerca de 177 mm acumulados em 5 dias fizeram com que os rios Mandu e Sapucaí-Mirim se elevassem em aproximadamente 4,5 m acima dos níveis normais. Lâmina próxima desta faria com que novamente os rios transbordassem, com cerca de 183 mm, deixando danos em infraestrutura pública, como escolas, pontes, postos médicos e inúmeros domicílios impactados negativamente.

Já no caso do Rx1, chama atenção lâminas diárias de 104, 96 e 103 mm nos anos de 2000, 2011 e 2016 respectivamente. Em 2016, ao menos quatro ocorrências foram registradas, sendo três de pequeno porte relacionadas a inundações enxurradas e alagamentos. Por outro lado, a ocorrência do dia 16/01/2016 fez com que diferentes bairros fossem afetados e uma região da zona rural ficasse isolada (TABELA III).

Nos anos de 2012 e 2014, foram construídos os chamados “Diques 1 e 2” realizadas a fim de se represar as águas dos rios Sapucaí Mirim e Mandu, cujas áreas de inundação extravasam o Bairro São Geraldo e adjacências. Após a construção dessas estruturas, a magnitude do impacto dos eventos extremos de chuva aparentou ter diminuído; porém, podemos observar na TABELA III que a frequência de inundação e de alagamento continuou expressiva, ainda que não tenha sido verificada uma tendência de aumento na ocorrência de extremos de chuva, como destacado no item *Análise dos eventos extremos de chuva na área de estudo*. Como medida emergencial, diante da continuidade das ocorrências, a prefeitura municipal tem utilizado bombas de sucção para retirar a água que acumula na região e, em janeiro de 2020, precisaram ser ligadas para auxiliar no escoamento da água acumulada nas áreas habitadas (<http://www.2005-2015.agenciaminas.mg.gov.br/multimidia/galerias/obras-do-governo-de-minas-vao-evitar-grandes-enchentes-em-pouso-alegre-3/>; <https://pousoalegre.net/93582/defesa-civil-monitora-aumento-do-nivel-dos-rios-mandu-e-sapucaimirim-em-pouso-alegre/>).

Uma vez observado que a ocorrência dos desastres no período analisado não aumenta em proporção direta com os extremos de chuvas, pode-se inferir que outros fatores estejam associados com os acontecimentos. Dentre estes, inclui-se a expansão urbana como parâmetro relevante e capaz de afetar diretamente a localização e a constância das ocorrências com o passar dos anos.

TABELA III - Desastres registrados no Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres e pela Sala de Situação do CEMADEN/MCTI.

*TABLE III - Disasters recorded in the Integrated Disaster Information System and by the CEMADEN/MCTI Situation Room.*

Data	Tipo/ Fonte	Evento	Descrição
07/01/1997	Portaria	Enxurradas	Reconhecimento, em virtude de intensas precipitações e inundações, a situação de emergência no município.
18/01/2000	Portaria	Inundações	Reconhecimento, em virtude de intensas precipitações pluviométricas, do estado de calamidade pública pelo prazo de 30 dias.
24/02/2004	Avadan	Inundações	Chuvas fortes e ininterruptas por período de sete dias, provocaram alagamento, desabamento, deslizamento de encostas e inundações em diversas áreas do município.
08/01/2007	Avadan	Inundações	Inundações causadas por chuvas que elevaram o nível dos Rios Mandú e Sapucaí Mirim 4,5 m acima de seu nível normal, causando danos e prejuízos nas áreas urbana e rural, agravada por uma chuva no dia 08/01/2007.
04/05/2009	Avadan	Tempestade Local/ Convectiva	Chuva intensa ocorrida por um período de 30 minutos, de grande intensidade, com granizos de aproximadamente 5 cm de diâmetro, provocando destruição total de diversas lavouras.
04/01/2011	Avadan	Inundações	Chuvas de 140 mm ocorridas por um período de 72 horas com precipitações pluviométricas de grande intensidade e longa duração, que culminaram na cheia dos rios Mandu, numa cota de 3,00 m, e Sapucaí Mirim, de 4,25 m acima de seu nível normal. Houve inundaçao, atingindo várias famílias. As águas causaram inundaçao em escolas, postos médicos, residências, danos em pontes e outras edificações públicas e privadas.
2012			Construção - Dique 1
23/02/2013	Fide	Enxurradas	Ruas e avenidas na área central e dos bairros Jardim Noronha, Primavera, Shangri-lá, Francisca Rios (árvores grandes) e São Carlos foram atingidas por fortes enxurradas. No bairro Vale das Andorinhas houve inundaçao. Fortes chuvas, acima de 25mm, 1 hora em média, causaram fortes enxurradas e inundações devido ao transbordamento do córrego Ribeirão das Mortes, que corta o bairro Vale das Andorinhas.
2014			Construção - Dique 2
31/12/2014	Fide	Alagamentos	Bairros da área central, e periféricos, como centro da cidade, Bairro Solar das Andorinhas, Bairro São Geraldo, Jardim Mariosa, Bairro Shangri-lá, Bairro Fátima I, Bairro Faisqueira. Chuva muito forte entre 10 e 15 mm em pouco espaço de tempo, acompanhada de fortes vendavais, causaram inundações bruscas em vários bairros, atingindo residências e comércio, destelhando vários imóveis residenciais e comerciais, além de derrubar várias árvores de grande porte, que ao cairem sobre a rede elétrica, causam o desligamento da mesma deixando vários bairros sem energia.
03/01/2016	CEMADEN/ MCTI	Enxurrada/ Alagamento	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: AUSENTE Localização da ocorrência no mapa: lat:-22.2480373 ; long:-45.94201179999999
15/01/2016	CEMADEN/ MCTI	Inundaçao	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: BAIXA PRECISÃO. Bairros Faisqueira, Colina de São Francisco, Pão de Açúcar, Bela Itália, São Geraldo e Foch II.
16/01/2016	Fide	Alagamentos	Bairros afetados: Faisqueira, Vale das Andorinhas, Santa Edwiges, Morumbi, Colina Verde, Centro, São João, (Gabiroval na zona rural). Volume de chuva de 90 mm, num período de 6 horas ininterruptas, veio a causar cheias nos ribeirões que cortam a zona urbana causando inundações nos bairros próximos aos mesmos, além da captação pluvial deficitária em vários bairros. Na zona rural a cheia do ribeirão do pântano causou o isolamento da Vila Vintém no bairro Gabiroval.
17/01/2016	CEMADEN/ MCTI	Inundaçao	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: AUSENTE Localização da ocorrência no mapa: lat:-22.2480373 ; long:-45.94201179999999
23/03/2016	Fide	Alagamentos	Chuva intensa com volume médio de 90 mm, no período das 19h30 às 21h40, veio a causar fortes enxurradas e alagamentos nos bairros Faisqueira, Recanto dos Fernandes, Vale das Andorinhas, Bairro Shangri-lá, Centro, Jardim América e Jardim Noronha.
23/03/2016	CEMADEN/ MCTI	Inundaçao/ Enxurrada	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: BAIXA PRECISÃO. Bairros Faisqueira, Xangrilá, Jardim América, Recanto dos Fernandes e Vale das Andorinhas. Vários pontos de alagamento. Não há registro de desalojados e desabrigados.
20/11/2017	CEMADEN/ MCTI	Inundaçao/ Alagamento	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: MÉDIA PRECISÃO Rua José Augusto da Silva, Bairro Shangrilá.
09/01/2018	CEMADEN/ MCTI	Inundaçao	Precisão de localização da ocorrência: MÉDIA PRECISÃO rua Antônio Scodeller, Centro, bairros Faisqueira, Santa Edwirge e Nossa Senhora do Pilar Número de afetados: 200
07/04/2019	CEMADEN/ MCTI	Enxurrada/ Alagamento	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: BAIXA PRECISÃO. Bairros São Judas Tadeu e Faisqueira.

Data	Tipo/ Fonte	Evento	Descrição
11/02/2020	CEMADEN/ MCTI	Inundação	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: MÉDIA PRECISÃO. Rua Antônio Scodeller.
08/03/2020	CEMADEN/ MCTI	Enxurrada	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: AUSENTE Localização da ocorrência no mapa: lat:-22.264900939042427; long:-45.93997119936775
14/12/2020	CEMADEN/ MCTI	Alagamento	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: MÉDIA PRECISÃO Rua Comendador José Garcia
07/01/2021	CEMADEN/ MCTI	Enxurrada	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: BAIXA PRECISÃO Paróquia de São Cristóvão - Avenida 19 de Outubro - São Cristóvão.
09/02/2021	CEMADEN/ MCTI	Alagamento	Magnitude do Evento: Pequeno Porte Precisão de localização da ocorrência: MÉDIA PRECISÃO Avenida Prefeito Olavo Gomes de Oliveira.

Fonte dos dados: S2iD e CEMADEN/MCTI / Data source: S2iD and CEMADEN/MCTI.

Apresentamos o mapa de evolução das áreas urbanizadas do município, onde as manchas cinzas representam a área desenvolvida até o ano de 2000; as manchas vermelhas, o quanto essa área aumentou de 2001 a 2010; e, as amarelas, até o ano de 2019 (fig. 5).

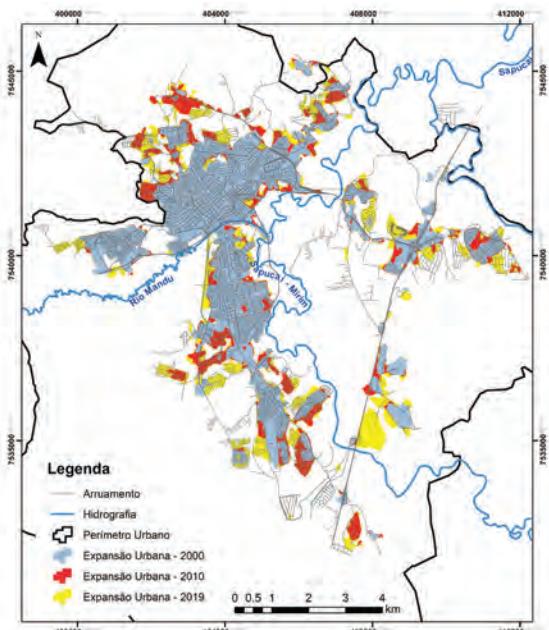


Fig. 5 - Mapa de evolução das áreas urbanizadas  
(Fonte: Souza et al., 2020).

Fig. 5 - Map of urban growth  
(Source: Souza et al., 2020).

No ano de 2000, a área relativa à infraestrutura urbana, ou seja, áreas de fato urbanizadas apresentaram cerca de 22,80 km<sup>2</sup>. É possível observar uma distribuição heterogênea do tecido urbano e concentrações acima do Rio Mandu e sequencialmente ao Rio Sapucaí Mirim. Já no ano de 2010, é verificado um aumento para 29,14 km<sup>2</sup>, distribuídos na região norte, leste e sul do município, seguindo o traçado urbano consolidado. O mesmo acontece para o ano de 2019, quando a área do município chega a 37,63 km<sup>2</sup>. A

fig.6 apresenta um comparativo entre a expansão urbana e o aumento da população ao longo de quase 10 anos. A partir do gráfico, infere-se que o crescimento da malha urbana, que aumentou em 14,83 km<sup>2</sup> entre os anos de 2000 e 2019 acompanhou o crescimento da população, que era de 106.776 no ano 2000 e foi estimada em 154.293 habitantes no ano de 2020.

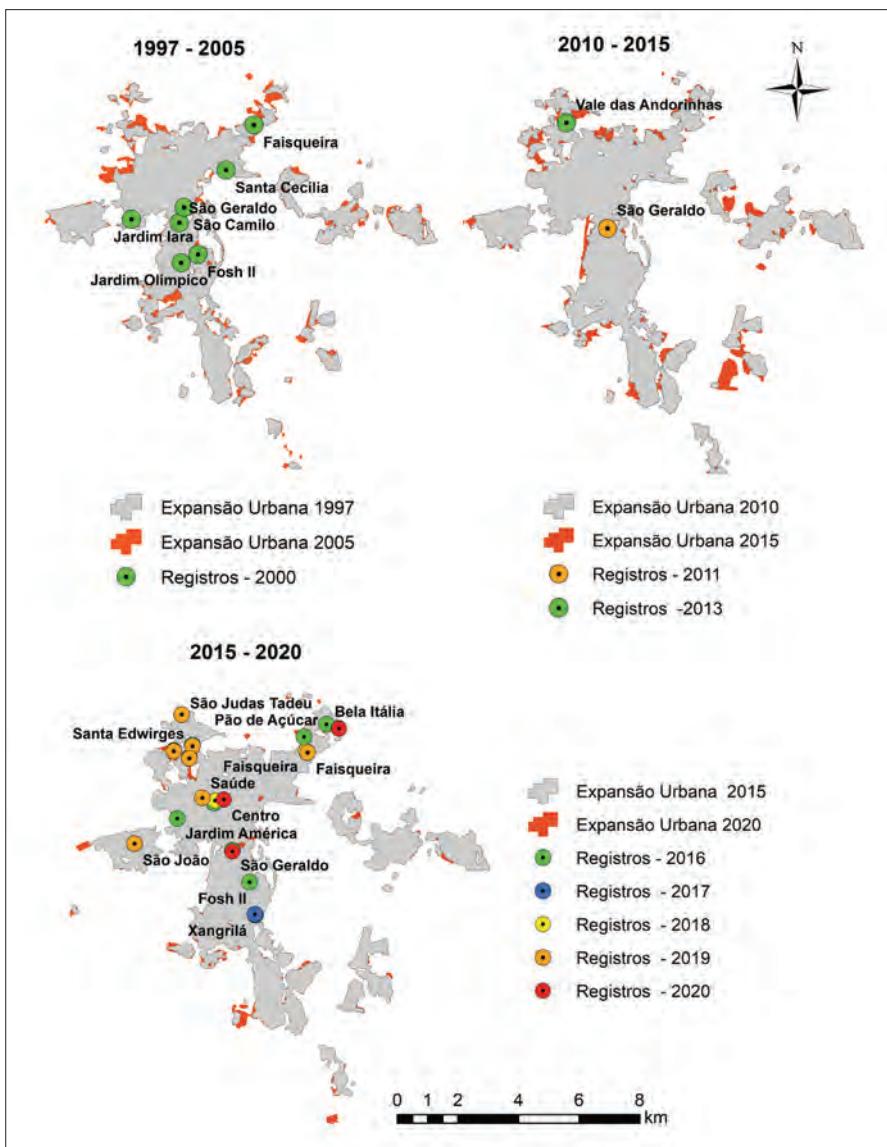


Fig. 6 - Gráfico comparativo Área Urbanizada e População Residente  
(Fonte: IBGE, 2012; Souza et al., 2020).

Fig. 6 - Comparison chart of Urban Area and Population  
(Sources: IBGE, 2012; Souza et al., 2020)

A partir dos dados de expansão destacados nas fig.5 e fig.6, foi feita uma demonstração espacial das ocorrências (fig. 7) descritas na TABELA III, compreendendo os seguintes períodos: 1997 a 2005, 2010 a 2015 e 2015 a 2020. Para os anos de 2004, 2007 e 2009 não foram registradas as localidades exatas das ocorrências, portanto, estes eventos não estão espacializados no mapa.

Pode-se observar que, enquanto alguns bairros deixaram de registrar ocorrências, outros como São Geraldo, Faisqueira e Fosh II continuaram a apresentar novos registros ao longo dos anos, sendo o São Geraldo o local com maior constância de eventos no período estudado. Destaque para áreas compreendidas pela BATER junto a confluência dos Rios Mandu e Sapucaí-Mirim, onde encontram-se setores classificados como de Alta Vulnerabilidade Social (fig. 4), como no caso do bairro São Geraldo. Além disso,



**Fig. 7 - Espacialização de ocorrências nos períodos 1997/2005; 2010/2015 e 2015/2020**  
(Fonte dos dados: Mapbiomas, S2iD e CEMADEN/MCTI).

**Fig. 7 - Spatial distribution of occurrences in the periods 1997/2005, 2010/2015, and 2015/2020**  
(Data source: Mapbiomas, S2iD and CEMADEN/MCTI).

o polígono de maior dimensão mostrado na fig. 2 possui cerca de 4.710 domicílios e 16.590 moradores. Por fim, nota-se, também, que a partir do ano de 2016, eventos são registrados em locais que, até então, não havia nenhum registro, além de não serem compreendidos pelas áreas de BATER (Base Territorial Estatística de Área de Risco) relacionadas à inundação e enxurradas, em especial, na região norte do município (fig. 2).

Por fim, vale ressaltar que, apesar de ser possível verificar através de reportagens jornalísticas que a construção dos diques foi benéfica quanto à dimensão dos desastres ocorridos, não foram encontrados dados oficiais quanto a magnitude destes eventos para os anos

compreendidos entre 1997 e 2015. Nos anos subsequentes a este período, a magnitude da maioria dos eventos foi classificada como sendo de pequeno porte, sobretudo dos dados advindos do Cemaden/MCTI.

#### *Instrumentos legais de planejamento no contexto da capacidade*

A legislação urbana no Brasil tem seu início a partir da Constituição Federal de 1988, cujo documento apresenta instrumentos políticos e diretrizes acerca do assunto. Gadens e Bel (2018) ressaltaram a importância desta constituição, dado o fato de a mesma estabelecer os artigos 182 e 183, que traçam diretrizes gerais da política urbana no Brasil e dá outras providências, considerando-se

este o marco da política urbana no Brasil. Em julho de 2001, a Lei Federal nº 10.257, conhecida como Estatuto da Cidade, regulamenta tais artigos e estabelece o Plano Diretor como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

92

Ainda sobre a Constituição Federal de 1988, está determinado ser competência da União planejar e promover a defesa permanente contra calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações (BRASIL, inciso art. 21, XVIII). Somente em abril de 2012, a Lei nº 12.608 vem regulamentar esse artigo, instituindo a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. O Art. 2º da Lei 12.608 confere aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios o dever de adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de desastre e um dos objetivos da lei, contido no Art. 5º, inciso XI, consiste em combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas.

O município de Pouso Alegre conta com a proposição de dois planos diretores: o primeiro, que data do ano de 2008 (PDM-2008), e o segundo, aprovado em setembro de 2021 (PDM-2021). Ainda que formulado após a inundação ocorrida no ano de 2000, considerada o evento de maior impacto negativo aos municípios, o primeiro plano diretor da cidade aborda de maneira superficial o assunto, traçando mais estratégias relacionadas ao controle da ocupação e do adensamento populacional, expansão urbana e meio ambiente. Directamente relacionado aos desastres aqui discorridos, o plano determina áreas de reassentamento de população localizada em áreas de risco ou proteção ambiental.

Nos anos subsequentes à aprovação do PDM-2008, o município passou por desenvolvimento econômico expressivo, com a abertura de empresas e indústrias que se tornaram atrativos para mão de obra provinda de outras localidades. Com o consequente aumento da população, o crescimento desordenado e a queda na qualidade dos serviços públicos ofertados tornaram-se notáveis e, também, motivos de descontentamento por parte da população.

Para o desenvolvimento do plano mais recente, foi elaborado um diagnóstico, cujo relatório gerou os chamados “Produtos”, a partir dos quais foram apresentados os resultados obtidos relativos aos aspectos socioeconômicos, ambientais e culturais. A partir de um dos documentos gerados por este processo, o “Produto 9: Resumo Executivo e Normativas Técnicas”, foi possível verificar trechos que abordam o tema de desastres no município.

No prognóstico geral acerca do saneamento, o documento considera o acelerado processo de urbanização uma das causas de eventuais problemas ambientais, citando, por exemplo, a ocupação de áreas urbanas mais suscetíveis,

como os fundos de vales. Ressalta que o município não possui um plano diretor de macrodrenagem e destaca a existência de problemas com o escoamento de águas superficiais, sendo a bacia do bairro Primavera citada como uma das regiões mais problemáticas em relação às inundações.

No PDM-2021, o tema “desastre” foi encontrado com maior frequência quando comparado ao plano anterior, trazendo como um de seus “Princípios, Diretrizes e Objetivos”, o controle da expansão urbana, a fim de evitar a ocupação de áreas de riscos e a urbanização de áreas precárias. Nesse sentido, foram criadas diretrizes de estratégia territorial a partir das chamadas “Macrozonas” - ordenadoras do território urbano e rural, e dos “Eixos de Estruturação de Transformação” - compostos pela malha viária, o sistema hídrico e as áreas de risco do município.

Dentre os eixos criados, está a “Rede Estrutural de Resiliência Urbana”, que, segundo o documento, corresponde ao sistema de controle de enchentes e riscos de inundações, e tem como principal objetivo conter possíveis enchentes do Rio Sapucaí, Sapucaí Mirim e Mandu, contribuindo para redução da vulnerabilidade a eventos extremos de chuvas e desastres.

Quanto ao macrozoneamento, foram criadas as Zonas Especiais de Projetos Urbanos (ZEPU), que destinam vazios urbanos do território à criação de projetos urbanos que venham a contribuir com a redução de riscos e desastres, assim como conferir melhor qualidade de vida à população. Ainda abrangendo o tema em questão, pode-se citar as Zonas Especiais de Preservação Ambiental de Áreas de Proteção à Riscos de Desastres (ZEPAM 3), que abrangem áreas sujeitas a inundações, onde ficam vetados o parcelamento do solo, os usos “[...] residenciais e não-residenciais, exceto agropecuários, extrativistas, de interesse turístico, lazer, preservação ambiental, geração de energia de fontes alternativas e sustentáveis e obras de infraestrutura para controle de enchentes e alagamentos” (PMPA, 2020).

O PDM-2021 promove a utilização de Instrumentos de Política Urbana, como a transferência do direito de construir, quando se tratar de imóvel lindeiro ou situado em área de riscos ambientais, e Zona Especial de Preservação Ambiental de Proteção à Riscos e Desastres (ZEPAM 3). Além disso, estipula prazos para a criação de políticas como a Política municipal de redução de risco e a Política de saneamento básico municipal. Quanto às modificações realizadas no Macrozoneamento existente, destaca-se a ampliação das Zonas de Expansão Urbana (ZEU), que passam a abranger áreas da sub zona de amortecimento do Parque Municipal e Reserva Biológica de Pouso Alegre, permitindo a construção de prédios e o adensamento populacional em áreas consideradas estratégicas para a conservação ambiental.

Vale ressaltar que, anteriormente à aprovação do projeto de lei que dispunha sobre o novo Plano Diretor (PDM-2021), o Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU) se posicionou manifestando preocupação quanto à ampliação das ZEU, afirmando que tal medida culminaria em efeitos negativos ao meio ambiente e ao saneamento ambiental, além de prejudicar a paisagem urbana local.

Apesar de não haver menção à Defesa Civil no PDM-2021, em julho do mesmo ano foi criada a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC) do município através da Lei Ordinária nº 6425/2021 e regulamentada por meio do Decreto nº 5333/2021. Por outro lado, a Defesa Civil Municipal é citada ao menos sete vezes no Código de Obras do município (Lei Ordinária nº 6570 de março de 2022). Em um aspecto geral, define a competência às entidades do Poder Executivo, proprietários de edificação e responsáveis técnicos em acionar o órgão de Coordenação de Defesa Civil quando há manifestação “*de fenômeno natural ou induzido que coloque em risco a vida ou patrimônio público ou particular*”, assim como realização de perícias técnicas. Por fim, outras atividades relativas à Proteção e Defesa civil, tais como executar a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) em âmbito local e incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal estão descritas na Lei Ordinária nº 6425/2021. Esta Lei, embora programada revisão para no máximo cento e oitenta dias a contar da aprovação do PDM-2021, e incorporar as ações de Proteção e Defesa Civil, outras, como a elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos e Desastres, possuem previsão de até quatro anos para sua elaboração. Tal situação dificulta a elaboração de um Plano, de fato, voltado à redução de riscos de desastres, postergando ações valiosas que contribuam para gestão de riscos locais.

## Conclusão

Este trabalho pretendeu explorar as diferentes componentes do risco de desastres em relação à expansão urbana e principais instrumentos de planejamento urbano, em uma cidade média monitorada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta e Desastres Naturais (CEMADEN).

Quanto às ocorrências de eventos extremos, foi observado que a tendência de eventos extremos de chuvas não é de aumento no município de Pouso Alegre, ao contrário do que se nota nos registros de ocorrência de inundações e alagamentos, nos quais permanece a existência de ocorrências inclusive em áreas do município onde nos anos anteriores não era observado o risco dessa tipologia de desastre. Além disso, foi constatado também que as áreas socialmente mais vulneráveis coincidem com as áreas mapeadas pela CPRM, estas consideradas mais suscetíveis ao risco de desastres.

A respeito dos instrumentos de planejamento consultados, nota-se avanço na proposta de ações em prol da gestão do risco de desastres quando comparados o PDM-2008 com o PDM-2021, uma vez que, neste último, o assunto é abrangido mais amplamente, além de existir a criação de estratégias mais direcionadas à real necessidade do município. Por outro lado, as questões relacionadas à Proteção e Defesa Civil ficaram mais estritamente descritas no Código de Obras e não necessariamente no PDM-2021.

Há necessidade da redução da vulnerabilidade da população que habita as áreas de risco a desastres. Além disso, pode-se considerar contraditória a estratégia de ampliação e adensamento da ZEU, pois, ainda que a zona citada não esteja situada em uma área de risco a desastres, o impacto para ações neste âmbito deve ser avaliado de maneira a abranger o território como um todo.

Por fim, as análises aqui realizadas demonstram o quão abrangente podem ser as circunstâncias que interferem na ocorrência de um desastre e na redução do risco de desastres. Portanto, ações tomadas frente a este contexto devem compreender estratégias de natureza multidisciplinar, orientadas por perspectivas de diferentes campos do conhecimento de maneira integrada a fim de se minimizar os impactos causados na vida da população.

Trabalhos futuros poderão considerar o aprofundamento nas séries históricas de precipitação na região em estudo através de outros indicadores, atualização do contexto da vulnerabilidade social aqui demonstrada, assim como análises da eficiência dos instrumentos de planejamento urbano frente ao desenvolvimento e redução de risco de desastres no município de Pouso Alegre.

## Referências bibliográficas

Assis Dias, M. C. D., Saito, S. M., Alvalá, R. C. D. S., Stenner, C., Pinho, G., Nobre, C. A., Fonseca, M. R. D. S., Santos, C., Amadeu, P., Silva, D., Lima, C. O., Ribeiro, J., Nascimento, F., & Corrêa, C. de O. (2018). Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 449-459.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.06.002>

Assis Dias, M. C. D., Saito, S. M., Alvalá, R. C. D. S., Seluchi, M. E., Bernardes, T., Camarinha, P. I. M., Stenner, C., & Nobre, C. A. (2020). Vulnerability index related to populations at-risk for landslides in the Brazilian Early Warning System (Bews). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101742.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101742>

Bernardini, S. P. (2017). Regulação às avessas? Uma análise sobre a legislação urbanística instituída nos municípios da Região Metropolitana de Campinas

- entre 1970 e 2006. *Cadernos Metrópole*, 19, 609-634. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2017-3911>
- BRASIL (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, Diário Oficial da União.
- BRASIL (2001). Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Institui o Estatuto da Cidade. Brasília, Diário Oficial da União, seção 1.
- BRASIL (2012). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. Brasília, Diário Oficial da União, seção 1, edição nº 70.
- BRASIL (2020). Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Diretoria de Pesquisas Coordenação de População e Indicadores Sociais. Pesquisa de Informações Básicas Municipais: Perfil dos Municípios Brasileiros 2020. Rio de Janeiro.
- BRASIL (2023). Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Brasília: MIDR.
- CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS - CRED (2020a). The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019). Brussels: CRED; 2020. Available at: <https://www.cred.be/sites/default/files/CRED-Disaster-Report-Human-Cost2000-2019.pdf>
- CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS - CRED (2020b). Natural Disasters 2019. Brussels: CRED. Available at: [https://emdat.be/sites/default/files/adsr\\_2019.pdf](https://emdat.be/sites/default/files/adsr_2019.pdf)
- CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS - CRED (2024). Disasters in Numbers - 2023. Brussels: CRED.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS - CEMADEN; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2018). População em áreas de risco no Brasil. Rio de Janeiro.
- CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES - CEPED (2023). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2022. Volume Brasil. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. - Florianópolis: CEPED UFSC, 165 p.
- Coutinho, M. P., Londe, L. de R., Santos, L. B. L., & Leal, P. J. V. (2015). Instrumentos de planejamento e preparo dos municípios brasileiros à Política de Proteção e Defesa Civil. *urbe Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 7(3), 383-396. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.007.003.ao06>
- Dos Santos Alvalá, R. C., De Assis Dias, M. C., Saito, S. M., Stenner, C., Franco, C., Amadeu, P., Ribeiro, J., Souza De Moraes Santana, R. A., & Nobre, C. A. (2019). Mapping characteristics of at-risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, 101326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101326>
- Gadens, L. N., & Bel, J. S. (2018). Planejamento urbano flexível na cidade contemporânea: contribuições a partir da análise do Plano 22@ Barcelona. *urbe Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10(3), 558-575. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.003.ao05>
- Gencer, E. A. (2013). Natural disasters, urban vulnerability, and risk management: A theoretical overview. In *The Interplay between Urban Development, Vulnerability, and Risk Management*, Springer Berlin Heidelberg, 7-43.
- Gouvêa, O. (2004). A história de Pouso Alegre. 2. ed. Pouso Alegre: Grá-cá Amaral.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2012) Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2023). Censo 2022: População e Domicílios - Primeiros Resultados - Atualizado em 22/12/2023
- INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030. [https://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf)
- Kelman, I. (2019). Axioms and Actions for Preventing Disasters. *Progress in Disaster Science*, [s. l.], v. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100008>
- Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Measures. Ed. Charles Griffin. London. Lira, C. S.
- Ku, C.-A. (2024). Evaluating the effects of land-use strategies on future flood risk reduction in urban areas. *Cities*, 150, 104989. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104989>
- Ludwig, L., Mattedi, M. A., & Avila, M. R. (2020). Urban Planning and socioenvironmental disasters: The myth of urban expansion in Blumenau/SC. *Cuadernos de vivienda y urbanismo*, 13. DOI: <https://doi.org/10.11144/javeriana.cvu13.upsd>
- Luiza Petroni, M., Siqueira-Gay, J., & Lucia Casteli Figueiredo Gallardo, A. (2022). Understanding land use change impacts on ecosystem services within urban protected areas. *Landscape and Urban Planning*, 223, 104404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104404>
- Malik, K. (2013). *The rise of the South: Human progress in a diverse world*. United Nations Development Programm.

- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 13(3), 245. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Medeiros, C. N. de. (2018) *Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental utilizando ferramentas de geoprocessamento*. Fortaleza, CE: IPECE. (126). Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/12/TD\\_126.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/12/TD_126.pdf), acedido em: 15 fev. 2022.
- Monte, B. E. O., Goldenfum, J. A., Michel, G. P., Cavalcanti, J. R. D. A. (2021). Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, [s. l.], v. 52, p. 101970. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212420920314722>, acedido em: maio, 2024.
- Prashar, N., Lakra, H. S., Shaw, R., & Kaur, H. (2023). Urban Flood Resilience: A comprehensive review of assessment methods, tools, and techniques to manage disaster. *Progress in Disaster Science*, 20, 100299. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2023.100299>
- PREFEITURA MUNICIPAL DE POUSO ALEGRE (2020). Plano Diretor Municipal. Produto 9: Resumo Executivo e Normativas Técnicas. Pouso Alegre.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE POUSO ALEGRE (2008). Lei Ordinária nº 4707, de 30 de junho de 2008. Institui o Plano Diretor do Município de Pouso Alegre.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE POUSO ALEGRE (2021). Lei Ordinária nº 6476, de 23 de setembro de 2021. Dispõe sobre o Plano Diretor de Pouso Alegre de acordo com o disposto no art. 40, § 3º, do Estatuto da Cidade, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do município.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE POUSO ALEGRE (2022). Lei Ordinária nº 6570, de 17 de março de 2022. Dispõe sobre o Código de Obras de Pouso Alegre/MG e dá outras providências de acordo com a Lei nº 6.476, de 23 de setembro de 2021 - Plano Diretor.
- Ribeiro, M. P., Menezes, G. P., Figueiredo, G. K. D. A., De Mello, K., & Valente, R. A. (2024). Impacts of urban landscape pattern changes on land surface temperature in Southeast Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 101142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101142>
- Saraiva Farinha, M. J. U., Berezuk, A. G., Filho, A. S., Da Silva, L. F., Ruviaro, C. F., & Bernardo, L. V. M. (2024). Public environmental actions and urban land use planning in the Central-west Region of Brazil. *Urban Forestry & Urban Greening*, 92, 128209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128209>
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM (2014). Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa - Pouso Alegre - Minas Gerais. Pouso Alegre.
- Souza, C. M., Jr, Z. Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A. Alencar, A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto, M., G. Ferreira, L., Souza-Filho, P. W. M., de Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- HAZARD DEFINITION AND CLASSIFICATION REVIEW: TECHNICAL REPORT | UNDRR. (2020, julho 28). <http://www.undrri.org/publication/hazard-definition-and-classification-review-technical-report>
- UNITED NATIONS - UN (2020). Local Governments and Disaster Risk Reduction Good Practices and Lessons Learned. Switzerland.
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION - UNISDR (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. <http://www.preventionweb.net/english/professional/terminology/>. Acesso em: maio, 2024.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNISDR; UNITED NATIONS CHILDREN FUND - UNICE. (2011). Children and disasters: Building resilience through education, 203 p.
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION - UNISDR (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030. Disponível em: [http://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](http://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf), acedido em: maio, 2024.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNDRR (2017). Terminology on Disaster Risk Reduction. <https://www.unrr.org/terminology/disaster-risk>
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNDRR (2020). Hazard definition and classification review: Technical report. Disponível em: <http://www.unrr.org/publication/hazard-definition-and-classification-review-technical-report>, acedido em: maio. 2024.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNDRR (2021). *Hazard Information Profiles: Supplement to UNDRR-ISC Hazard Definition & Classification Review: Technical Report*. Geneva, Switzerland, United Nations Office for Disaster Risk Reduction; Paris, France, International Science Council. DOI: <https://doi.org/10.24948/2021.05>
- Valencio, N. (2009). Da área de risco ao abrigo temporário: uma análise dos conflitos subjacentes a uma territorialidade precária. In: Valencio, N. et al. (orgs.).

*Sociologia dos desastres: construção, interfaces e perspectivas no Brasil.* São Carlos: RiMa Editora.

Wisner, B. (2016). Vulnerability as Concept, Model, Metric, and Tool. Em: WISNER, B. (Ed.). Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science. [s.l.]: Oxford University Press.

Wisner, B., Gaillard, J. C., Kelman, I. (2012). *Framing Disaster from: The Routledge Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction*, Routledge.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION-WMO. (2009). *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Geneva. No. 1500.



**ANALYSIS OF THE TENDENCY FOR URBAN FLASH FLOODING TO OCCUR, ON A LOCAL SCALE, BASED ON MORPHOMETRY AND LAND USE: A CASE STUDY IN THE CITY OF SÃO JOÃO DEL-REI, MINAS GERAIS (BRAZIL)\***

97

**ANÁLISE DA TENDÊNCIA À FORMAÇÃO DE ENXURRADAS URBANAS, NA ESCALA LOCAL, A PARTIR DA MORFOMETRIA E DO USO DA TERRA: ESTUDO DA CIDADE DE SÃO JOÃO DEL-REI, MINAS GERAIS (BRASIL)**

André Barbosa Ribeiro Ferreira

Paulista State University "Júlio de Mesquita Filho", GEOCART/CNPq (Brazil)  
Institute of Territorial Management and Geotechnologies - IGTECH  
 0000-0003-3041-4012 [abr.ferreira@unesp.br](mailto:abr.ferreira@unesp.br)

Andréa Aparecida Zacharias

Paulista State University "Júlio de Mesquita Filho", GEOCART/CNPq (Brazil)  
Faculty of Science, Technology and Education, Department of Geography and Planning  
 0000-0002-9992-7927 [andrea.zacharias@unesp.br](mailto:andrea.zacharias@unesp.br)

Francielle da Silva Cardozo

Federal University of São João del-Rei, Postgraduate Program in Geography - PPGEOG (Brazil)  
Faculty of Geography, Department of Geoscience  
 0000-0002-4775-4649 [franciellecardozo@ufsj.edu.br](mailto:franciellecardozo@ufsj.edu.br)

Bráulio Magalhães Fonseca

Federal University of Minas Gerais, Research Center/Laboratory of Cartography (Brazil)  
Institute of Geosciences, Department of Cartography  
 0000-0002-2282-8568 [brauliomagalhaes@cart.igc.ufmg.br](mailto:brauliomagalhaes@cart.igc.ufmg.br)

## ABSTRACT

Flash floods are processes formed from concentrated surface runoff, which usually occurs during intense rain events and in basins with rugged relief. In cities, torrential floods are further aggravated by excessive waterproofing and the common lack of micro- and macro-drainage systems. The water can therefore flow over the roads and, depending on the volume and energy, it can cause a range of material and social damage. Considering the rapid urbanization process in Brazil and the recurrence of natural hydrological and hydrogeomorphological disasters, this article contributes with a methodology that aims to identify trends in flash flood formation in urban areas, through morphometry and the impermeable percentage. The study takes the city of São João del-Rei (Minas Gerais) as a geographical scale for application of the model. The results showed compatibility with the dynamics of the study area, indicating high tendencies in drainage units conducive to the occurrence of strong flash floods.

**Keywords:** Disasters, waterproofing, surface runoff.

## RESUMO

As enxurradas são processos formados a partir do escoamento superficial concentrado, o qual ocorre, geralmente, durante eventos chuvosos intensos e em bacias de relevo acidentado. Nas cidades, as enxurradas possuem, ainda, agravantes, como a impermeabilização exacerbada e a comum insuficiência do sistema de microdrenagem e macrodrenagem. Desse modo, o caudal escoa sobre as vias e, dependendo do volume e energia, pode causar uma série de danos materiais e sociais. Considerando o acelerado processo de urbanização brasileira e a recorrência de desastres naturais hidrológicos e hidrogeomorfológicos, este artigo contribui com uma metodologia que busca identificar tendência à formação de enxurradas, no espaço urbano, por meio da morfometria e percentual de impermeabilização. O estudo adota como escala geográfica a cidade de São João del-Rei (Minas Gerais) para a aplicação do modelo. Os resultados apresentaram compatibilidade com a dinâmica da área de estudo, indicando tendências elevadas em unidades de drenagem propícias à ocorrência de fortes enxurradas.

**Palavras-chave:** Desastres, impermeabilização, escoamento superficial.

\* O texto deste artigo foi submetido em 06-10-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 23-02-2024.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introduction

Flash floods result from or correspond to concentrated surface runoff with high transport energy, which may or may not be associated with areas in the domain of fluvial processes (Amaral e Ribeiro, 2009). According to Bertoni e Lombardi Neto (1990), Tominaga *et al.* (2009), and Reis (2011), the speed and volume of this process depends directly on slope gradient. If the gradient of the land increases fourfold, flow speed of the runoff tends to increase twofold, while erosive capacity is four times higher. In addition to the relief, Pruski *et al.* (2003) complement that the factors influencing the rate of water infiltration in the soil also increase or decrease surface runoff. Thus, it is understood that in urban environments floods can be intensified due to an increase in impermeable areas due to constructions and paving without the management of rainwaters (Reis, 2011), that is, an efficient system of micro- and macro-drainage.

During a rain event on a constructed landscape, it is common for the flow of surface runoff to find its direction on the urban thoroughfares, especially those which are impermeable. When these roads have an efficient drainage system, they capture the flow and distribute it internally. However, when this system is lacking and not duly maintained, the water flow tends to be greater on the surface, creating genuine "road rivers".

This phenomenon is capable of causing serious structural problems through its dragging potential, among others. In addition, when affecting the lowest parts of the relief, flooding can occur and downstream inundations can be intensified, strengthened by the substantial volume of water released over a short period into fluvial channels, which become the final part of the macro drainage system. Thus, flash floods can lead to environmental, economic, and social damage.

Given the reduced infiltration capacity associated with unplanned urbanization, flash floods are becoming more frequent and are often associated with generalized flooding (Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil - CEPED (Center for Studies and Research on Engineering and Civil Defense), 2013a). According to CEPED (2013a), of the disasters that affected the Brazilian population between 1991 and 2012, 21% are related to flash floods. During this period, all the Brazilian states have at least one record of the process, especially in coastal locations, such as Pernambuco, Alagoas, Espírito Santo, Rio de Janeiro, and Santa Catarina.

In the state of Minas Gerais, during the abovementioned period, 1,155 official records of severe flash floods characterized as disasters were computed, the majority occurring in the east of the state, in the Zona da Mata (Forest Area) Mesoregion. However, of the 853 municipalities in the state, 520 have at least one record

of a flash flood disaster. In the Campo das Vertentes Mesoregion, 52% (19) of the municipalities also have records of flash floods, with São João del-Rei and Prados standing out, as both have four records between 1990 and 2000 (CEPED, 2013b). In the case of São João del-Rei, the numbers may be significantly higher when analyzing the Observation Reports of the Defesa Civil Municipal (Municipal Civil Defense) (Defesa Civil, 2018, 2019, 2020) and the news on local sites and in local newspapers, as presented by Ferreira *et al.* (2022).

Given this situation and the complexity of the local relief, with accentuated slopes and an altitude range of 142m in an area of 17.5 km<sup>2</sup>, the urban area of São João del-Rei was chosen as the study area for the application of the methodology proposed by Corsi *et al.* (2015). These authors suggest that the altitude range of the drainage units are predictors of the tendency to form flash floods. In addition, this study also aimed to associate the morphometry with the impermeable percentage of the drainage units to generate primary evidence to support environmental planning and territorial management, and to understand the phenomenon on a local scale.

## Characterization of the study area

The municipality of São João del-Rei is located in the Central-South region of the state of Minas Gerais/Brazil, with its municipal headquarters located at the geographical coordinates 44°15'00" W and 21°7'30" S (fig. 1). According to the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brazilian Institute of Geography and Statistics) (IBGE, 2021) the estimated population of 90,897 inhabitants is mostly urban. The formation history of the population nucleus dates from the end of the 17th century and is related to the mineral prospecting and exploration of the period (IBGE, 2021).

The peculiar geomorphology of São João del-Rei influenced the initial historical formation of the city, described by various authors as being inserted between valleys and slopes, which are referential elements for the formation of the urban nucleus (Brasilero *et al.*, 2013). Currently, the urban area extends between the slopes of the Serra do Lenheiro, part of the Serra de São José, and the flood plains of the Lenheiro, Água Limpa and Rio das Mortes streams. The altitude range between these slopes and valley floors is approximately 142 m (1,025 m and 883 m).

The geographical position, the rainfall characteristics of summer rains with mean precipitation of 750 mm (Baruqui *et al.*, 2006), the disordered land use, and the lack of effective policies and regulations are factors favorable to the occurrence of disasters, such as those that have happened in the form of inundations, mass movements, and flash floods.

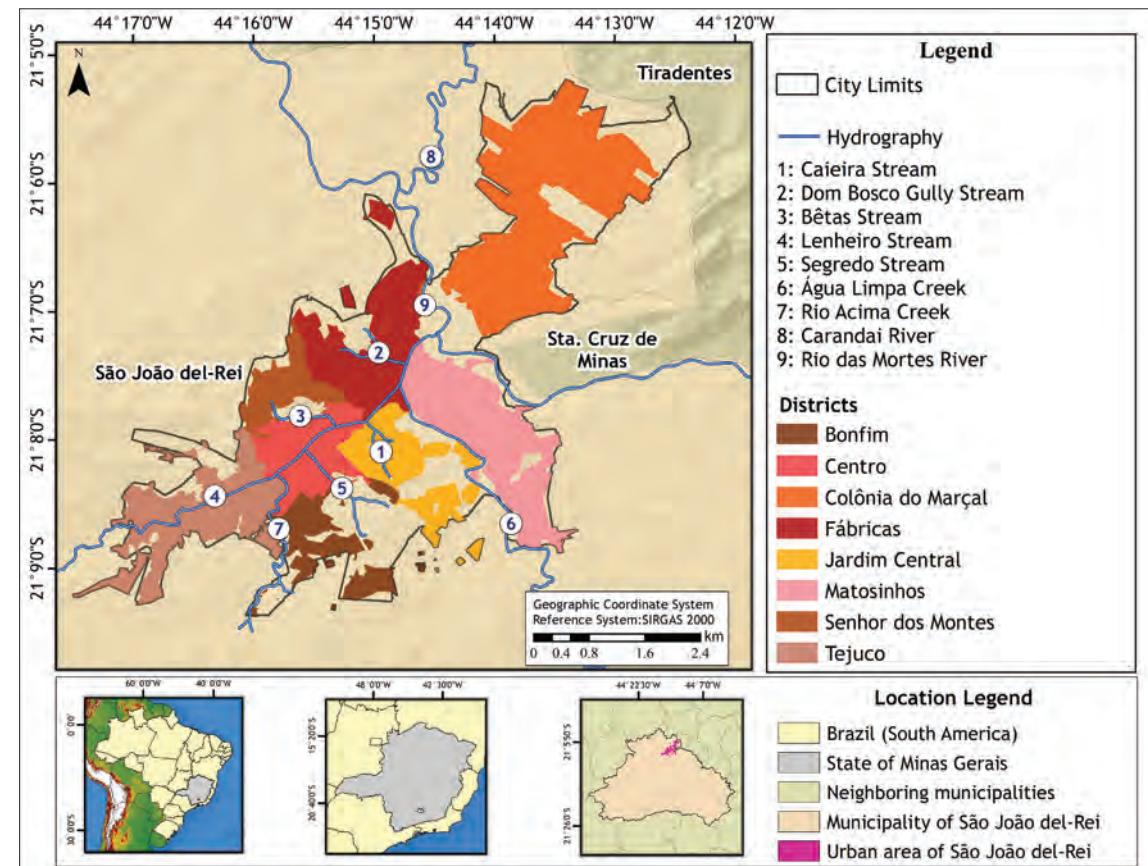


Fig. 1 - Location map of the study area.

Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo.

## Methodology

The model of the tendency towards flash flood formation was developed based on the methodology proposed by Corsi *et al.* (2015). The proposal uses the altitude range of the drainage unit as reference under the logic that the greater the range, the greater the energy of the surface runoff.

The vectors of the drainage units, or Ottobasins, made available by the Agência Nacional de Águas (National Waters Agency) (ANA, 2018), and the Digital Terrain Model (DTM), with a spatial resolution of 5 m, were used for model development. The products were added to a GIS using ArcMap, which enabled the extraction and association of the altitude ranges with the referred drainage units.

According to Corsi *et al.* (2015), basins with a range above 300 meters are classified as susceptible to flash floods. In the case of São João del-Rei, as the maximum range does not reach this value, it was decided to represent the result on a sloping scale of maximum, minimum, and intermediate values. These can indicate areas with a greater or lesser tendency towards flash flood formation considering local topography.

Associated with the natural tendency, flash floods can be intensified according to occupation of the area, as the waterproofing of the soil for the most varied urban purposes such as buildings and the implanting of thoroughfares, increases surface runoff and, consequently, flash floods. Based on this principle, previously mapped classes of Land Use and Land Cover (LULC) with references in the Ikonos image (spatial resolution of 1m), were used to identify the impermeable percentage of the drainage units under analysis.

Image classification was carried out manually on *Eognition* software (advanced analysis software for geospatial applications) based on automatic segmentation, using scale parameter 10 and spectral difference 3, which enabled the separation and/or clustering of the polygons, according to their similarities and differences in spectral response. Eleven LULC classes were classified, which were subsequently grouped into two classes: impermeable and permeable (TABLE I).

Subsequently, the polygons corresponding to the impermeable class were associated with the *shapefile* of the drainage units to represent the impermeable percentage of each unit. In the attributes table, a column

TABLE I - Land use and land cover (LULC) class clustering.

QUADRO I - Agrupamento de classes de UCT.

LULC	Characteristic
Outcrop	< Permeability
Asphalt	
Buildings	
Bridges	
Water	> Permeability
Bush/Tree	
Landslide scar	
Grass	
Exposed Soil	
Semi-permeable thoroughfares	
Vegetated gullies	

denominated potential for increased runoff was created, which was defined based on the conception of Tucci (2000). According to this author (Op.cit), the greater the percentage of impermeable area, the greater the surface runoff of the section. As an example, in an area in which the impermeable percentage is 20%, the surface runoff volume tends to be 2.15 times greater (Tucci, 2000).

Considering this understanding, the potential for increased surface runoff was defined using the Field Calculator function of ArcMap, to obtain a runoff proportion in each unit (Equation 1).

$$\text{Runoff proportion in each unit} = \text{impermeable \%} * 2,15$$

20

Below, the files for tendency towards flash floods and potential for increased surface runoff were converted into raster with a spatial resolution of 5m, as per the reference DTM, and normalized between 0 and 1. Based on this, map algebra was used between the bases (Equation 2), which enabled the acquisition of the integrated potential for flash flood formation.

$$\text{Tendency towards flash flood formation} \times \text{Potential for increased runoff}$$

## Results

The proposed methodology presented in the previous section resulted in a set and maps that may help support the Municipal Public Authority in decision making related to urban planning and the reduction of damage arising from flash floods in the city of São João del-Rei. Among the results, first, the LULC map and the clustering of classes with greater or lesser permeability are highlighted (fig. 2). Both representations favor the comprehension and spatiality of the area and the drainage units that make up the integrated tendency towards flash flood formation, associating the altitude range with the impermeable percentage of the area. In the case of São João del-Rei, 39.42% of the urban area is impermeable.

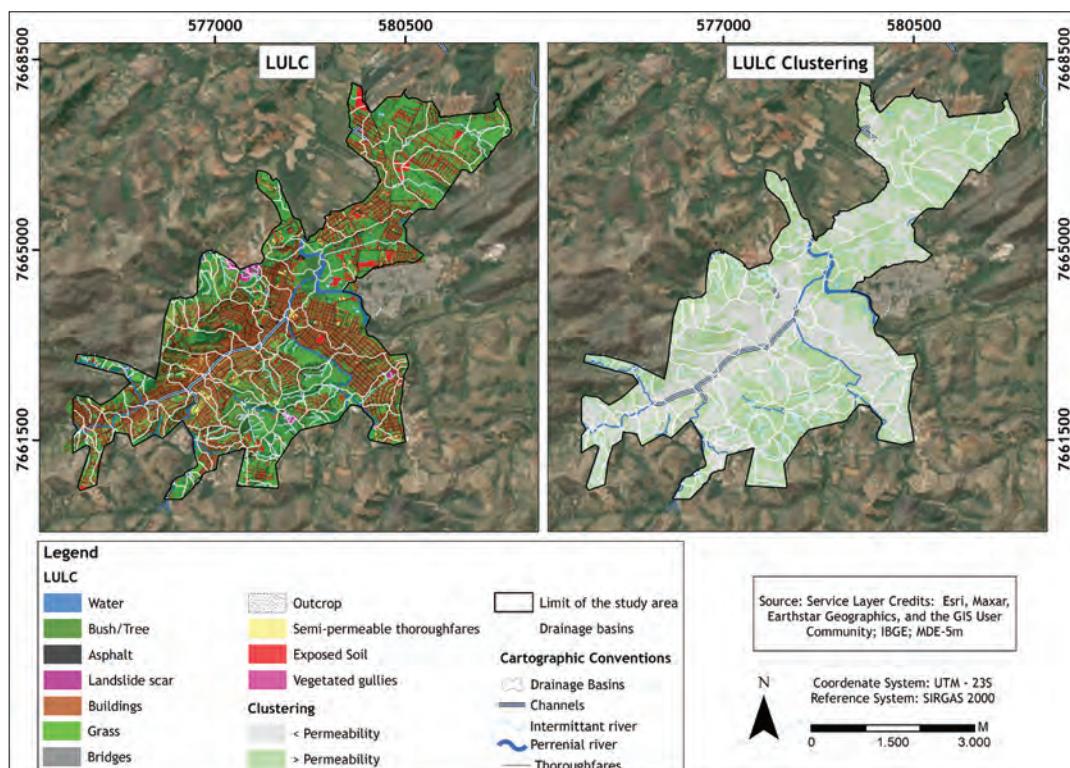


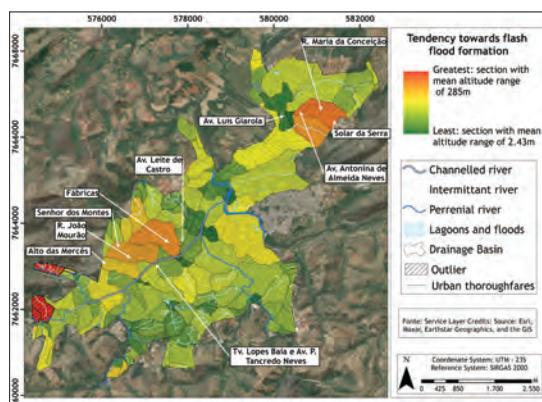
Fig. 2 - Land Use and Land Cover (LULC) and class clusters.

Fig. 2 - Uso e Cobertura da Terra (UCT) e agrupamento de classes.

According to the methodology proposed by Corsi *et al.* (2015), the drainage units with the highest altitude range present the strongest tendency towards flash flood formation. Therefore, by using the technique in the study area, it can be noted that, in the city of São João del-Rei, the basins with the strongest tendency towards flash flood formation are located in the extreme southwest and have an altitude range between 167 and 285 meters.

However, although these basins partially compose the study area, they have this altitude range due to the abrupt ruptures in the relief (presence of the steep rocky walls of the Serra do Lenheiro), where the slope gradient is above 45%. Due to these particularities, the study considered these units as outliers, and they were therefore not analyzed in detail.

The urbanized basins inserted predominantly in the area of analysis that demonstrated a more accentuated tendency towards flash flood formation are situated in the Colônia do Marçal, Fábricas, and Senhor dos Montes districts (fig. 3).



**Fig. 3 - Tendency for flash flood formation.**

**Fig. 3 - Tendência à formação de enxurradas.**

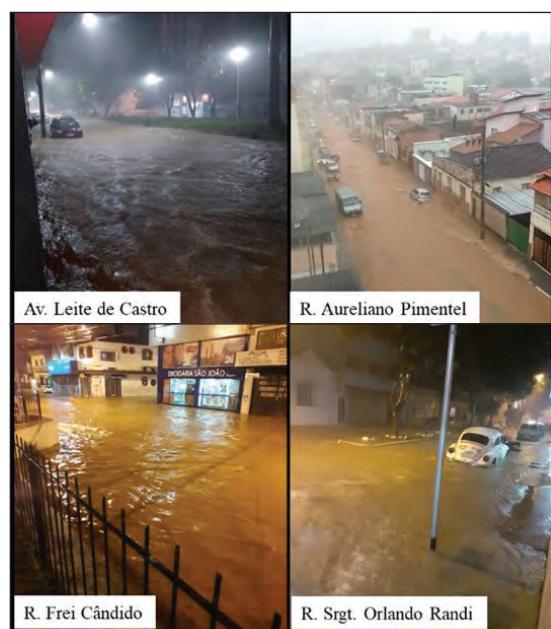
In the Colônia do Marçal district, two drainage units indicated medium to high potential for flash flood formation. Both units have their highest part in the Serra de São José and a respective altitude gain of 132 m and 144 m. While the unit with the lower altitude range has lower levels of occupation, influenced by the significant presence of drainage channels and marshy soil, the unit with the higher altitude range has an impermeable percentage of 35%, in addition to a deficient drainage system of asphalted thoroughfares positioned in the direction of the slope. These roads, especially Avenida Antonina de Almeida Neves and Rua Maria da Conceição Resende, become collectors for the entire flow of surface runoff from the basin and direct this flow of flash floods to Avenida Luís Giarola. Thus, the road on the valley floor concentrates all the flow of flash floods in the area, also causing flooding in the most lowered sections (photo 1).



**Photo 1 - Flash floods in Colônia do Marçal - Av. Luís Giarola**  
(Source: Cardozo, 2022).

**Fot. 1 - Enxurradas na Colônia do Marçal - Av. Luis Giarola**  
(Fonte: Cardozo, 2022).

The central basin, with a medium tendency, corresponds to the area of the Fábricas sector districts, such as Bela Vista, Araçá, São Geraldo, and Fábricas itself. The unit has an altitude range of 132 m and an area of 1.3 km<sup>2</sup>, which mostly drains the flow of surface runoff into Avenida Leite de Castro and its vicinity. This road has gradients lower than 3% and is parallel to the foothill of the slope, collecting the flow of the entire upstream section. Thus, during rain events, there is the common occurrence of floods on this road and in the vicinity (photo 2).



**Photo 2 - Flash floods in the Fábricas sector/district**  
(Photography by Ferreira *et al.*, 2023; Civil Defense Finding Report, taken on 07/12/2018)).

**Fot. 2 - Enxurradas no Setor/Bairro Fábricas**  
(Fotografia de Ferreira *et al.*, 2023; Relatório de Constatção Defesa Civil, tira a 07/12/2018).5).

There is a similar situation in the drainage unit of the Senhor dos Montes region. The altitude range in this basin is 126 m and the main focus of the problem

in this area is Rua João Mourão. This road, between the Mercado Municipal (Municipal Market) and Praça Eduardo Rodrigues Vale, receives all the flow from the flash floods in the area, which is 0.47 km<sup>2</sup>, being 39% impermeable. Its extension between the two mentioned points is approximately 630 m, with an altitude range of 78 m, no depressions, asphalt paving, and only three drains. As such, during rain events, the flow of the flash flood is expressive and capable of generating flooding on the roads below, especially Travessa Lopes Bahia and Avenida Presidente Tancredo Neves (photo 3).



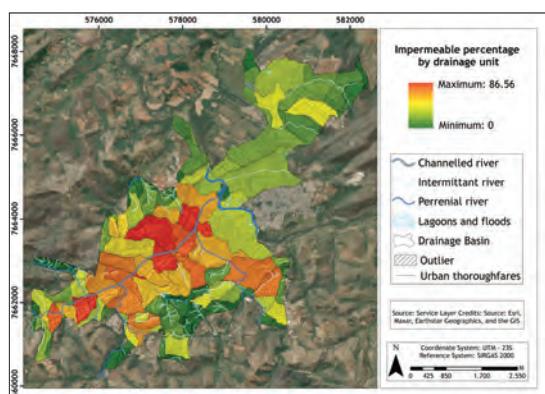
**Photo 3 -** Flash floods in the Senhor dos Montes/Centro region  
(Photography by Raquel Ramos and Pop News, taken on 12/12/2020).

**Fot. 3 -** Enxurradas na região Senhor dos Montes/Centro  
(Fotografia de Raquel Ramos e Pop News, tirada a 12/12/2020).

The neighboring micro-basin in the region of Alto das Mercês has a medium tendency towards flash flood formation. In this area, the altitude range is only 106 m and the impermeable percentage is 56%. As such, the occurrence of this process in the area is not very representative when compared to the other regions. It occurs because, despite the medium altitude range, the area of the basin is very small (0.2 km<sup>2</sup>) and the urban layout is composed of winding, irregular roads, and rock paving, or cobbles, which favor a reduction in surface flow of approximately 1/3, when compared to asphalt (Maus *et al.*, 2007).

The remaining drainage units have a low to medium tendency towards flash flood formation. However, it is important to emphasize that exacerbated waterproofing, occupation without adequate planning, and the lack of an efficient micro-drainage system can increase surface flow and, thus, flash floods.

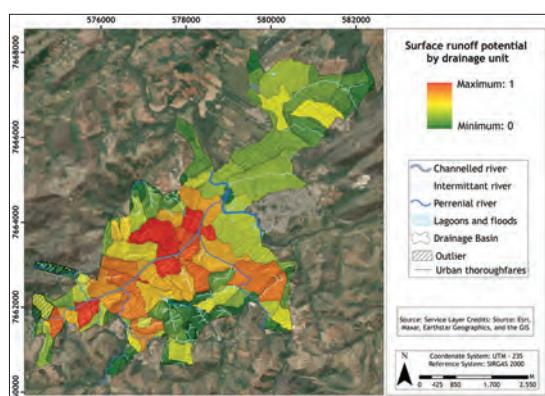
Thus, Tucci (2000) reiterates that the greater the impermeable percentage of an area, the greater the volume of surface flow. Quantitatively, an impermeable percentage of 20% is capable of increasing the normal surface flow volume by 2.15 times (Tucci, 2000). Given this understanding and considering that 39.42% of the study area is impermeable, it can be assumed that in São João del-Rei, the surface flow volume can be approximately 4.23 times greater due to the characteristics of the LULC. Among the units with higher potential for increasing surface flow, those standing out are located in the central area of the city of São João del-Rei, where the density of buildings tends to be higher. In the suburban areas, or those in expansion, this potential is lower due to the presence of green areas (fig. 4).



**Fig. 4 -** Impermeable percentage by drainage unit.

**Fig. 4 -** Percentual de impermeabilização por unidade de drenagem.

Based on this parameter, the morphometric propensity of each basin to form flash floods was related to the expected potential increase in surface runoff (fig. 5), with the aim of integrating natural characteristics and anthropic-spatial influences.

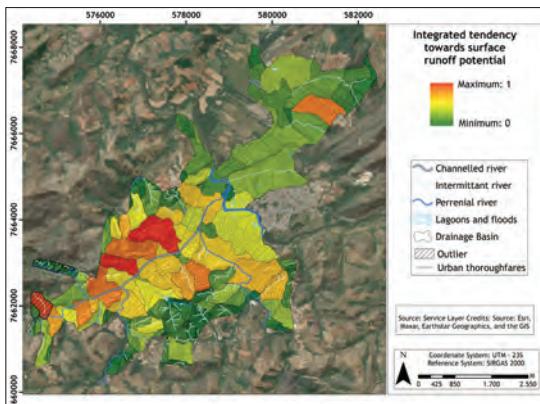


**Fig. 5 -** Surface runoff potential by drainage unit

**Fig. 5 -** Potencial de escoamento superficial por unidade de drenagem.

Through this juxtaposition, the increase in the tendency towards flash floods was obtained (fig. 6). Thus, it

can be noted that the drainage units described above with greater propensity to form flash floods, had the process enhanced. Among the units, the drainage unit that includes the Fábricas Sector and Alto das Mercês districts stands out, given the impermeable percentages above 70% and 56%, respectively. In general, it can be observed that the integration between the tendency towards flash floods and the potential increase in surface runoff indicated an increase of the areas with medium propensity to form flash floods in the central region. On the other hand, in the suburban areas, where the population density is lower and there is less housing, there is a decrease in the tendency due to the lower impermeable percentage, with the exception of the Solar da Serra drainage unit. Despite being around 35% impermeable, this unit had its tendency increased because the natural tendency between medium and high was associated with a medium impermeable percentage.



**Fig. 6 - Integrated trend for surface runoff potential.**

**Fig. 6 - Tendência integrada ao potencial de escoamento superficial.**

In general, the developed products correspond to spatial analysis tools that could support urban planning and reduce the damage caused by flash floods and flooding. Based on these materials, future zoning and standards for urban soil division, a waterproofing coefficient, an increase of urban green areas, and projects that aim to improve micro- and macro-drainage systems could be established.

#### Final considerations

Analyzing and understanding the dynamics of natural processes that influence the security and quality of life of the population has become a measure of security and disaster prevention, and, above all, planning. Therefore, this study used a methodology to identify the tendency towards flash flood formation that is already used by national and international institutions of reference, such as the Serviço Geológico Brasileiro (Brazilian Geological Service) and the Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (Institute of Technological research of the state of São Paulo).

Considering the natural tendency of the flash flood formation process, a complement was used that associated altitude range of the drainage units with the potential for increased surface runoff, obtained through the impermeable percentage. As such, it was possible to identify urban basins with a greater or lesser integrated tendency towards flash flood formation, observing the phenomenon on a local scale.

It is noted that the methodological complement, as well as the results, integrates natural landscape variables with the horizontal characteristics, which correspond to compartmented land use in impermeable and permeable areas.

The investigation and analysis can support planning organs and public works in the adaptation of infrastructure, such as paving, road position, micro-drainage, and bridges, among others, to the characteristics of the drainage unit. This will involve establishing lower percentages of impermeable areas in basins with a greater tendency towards flash flood formation. In addition, the study can provide support in decision-making priority regarding the urban drainage system, such as expansion of the micro-drainage system and promotion of green areas as a non-structural measure to reduce the damage caused by urban waters.

#### Acknowledgements

Processes n.º: 2022/15464-1, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); This work was carried out with support from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, processo 151431/2025-6. The opinions, hypotheses and conclusions or recommendations expressed in this material are the responsibility of the authors and do not necessarily reflect the views of FAPESP.

#### References

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2018). *Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraná 1:50.000/1:100.000: Codificação de Bacias Hidrográficas pelo Método de Otto Pfafstetter* Agência Nacional de Águas, Brasília. <https://metadados.snhr.gov.br/geonetwork/srv/api/records/a7e786e6-9f80-43f4-aaeb-89f019863b60>
- Amaral, R. & Ribeiro, R. R. (2009). Enchentes e Inundações. In: *Desastres Naturais, conhecer para prevenir*. Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. do (Org). Instituto Geológico, São Paulo, 40-53.
- Baruqui, A. M., Carvalho Filho, A., Motta, P. E. F., & Naime, U. J. (2006). *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da zona Campos das Vertentes*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 326 p.

- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (1990). *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 355 p.
- Brasilero, V. B., DAngelo, A. G. D., & Lemos, C. B. (2013). Registros de Memória: Leitura da Paisagem Cultural da Cidade de São João Del-Rei, em Minas Gerais, por meio da Iconografia Histórica. In: *Encontro do Centro de Investigação Transdisciplinar: Cultura, Espaço e Memória*, Porto. Atas... Porto: CITCEM, s.p.
- Cardozo, F. S. (2022). *Enxurradas na Colônia do Marçal - Av. Luís Giarola*. Acervo pessoal. São João del-Rei.
- CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL - CEPED (2013a) *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: Volume Brasil*. Universidade Federal de Santa Catarina. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC.
- CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL - CEPED (2013b). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: Volume Brasil*. Universidade Federal de Santa Catarina. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC.
- Corsi, A. C., Gramani, M. F., Ogura, A. T., & Bitar, O. Y. (2015). Corroboração de campo para o método de delimitação de bacias de drenagem com alta suscetibilidade à geração de corrida de massa e enxurrada. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, Bento Gonçalves. Anais... São Paulo: ABGE. 8 p.
- DEFESA CIVIL (2018). *Relatório de Constatação 49/2018*. São João del-Rei, 5 p.
- DEFESA CIVIL (2019). *Relatório de Constatação 12/2019*. São João del-Rei, 3 p.
- DEFESA CIVIL (2020). *Formulário de Informações do Desastre - FIDE*. São João del-Rei, 199 p.
- Ferreira, A. B. B., Zacharias, A. A., Cardozo, F. S., & Fonseca, B. M.(2022). Levantamento histórico-geográfico dos eventos de inundação e deslizamentos na cidade de São João del-Rei no período de 1774 a 2021. *Revista Ciência Geográfica*. Ano XXVI, v. XXVI, nº 4.  
DOI: <https://doi.org/10.57243/26755122.XXVI4001>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (2021). *IBGE Cidades: população estimada 2021*. Rio de Janeiro: IBGE, n.p.
- Maus, V. W., Righes, A. A., & Buriol, G. A. (2007). Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. I Simpósio De Recursos Hídricos do Norte e Centro Oeste, v. 1, Cuiabá - MT.
- Pruski, F. F., Brandão, V. S., & Silva, D.D. (2003). *Escoamento Superficial*. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 88 p.
- Reis, P. E. (2011). *O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas*. Dissertação (Mestrado em Geologia), 148p. Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (2009). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico. São Paulo, 197 p.
- Tucci, C. E. M. (2020). Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, RBRH*. Vol. 5, n.º 1, 61-68.



**AVALIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE PRIMEIRA INTERVENÇÃO NA CATÁSTROFE ASSOCIADA AO CICLONE IDAI,  
EM MARÇO DE 2019 (MOÇAMBIQUE)\***

105

REACTION AND RESPONSE OPERATIONS ASSESSMENT IN THE DISASTER ASSOCIATED WITH CYCLONE IDAI,  
IN MARCH 2019 (MOZAMBIQUE)

Óscar Timóteo

Escola Nacional de Bombeiros (Portugal)  
Direção Pedagógica e de Formação

 0009-0001-4843-6044 [oscar.timoteo@enb.pt](mailto:oscar.timoteo@enb.pt)

José Romão

Atlântica, Instituto Universitário (Portugal)  
 0000-0001-8003-1285 [jromao@uatlantica.pt](mailto:jromao@uatlantica.pt)

### RESUMO

As emergências associadas a catástrofes exigem prática e formação contínua para agilizar processos e intervenções. O estudo apresenta a retrospectiva histórica do ciclone Idai, ocorrido em março de 2019, em Moçambique, com foco nos seus impactos nas províncias de Tete e Sofala (Beira). Analisaram-se as consequências e desafios na gestão da catástrofe, bem como a sua dinâmica nas fases de pré-impacto, impacto propriamente dito, destruição e intervenção. Estratégias usadas para minimizar danos, como pesquisas exploratórias, experiências no campo e reflexões sobre recursos humanos e condições logísticas podem trazer melhorias futuras em países subdesenvolvidos. A ausência de um Plano de Emergência, coordenado com um Sistema de Comando de Acidentes Graves e Catástrofes dificultou a coordenação por falta de liderança e o fluxo de informações entre agências. Três seminários sobre gestão de segurança e saúde em ambientes de crise foram realizados em Tete, Beira e Maputo, com o objetivo de melhorar a resposta a catástrofes, difundir conhecimentos e capacitar a população para minimizar riscos e otimizar a resposta a eventos futuros.

**Palavras-chave:** Ciclone Idai, catástrofe, vulnerabilidade, gestão de emergência.

### ABSTRACT

Emergencies associated with disasters require practice and continuous training to streamline processes and interventions. The study presents a historical retrospective of Cyclone Idai, which occurred in March 2019, in Mozambique, focusing on its impacts in the Tete and Sofala (Beira) provinces. The consequences and challenges in managing the disaster were analysed, as well as its dynamics in the pre-impact, actual impact, destruction, and intervention phases. Strategies used to minimize damage, such as exploratory research, field experiments, and reflections on human resources and logistical conditions, can bring about future improvements in underdeveloped countries. The absence of an Emergency Plan, coordinated with a Major Incident and Disaster Command System, made coordination difficult due to a lack of leadership and the flow of information between agencies. Three seminars on health and safety management in crisis environments were held in Tete, Beira and Maputo, to improve the response to disasters, disseminate knowledge and train the population to minimize risks and optimize the response to future events.

**Keywords:** Cyclone Idai, disaster, vulnerability, emergency management.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 06-10-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 10-01-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Os eventos catastróficos que têm sucedido nos últimos tempos sublinham a necessidade de reunir todos os elementos de suporte ao desenvolvimento de estratégias para a sua gestão ao nível regional, nacional e internacional. Com a incorporação deste conhecimento pretende-se otimizar a eficiência e eficácia das capacidades de intervenção recorrendo a diversas abordagens de cariz multidisciplinar.

Quando uma catástrofe atinge uma cidade ou região, os primeiros esforços são direcionados para dar assistência às vítimas, participar em buscas e salvamentos, efetuar triagens para prestação de primeiros socorros, e a ativação dos serviços básicos, na qual se inclui a disseminação de comunicações e, de seguida, restaurar meios de subsistência e reconstruir comunidades. Esta fase deve ser executada conforme previsto no Plano de Emergência da região (ou Plano de Catástrofe), que inclui a coordenação e gestão de recursos humanos, materiais e económicos, sob regulamentação legal e estratégica.

A fase de resposta acima descrita insere-se no Ciclo de Gestão de Emergência e, por sua vez, de Catástrofes, que inclui também a etapa de recuperação, envolvendo a restauração das condições normais de vida e as ações de reconstrução pública e privada, nomeadamente das infraestruturas e dos seus elementos constituintes. Incorpora-se ainda nesta fase a recolha de ensinamentos e a avaliação do impacto(e) ao nível social-económico e ambiental, para além da atualização dos cenários possíveis e de aspetos relacionados com o planeamento e ordenamento do território.

As etapas de mitigação, prevenção e preparação integram a fase antes de ocorrer o evento catastrófico. A mitigação é dirigida para reduzir, compensar ou eliminar as condições que estão na génesis do risco, enquanto a prevenção pretende evitar a ocorrência e minorar a intensidade dos riscos para o ser humano. A preparação tem como propósito organizar, educar, treinar, instruir e capacitar a população através da formação, instrução, treino e exercícios simulados dos cidadãos e difusão de conhecimentos técnico-científicos maioritariamente práticos.

O território de Moçambique está exposto a inúmeros eventos meteorológicos, destacando-se entre eles os ciclones tropicais, atendendo ao seu posicionamento geográfico, localizado entre os 10° e 27° de latitude, e à sua extensa costa com exposição ao oceano Índico. A génesis de tempestades e ciclones tropicais nesta região resulta da ocorrência de condições propícias, entre as quais se destacam a convergência de ventos e as temperaturas elevadas na superfície do oceano, bem como a elevada humidade (Galvin, 2016).

A frequência de tempestades e ciclones tropicais no espaço territorial de Moçambique é "elevada, registando-se, em média, cerca de 5 eventos deste tipo por ano. Os ciclones com maior severidade, desde 2019, foram intitulados de Idai, Kenneth, Belna, Gombe, Fredy e Ana, classificados de categoria igual ou superior a 3 na escala internacional de Saffir-Simpson (Dados Mundiais, 2023).

Este trabalho tem como propósito descrever e caracterizar a catástrofe associada ao ciclone tropical Idai, ocorrido em março de 2019, em Moçambique, bem como analisar a vulnerabilidade do seu território e a avaliação das estratégias multidisciplinares de primeira intervenção que foram implementadas. Destaca-se, ainda, a formação ministrada sobre a forma de cursos curtos e seminários como formas de aprendizagem para lidar com situações similares e as lições apreendidas pela população em geral e coordenadores de empresas, de como atuar perante catástrofes dessa natureza.

## Moçambique: geografia física e humana

Moçambique localiza-se no setor oriental da África Austral entre as latitudes 10° 27' Sul e 26° 52' Sul e as longitudes 30° 12' Este e 40° 51' Este. Compreende uma área aproximada de 799 380 km<sup>2</sup>, dos quais 13 000 km<sup>2</sup> são ocupados pelas águas interiores, incluindo os lagos, albufeiras e rios (Barca, 1992) e uma extensa linha de costa com cerca de 2700 km banhada pelo oceano Índico.

Do litoral para o interior, o território de Moçambique é caracterizado, essencialmente, por três degraus geomorfológicos que se dispõem em anfiteatro com altitudes crescentes, onde se desenvolveram planícies, planaltos e montanhas, que ocupam 44%, 51% e 5% da sua área total (Muchangos, 1999; Bondyrev, 1983). Junto ao litoral, ocorrem planícies, com altitudes até 200 m, que passam a superfícies aplanadas, na sua maior parte localizadas na parte norte do país, compostas por planaltos com altitudes que variam de 400 m a 1000 m. As unidades montanhosas constituem formas de relevo descontínuas e muito pouco extensas, que se localizam no norte e centro do país com cotas superiores a 1000 m.

O seu clima é, no geral, tropical húmido com duas estações bem marcadas: seca ou de inverno e húmida ou de verão. A precipitação média anual é cerca de 1200 mm, e ocorre maioritariamente durante o verão, entre os meses de novembro e abril. Porém, no norte do país e nas zonas costeiras predomina o clima de savana, caracterizado por chuvas tropicais, enquanto nas zonas de maior altitude e no interior prevalece o clima temperado húmido. A temperatura do ar atmosférico aumenta com a latitude e a distância para o interior, porém, nas zonas montanhosas as temperaturas são mais baixas. A temperatura média anual é geralmente superior a 20°C, exceto nas regiões montanhosas, onde

se registam temperaturas inferiores a 16°C, resultado da influência da altitude (Muchangos, 1999).

A maior parte dos rios de Moçambique correm de oeste para leste, em consequência da configuração do relevo do seu território, e atravessam sucessivamente montanhas e planaltos, onde a sua capacidade erosiva é elevada, para além de planícies, marcadas por meandros e deposição aluvionar, desaguando de seguida através de um delta na costa banhada pelo oceano Índico. O rio Zambeze ocupa a maior bacia hidrográfica de Moçambique, cuja superfície se estende expressivamente pelos países vizinhos situados a Oeste e a Norte do seu território (Zimbabué e Malawi respetivamente). Considerando a dimensão e geometria da bacia, bem como o seu desenvolvimento numa planície a baixa altitude junto a sua foz, a sua região deltaica é vulnerável a inundações sempre que o rio transborda.

A população atual de Moçambique é estimada em cerca de 32,5 milhões, sendo a taxa de crescimento anual próxima de 2,5%. Cerca de 2/3 da população moçambicana vive na faixa costeira e depende dos recursos aí existentes para a sua subsistência (Hoguane, 2007). Consequentemente a densidade populacional nas zonas costeiras é cerca de 120 habitantes por km<sup>2</sup>, contraste com a média nacional de 2 habitantes por km<sup>2</sup>. A principal razão de concentração populacional na zona costeira está associado a fácil acesso aos recursos e à existência de oportunidades, dado que é nessa faixa que se encontram as principais cidades, serviços e indústrias, nomeadamente turismo, comércio e portos.

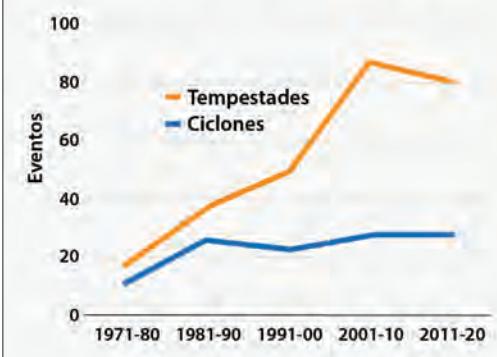
#### Tempestades e ciclones tropicais no continente africano

O Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC, 2022) prevê que, como resultado do aquecimento global, a frequência e a intensidade dos eventos marcados por precipitação elevada irão aumentar para a maior parte do continente africano, porém, com particular incidência nos países localizados nas zonas tropicais.

O aquecimento global aumenta a temperatura da superfície do mar, provocando acumulação de energia em tempestades e ciclones que se desenvolvem sobre a superfície dos oceanos. Consequentemente, as precipitações são cada vez mais intensas e as velocidades dos ventos mais elevadas, tornando este tipo de eventos mais impactantes sobre os territórios africanos, em particular, devido ao risco de inundações.

À medida que os oceanos vão aquecendo, o território africano sofreu quatro vezes maior número de tempestades e mais do que duplicou o número de ciclones, desde a década de 70 (fig. 1) (Africacenter, 2022).

#### Tempestades e ciclones crescentes em África



Origem dos dados: EM-DAT, CRED/UC Louvain

Fig. 1 - Representação gráfica da variação de tempestades e ciclones desde, 1971 a 2020 (Africacenter, 2022).

Fig. 1 - Graphical representation of the variation of storms and cyclones from 1971 to 2020 (Africacenter, 2022).

Nos últimos anos, a tendência de crescimento aparenta sustentação, apesar dos dados não serem ainda em número suficiente.

A análise dos dados sobre a frequência e a trajetória dos ciclones que ocorreram na África Oriental, desde 2017 a 2022 (fig. 2). O crescimento do número de ciclones por biénio é significativo com um máximo de seis no período de 2021-2022 e um mínimo de dois em 2017-2018, existindo um aumento gradual por biénio, com exceção do período de 2019-2020 que diminuiu uma unidade relativamente a 2018-2019.



Fig. 2 - Trajetória e frequência dos ciclones na África Oriental, desde o biénio 2017-2018 ao 2021-2022 (Africacenter, 2022)

Fig. 2 - Trajectory and frequency of cyclones in East Africa, from the biennium 2017-2018 to 2021-2022 (Africacenter, 2022).

Os ciclones formam-se, na sua maioria, em pleno oceano Índico e dirigem-se para o continente africano atravessando, no geral, a ilha de Madagáscar e o canal de Moçambique, cuja extensão do seu percurso pode atingir dezenas de milhares de quilómetros. Porém, as suas trajetórias tendem a terminar no litoral africano, sobretudo no território de Moçambique, embora ciclones alcancem também regiões da África do Sul e do Zimbabwe.

A maioria dos traçados dos ciclones assinalados apresenta um percurso aproximadamente linear, como demonstra a fig. 2, porém, existem alguns que apresentam trajetórias curvilíneas, por vezes, com tendência para formar círculos. Os traçados destes últimos ciclones tendem a ser originados e a ter maior expressão no canal de Moçambique.

O conceito de ciclone tropical está uniformizado pela generalidade dos meteorologistas e consiste num sistema de baixas pressões atmosféricas localizada nos trópicos (no geral, entre 5° e 20° de latitude) onde há um padrão de ventos claramente definido, com os ventos suspensos fluindo de forma circular em relação ao centro de baixas pressões com velocidades que variam de 20 km/h a mais de 300 km/h (Allaby, 2007; Longshore, 2008). Estes ventos conduzem enormes vagas de tempestades e produzem forte condensação, originando precipitações torrenciais significativas, sendo a sua energia obtida a

partir das águas quentes do oceano. A designação de depressão é geralmente usada para descrever um tipo de tempestade menos severa do que o ciclone.

As condições atmosféricas e oceânicas favoráveis à sua génesis e, consequente, desenvolvimento, estão relacionadas com a formação de nebulosas com convecção organizada provenientes de perturbações tropicais inserida numa onda de leste que permanece num intervalo de tempo suficientemente extenso sobre superfícies oceânicas quentes, onde a temperatura da superfície da água do mar é igual ou superior a 26,5°C numa camada com pelo menos 50 m de profundidade (Longshore, 2008; Nordhaus, 2010). Contribuem ainda para a sua formação um elevado conteúdo em humidade nos níveis baixos da troposfera e a ocorrência de vento com intensidade fraca e baixo “wind shear” nos níveis médios e altos da troposfera (Terry, 2007; Kolstad, 2021).

### O Ciclone Idai

No ano de 2019, dois ciclones tropicais consecutivos, Idai e Kenneth, atingiram Moçambique, causando mortes, danos e devastação no seu rastro. O principal, o Ciclone Idai, atingiu a costa perto da cidade da Beira, na noite de 14 de março (fig. 3).

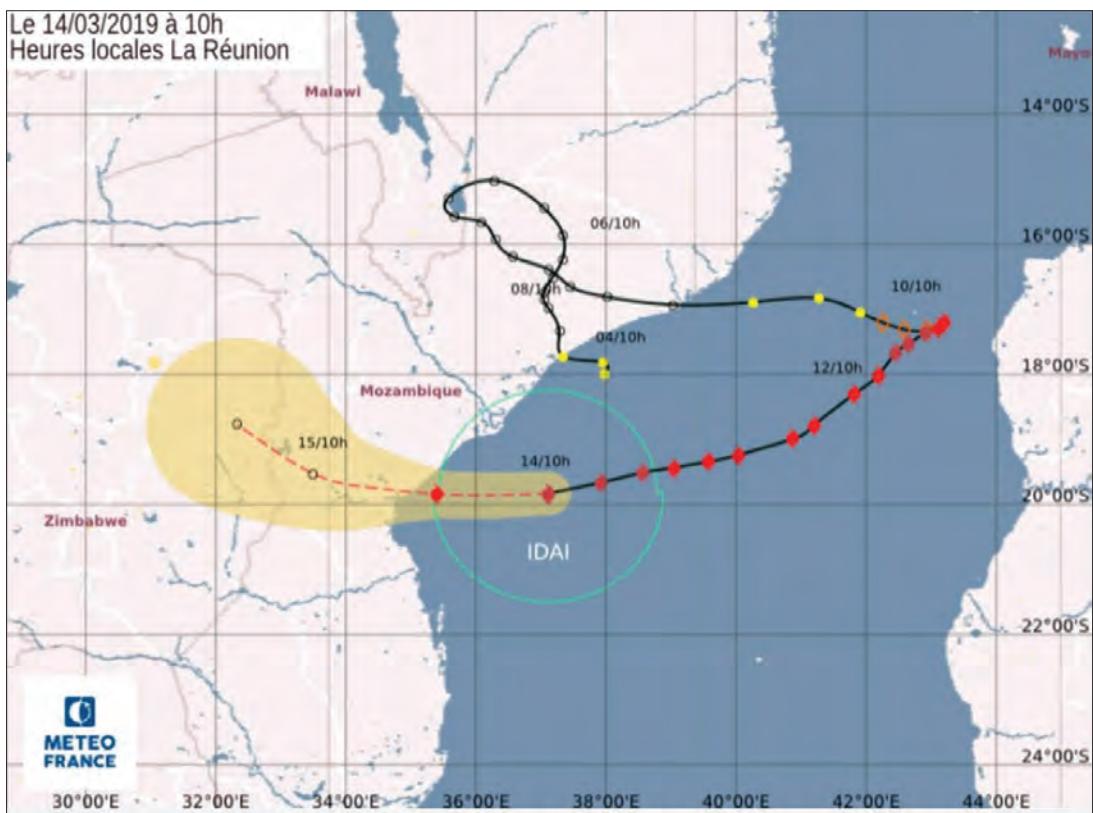


Fig. 3 - Mapa demonstrativo da trajetória prevista do ciclone tropical IDAI em 14 de março de 2019 (MDRMZ014, 2019).

Fig. 3 - Map showing the predicted trajectory of tropical cyclone Idai on 14 March 2019 (MDRMZ014, 2019).

Na temporada de ciclones do sudoeste do Índico no biênio 2018-2019, o ciclone Idai iniciou-se com uma tempestade que foi considerada a décima da estação e o sétimo com a designação de ciclone do referido período. Teve o seu início às 10 horas do dia 4 de março de 2019, como representado na Fig. 3 (MDRMZ014, 2019).

A sua origem ocorreu a partir de uma depressão tropical que se formou no canal de Moçambique entre o continente africano e o Madagáscar, a poucas dezenas de quilómetros do litoral moçambicano, na província da Zambézia. Esta depressão dirigiu-se nos quatro dias seguintes para o interior continental, atingindo a ponta sul do território de Malawi, a partir da qual retornou ao mar através de uma trajetória linear com orientação aproximada de oeste para este, ressurgindo no canal de Moçambique a 9 de março. A sua intensidade foi aumentando e no dia seguinte, transformou-se numa tempestade tropical moderada, invertendo a sua orientação para ENE-WSW, com movimentação na direção do continente com ventos a atingirem velocidades máximas da ordem dos 115 km/h.

O sistema ciclónico evoluiu, posteriormente, para um processo de fortalecimento, com alterações estruturais no seu núcleo interno, atingindo intensidade máxima a 14 de março, com ventos sustentados por velocidades entre 195 e 220 km/h e uma pressão central mínima de 940 hPa (27,76 inHg) em mar aberto, correspondendo ao grau 4 na escala de Saffir-Simpson (Charrua *et al.*, 2021).

À medida que a sua trajetória se aproximava da linha da costa, o ciclone iniciou o seu processo de lento enfraquecimento para noroeste e quando, no dia 15 de março, atingiu o território da província de Sofala, junto à cidade da Beira, trouxe fortes ventos e precipitações que causaram inúmeras inundações e deslizamentos de terras.

A área de influência do ciclone Idai foi muito extensa e prolongou-se pelo interior de Moçambique, bem como por alguns dos países vizinhos, designadamente Zimbabwe, e mais debilmente Malawi e Zâmbia, entre 14 e 19 de março.

Para além dos ventos intensos com velocidades muito elevadas, o ciclone Idai foi acompanhado de períodos de chuvas abundantes, com precipitações acumuladas superiores as 400 mm em vastas áreas das províncias de Sofala e da Zambézia, sendo mesmo significativamente superiores a 600 mm em muitos locais (Probst e Annunziato, 2019).

O ciclone tropical Idai provocou, ainda, tempestades contínuas ao longo da província de Tete e na zona costeira da província de Sofala, sobretudo nos rios Revuboé e Zambeze e nos deltas dos rios Pungoé e Buzi, inundando extensas áreas com a subida significativa da água, sendo as cidades de Moatize e da Beira as mais afetadas.

O ciclone tropical Idai dissipou-se após atingir Moçambique com intensidade equivalente a um furacão de categoria 2. Contudo, atingiu a categoria 4 no seu ponto áureo na escala de Saffir-Simpson. Pelo menos 146 pessoas morreram nas inundações causadas pela tempestade, incluindo 66 em Moçambique, 56 no Malawi e 24 no Zimbábue (fig. 4) (Paul Schemm, 2019).

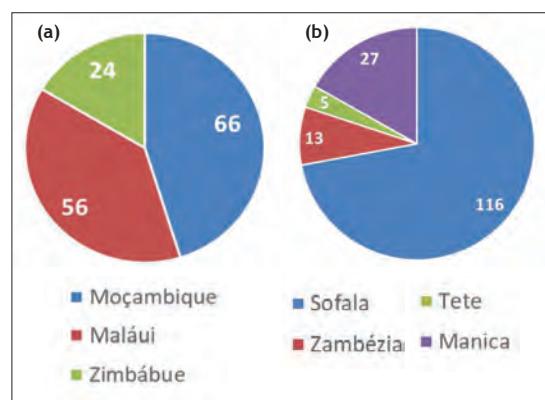


Fig. 4 - Número de mortes por país (a); Número de centros de Evacuação por província de Moçambique (b).

Fig. 4 - Number of deaths by country (a); Number of Evacuation centres per province of Mozambique (b).

Várias casas, escolas, empresas, hospitais e postos de polícia foram danificados e milhares foram forçados a ir para terras mais altas. O ciclone impactou mais de 1,5 milhão de pessoas em todo o país. Também houve relatos de cortes de energia em dias consecutivos. Os voos da região foram interrompidos durante a tempestade. Os impactos relacionados com as cheias foram tratados como incidentes separados de cheias severas para Moçambique, Malawi e Zimbabwe. O governo confirmou 66 mortos e o presidente indicou que a contagem podia chegar a 1.000 (Road, 2019).

Moçambique é um dos Países de África mais vulneráveis aos desastres naturais (catástrofes e posteriormente às calamidades) devido, principalmente, à sua localização geográfica e nível de pobreza. Nos últimos 20 anos (fig. 5), a elevada frequência, alternância e intensidade dos eventos climáticos extremos passou a constituir uma ameaça crescente ao desenvolvimento nacional, não sendo, porém, uma vítima extraordinária das manifestações climáticas extremas. De facto, elas transformaram-se, atualmente, num dos problemas globais do planeta. Acentuadas por diversos fatores, naturais ou produzidos pelas sociedades, as mudanças climáticas têm como causas desde a industrialização ao crescimento populacional e à utilização intensiva dos recursos (muitas vezes impedindo a sua renovação). Algumas dessas causas são identificadas, embora nem sempre de maneira consensual ou definitiva e produzem efeitos predominantemente negativos e com impacto frequente a nível regional ou mesmo global (Manjoro, 2019).

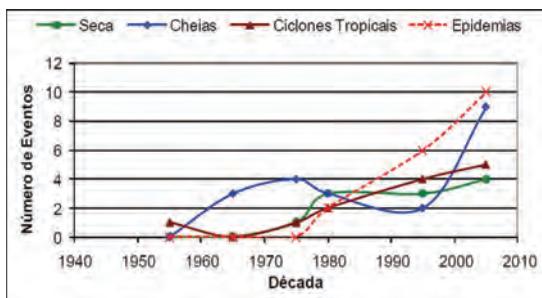


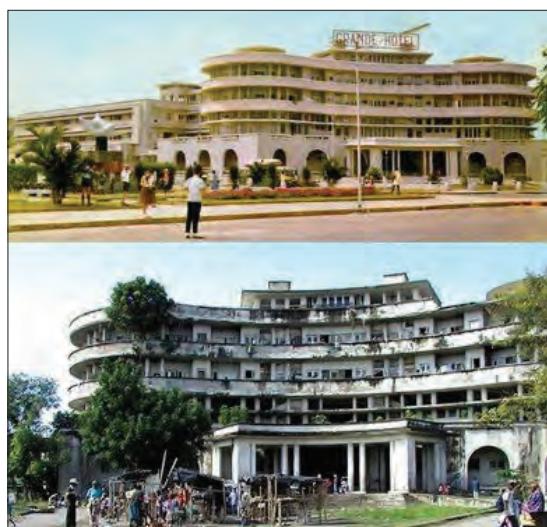
Fig. 5 - Ocorrência de eventos extremos em Moçambique, 1956-2010 (INGD, 2023).

Fig. 5 - Occurrence of extreme events in Mozambique, 1956-2010 (INGD, 2023).

### A vulnerabilidade do território de Moçambique

A rota dos ciclones no território de Moçambique centra-se, essencialmente, nas províncias de Sofala, Tete, Zambézia, Nampula e Manica, que se situam no seu litoral oriental, excetuando o território de Tete, localizado no interior noroeste do país, numa área ocupada pela bacia hidrográfica do rio Zambeze.

O ciclone de Idai afetou, fundamentalmente, a província de Sofala cuja capital é a cidade da Beira, onde vive uma população de 533 825 habitantes de acordo com o Censo de 2017 (IV RGPH, 2017). Esta cidade foi originalmente desenvolvida pela Companhia de Moçambique no século XIX e, mais tarde, diretamente pelo governo português entre 1942 e 1975, ano em que Moçambique obteve a sua independência. Presentemente a cidade encontra-se modernizada, embora ainda mantenha algumas áreas degradadas e problemáticas, como é o caso do Grande Hotel da Beira (fig. 1).



Fot. 1 - Grande Hotel Cidade da Beira, 1960 - 2019 (PRINTREST, 2020).

Photo 1 - Grand Hotel City of Beira, 1960 - 2019 (PRINTREST, 2020).

Outra província que sofreu efeitos significativos do ciclone de Idai foi a de Tete, cuja capital tem o mesmo nome. Apesar de ser uma província no interior do país, a cidade de Tete situa-se junto ao rio Zambeze numa zona fortemente aplanada que integra a bacia hidrográfica do referido rio. Este município, com importância comercial à escala nacional, é administrado por um governo local eleito e a sua população é de 305 722 habitantes, numa área de 314 km<sup>2</sup> (IV RGPH, 2017). As suas condições naturais, nomeadamente de natureza geológica, morfológica, hidrológica e meteorológica, são propícias para o surgimento rápido de inundações em curtos espaços de tempo após precipitações significativas, como as que ocorreram associadas com ciclone Idai. No caso da situação presente, a trajetória percorrida pelo ciclone não atingiu diretamente a cidade de Tete, mas o seu caminho passou muito próximo, quer nas fases iniciais quer finais da atividade ciclónica com demonstra a trajetória do ciclone (fig. 6).

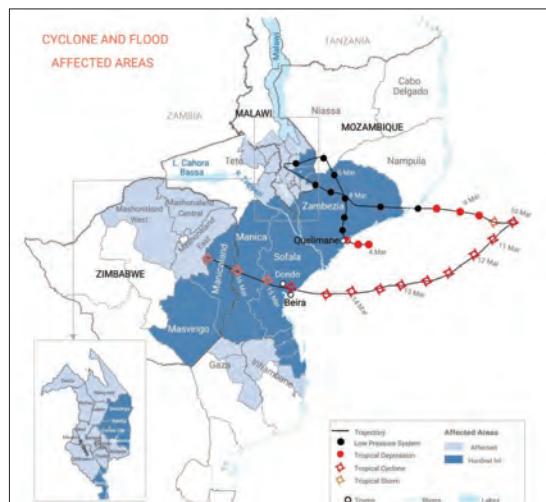


Fig. 6 - Trajetória do ciclone Idai na cidade de Tete (Adaptado de Inter-Agency Humanitarian Evaluation).

Fig. 6 - Trajectory of Cyclone Idai in the city of Tete (Adapted from Inter-Agency Humanitarian Evaluation).

A vulnerabilidade das províncias mencionadas e, consequentemente, das suas comunidades aos eventos ciclónicos é muito significativa quer nos aspectos sociais quer ambientais que estão envolvidos, bem como pelo seu impacto económico. O grau de exposição às perdas é muito acentuado nas zonas urbanas mais populosas, com particular incidência, nas que se encontram junto ao litoral, como por exemplo, na cidade portuária da Beira. Aqui, releva-se a sua importância económica pelo facto de ser um porto comercial de interesse internacional pela sua capacidade de possibilitar o fluxo de mercadorias desde o interior de África austral para o resto do mundo.

Outra componente associada à vulnerabilidade da região está relacionada com a fragilidade do território (Curter, 2011) decorrente das suacaracterísticas naturais das condições de vida da população, e do tipo de bens expostos, entre os quais se destacam as infraestruturas críticas, nomeadamente as redes de transporte, os sistemas de comunicação e o edificado. Esta fragilidade é incrementada ao nível da extensão dos danos pelo facto da cultura do risco associada às populações ser praticamente inexistente nestas regiões.

Como consequência, a capacidade de antecipação e de resposta eficaz da sociedade em geral e das comunidades em particular aos eventos ciclónicos e seus fenómenos associados, com o propósito de minimizar os danos sociais, ambientais e económicos, é muito reduzida, dada a quase ausência de recursos disponíveis e à baixa cultura sobre o risco da população. Porém, os habitantes destas regiões já têm estratégias de sobrevivência implementadas e sistemas de alertas apoiados nas comunidades relativamente à vulnerabilidade de cheias, ainda que, muitos deles sejam básicos e ineficazes (WMO, 2019).

#### SitRep - Situation Reports da IOM

O ciclone tropical Idai atingiu o continente africano no centro de Moçambique, na noite de 14 de março de 2019, como já foi mencionado. As primeiras informações do Governo de Moçambique indicam que mais de 447 pessoas morreram com o impacto direto do evento e mais de 1522 faleceram após ferimentos na sequência da tempestade ciclónica. Mais tarde, foram apresentados números mais elevados, porém, muito aquém da realidade.

De acordo com relatórios governamentais difundidos, 83 533 edificações foram afetadas, sendo que 55 463 casas foram totalmente danificadas e 28 070 foram parcialmente destruídas em consequência do evento ciclónico, sendo que 15 784 foram inundadas devido a precipitações (fig. 7), que mostra dois SitRep's distados

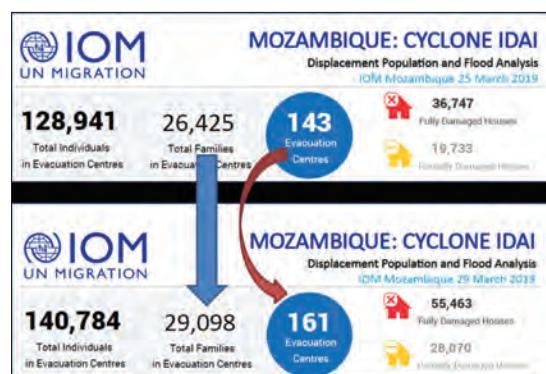


Fig. 7 - SitRep - Situation Reports da IOM de 25 de março e de 29 de março de 2019 (adaptado da IOM).

Fig. 7 - SitRep - Situation Reports of the IOM of March 25 and March 29, 2019 (adapted from IOM).

entre si de apenas quatro dias, emitidos pela Organização Internacional para as Imigrações (IOM).

No sentido de dar resposta ao número elevado de deslocados, que foram contabilizados em 140 784 indivíduos e 29 098 famílias pelo Instituto Nacional de Gestão de Calamidades de Moçambique, atual Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres (INGD), foram preparados e disponibilizados 161 centros de evacuação nas quatro províncias de Sofala (116), Zambézia (13), Tete (5) e Manica (27), que funcionaram como abrigos, como está expresso na fig. 4. A maioria dos centros de evacuação estiveram localizados em edifícios escolares e em igrejas, que sofreram adaptações mínimas para permitir o abrigo e alojamento dos deslocados (INGC, 2019).

#### Avaliação de estratégias de intervenção: pré-impacto e primeiras ações

O evento ciclónico foi antecipado por uma depressão tropical que foi responsável pela ocorrência de fortes chuvas no território de Moçambique no início de março de 2019. Estas precipitações causaram inúmeras inundações na bacia hidrográfica do Vale do Zambeze, nas províncias de Tete e da Zambézia, porém, foram consideradas como habituais atendendo aos padrões históricos conhecidos para a referida bacia.

Como decorria uma missão portuguesa de instrução ao corpo de Bombeiros Civil em Moatize - Tete e as precipitações continuavam intensamente, foram emitidos alguns alertas no dia 6 de março dadas as preocupações sentidas e a necessidade de vigilância da situação. No entanto, os avisos foram muito pouco considerados pelas populações e, consequentemente, ignorados na sua generalidade.

As situações de alerta descritas nos parágrafos antecedentes integram-se na dinâmica de um desastre/catástrofe que pode ser representada por uma onda senoidal, entre o estado de normalidade e o impacto, sendo esta fase considerada como a de pré-impacto (fig. 8).

Na madrugada do dia seguinte ocorreu um aumento repentino e significativo do caudal do rio Revúboé (afluente do rio Zambeze, cuja foz se instalou junto à cidade de Tete), que provocou o transbordo do seu curso relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundaçao dos terrenos posicionados nas suas margens. Como consequência, inúmeras famílias tiveram de abandonar as suas casas subitamente, sem qualquer margem de manobra para resgatar os poucos bens que possuíam. Para sobreviverem alguns deles tiveram de subir para árvores ou tetos de estruturas mais resistentes, permanecendo nessa posição durante horas a fio, aguardando por resgate. Estas



Fig. 8 - Dinâmica dos desastres / catástrofe e respetivas fases (Fonte: Araújo, 2000 e 2005).

Fig. 8 - Disaster/catastrophe dynamics and respective phases (Source: Araújo, 2000 and 2005).

inundações provocaram, numerosos afogamentos de adultos e crianças que se encontravam desprevenidos, bem como de animais, que não conseguiram escapar à força das águas.

Imediatamente após a etapa de pré-impacto ocorreu o evento catastrófico de máxima magnitude (impacto) já descrito anteriormente, com desenvolvimento num curto espaço de tempo, representado na curva senoidal da fig. 9, pelo ângulo alfa. Quanto maior for o ângulo alfa mais reduzido é o tempo que decorre entre as fases de pré-impacto e impacto propriamente dito. Outro parâmetro importante para análise no ciclo de um desastre / catástrofe é o expresso no mesmo gráfico pela letra (f), que marca um tempo medido no eixo horizontal de abscissas entre o impacto e as forças de intervenção. A duração deste intervalo de tempo dimensiona as consequências do evento, quanto maior o seu valor temporal maior o índice de destruição e a área afetada. Logo após a ocorrência de um desastre a comunidade ou as pessoas mais próximas são, no geral, os primeiros socorristas (fase intervenção) até a chegada das primeiras organizações de socorro. A rotura completa da ponte sobre o rio Revúboé, que liga Chingozi a Moatize, impediu que os meios de resposta à emergência conseguissem transportar o rio, condicionando as operações de intervenção, o que contribuiu para aumentar o intervalo de tempo entre o impacto e os meios de socorro (fig. 9).

Na missão de instrução já mencionada, com o objetivo de formar Bombeiros locais (presentemente os Bombeiros da Mina de Moatize), encontravam-se dois formadores da Escola Nacional de Bombeiros de Portugal (ENB), que estiveram presentes no Teatro de Operações (ou Área de Operações) nas ações de primeira intervenção juntamente com os elementos que estavam a instruir como elementos de manobra no SAR-Search and Rescue.



Fig. 9 - Ponte sobre o rio Revúboé que liga Chingozi a Moatize (fotografias adaptadas por Óscar Timóteo).

Fig. 9 - Bridge over the Revúboé river that connects Chingozi to Moatize (photographs adapted by Óscar Timóteo).

Nesta fase, que durou no mínimo 14 horas, as maiores dificuldades, entretanto superadas, consistiram no resgate de seis vítimas, que se encontravam em árvores e tetos de estruturas resistentes, submersas, quase na sua totalidade.

Considerando que a implementação das ações de resposta de primeira intervenção, imediatamente após a fase de impacto, é diretamente proporcional à capacidade de reação e preparação por antecipação de uma comunidade (fig. 9), esta compromete a eficácia e eficiência da atuação das forças de socorro, pelo facto de ser relevante para o seu sucesso assegurar as condições de segurança dos *First Person On Scene* (FPOS) e dos *First Responders* (FR), com o estabelecimento de uma rede de comunicações ativa e acessos diretos aos Postos Médicos com triagem primária e secundária, tal como, o encaminhamento das vítimas às redes hospitalares.

A tríade (condições de segurança, comunicações e triagem) falhou por completo, dado que, na área de operações existia apenas ambulância cedida por uma

entidade privada com alguns técnicos de enfermagem e um médico, destinados a apoiar os *First Responders* nas ações de primeira intervenção na cidade de Moatize, bem com 6 rádios de Banda Alta pertencentes aos elementos da Escola Nacional de Bombeiros de Portugal. As condições logísticas mencionadas, às quais se soma a escassez pessoal com formação, são claramente insuficientes para dar uma resposta adequada a eventos extremos desta natureza.

As responsabilidades das equipas participantes nos planos de emergência de Proteção Civil devem estar bem definidas, assim como, alocados os recursos disponíveis, a definição de cenários, medidas, normas e procedimentos destinadas a serem aplicadas numa situação de acidente grave ou catástrofe. Normalmente existe a figura responsável da gestão de emergência, que tem condições para agir eficazmente através de SOP's - *Standard Operating Procedures*, uma vez que tem o conhecimento das infraestruturas existentes, bem como da capacidade das unidades em cada nível de emergência e de dividir ou separar as equipas de *First Responders* para novos posicionamentos ou resgates secundários (capacidade de manutenção e controlo). Estas SOP's devem ser bem explanadas, treinadas e exercitadas, para que sirvam de orientação às operações, de forma a minimizar lacunas ou processos de decisão ambíguos ou mesmo hesitações durante a gestão da emergência.

No caso em análise, pode mesmo referir-se que não existia qualquer processo de planeamento sistemático de emergência de natureza local ou regional, pois, Moçambique é um dos países mais pobres e subdesenvolvidos do mundo onde a cultura do risco é praticamente inexistente. Porém, a presença de elementos com formação diferenciada provenientes da missão portuguesa em Tete, serviu de ajuda primária aos FPOS e, mais tarde, na fase estratégica, como programa de apoio à decisão, prontamente utilizado pelo Administrador Marítimo Local (AML) de Tete (coordenador de emergência). O uso das ações do programa possibilitou a transferência de mais valias operacionais, que proporcionaram a diminuição do tempo de resgate às vítimas e acrescentaram finesse à gestão de emergência.

Algumas ações do programa foram aplicadas de imediato, como por exemplo, a intervenção que consistiu no estabelecimento de um perímetro de segurança com corredor natural de saída da área operacional, transformado num corredor oficial de saída com o envolvimento das unidades militares locais, nomeadamente os Fuzileiros Navais e Polícias da República de Moçambique (fot. 2).

Esta intervenção aumentou a segurança da área contra os animais perigosos que vivem na região (cobras, crocodilos, hipopótamos, entre outros animais) e



113

Fot. 2 - Corredor natural de saída da área operacional  
(Fotografia de Óscar Timóteo, tirada a 08/03/2019).

*Photo 2 - Natural exit corridor from the operational area (Photography by Óscar Timóteo, taken on 08/03/2019).*

diminuíram o envolvimento dos transeuntes, que tinham tendência a deslocar-se para observar as manobras no teatro de operações.

Como não existiam comités locais de planeamento de catástrofes e dada a necessidade premente de solucionar problemas rapidamente, foi criada de imediato uma *task force* de nível básico para os resgates nos rios e seus afluentes. Este “pseudo-comité” era constituído por 4 elementos, designadamente o Administrador Marítimo Local, o médico responsável de uma clínica privada e os dois formadores da Escola Nacional de Bombeiros, que tinham o apoio de uma embarcação rígida com um motor de 15 cavalos para resgate. Idealmente para esta situação seria ao invés de ter uma embarcação de casco rígido (fot. 3), ter um bote insuflável e/ou bote do tipo Zebro 1 ou 2, cujos mesmos têm maior flexibilidade e capacidade de manobra em situações críticas.



Fot. 3 - Embarcação disponível para resgate no dia 8 de março de 2019 (Fotografia de Óscar Timóteo, tirada a 08/03/2019).

*Photo 3 - Rescue vessel available on March 8, 2019 (Photography by Óscar Timóteo, taken on 08/03/2019).*

No que respeita às comunicações, os únicos rádios existentes eram apenas os que tinham o propósito de auxiliar a formação dos Bombeiros (fot. 4), não havendo qualquer comunicação via rádio entre o AML e os FR. Nestas circunstâncias, houve necessidade de uso de meios de baixa frequência (telemóveis), que posteriormente ficaram inoperacionais por falhas de rede, obrigando assim a comunicação entre todos os elementos presentes na área de operações ser do tipo cara-a-cara.



Fot. 4 - Triagem primária de vítimas no corredor de saída da Área de Operações (cedida por transeunte, 08/03/2019).

*Photo 4 -Primary triage of victims in the exit corridor of the Operations Area (provided by a passerby, 08/03/2019).*

Este evento catastrófico deixou marcas significativas de cariz social, ambiental e económico no território de Moçambique, que ainda eram visíveis após seis meses. A avaliação dos efeitos diretos do ciclone na cidade da Beira evidenciou uma crise humanitária persistente, pois, os danos sobre as culturas foram significativos, prejudicando a segurança alimentar e nutricional, com particular incidência, entre as pessoas mais vulneráveis. A agudizar a situação permanecem os danos relacionados com a destruição e interrupção do abastecimento de água, ainda, não totalmente repostos, e a não reparação de algumas instalações sanitárias, responsáveis pelo aumento do risco de doenças transmitidas pela água, dado que prevalece a água imprópria para beber. Outro aspeto visível relaciona-se com o grau de destruição de inúmeras infraestruturas, na qual se destacam vias de comunicação, edifícios escolares, pontes e portos, bem como, escolas e instalações de saúde.

Como consequência, a economia da região sofreu um impacto de enorme envergadura que se encontra

presentemente longe da situação antecedente à catástrofe, havendo o risco de muitas das empresas industriais existentes entrarem, ainda, em processos de falência. A melhoria da generalidade da economia depende fortemente da ajuda externa, dado que a resposta local, regional ou mesmo nacional é muito pobre. Dados estimados pelo Banco Mundial (2022) sobre o Produto Interno Bruto de Moçambique indicam uma quebra acentuada nos anos 2019 e 2020, havendo uma tímida recuperação em 2021. Porém, a contração negativa de 1% em 2020 não é só resultante dos efeitos do ciclone Idai, mas também, é justificada pela crise pandémica COVID19 e pelo ciclone Kenneth.

As principais *lessons learned* com o ciclone Idai demonstraram a importância da existência de uma forte liderança governamental e colaborativa na angariação multisectorial para a ação imediata no caso de um perigo iminente. De facto, é relevante que as entidades governamentais ao nível, nacional, regional e local tenham uma visão abrangente sobre os planos de intervenção em emergências aquando da ocorrência de catástrofes, daí a necessidade de terem equipas de reação e resposta treinadas na manobra, na tática e na estratégia. Estas devem ter capacidade de intervenção rápida pelo que a formação, informação, treino e exercícios são fundamentais para a melhoria da sua qualidade e eficácia. As ações de resposta devem ser executadas conforme previsto nos Planos de Emergência que devem incluir o planeamento de operações e modelos de instrução específicos em função do evoluir da situação, a fim de facilitar ou agilizar as atividades de resposta à emergência.

Aproveitando a oportunidade de estar na região, a equipa da Escola Nacional de Bombeiros de Portugal ministrou 3 seminários, nas cidades de Tete, Beira e Maputo (fot. 5), intitulados “Gestão integrada de saúde e segurança em ambientes hostis e de crise”, na qual se abordaram temas sobre conhecimentos básicos na área de gestão de saúde e emergência em



Fot. 5 - Participantes no Seminário intitulado “Gestão integrada de Saúde e Segurança em Meios Hostis ou de Crise”, realizado no dia 4 de maio de 2019, na cidade de Tete (a); Participantes no Seminário realizado a 13 de dezembro de 2019 na cidade da Beira (b); Participantes na palestra sobre noções básicas de atendimento pré-hospitalar e triagem de pacientes e multivítimas a dia 2 de maio de 2021 na ala Pediátrica do Hospital Central de Maputo (c) (Fotografias de Óscar Timóteo).

*Photo 5 - Participants in the Seminar entitled “Integrated Health and Safety Management in Hostile or Crisis Environments”, held on 4 May 2019, in the city of Tete (a); Participants at the Seminar held on 13 December 2019 in the city of Beira (b); Participants in the lecture on the basics of pre-hospital care and triage of patients and multiple victims on 2 May 2021, in the Paediatric wing of the Maputo Central Hospital (c) (Photographies taken by Óscar Timóteo).*

ambientes de catástrofe, comportamento humano em ambiente hostil, procedimentos de primeiros socorros e eventos hipercomplexos. Os Seminários contaram com a participação de representantes de várias entidades públicas e privadas, tendo os discentes participado ativamente na análise e discussão de alguns temas, em particular, com os que estavam relacionados com a catástrofe provocada pelo Ciclone Idai.

### Conclusão

Nos últimos anos, o número de ciclones na África Austral, em particular, junto ao Canal de Moçambique, têm apresentado uma tendência de crescimento gradual, porém, os eventos registam-se cada vez mais com maior intensidade e poder destrutivo e atuam durante períodos mais longos. Estas tendências têm sido associadas a fenómenos meteorológicos relacionados com as alterações climáticas à escala global manifestando-se com elevada magnitude e provocando danos significativos na região.

Entre os eventos catastróficos que ocorreram na região, a partir de 2017, destaca-se o ciclone Idai, que principiou por uma tempestade tropical no dia 4 de março de 2019, tendo de seguida evoluído para um ciclone de intensidade 4 na escala de Saffir-Simpson e terminado como uma tempestade moderada no dia 15 de março. A sua trajetória foi complexa, uma vez que se iniciou no mar junto ao litoral da província da Zambézia e progrediu para o interior continental de Moçambique, retornando posteriormente ao mar, ressurgindo no Canal de Moçambique, onde ganhou enorme intensidade. De seguida dirigiu-se novamente para o continente africano, entrando na região da cidade Beira, tendo atravessado transversalmente toda a província de Tete e atingido os países vizinhos Zimbabwe, Malawi e Zâmbia.

A passagem do ciclone Idai pelo território de Moçambique colocou em evidência a sua forte vulnerabilidade social, ambiental e económica em função da sua fragilidade, que é consequência das suas próprias características naturais, das condições em que vivem as populações e da desorganização do seu espaço urbano, para além da quase inexistência da percepção do risco das pessoas e de recursos disponíveis. Nestas circunstâncias, a vulnerabilidade tende a aumentar significativamente, atendendo à muito reduzida capacidade de antecipação e de resposta a este tipo de eventos.

A descrição do evento ciclónico de Idai enquadra-se nitidamente no diagrama teórico em onda senoidal que ilustra a dinâmica de um desastre / catástrofe (Araújo, 2000 e 2005) com as fases bem representadas de pré-impacto, impacto propriamente dito, destruição e intervenção. A etapa de pré-impacto, antes de ocorrer o evento principal, incorporou alertas de entidades oficiais

que não foram tidas em conta pelas pessoas nem pelas comunidades, consequentemente, a fase de impacto, de elevada magnitude, apanhou de surpresa grande parte da população.

O resultado das primeiras fases de intervenção esteve dependente da resposta rápida das forças de socorro, sendo relevante para a sua atuação a segurança dos seus elementos, a existência de redes de comunicação, os acessos diretos aos postos médicos e o encaminhamento das vítimas às redes hospitalares. Apesar dos persistentes esforços das equipas de socorro, as condições logísticas e a falta de pessoal com formação, bem como a inexistência de um plano emergência bem estruturado com uma sucessão de operações a serem concretizadas, não permitiram uma resposta adequada à situação. Contudo, a presença de elementos com formação diferenciada em Tete (Formadores da Escola Nacional de Bombeiros de Portugal e formandos/instruendos dos Bombeiros de Moatize) proporcionou ajuda imediata no estabelecimento de atividades de resposta, que incluíram busca, resgate, socorro e assistência de pessoas, disseminação de comunicações, trabalhos de operação e manutenção de sistemas, acrescentando valor à gestão da emergência.

A análise das intervenções que decorreram durante a catástrofe associada ao ciclone Idai colocou em evidência a inexistência de prevenção e mitigação, bem como de preparação, relativamente a este tipo de perigo. Por outro lado, as intervenções imediatamente após impacto associadas ao socorro necessitam de melhoria significativa no que respeita aos recursos humanos e às condições logísticas, bem como ao seu planeamento. É de destacar a relevante ajuda das missões portuguesas (entre outras) na formação e capacitação de recursos humanos e a otimização das ações de resposta, na medida do possível, durante a catástrofe (Bombeiros, Força Especial de Bombeiros atual Força Especial de Proteção Civil, Guarda Nacional Republicana, Marinha, Força Aérea, Exército...).

A situação catastrófica forneceu, ainda, uma oportunidade para Moçambique melhorar os seus sistemas de vigilância e as suas estratégias de preparação para intervenções futuras relativamente a situações de perigo, usando uma abordagem da gestão de emergência compreensiva e fácil de assimilar. É, ainda, de referir que os centros de evacuação serão um dos componentes mais críticos e complexos da resposta no curto e médio prazo, dada a alta fluidez dos movimentos populacionais, incluindo retornos, realocação e reassentamento.

### Referências bibliográficas

AFRICA CENTER FOR STRATEGIC STUDIES (2022). *Cyclones and More Frequent Storms Threaten Africa*. Infographic, May 24, 2022.

AFRICACENTER (2022). *Ciclones e Tempestades mais frequentes em África*. <https://africacenter.org.pt-pt/spotlight/cyclones-e-tempestades-mais-frequentes-ameacam-africa/>

Allaby, M. 2007. *Encyclopedia of weather and climate*. Revised edition. Vol 1. New York.

116

Araújo, S. (2000). *Manual de planejamento de emergência*. Secretaria de Estado de Defesa Civil Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, 49 p.

Araújo, S. B. (2005). *Manual de Gestão e Comando Operacional - Guia Básico para Bombeiros*. Brasil: defesacivil. Obtido de <http://www.defesacivil.rj.gov.br/documentos/trabalhos%20e%20pesquisas/Manual%20>

Barca, A. (1992). *Perfil Físico: Colecção “Conhecer Moçambique 1”*. Editora Escolar.

Barry, R. G. e R. J. Chorley. 2004. Atmosphere, Weather and Climate. Eighth Edition. Routledge. London and New York

Bondyrev, I. V. (1983). *Notícia explicativa (provisória) da Carta Geomorfológica de Moçambique*. Ministério dos Recursos Minerais, Instituto Nacional de Geologia, Maputo.

Charrua, B., Padmanabhan, R., Cabral, P., Bandeira, S., Romeiras, M. (2021). *Impacts of the Tropical Cyclone Idai in Mozambique: A Multi-Temporal Landsat Satellite Imagery Analysis*. Remote Sens. 13(2), 201. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13020201>

Cuter, S. (2011). *A ciéncia da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores*. Revista Crítica de Ciências Sociais, 93, 59-69.

DADOS MUNDIAIS (2023). *Ciclones em Moçambique*. <https://www.dadosmundiais.com/africa/mocambique/cyclones.php>

Galvin, J.F.P. 2016. *An introduction to the Meteorology and Climate of the tropics*. WileyBlackwell; 1st edition

Hoguane, A. 2007. Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. Revista de Gestão Costeira Integrada 7(1):69-82.

INSTITUTO CAMÕES (1992). <https://www.institutocamoes.pt/activity/o-que-fazemos/cooperacao-cooperacao-na-pratica/todos-os-paises/mocambique>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA GABINETE DO PRESIDENTE DIVULGAÇÃO (2017). *Os resultados Preliminares*

INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO E REDUÇÃO DO RISCO DE DESASTRES - INGD. (2023). <https://www.ingd.gov.mz/wp-content/uploads/2020/11/Quadro-de-Indicadores-RRD.pdf>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC (2022).

*SEXTO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DO IPCC: Impactos, opções de adaptação e áreas de investimento para uma África Austral resiliente às mudanças climáticas*. 18 pag.

INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS & RED CRESCENT SOCIETIES (2019). *Emergency Plan of Action (EPOA)*

*Mozambique: Tropical Cyclone Idai*. <https://adore.ifrc.org/Download.aspx?FileId=233117>

IV RGPH (2017). [https://www.gaza.gov.mz/por/content/download/7057/51420/file/Apuramento\\_Preliminar%20IV%20RGPH%202017.pdf](https://www.gaza.gov.mz/por/content/download/7057/51420/file/Apuramento_Preliminar%20IV%20RGPH%202017.pdf)

Kolstad, E. (2021). Prediction and precursors of Idai and 38 other tropical cyclones and storms in the Mozambique Channel. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 147, issue 734, 45-57.

Longshore, D. 2008. *Encyclopedia of hurricanes, typhoons, and cyclones*. New Edition. New York - USA.

Manjoro, A. (setembro de 2019). *Desafios de Moçambique Após os Ciclones IDAI e Kenneth. Desafios de Moçambique Após os Ciclones IDAI e Kenneth*, p. 2.

Muchangos, A. dos. (1999). *Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais*. Edição do Autor.

Nordhaus, W. D. 2010. "The Economics of Hurricanes and Implications of Global Warming". Clim. Change Econ., 01, 1, 267 p. DOI: <https://10.1142/S201000781000054>

Paul Schemm, S. O. (21, 2019). *It was too late': Hundreds are dead as rescue efforts stall in Mozambique and Zimbabwe*. washingtonpost, 1-2.8-0-387-71543-8.

PRINTREST (01 de 09 de 2020). <https://www.pinterest.co.uk/pin/270286415107207847/?autologin=true>  
Obtido de PRINTREST: <https://www.pinterest.co.uk/pin/270286415107207847/?autologin=true>

Probst, P., Annunziato, A. (2019). *Tropical Cyclone IDAI: analysis of the wind, rainfall, and storm surge impact*. Joint Research Centre, European Commission, 9 pag.

Road, H. (21 de março de 2019). *Cyclone Idai - Situation Report 2 - period covered: March 19 - 20, 2019*. 2019 Cyclone Idai, p. 3.

Terry, P. J. (2007). *"Tropical Cyclones: Climatology and Impacts in the South Pacific"*. Springer. New York. e-ISBN: 978-0-387-71543-8.

WMO (2019). *Reducing vulnerability to extreme hydro-meteorological hazards in Mozambique after Cyclone IDAI*. WMO mission report following tropical cyclone IDAI (29 April-7 May 2019), 60p.

WORLD BANK (2022). *Atualidade Económica de Moçambique; melhorando o apoio agrícola*. Washington DC, 56 p.

## Glossário

**AML** - Administrador Marítimo Local

**ENB** - Escola Nacional de Bombeiros de Portugal

**FPOS** - First Person On Scene

**FR** - First Responders

117

---

**Níveis de gestão de operações** - A gestão das operações no Teatro de Operações/Área de Operações inclui três níveis de gestão, o estratégico, o tático e o operacional/manobra.

**SAR** - Search and Rescue

**SOP's** - Standard Operating Procedures

**Teatro de Operações/Área de Operações** - Numa emergência, guerra ou outros, chama-se teatro de operações ou área de operações à área em que eventos civis e/ou militares importantes ocorrem ou estão em execução. Um teatro/área pode incluir a totalidade do espaço aéreo, área terrestre e marítima que estão ou podem estar potencialmente envolvidas na gestão das operações.





**UMA ANÁLISE COMPARATIVA DA PERCEPÇÃO DO TEMA DE DESASTRE NATURAL  
NO BRASIL E PORTUGAL POR INTERMÉDIO DE FERRAMENTAS BIG DATA\***

119

**A COMPARATIVE ANALYSIS OF PERCEPTION OF THEME THE TOPIC NATURAL DISASTER  
IN BRAZIL AND PORTUGAL THROUGH BIG DATA TOOLS**

Rodrigo Rudge Ramos Ribeiro  
Fundação Getulio Vargas (Brasil)  
Departamento Projeto Rio Paraopeba  
 0000-0002-3198-1679 [rodrigo.rudge@fgv.br](mailto:rodrigo.rudge@fgv.br)

**RESUMO**

Este artigo realiza uma análise comparada da percepção e interesse social pelo tema de desastres naturais no Brasil e em Portugal, utilizando ferramentas de busca de *big data*. Para essa análise, foram coletados dados de publicações gerais e científicas ao longo de um período de 10 anos (entre 2012 e 2022), utilizando ferramentas de busca online do tema de desastres naturais e palavras-chave isoladas relacionadas com desastres biológicos, geofísicos, climatológicos, hidrológicos e meteorológicos. Os resultados possibilitaram uma comparação do interesse social e publicações científicas relacionadas a esses eventos. No Brasil, a maior busca pelo tema de desastres naturais ocorre em janeiro de 2019, e em Portugal esse pico de busca ocorreu em julho de 2016. O uso ferramentas de busca para se analisar a produção e busca de informações relevantes nas plataformas online mostrou-se válido e oportuno para realizar uma análise comparativa da percepção social entre os dois países.

**Palavras-chave:** Desastres naturais, percepção, *big data*.

**ABSTRACT**

This article performs a comparative analysis of the perception and social interest in the theme topic of natural disasters in Brazil and Portugal, using big data search tools. For this analysis, data were collected from general and scientific publications over a period of 10 years (between 2012 and 2022), using online search tools on the subject of natural disasters and isolated keywords related to biological, geophysical, climatological, hydrological, and meteorological disasters. The results enabled a comparison made it possible to compare social interest and scientific publications related to these events. In Brazil, the greatest search for the theme of natural disasters occurs in January 2019, and in Portugal this search peak occurred in July 2016. The use of search tools to analyse the production and search for relevant information on online platforms proved to be valid and opportune for carrying out a comparative analysis of the social perception between the two countries.

**Keywords:** Natural disasters, perception, *big data*.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 15-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 16-01-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

O Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas destaca o aumento de temperatura associados com riscos e desastres naturais. Com o incremento de temperatura, projeta-se que eventos climáticos extremos, como ondas de calor e chuvas intensas tornem-se mais frequentes, esses eventos afetam padrões de chuva, resultando em secas prolongadas e aumentando o risco de incêndios florestais (IPCC, 2022; IPCC 2023). A seguir durante essa seção da introdução, é apresentado um contexto dos desastres naturais e suas implicações, seguido por uma quantificação entre tipologias e diferenças regionais entre Portugal e Brasil.

Os desastres decorrem de eventos adversos, podendo ser naturais ou provocados pela ação humana, impactando um ecossistema com perigo e vulnerabilidade, resultando em danos materiais e não materiais, afetando aspectos ambientais, econômicos e sociais e causando sofrimento à humanidade (Castro e Calheiros, 2002; Parizzi, 2014). Nos últimos anos, têm-se observado um aumento na frequência e intensidade dos desastres naturais, em todo o mundo, ao mesmo tempo que se nota-se uma redução da mortalidade relacionada a esses eventos (CRED, 2022).

Segundo o *Emergency Events Database* (EM-DAT, 2023), que consiste em um banco de dados internacional sobre desastres desde 1900 até os dias atuais, aproximadamente 2/3 dos desastres do mundo estão associados a riscos naturais, sendo a maioria vinculada a inundações, seguida por tempestades. Segundo consulta feita em seu repositório público, no ano de 2022 o evento na Europa, mais mortes causou foi o relacionado com as ondas de calor com 16.305 mortes, enquanto que no Brasil foram as inundações causando 272 mortes. As Nações Unidas definem desastre natural como uma situação ou evento, que opõe capacidade local, necessitando de uma solicitação para nível nacional ou internacional para assistência externa, um imprevisto e muitas vezes evento súbito que causa grande danos, destruição e sofrimento humano.

Os desastres naturais são classificados cinco grupos, dependendo do tipo de evento natural que ocorre, sendo: biológicos, geológicos, climatológicos, hidrológicos e meteorológicos, havendo ainda mais subtipos de classificação, além disso podem ser classificados em distintos níveis de intensidade. Observa-se que os desastres naturais podem resultar de uma combinação de vários fenômenos naturais.

Dentro do contexto de registro históricos de desastres naturais em Portugal e Brasil, no período de análise entre 2012 e 2022, se observou um total de 16 desastres naturais em Portugal e 61 registros no Brasil (TABELA I). Embora se registre um número maior desastres no Brasil,

o número de mortes é de 18% superior em comparação à Portugal, porém com um número de pessoas afetadas de 238% superior em comparação à Portugal. No Brasil, os desastres biológicos estão relacionados a dois casos de febre amarela na região Sudeste do país, já os desastres climatológicos estão relacionados a seca com cinco casos e um caso de incêndio florestal, e o desastre hidrológico com 52 casos de inundações e um de deslizamento. Em Portugal, os desastres climatológicos estão relacionados a seca com um caso e seis casos de incêndio florestal, o desastre hidrológico com um caso de inundação, e o desastre meteorológico com seis casos de tempestades e dois de ondas de calor. O EM-DAT utiliza alguns critérios para que a ocorrência de desastre seja computada como pelo menos: 10 ou mais óbitos, 100 ou mais pessoas afetadas, declaração de estado de emergência e pedido de auxílio internacional. Os dados do EM-DAT incluem contagens para o número de pessoas desaparecidas, mortas e/ou presumivelmente mortas, as pessoas afetadas são aquelas que receberam assistência durante o período de emergência, abrangendo necessidades como alimentação, água, abrigo, assistência médica e sanitária.

TABELA I - Desastres naturais e tipologias no Brasil e em Portugal entre 2012 e 2022.

TABLE I - Natural disasters and typologies in Brazil and Portugal between 2012 and 2022.

Desastre Biológicos			
	Mortes relacionadas	Pessoas afetadas	Casos
Portugal	-	-	-
Brasil	415	1.087	2
Desastre Climatológico			
	Mortes relacionadas	Pessoas afetadas	Casos
Portugal	125	5.352	7
Brasil	-	41.002.195	6
Desastre Hidrometeorológico			
	Mortes relacionadas	Pessoas afetadas	Casos
Portugal	1	-	1
Brasil	1.046	3.515.332	53
Desastre Meteorológico			
	Mortes relacionadas	Pessoas afetadas	Casos
Portugal	1.069	4.109	8
Brasil	-	-	-

Fonte: Banco de Dados de Situações de Emergência (EM-DAT).  
Source: Emergency Event Database (EM-DAT).

Embora na base de dados da EM-DAT a pandemia não tenha sido considerada, ela pode ser considerada um desastre segundo estudos. De acordo com dados a dados da WHO, entre 2012 e 2022, o Brasil registrou cerca de seis vezes mais casos que Portugal e cerca de 20 vezes mais mortes (TABELA II). De acordo com dados Banco Mundial, para o período entre 2012 e 2022, Portugal teve uma população média de 10,3 milhões de pessoas e cerca de 20 vezes mais no Brasil com 208,8 milhões de pessoas.

Os principais desastres naturais no Brasil estão associados a inundações, deslizamentos de terra e secas, enquanto que em Portugal os principais desastres naturais estão

TABELA II – Casos de COVID-19 no Brasil e em Portugal entre 2012 e 2022.

TABLE II - COVID-19 cases in Brazil and Portugal between 2012 and 2022.

Coronavírus (COVID-19)		
	Casos (em milhões)	Mortes (em milhões)
Portugal	10.490	72
Brasil	65.348	1.498

Fonte: Organização Mundial de Saúde (WHO).  
Source: World Health Organization (WHO).

associados com incêndios florestais, secas e terramotos (CEPED-UFSC, 2011). A percepção de desastres naturais pode variar entre indivíduos e grupos dentro de cada país, portanto, este estudo oferece uma visão geral comparada da percepção de desastres naturais entre Brasil e Portugal.

A percepção social é influenciada por diferentes fatores como fatores como registros históricos, incertezas e aspectos instintivos sociais, aspectos culturais e experiências pessoais, que influenciam no julgamento pessoal, e em geral a sociedade tende a tolerar mais os riscos naturais que tecnológicos (Ropeik, 2010).

Nesse contexto de riscos de desastres naturais, é necessário buscar estratégias de adaptação para reduzir os impactos e proteger comunidades vulneráveis. O uso de *big data* como uma ferramenta da ciência de dados em temas de desastres naturais oferece uma oportunidade na compreensão no monitoramento de interesse social pelo tema, impulsionando avanços na identificação de estratégias de adaptação para grupos vulneráveis. Além disso, fornece dados interativos sobre o clima e desastres, abrangendo diversos tópicos e países (United Nations Global Pulse, 2015; United Nations Global Pulse, 2022).

O uso de metodologias científicas combinadas com de ferramentas no contexto do *big data* para a compreensão do tema de percepção social de desastres naturais e suas estratégias de adaptação, representam uma possibilidade de pesquisa com oportunidades de compreensão social, dada sua disponibilidade temporal, representativa estatística e geográfica (Heo *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2019; Ford *et al.*, 2016). Esse tipo de ferramenta permite fazer uma análise de percepção social, através de identificação de padrões de tendência de termos (Ribeiro e Sulaiman, 2020).

O objetivo desse artigo é fazer uma análise comparada sobre a visibilidade do tema de desastres naturais entre Portugal e Brasil, por meio de dados de ferramentas de busca digital. Destaca-se que, com o avanço de novas ferramentas de coleta e análise de dados, é possível realizar uma pesquisa empírica de dados por país e período específico. Neste estudo, são analisados dados de ferramentas de busca de dados online para interesse, notícias e publicações acadêmicas.

É importante ressaltar que existe uma diferença de extensão territorial, assim como diferenças regionais entre Brasil e Portugal, que refletem a tipologia e histórico de desastres em cada país. Ao se analisar de forma exploratória as publicações informativas de extremos do clima e desastres no CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) do Brasil e no IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) em Portugal, que fornecem dados relacionados ao clima e desastres naturais, é possível observar algumas diferenças nas áreas de foco de cada instituição. O CEMADEN registra principalmente eventos do tipo de chuvas extremas, deslizamentos, secas e incêndios na região Amazônica, já o IPMA registra principalmente aspectos de ondas de calor, seca, sismos e incêndios.

A pesquisa parte da premissa de que a análise em ferramentas de busca oferece a oportunidade de identificar os temas de maior interesse do público, bem como avaliar a sazonalidade ou progresso de algum assunto durante um período. Considera-se essa abordagem crucial para o estudo em escala nacional tema dos desastres naturais e percepção comparada.

## Material e métodos

A pesquisa adotou um método de coleta de dados que envolveu a busca online de publicações e o acesso a *big data* em repositórios abertos. Compreendendo um período de 10 anos, de janeiro de 2012 a dezembro de 2022, a abordagem exploratória e quantitativa foi utilizada. Inicialmente, foram obtidos dados nacionais na EM-DAT relacionados a desastres naturais, e na base de dados da WHO (World Health Organization) referentes à COVID-19, com o objetivo de obter um contexto abrangente sobre o tema. Em seguida, uma busca foi realizada em duas ferramentas gratuitas de pesquisa, específicas para Portugal e Brasil: (a) Google trends, que acompanha a evolução do número de buscas por uma palavra-chave ao longo do tempo; e (b) Google acadêmico, que oferece acesso a uma ampla gama de livros, artigos e teses.

O levantamento quantitativo desenvolveu-se em três etapas de busca. Para efeito comparativo em termos de visibilidade do tema de desastres em Portugal e Brasil, na primeira rodada utilizou-se a palavra “desastre natural”, em seguida, “pandemia” relacionado com desastre biológico, “deslizamento” relacionado com desastre geofísico, “seca” relacionado com desastre climatológico, “inundação” relacionado com desastre hidrológico e “tempestade” relacionado com desastre meteorológico. Optou-se por proceder a uma segunda rodada de busca com os temas em busca de notícias. Em uma terceira rodada, utilizando dados do Google Acadêmico, aplicou uma melhora na metodologia de coleta de dados, com a publicação de artigos científicos associados com desastres naturais e a Portugal ou Brasil

dessa forma, os resultados apresentados nesse trabalho representam os valores absolutos de publicações, sem incluir citações ou patentes.

Depois de obtidos os dados, as séries foram compiladas em planilha Excel e a posteriori foi feita uma análise de frequência relativa aos temas. Os dados foram agrupados por ano, sendo calculada a média anual a partir de dados mensais. Para se ter a mesma escala na análise, foram produzidos gráficos que representam o interesse ou número de publicações relativo ao ponto mais alto/maior valor no Brasil, sendo que o valor de “100” representa o maior valor do termo no intervalo de análise. Não houve verificação sobre o conteúdo das publicações, sendo contabilizadas todas, mesmo que fossem por ventura repetidas nas plataformas de disseminação de conhecimento científico.

Sobre as ferramentas de busca utilizadas, o *Google-trends* é uma ferramenta de busca de dados que permite analisar a tendência de interesse de termos ou tópicos específicos em determinado tempo e local. Os resultados indicam os termos em ascensão e qual o melhor termo relacionado com conteúdo. Essa ferramenta ajuda a identificar as palavras mais “fortes” para descrição do conteúdo de artigos em Portugal e Brasil, além disso a possibilidade de comparação com outros países ajuda a reconhecer possíveis tendências. Os números do *Google trends* refletem o interesse de pesquisa em relação ao valor máximo do gráfico de cada país no período. Um valor de 100 indica a popularidade máxima de um termo, enquanto 50 e 0 indicam que um termo é menos popular em relação ao valor máximo ou que não havia dados suficientes para o termo, respectivamente. Por fim, os dados do *Google acadêmico* foram obtidos de cada país e transformadas em porcentagem em função do total, com o intuito de se comparar diferentes tamanhos de amostra.

## Resultados e Discussão

Essa seção está dividida em duas partes, a primeira apresenta a visibilidade do tema através do *Google Trends*, tanto da web quanto de notícias, e a segunda através das publicações no Google Acadêmico sobre os desastres e tipologia.

### Análise da visibilidade do tema através da ferramenta Google trends

A comparação entre as tendências de interesse entre 2012 e 2022 para Portugal e Brasil, utilizando a ferramenta do *Google Trends*, deu-se em dois grupos: interesse por temas na rede e publicações de notícias. Foram comparados em um primeiro momento o termo termos de busca que não necessariamente têm o mesmo significado em cada país. Além disso o interesse pelo pode não se relacionar necessariamente a ocorrência de fenômenos no país.

A análise de dados sobre o interesse de busca pelo termo “desastre natural” indicou que os países não seguem um mesmo padrão de oscilação, sendo em Portugal, com maior oscilação e o maior interesse se observa em julho de 2016, já no Brasil o maior interesse se observa em janeiro de 2019. Se observa em geral um maior interesse pelo tema no Brasil, em média de 4,4% superior ao interesse pelo tema em comparação com Portugal (fig. 1). No Brasil as maiores buscas pelo tema de desastres ocorrem em 2015 e 2019, provavelmente relacionados ao desastre de Mariana e Brumadinho em razão do rompimento da barragem de rejeitos de mineração, observa-se que o desastre em 2022 em Petrópolis no Estado do Rio de Janeiro relacionado com fortes chuvas não foi identificado nos gráficos analisados. Em Portugal a maior busca julho de 2016 provavelmente relacionado com ondas de calor e incêndios florestais. Essas tendências evidenciam uma dinâmica de interesses e preocupações em relação a desastres naturais em cada país, influenciada por eventos específicos e contextos locais.

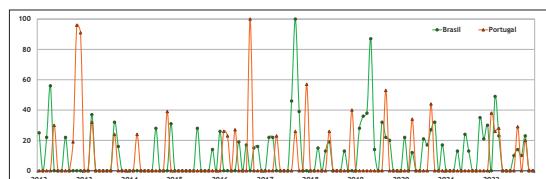


Fig. 1 - Interesse na Web sobre desastres naturais no Portugal e Brasil (Fonte: Google trends).

Fig. 1 - Web interest about natural disasters in Portugal and Brazil (Source: Google trends).

Ao se analisar o interesse por notícias pelo tema “desastres naturais” em Portugal e Brasil, se observa um comportamento similar de oscilação ao interesse geral pelo tema na rede, porém com maiores valores em períodos distintos. A maior busca por notícias no Brasil ocorre em setembro de 2017, e em Portugal entre novembro e dezembro de 2012 e depois em setembro de 2016 (fig. 2). A coincidência na tendência de oscilação entre o interesse geral e o interesse por notícias sugere uma conexão entre a procura por informações online e a atenção dedicada aos desastres naturais. Assim, a análise do interesse por notícias fornece uma perspectiva mais detalhada sobre como eventos específicos podem moldar a atenção pública

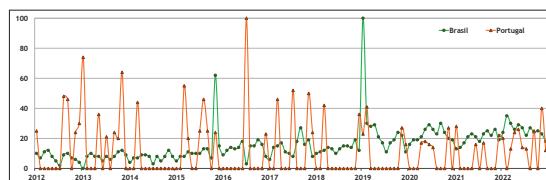
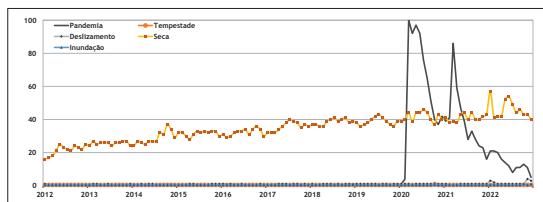


Fig. 2 - Interesse por notícias sobre desastres naturais no Portugal e Brasil (Fonte: Google trends).

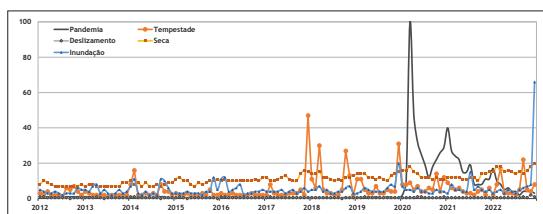
Fig. 2 - Interest in news about natural disasters in Portugal and Brazil (Source: Google trends).

em relação a desastres naturais. A análise de dados entre interesse pelo uso dos termos “pandemia” relacionado com desastre biológico, “deslizamento” relacionado com desastre geofísico, “seca” relacionado com desastre climatológico, “inundação” relacionado com desastre hidrológico e “tempestade” relacionado com desastre meteorológico, indicou no Brasil que a seca é o evento de maior atenção e com tendência de aumento, a pandemia passa a ter o maior interesse em 2020, porém em 2021 a seca volta a ocupar o espaço de maior interesse (fig. 3). A alternância entre a atenção dada à seca e à pandemia no Brasil ao longo dos anos destaca a dinâmica suscetível das preocupações públicas, evidenciando a sensibilidade do interesse em desastres naturais a eventos específicos e à evolução do contexto global. Os dados de Portugal indicam um comportamento com uma estabilidade de interesse pelo tema da seca e maior interesse pelo tema de seca em dezembro de 2017, seguido pelo tema de tempestades em setembro de 2022 e inundações em dezembro de 2022 (fig. 4). A estabilidade do interesse em relação à seca em Portugal pode sugerir uma constante preocupação ambiental, enquanto os picos associados a tempestades e inundações podem ser ligados a eventos específicos ou condições climáticas extraordinárias.



**Fig. 3 - Interesse na Web sobre desastres naturais no Brasil**  
(Fonte: Google trends).

**Fig. 3 - Web interest about natural disasters in Brazil**  
(Source: Google trends).



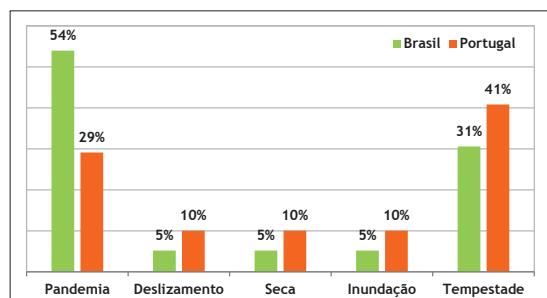
**Fig. 4 - Interesse na Web sobre desastres naturais em Portugal**  
(Fonte: Google trends).

**Fig. 4 - Web interest about natural disasters in Portugal**  
(Source: Google trends).

A análise dos dados comparados, indica que no Brasil se observa um aumento linear do interesse e/ou busca pelo tema de desastres naturais. O maior interesse está relacionado com desastres biológico no termo pandemia (56%), seguido por desastres meteorológicos no termo tempestade (28%), desastres geofísicos no termo deslizamento (6%), desastres climatológicos

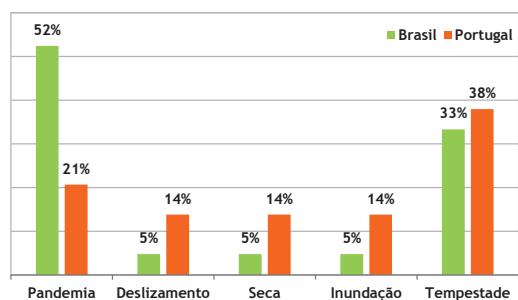
no termo seca (6%) e desastres hidrológicos no termo inundação (6%) (fig. 5). As notícias de desastres naturais têm maior oscilação em comparação com a pesquisa na rede (fig. 6), com exceção da pandemia (52%) que a partir de 2020 passa a ocupar um maior interesse, porém em redução e possuindo valores próximos ao das tempestades de 2021 que por sua vez aumentaram. O padrão de aumento linear do interesse no Brasil destaca uma crescente conscientização e interesse público em relação a desastres naturais, com a pandemia emergindo como o evento mais significativo ao longo do tempo. A dinâmica diferente entre as pesquisas na rede e as notícias enfatiza a necessidade de considerar diversas fontes ao analisar o interesse público.

Em Portugal se observa um interesse e/ou busca com maiores oscilações pelo tema de desastre natural. O maior interesse é sobre desastres biológico no termo ‘pandemia’ (38%), seguido por desastres meteorológicos no termo ‘tempestade’ (44%), desastres geofísicos no termo ‘deslizamento’ (6%), desastres climatológicos no termo ‘seca’ (6%) e desastres hidrológicos no termo ‘inundação’ (6%) (fig. 5). As notícias de desastres naturais também têm maior oscilação, com a diferença que o tema ‘tempestade’ (38%) possui o maior resultado (fig. 6). A variabilidade mais pronunciada no interesse por desastres naturais em Portugal sugere uma resposta mais sensível a eventos específicos



**Fig. 5 - Comparação do interesse na Web sobre desastres naturais em Portugal e Brasil**  
(Fonte: Google trends).

**Fig. 5 - Comparison of web interest in natural disasters in Portugal and Brazil**  
(Source: Google trends).



**Fig. 6 - Comparação do interesse de notícias sobre desastres naturais em Portugal e Brasil**  
(Fonte: Google trends).

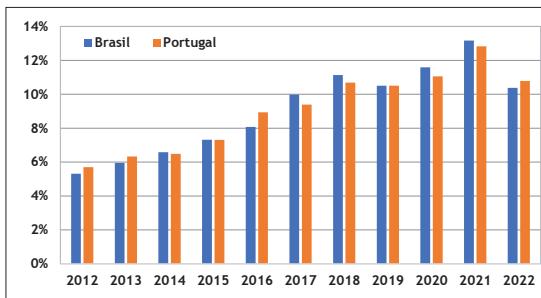
**Fig. 6 - Comparison of interest in news about natural disasters in Portugal and Brazil**  
(Source: Google trends).

e acentua a importância de compreender as dinâmicas locais que influenciam o interesse público. A ênfase na tempestade como o evento de maior destaque nas notícias ressalta a influência direta de eventos meteorológicos específicos na atenção pública.

124

### *Estudo da produção de artigos científicos através da ferramenta Google Acadêmico*

Quando se analisam as publicações no Google Acadêmico se observa uma grande diferença entre as publicações focadas no tema em Portugal e Brasil (fig. 7). Em números gerais, o Brasil tem uma maior quantidade de publicações no tema de desastres naturais, porém a comparação em números percentuais indica uma similaridade de comportamento. Como mencionado na seção de materiais e métodos, não foi realizado uma análise sobre o conteúdo das publicações entre as plataformas , o que pode afetar a precisão da análise.



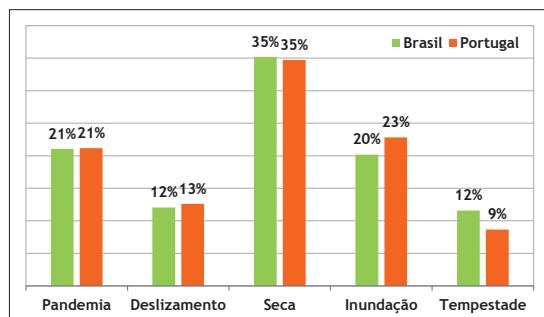
**Fig. 7 - Publicações de dados no Google Acadêmico sobre desastres naturais em Portugal e Brasil**  
(Fonte: Google Acadêmico).

**Fig. 7 - Data publications on Google Scholar about natural disasters in Portugal and Brazil (Source: Google Scholar).**

Quando se analisam as publicações de artigos acadêmico por tipologia (fig. 8), no Brasil se observa uma diferença menor entre esses temas, com publicações focadas nas secas (35%), seguida por inundações (20%), pandemia (21%) e tempestades (12%). Em Portugal, segue de forma muito semelhante com o principal tema foi a seca (35%), seguida por pandemia (21%), inundações (23%), deslizamentos (13%) e tempestades (9%). No momento anterior à pandemia em 2019, tanto no Brasil quanto Portugal, o principal tema era a seca. A comparação em números absolutos de 2019 e 2021, indica que houve um aumento substancial das publicações do tema da pandemia sem a diminuição da publicação dos outros temas de desastres tanto no Brasil quanto em Portugal.

### Conclusão

O uso de ferramentas de busca permite ajudar a compreender a percepção social em relação a aspectos como monitoramento de debates sociais do tema, a



**Fig. 8 - Publicações de dados no Google Acadêmico sobre tipologias de desastres naturais em Portugal e Brasil**  
(Fonte: Google Acadêmico).

**Fig. 8 - ta publications on Google Scholar on about types of natural disasters in Portugal and Brazil (Source: Google Scholar).**

identificação de padrões de tendência ao se analisar grandes volume de dados e oportunidades de melhoria de comunicação do tema.

O método de recorte temporal, mostrou-se importante como estratégia de buscas padrões no uso de ciência de dados na investigação sobre percepção de desastres ao mesmo tempo que se restringe o volume de dados de análise. Poderão ser feitas pesquisas com variáveis inter-relacionadas, como fatores de vulnerabilidade, além de se explorar compreender os efeitos de eventos internacionais como cúpulas climáticas na percepção social. A presença de impactos relevantes que agravam os desastres em um período anterior ao ano da busca pode, igualmente, contribuir para a compreensão da percepção social nesse período, refletindo-se nas produções acadêmicas relacionadas.

Esse tipo de pesquisa utilizando ferramentas de busca online permite fazer um diagnóstico de “pegadas sociais de percepção” em relação ao tema de desastres naturais. O avanço desse tipo de pesquisa associados com outros temas como pode significar um avanço no tema de compreensão social de percepção em distintas escalas temporais. A abordagem específica deste artigo do tema de desastres naturais, que inclui uma análise comparativa entre Brasil e Portugal usando ferramentas de busca digital, pode ser considerada uma contribuição, dado ao uso de *big data* e metodologias científicas que acrescenta uma nova perspectiva ao estudo da percepção social, juntamente com a inclusão da pandemia no contexto de desastre.

Conclui-se que os dados obtidos permitiram fazer uma análise comparativa do interesse social, notícias e publicações científicas no tema de desastres naturais. A continuação da pesquisa é importante para identificar outras fontes de dados para captar a percepção social sobre desastres não revelada nos grandes bancos de dados, como o caso das fortes chuvas de 2022 no Brasil. Por fim, as ferramentas de busca utilizadas permitiram fazer uma análise de percepção social comparada.

## Referências bibliográficas

- BANCO MUNDIAL (2023). World Bank Open Data. Disponível em: <https://data.worldbank.org/?type=shaded>, acesso em: 16 julho 2023.
- Castro, A. L. C. de e Calheiros, L. B. (2002). *Manual de medicina de desastres*. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília, 104 p.
- CEMADEN - CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (2016). Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/categoria/ameacas-naturais/>, acesso em: 19 julho 2023.
- CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (2022). *Disasters in numbers*. Brussels: CRED; 2023. Disponível em: [https://cred.be/sites/default/files/2022\\_EMDAT\\_report.pdf](https://cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT_report.pdf), acesso em: 16 julho 2023.
- CEPED-UFSC - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (2011). *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010*, Volume Brasil, UFSC-CEPED.
- EM-DAT (2023). Disponível em: <https://www.emdat.be/>, acesso em: 16 julho 2023.
- Ford, J. D., Tilleard, S. E., Berrang-Ford, L., Araos, M., Biesbroek, R., Lesnikowski, A. C., MacDonald, G. K., Chen Chen, A. H. e Bizikova, L. (2016). Opinion: Big data has big potential for applications to climate change adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39): 10729-10732.
- Heo, S., Ifaei, P., Moosazadeh, M. e Yoo, C. (2022). Public perception assessment on climate change and natural disaster influence using social media big-data: A case study of USA. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU22-3482).
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 36 pages (in press).
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 p.
- DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IPMA - INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/index.html>, acesso em: 19 julho 2023.
- Li, R., Crowe, J., Leifer, D., Zou, L. e Schoof, J. (2019). Beyond big data: Social media challenges and opportunities for understanding social perception of energy. *Energy Research & Social Science*, 56, 101217.
- Parizzi, M. G (2014). Desastres naturais e induzidos e o risco urbano. *Geonomos*, v. 22, n. 1, 1-9.
- Ribeiro, R. R. R. e Sulaiman, S. N. (2020). O risco climático na agricultura do Brasil no contexto de ferramentas de busca (big data). *Territorium - Revista Internacional de Riscos*, 27(II): Apropriação do espaço e territórios em risco; Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, ISSN: 0872-8941, 21-27.
- DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_27-2\\_2](https://doi.org/10.14195/1647-7723_27-2_2)
- Ropeik, D. (2010). *How Risky is it, really?* McGraw-Hill Professional Publishing.
- UNITED NATIONS GLOBAL PULSE (2022). *Annual Report UN Global Pulse*, p 32.
- UNITED NATIONS GLOBAL PULSE (2015). Using Twitter to Measure Global Engagement on Climate Change. *Global Pulse Project Series*, 7.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (2023). *COVID-19 Dashboard*. World Health Organization, 2020. Disponível em: <https://covid19.who.int/>, acesso em: 16 julho 2023.



# **Problemas ambientais e sua gestão**

*Environmental problems  
and their management*





**ANÁLISE DA ESTRUTURA DE RESPOSTA AO CENÁRIO DE ROMPIMENTO DE BARRAGEM DE TUCURUÍ  
NO CONTEXTO DOS PLANOS DE CONTINGÊNCIA DOS MUNICÍPIOS DA ZONA DE AUTOSSALVAMENTO (ZAS)\***

129

**ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE RESPONSE TO THE TUCURUÍ DAM BREAK SCENARIO  
IN THE CONTEXT OF THE CONTINGENCY PLANS OF THE MUNICIPALITIES IN THE SELF-RESCUE ZONE (ZAS)**

Francisco Junior Nascimento da Silva

Universidade Federal do Pará (Brasil)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental - PEBGA

 0009-0005-9789-9001 f.junior102009@hotmail.com

Fernanda Pereira Gouveia

Universidade Federal do Pará (Brasil)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental - PEBGA

 0000-0002-0517-0960 gouveia@ufpa.br

## RESUMO

A barragem de Tucuruí-PA é um empreendimento classificado como alto dano potencial associado (DPA) devido as consequências que pode causar à comunidade em um cenário de ruptura, principalmente na região da ZAS (Zona de autossalvamento) onde se localizam os municípios de Tucuruí e Breu Branco. Visando analisar a estrutura de resposta dos municípios neste cenário, foram avaliadas a estruturação das COMPDECs (Coordenadorias de Proteção e Defesa Civil) e a estrutura operacional do SCI (Sistema de Comando de Incidente) estabelecido nos PLANCONs. Os resultados indicaram que as duas COMPDECs apresentam deficiências de estrutura organizacional, capacitação de recursos humanos, infraestrutura, limitações financeiras e, no caso da COMPDEC Breu Branco, os desafios são maiores devido à ausência de órgãos respondedores estratégicos para as operações de salvamento. Este diagnóstico indicou pela primeira vez pontos de melhorias na estruturação das COMPDEC, e a necessidade de ajustes nos PLANCONs, visando ao final contribuir com a eficácia das ações de resposta voltadas à população exposta ao risco de rompimentos de barragens.

**Palavras-chave:** PLANCON, Defesa Civil, COMPDEC, ruptura de barragem, emergência.

## ABSTRACT

The Tucuruí-PA dam is a venture classified as having high potential damage (DPA) associated with it due to the consequences it could cause to the community in a failure scenario, particularly in the ZAS (Self-Rescue Zone) region where the municipalities of Tucuruí and Breu Branco are located. To analyse the response structure of the municipalities in this scenario, the structure of the Civil Defence and Protection Coordination Units (COMPDECs) and the operational structure of the Incident Command System (SCI) established within the PLANCONs were evaluated. The results indicated that both COMPDECs have deficiencies in organizational structure, human resource training, infrastructure, as well as financial limitations. In the case of COMPDEC Breu Branco, the challenges are greater due to the lack of strategic response agencies for rescue operations. This diagnosis indicated, for the first time, areas for improvement in the structuring of the COMPDECs, and the need for adjustments to the PLANCONs, ultimately aiming to contribute to the effectiveness of response actions aimed at the population exposed to the risk of dam failures.

**Keywords:** PLANCON, Civil Defense, COMPDEC, dam rupture, emergency.

\* O texto deste artigo foi submetido em 26-08-2024, sujeito a revisão por pares a 24-09-2024 e aceite para publicação em 24-09-2025.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Após a ocorrências de acidentes no Brasil com grande impacto na sociedade, tais como, o rompimento da barragem de Fundão na cidade de Mariana, em 2015 e o rompimento da barragem da mina Córrego do Feijão no município de Brumadinho, em 2019, a Lei federal nº. 14.066/2020 (que alterou a Lei n. 12.334/2010 da Política Nacional de Segurança de Barragem), trouxe novas exigências, e dentre estas, a obrigatoriedade da integração entre Planos de Ação de Emergência (PAE) do empreendedor e; Planos de Contingência Municipal (PLANCON) que devem ser elaborados pelos municípios, no caso pelas COMPDECs (Coordenadorias Municipais de Proteção e Defesa Civil)

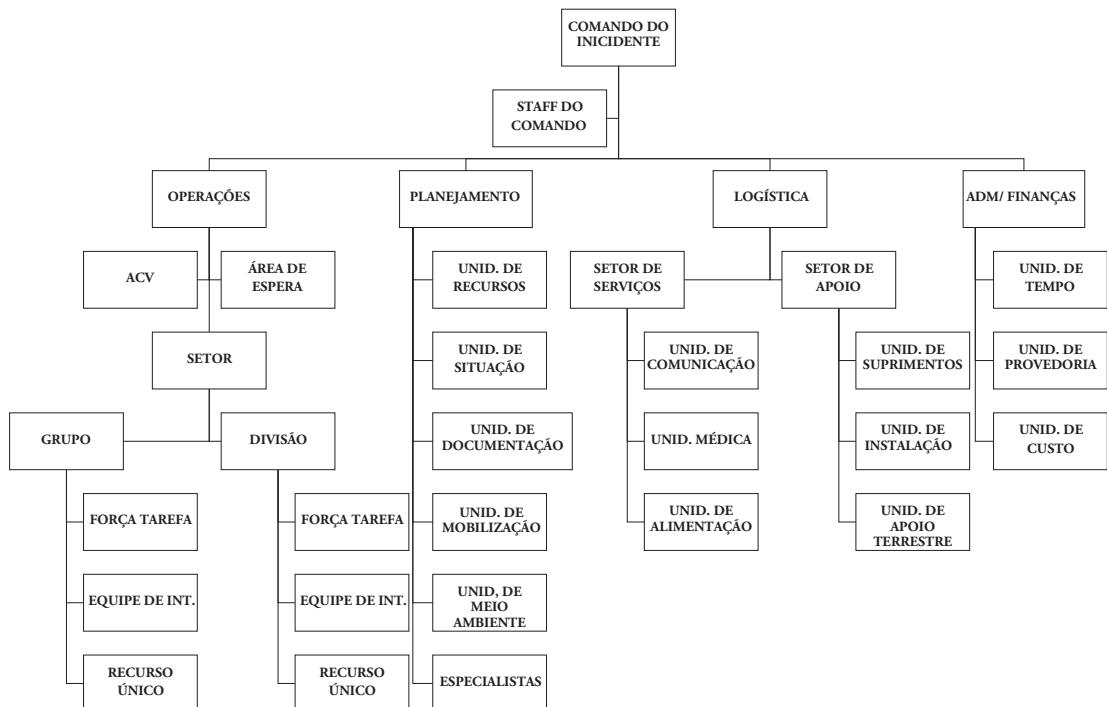
O PAE, conforme Lei 14.066/2020 deve conter as ações a serem executadas pelo empreendedor dentro da Zona de Autossalvamento (ZAS)<sup>1</sup>, tais como, o planejamento das rotas de fuga, a definição dos pontos de encontro, realização de simulados de emergências e etc. No mesmo sentido, o PLANCON, deve apresentar procedimentos para prevenir acidente ou desastre específico ou para atender emergência dele decorrente, incluída a definição dos recursos humanos e materiais para prevenção, preparação, resposta e recuperação, sendo elaborado com base em hipóteses de acidente ou desastre (Brasil, 2012).

Ainda, conforme Ministério da Integração (2015), no PLANCON deve constar a definição de mecanismos de

coordenação e operação que contemplem aspectos como: quem é responsável por autorizar a resposta ao desastre, conforme os níveis; quem é responsável pela operação geral; como as unidades estarão organizadas tecnicamente e distribuídas geograficamente; como será a relação com a mídia e o fornecimento de informação à população e os envolvidos, entre outros. Essa coordenação, geralmente é gerenciada, conforme CBMDF (2011) por um Sistemas de Comando Unificado de Incidentes (SCI), ou outras metodologias similares que utilizem os princípios de comando único, instalados imediatamente, em situações de emergência.

O SCI trata-se de uma metodologia baseada na participação de múltiplos órgãos no processo de resposta ao desastre, organizados em uma estrutura de organograma (FEMA, 2019), onde o primeiro nível do organograma é formado pelo CI (Comando de Incidente) enquanto, o segundo nível apresenta seções subordinadas ao CI, e no terceiro nível estão as subseções, sendo estas os diversos órgãos respondedores de emergência, interligadas às seções, e assim por diante (fig. 1). Torna-se fundamental o trabalho integrado com cada Órgão respondedor, que segundo Bevan (2022), corresponde aos primeiros profissionais que fornecem suporte e assistência em situações críticas, incluindo desastres naturais, emergências médicas, acidentes e situações de resgate.

Desta forma, as COMPDECs passam a ter papel fundamental na eficácia das ações de respostas a cenários de rupturas de barragens, o que traz certa

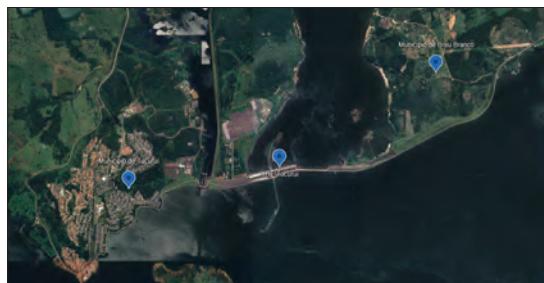


**Fig. 1 - Elementos que compõem o Eixo estruturação das Defesas Civis (Fonte: Adaptado de CBMDF, 2021).**

**Fig. 1 - Elements that make up the Civil Defence Structuring Axis (Source: Adapted from CBMDF, 2021).**

preocupação, uma vez que segundo o Relatório de Diagnóstico das Defesas Civis no Brasil (SEDEC, 2021), estes órgãos apresentam várias limitações e dificuldades relacionadas à estrutura física, estrutura organizacional, recursos financeiros e humanos.

Assim, direcionando o “olhar” para a segunda maior barragem do Brasil, a UHE Tucuruí, localizada na região sudeste do Pará e construída no Rio Tocantins entre os municípios de Breu Branco e Tucuruí, (fig. 2), cujo volume do reservatório é de 50,275 milhões de metros cúbicos na cota máxima normal e área inundada de 3.007 km<sup>2</sup> (Eletronorte, 2021), tem-se a seguinte questão: será que em uma situação real de ruptura da barragem de Tucuruí, as ações de resposta na ZAS seriam satisfatórias? A UHE Tucuruí, apesar de ser um empreendimento de risco baixo (CRI baixa), é classificada com dano potencial associado (DPA) alto, conforme SNISB (2024), sendo esta análise ainda mais relevante.



**Fig.2 - Vista da barragem de Tucuruí com a indicação dos municípios de Breu Branco e Tucuruí (Fonte: Google Earth, 2024).**

**Fig. 2 - View of the Tucuruí dam indicating the municipalities of Breu Branco and Tucuruí (Source: Google Earth, 2024).**

Estudos oriundos de simulações hidrodinâmicas (fig. 3), conforme Eletronorte (2021), demonstraram que em uma ocorrência de ruptura, a mancha de inundação na ZAS (corresponde a 10 km de distância do barramento no sentido jusante) corresponderia a uma área de 61,59 km<sup>2</sup>, sendo que desse total 30,78 km<sup>2</sup> cobrem o município de Tucuruí e 30,81 km<sup>2</sup>, o município de Breu Branco.

Tucuruí é uma cidade que se destaca tanto pela sua localização estratégica na região amazônica quanto pelo impacto econômico e social gerado pela construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. O município de Tucuruí possui 91.306 mil habitantes e área territorial de 2.084,289 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). Em Tucuruí, a área inundável está totalmente inserida na zona urbana, com um total de 69.115 habitantes afetados.

Em Breu Branco, a área inundável atingiria a zona rural, sendo estimada uma população afetada de 416 habitantes (ELETRONORTE, 2021). No município de Breu Branco, o uso e ocupação estão relacionados, principalmente, a processos exploratórios de

mineração, algumas praias com pouca estrutura e de uso temporário e paisagens em diversas ilhas de água doce artificiais (Ferreira et al., 2017). A cidade possui 45.712 mil habitantes e área territorial 3.941,904 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022).

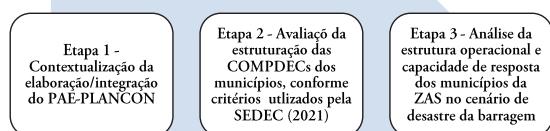


**Fig. 3 - Croqui da ZAS indicando a mancha de inundação resultante da simulação da ruptura do barramento principal (Fonte: PAE-UHE Tucuruí, 2021).**

**Fig. 3 - Sketch of the ZAS indicating the flood zone resulting from the simulation of the main dam rupture  
(Source: PAE-UHE Tucuruí, 2021).**

### Metodologia da pesquisa

A pesquisa apresenta caráter exploratório, cujas etapas metodológicas estão descritas no Fluxo de etapas (fig. 4), sendo a Etapa 1: a descrição do histórico da elaboração/integração do PAE-PLANCON, Etapa 2: avaliar a estruturação das COMPDECs dos municípios com base nos aspectos aplicados no Relatório de Diagnóstico das COMPDECs no Brasil, e Etapa 3: avaliação da logística operacional do SCI dos municípios em um cenário de desastre com a barragem de Tucuruí.



**Fig. 4 - Fluxo das etapas metodológicas.**

**Fig. 4 - Flow of methodological steps.**

## Contextualização da elaboração e integração, PAE-UHE Tucuruí e PLANCONS dos municípios das ZAS

A caracterização da integração do PAE-PLANCON ocorreu através da participação da criação do Grupo de Trabalho (GT) para a elaboração do PLANCON com base no PAE da UHC Tucuruí, sendo formado por representantes:

- Instituições públicas, os quais foram selecionados a partir do seu envolvimento e responsabilidade em ações de preparação e reposta;
- Empreendedor da barragem, devido exposição de cenário de risco tecnológico, e;
- Sociedade civil, sendo representado por ONGs, grupos comunitários e universidades, neste último consiste a principal razão da interação dos autores desta pesquisa.

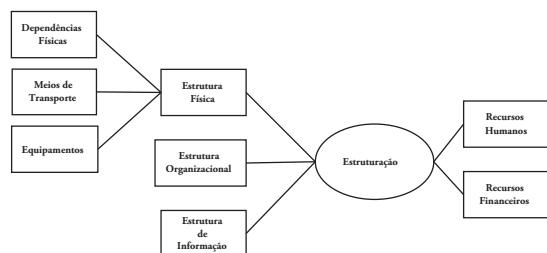
Para melhor compreender a integração do PAE-PLANCON que integram as ZAS, foi necessário participar ativamente de definições das principais rotas de fuga, dos pontos de encontros e pontos de refúgios mapeados no PAE e identificar os abrigos temporários dos municípios das ZAS. O Grupo de Trabalho (GT) desde julho de 2021 contaram com várias reuniões programadas, sendo que a partir de 2022 a Universidade Federal do Pará (UFPA) foi adicionada ao grupo, no qual teve participação fundamental na análise e elaboração do Plano de Contingência voltado para cenário de risco de rompimento de barragem.

Para esta etapa foram consultados os seguintes documentos e legislações: PAE da barragem (ELETRONORTE, 2021), PLANCON de Tucuruí (COMPDEC, 2023), PLANCON Breu Branco (COMPDEC, 2023) e Relatório de Simulado Externo de Evacuação (ELETRONORTE, 2023). Além destes documentos técnicos, as legislações referentes à PNSB, Lei Federal 12.334/2010 e Lei Federal n. 12.608/2012 da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC).

Destaca-se ainda que, algumas informações foram relatadas pela orientadora da pesquisa, a qual teve participação direta na elaboração dos dois PLANCONs municipais, participando do Grupo de Trabalho (GT) da integração PAE-PLANCON, em 2022 até a conclusão dos documentos. Esta experiência gerou o Relatório de Projeto de Extensão (Gouveia, 2023), produzido pela docente.

### Avaliação da estruturação das Coordenadorias Municipais de Defesa Civil (COMPDECs) da ZAS, conforme Relatório de Diagnóstico das COMPDECs no Brasil (SEDEC, 2021)

Nesta etapa utilizou-se como referência para a avaliação das COMPDECs da ZAS, cinco elementos considerados no Diagnóstico de Capacidades e Necessidades Municipais em Proteção e Defesa Civil do Sedec (2021). O Eixo de Estruturação (fig. 5) apresenta os detalhamentos destes parâmetros.



**Fig. 5 - Elementos que compõem o Eixo de estruturação das Defesas Civis (Fonte: Adaptado do SEDEC, 2021).**

**Fig. 5 - Elements that make up the Civil Defence Structuring Axis (Source: Adapted from SEDEC, 2021).**

A estrutura física engloba, segundo o MDR (2021): i) a dependência física, ou seja, o local onde a defesa civil está sediada e mobiliário que possui; ii) os meios de transporte, ou seja, veículos, acessórios e insumos usados para realizar o deslocamento dos profissionais da defesa civil; e, iii) equipamentos, aparelhos ou ferramentas para apoio às ações de proteção e defesa civil. Também é importante compreender a estrutura da informação, isto é, os dados, dispositivos, softwares e meios de comunicação relacionados à obtenção, fornecimento e troca de informações entre a defesa civil municipal e outros setores, pessoas ou instituições. Além da estrutura física e informacional, também é essencial analisar o modo como a defesa civil se organiza para gerenciar suas ações, ou seja, a estrutura organizacional.

A estrutura organizacional depende principalmente dos recursos humanos que trabalham diretamente na defesa civil nas mais diversas atividades e, por fim, os recursos financeiros destinados à defesa civil municipal que são recursos vitais à um enfrentamento de desastre. Analisando estes aspectos, tem-se abaixo as seguintes informações das Defesas civis em estudo.

Para a avaliação dos elementos foram realizados dois procedimentos: consulta aos PLANCONs dos municípios, no que se refere à análise da estrutura do SCI; distribuição dos órgãos e suas respectivas funções, articulação dos atores no contexto de resposta ao cenário de acidente com a barragem e etc; e análise do questionário semiestruturado encaminhado aos principais órgãos respondedores: COMPDEC Tucuruí, COMPDEC Breu Branco, 8º GBM e Exército Brasileiro.

### Avaliação da estrutura operacional e da capacidade de resposta dos municípios da ZAS em um cenário de desastre com a barragem

Ocorrendo uma situação de ruptura com a barragem, os dois municípios seriam afetados diretamente (fig. 4), necessitando de um SCI composto por órgãos preparados para uma resposta eficiente, dado um cenário tão crítico. Neste caso, a avaliação da estrutura operacional

traçada no PLANCON é bastante válida, sendo essa discussão pautada na análise da Seção de Operacional definida em cada SCI. Além disso, verificou-se junto aos órgãos de resposta, o quantitativo de recursos humanos e materiais, informações estas obtida na análise das planilhas de recursos preenchidas pelos órgãos; informações essas cedidas pelas COMPDECs de Breu Branco e Tucuruí.

## Resultados e discussões

### *Histórico da elaboração/integração do PAE-PLANCON*

Em 2017, a ELETRO NORTE elaborou o PSB da UHE Tucuruí, visando o atendimento da exigência da Resolução Normativa ANEEL n. 696/2015 que estabeleceu critérios para classificação, formulação e prazos para elaboração do PSB e demais providências. O prazo para as usinas hidrelétricas com até cinco empreendimento era de 2 anos, a partir da data de publicação da referida Resolução.

No ano de 2020, a Lei Federal 12.334/2010 sobre a PNSB (Política Nacional de Segurança de Barragem), sofreu alterações por meio da promulgação da Lei Federal 14.066/2020, sendo verificado em seu texto novas obrigações aos empreendedores, tais como a de realizar a integração do PAE com o PLANCON, conforme Art. 12-A. Diantre disto, a busca pela elaboração dos Planos de Contingência (no cenário de desastre de barragem) se tornou mais mandatória.

Os municípios de Tucuruí e Breu Branco, por sua vez ainda não possuíam PLANCONs elaborados, em nenhum cenário (inundações por chuva, incêndios florestais, deslizamentos etc.) e destaca-se que pela Lei Federal nº 12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDE, a elaboração do PLANCON é uma responsabilidade dos municípios e devem conter os procedimentos e ações previstas para prevenir acidente ou desastre específico

Neste contexto, 12 de maio de 2022, o MPPA (Ministério Público do estado do Pará), determinou em audiência, que os municípios de Tucuruí e Breu Branco apresentassem seus PLANCONs até dezembro de 2022, uma vez que essa situação estava travando a implementação da operacionalização do PAE da UHE Tucuruí, por parte do empreendedor. Conforme Gouveia (2023), a operacionalização do PAE, envolve várias ações, em conjunto com a COMPDEC do município, conforme Lei Federal 12.334/2010, desde a sensibilização das informações de segurança junto à população da ZAS, até a instalação de placas de sinalização (rotas de fuga, pontos de encontro), sistema de alerta e etc.

Neste sentido, em junho de 2022, as COMPDECs de Tucuruí e Breu Branco buscaram apoio à elaboração do PLANCON, junto à UFPA, Campus de Tucuruí, havendo

a participação da orientadora desta dissertação nesta demanda. O empreendedor já vinha realizando reuniões de Grupos de Trabalho (GT) com as COMPDECs, sendo a UFPA agregada a partir de então nestas reuniões. Os PLANCONs dos dois municípios foram sendo construídos de forma integrada, ocorrendo ao longo deste período reuniões com as respectivas comunidades e os órgãos públicos de resposta (previstos nos PLANCONS), visando a apresentação dos Planos em construção e a escuta de contribuições de todos os envolvidos (GOUVEIA, 2023).

Em novembro de 2023, os dois documentos foram finalizados, sendo entregues ao MPPA (contendo as assinaturas das autoridades e representantes de instituições) somente em maio de 2023 (COMPDEC-Breu Branco) e dezembro de 2023 (COMPDEC- Tucuruí). O PLANCON de Breu Branco encontra-se disponível no site da Prefeitura, enquanto o de Tucuruí, até o presente momento não está publicado.

Ainda, no final de novembro de 2023, ocorreu o 1º simulado prático de emergência com a população instalada na ZAS, dos dois municípios, sendo as informações do simulados resumidas no TABELA I, conforme Relatório de Simulado externo de Evacuação (ELETRO NORTE, 2023). Previamente ao simulado, a população da ZAS foi cadastrada pelo empreendedor, conforme determina a Lei federal 12.334/2010, sendo informado previamente os dias e horários dos simulados.

TABELA I - Informações dos simulados práticos realizados na ZAS de Tucuruí e Breu.

TABLE I - Information from practical simulations carried out at the Tucuruí and Breu ZAS.

Informações do Simulado	Tucuruí	Breu Branco
Período do simulado	21/11/2023 a 24/11/2023 (turno manhã e tarde)	25/11/2023 e 26/11/2023 (manhã e tarde)
Número de simulado	09 simulados	05 simulados
Quantitativo de pessoas cadastradas	22.368	696
Quantitativo de habitantes treinados	8.001	685

Fonte/Source: ELETRO NORTE (2023).

Esta ação foi promovida pelo empreendedor, e executada com apoio de uma empresa de consultoria contratada para executar todas as etapas previstas para a operacionalização do PAE. As COMPDECs participaram das ações, cujo planejamento e programação das atividades eram demandas pela contratada. Na presente dissertação, não foi objetivo avaliar estas ações do simulado, sendo uma possibilidade de pesquisas futuras e que pode trazer elementos importantes sobre a eficácia do treinamento, junto à população da ZAS.

## Análise da Estruturação da COMPDEC de Tucuruí no contexto do PAE-PLANCON

134

### Estrutura física, de informação e financeira

A COMPDEC de Tucuruí tem seu funcionamento em espaço físico próprio, no prédio da Secretaria Municipal de Apoio à Segurança Pública- SEMASP. A Coordenadoria dispõe de 01 (um) veículo caminhonete, doado pela CEDEC (Coordenadoria de Defesa Civil Estadual) à Prefeitura de Tucuruí no início de 2024. Nas salas do prédio foram verificados computadores com acesso a internet e mobiliário de escritório. A COMPDEC não possui materiais e insumos próprios, tais como, cones, fitas zebradas, tendas, entre outros, que são necessários para diversas ações da defesa civil.

É válido comentar que à margem do rio Tocantins estão instaladas 664 famílias, que no período do inverno já sofrem com as enchentes (conforme dados do cadastro da COMPDEC Tucuruí, 2025) e acessar estas famílias é desafiador para a Defesa Civil já que não conta com equipamentos aquáticos ou embarcações. Em um contexto de ruptura da barragem, e o consequente aumento subido do nível do rio, a situação do resgate a estas famílias ficaria prejudicado, sendo esta prospecção mais um ponto de atenção.

Analizando os meios de comunicação para obtenção, fornecimento e troca de informações entre a COMPDEC, pessoas e instituições, identificou-se por meio de pesquisa na internet que, o contato de celular (e WhatsApp) da COMPDEC Tucuruí existe, porém, não se encontra disponível na website da Prefeitura ou nas redes sociais, havendo apenas o e-mail institucional da COMPDEC no site da Prefeitura. O sistema de comunicação operacional não dispõe de radiocomunicadores para a troca de informações e comunicação; a coordenação possui um celular institucional e utiliza o correio eletrônico para realizar a comunicação com os órgãos respondedores com os quais se articula constantemente (8º GBM/CEDEC). No aspecto, acesso digital, existe o serviço de internet de boa qualidade na sala do gabinete da Prefeitura, o que permite a utilização de sistemas utilitários para o órgão, tais como o S2iD.

Em termos de recursos financeiros, a Coordenadoria não dispõe de verbas próprias e não recebe aporte financeiro da Prefeitura o que limita ações de prevenção. O que ocorre, em algumas situações é a captação de recursos oriundos do Governo federal para ações de resposta, direcionadas ao amparo de famílias impactadas pelas inundações devido às chuvas intensas. Segundo Higuchi (2011) o cenário de inundações ocorre devido às fortes chuvas nos primeiros quatro meses do ano.

Nestas ocorrências, o gestor municipal pode solicitar o recurso no sistema S2ID (Sistema Integrado de Informações

sobre Desastres), recebendo o cartão de Pagamento da Defesa Civil (CPDC) para realizar as aquisições de cestas básicas, colchões, água mineral e etc.

A COMPDEC também atua nestas ações de forma articulada com a Secretaria Municipal de Assistência Social (SEMAS), envolvendo também o estado, por meio da CEDEC, onde são feitas as doações de cestas básicas e ações de remanejamento e aluguéis sociais para as famílias ribeirinhas impactadas.

A COMPDEC relata ainda, que havendo a necessidade de aquisição de materiais e insumos para atendimento das ações da Coordenadoria, as aquisições são viabilizadas apenas por meio da agenda de compras da Prefeitura, implicando em forte dependência do planejamento financeiro da gestão municipal.

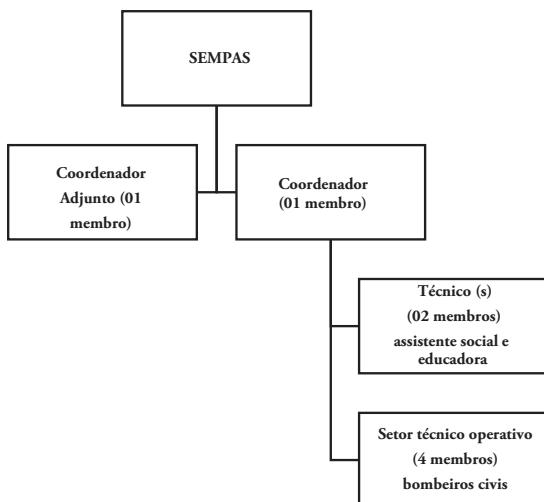
Neste contexto, é válido inferir o que propõe o MDR (2021) acerca de verbas para as COMPDECs; previsão de recursos financeiros no Plano Plurianual (PPA) e na Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) municipais para as emergências atendidas pelas COMPDECs, visando ações de prevenção e ações educativas.

No cenário de pós acidente, importante mencionar que existe, conforme a Portaria N 1384, de 6 de maio de 2024, a possibilidade de liberação sumária de recursos federais para ações de socorro e assistência às vítimas de desastres súbitos e de grande intensidade. Ainda, conforme Ministério da Integração (2023), em situações com potencial de causar desastres, é possível o recebimento de recursos para obras ou serviços de engenharia que possuam características de urgência e celeridade, visando a estabilização da área suscetível.

### Estrutura Organizacional e Recurso Humanos

A COMPDEC de Tucuruí, criada pela Lei nº 9.640/2012 está vinculada à Secretaria Municipal de Apoio à Segurança pública (SEMPAS), sendo composta atualmente por 07 membros contratados (fig. 6). Segundo Ministério da Integração (2023) a criação da COMPDEC é de incumbência do gestor municipal, que deve formar na estrutura da prefeitura um órgão para realizar as ações da Coordenadoria, sendo estabelecidos os recursos orçamentários e a equipe que irá trabalhar na COMPDEC.

Segundo Ministério da Integração (2023) para definir o “tamanho”, ou seja, o dimensionamento das COMPDECs, deve-se fazer um levantamento preliminar da situação do município do ponto de vista do desastre, o que pode ser obtido por meio de alguns questionamentos, como por exemplo “Qual o histórico de desastres do município?”, “Quais as vulnerabilidades do município com relação a ameaças, riscos e desastres?”, “Que outros órgãos da administração pública/privada existem no município (Polícia Militar, Bombeiros, Hospitais etc.)?”, “Quais os recursos existentes no município?” e etc.

**Fig. 6 - Organograma da COMPDEC de Tucuruí.****Fig. 6 - Organizational chart of COMPDEC in Tucuruí.**

No caso da estrutura mínima das COMPDECs, não há um padrão estabelecido pela SEDEC (Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil), o que se verifica é uma recomendação de estrutura simplificada ou completa, baseada no porte do município e no registro de recorrências de desastres naturais/ tecnológicos (TABELA II).

Tucuruí apresenta uma população de 91.306 pessoas, segundo o último Censo do IBGE(2022), podendo ser caracterizado como um município de médio porte. Em termos de ocorrências de desastres, por conforme o S2ID (plataforma do Sistema Nacional e Proteção e Defesa Civil), identificou-se treze registros em Tucuruí, do tipo, estiagem, alagamentos, enxurradas, tempestade local/convectiva-Granizo, tempestade local/convectiva-

vendaval, doenças infecciosas virais, tempestade local/ convectiva, chuvas intensas e inundações, entre os anos de 2020 à 2024 (período disponível no sistema). Pelo exposto, a COMPDEC Tucuruí deveria ser composta por uma estrutura organizacional completa, aderente aos itens (b) da TABELA II. No entanto, a estrutura da COMPDEC Tucuruí, aproxima-se de uma estrutura simplificada, dispondo apenas de coordenadores e pessoal técnico.

Analizando o nível de capacitação da COMPDEC, em 2021 e 2022 a equipe participou de dois cursos presenciais, ofertados pelo 8º GBM/CEDEC, cujas temáticas foram: a) Intervenção Básica de Proteção e Defesa Civil de Capacitação Básica de e Proteção e Defesa Civil e; b) Curso Avançado em proteção e defesa civil Práticas em S2id e decretação de situação de emergência (TABELA III), computando carga horária total de 50h. Todos os membros da COMPDEC participaram do curso de capacitação nos anos de 2021 e 2022. Segundo Nazli et al. (2014), destaca a importância da capacitação, pois, a preparação de resposta para desastres é uma iniciativa que visa aumentar a prontidão e o conhecimento entre a equipe e a sociedade. Ela busca melhorar a preparação geral para um desastre, ou pelo menos para os tipos de desastres que provavelmente ocorrerão em uma determinada localidade.

É importante destacar os membros das COMPDECs podem realizar cursos ofertados pela SINPDEC, no âmbito do governo federal, que contemplam o Plano de Capacitação Continuada iniciado em 2019. Foi criado pela Portaria nº 2.457, DE 16 de setembro de 2020, sendo esta iniciativa um atendimento ao que preconiza a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, Lei nº 12.608/12, em seu Art. 9. que diz: “[...] compete à União, aos Estados e aos Municípios, oferecer capacitação de recursos humanos para as ações de proteção e defesa civil à todos os membros”.

**TABELA II - Composição da estrutura da defesa civil.****TABLE II - Composition of the civil defense structure.**

<b>a) Estrutura organizacional simplificada</b> <b>Municípios de pequeno porte* ou com pouca recorrência de desastres</b>	<b>b) Estrutura organizacional completa</b> <b>Municípios de grande e médio porte* ou que tenham recorrência de desastres</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Um Coordenador ou Secretário-Executivo;</li> <li>Um técnico - desempenhará as atribuições de cadastramento e revisão de recursos;</li> <li>Um setor técnico operativo - desenvolverá as atividades de minimização de desastres e emergenciais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conselho Municipal de Proteção e Defesa Civil- composto pelos representantes do SINPDEC (Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil) local;</li> <li>Coordenadoria Executiva;</li> <li>Setor de Apoio Administrativo- responsável principalmente pelo cadastramento e revisão de recursos materiais, humanos e financeiros;</li> <li>Setor de Minimização de Desastres- responsável pela avaliação de riscos, cursos de treinamento e planejamento, mobilização, aparelhamento, apoio logístico, entre outros;</li> <li>Setor de Operações- responsável pelo aparelhamento, apoio logístico, vistorias e ações de reconstrução;</li> <li>Centro de Gerenciamento de Desastres- responde pelas ações monitoramento, alerta, alarme e resposta;</li> <li>Núcleo Comunitário de Proteção e Defesa Civil (NUPDEC).</li> </ul>

(\* ) Municípios de pequeno porte são aqueles com população inferior a 50 mil habitantes; de médio porte, entre 50 mil e 100 mil habitantes; e grande porte, população superior a 100 mil habitantes (IBGE, 2022).

TABELA III - Cursos de capacitação realizados pelas COMPDECs em estudo.

TABLE III - Training courses carried out by the COMPDECs under study.

Tema do Curso	Conteúdo abordado	Período	Participantes
Intervenção Básica de Proteção e Defesa Civil (20h).	1. Proteção e Defesa Civil: Introdução à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil; II Principais conceitos em Defesa Civil; 2. Contexto dos desastres; 3. Atribuições e competências; 4. Avaliação de risco de desastres (Análise da ameaça, vulnerabilidade); 5. Introdução ao S2ID	19 a 21/10/2021	Todos os membros (COMPDEC Tucuruí)
Avançado em Proteção e Defesa Civil Práticas em S2id e decretação de situação de emergência (30h).	1. Principais Legislações para Decretação de Situação de Emergência: Portaria nº 260-MDR, de 2 de fevereiro de 2022; Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012; Decreto nº 891, de 10 de julho de 2020. 2. Práticas ao Sistema S2ID; Formulário de Informações sobre Desastre - FIDE; Declaração Municipal de Atuação Emergencial - DMATE; Relatório Fotográfico; e Oficina prática	08 a 11/11/2022	

Esses cursos de capacitação, podem ser realizados por todos os membros das COMPDECs ou cidadãos e são formatados em modalidades presenciais e à distância (EaD), por meio da plataforma da Escola Virtual de Governo (EV.G) / Escola Nacional de Administração Pública (Enap). Os cursos correspondem a 5 eixos temáticos, compostos por 18 treinamentos, totalizando 649 horas de capacitação (fig. 7). É válido informar que os cursos são periodicamente atualizados, podendo sofrer alterações de conteúdos e carga horária.

Analizando o nível de capacitação da COMPDEC de Tucuruí, verificou-se certa deficiência de conteúdos

absorvidos pela equipe, haja vista que até a presente pesquisa, a COMPDEC realizou apenas a capacitação presencial, ofertada pelo 8ºGBM/CEDEC, sendo abordados nesses cursos somente alguns itens relativos ao Eixo temáticos 1 e 2. Este quantitativo equivale a 7,7 % da carga horária total ofertada pela Sedec (2020).

Este cenário de baixa aderência dos membros da COMPDEC, aos cursos ofertados no Plano de formação continuada, pode ser motivado pelos seguintes fatores: a forma de vínculo dos membros da COMPDEC, que é realizada por meio de contratações temporárias, criando um “clima” de incertezas na continuidade do trabalho

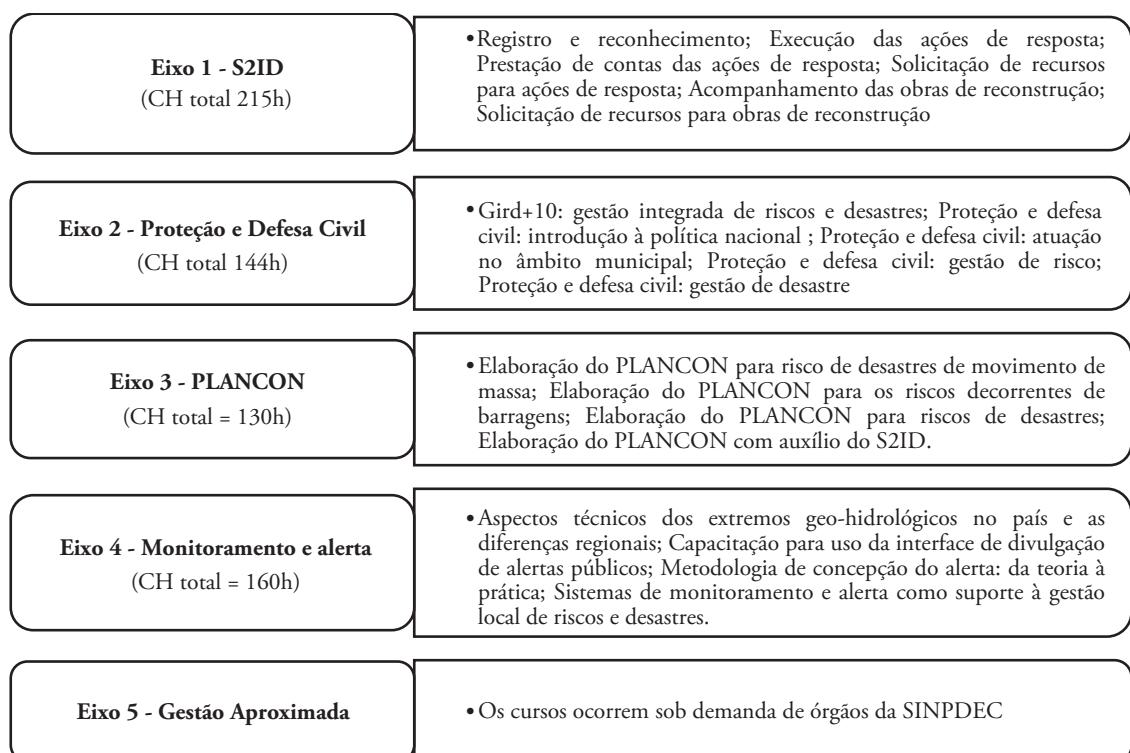


Fig. 7 – Síntese do Plano de formação continuada para agente de defesa civil municipal  
(Fonte: adaptado do Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020).

Fig. 7 – Summary of the continuing training plan for municipal civil defence agents  
(Source: adapted from the Ministry of Regional Development, 2020).

destes colaboradores e inexistência de um Plano de capacitação em nível de Secretaria a qual está vinculada à Defesa Civil.

A baixa capacitação da COMPDEC pode implicar na ineficiência da resposta ao cenário de ruptura da barragem de Tucuruí, haja vista que neste cenário a COMPDEC teria um papel fundamental nas ações operacionais de resposta, conforme apresentado no organograma do SCI (Sistema de Comando de Incidência) (fig. 8).

Verifica-se que o Comando Unificado do SCI é composto pelo gestor municipal, 8º Grupamento de Bombeiro Militar (GBM 8º)/ Coordenadoria de Defesa do Estado (CEDEC) e COMPDEC, cuja função é ativar o PLANCON, Staff do Comando é designado para executar as funções necessárias para apoiar o Comando do incidente. Essas funções incluem a coordenação entre agências (ligação), a segurança do incidente e as informações públicas (CBMDF, 2011).

Realizando articulação com os demais órgãos que se encontram distribuídos nas quatro Seções de trabalho (Seção de Operações; Sessão de Planejamento; Sessão de Logística e Seção de Finanças e Administrativa) que ramificam para a Subseções. Estas por sua vez, ramificam para as seções de terceiro nível. No documento do PLANCON cada órgão respondedor tem as suas atribuições e competências definidas.

Na estrutura do SCI, a COMPDEC aparece envolvida diretamente nas seguintes seções/subseções: evacuação, cadastramento, abrigos, ajuda humanitária, remoções, unidade de situação, unidade de recursos, unidade de documentação, unidade de desmobilização e unidade de comunicação operacional, sendo um órgão de grande relevância para um funcionamento eficiente do SCI.

É fundamental a capacitação de todos os servidores ou voluntários, que desempenham atividades no gerenciamento de risco (MDR, 2022). Quanto maior a preparação para enfrentamento aos desastres, menor tende ser a proporção dos prejuízos (CBMPA, 2022). De acordo com Nazli *et al.* (2014), é preciso dar mais prioridade a programas de capacitação pública direcionados às comunidades locais e equipes respondedoras em áreas propensas a desastres, por meio de treinamento em nível organizacional, operacional e/ou individual.

CBMPA (2022) destaca que a coordenação da COMPDEC deve ser assumida por profissional experiente e com capacidade técnica em gestão de desastres, tendo acesso ao chefe do CI, bem como competência e autoridade para tomar decisões em situações de crise. Deve estar articulada com toda a estrutura de resposta do município: Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, clubes de serviço, associações de moradores, entidades religiosas e de assistência.

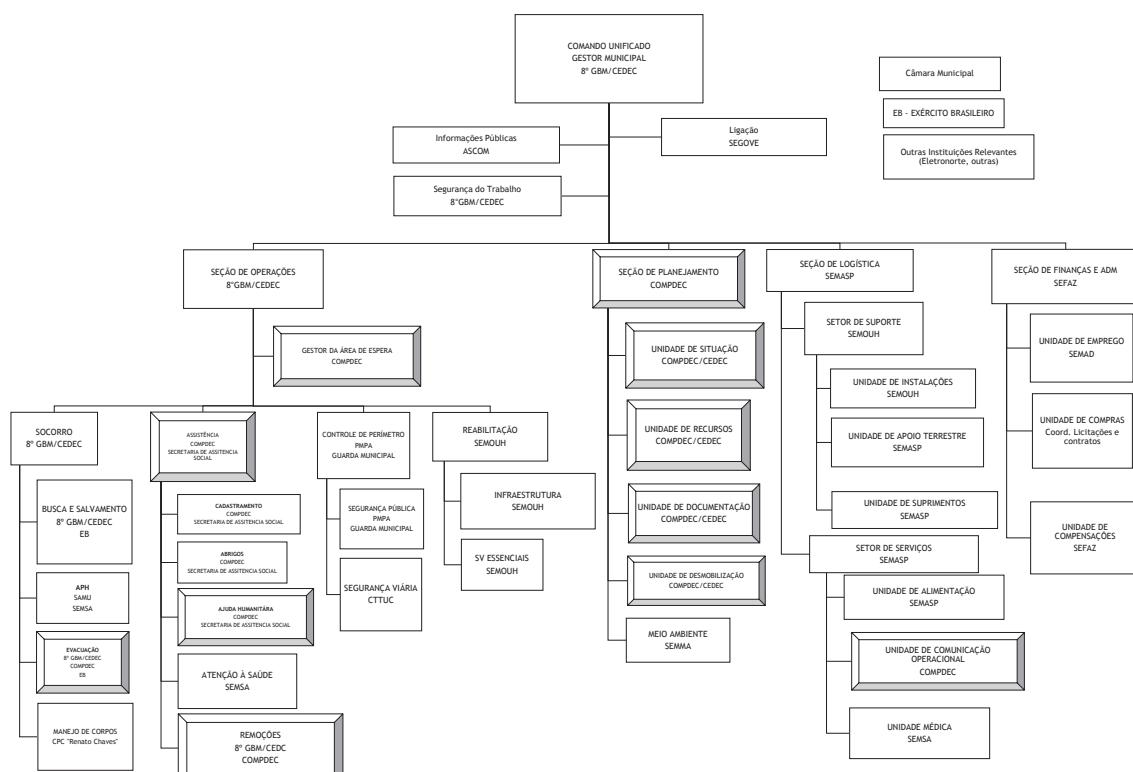


Fig. 8 - Estrutura Organizacional do SCI, PLANCON-Tucuruí (Fonte: COMPDEC Tucuruí, 2023).

Fig. 8 - Organizational Structure of the SCI, PLANCON-Tucuruí (Source: COMPDEC Tucuruí, 2023).

### Análise da Estruturação da COMPDEC de Breu Branco contexto do PAE-PLANCON

#### Estrutura física, de informação e financeira

A COMPDEC de Breu Branco não dispõe de espaço físico próprio para funcionamento, sendo a sala de gabinete da Prefeitura, a referência da COMPDEC, já que a coordenadora, acumula a função de Chefe de Gabinete. Em termos de meio de transporte, a Coordenadoria não possui veículo próprio e quando os agentes necessitam de deslocamento para a realização de suas atividades, contam com o apoio dos veículos das Secretarias envolvidas na demanda, como por exemplo, em uma ação de apoio às famílias atingidas pela enchente, a COMPDEC aciona a Secretaria de Assistência Social e esta por sua vez, disponibiliza o veículo para o traslado da comitiva. Esta situação trata-se de um ponto de atenção, no contexto de cenários de emergência, uma vez que, conforme Silva *et al.* (2020), a dependência de outros órgãos pode inviabilizar o deslocamento ágil da Defesa civil comprometendo o tempo resposta da situação instaurada.

Tal qual o município de Tucuruí, Breu Branco também possui moradores instalados às margens do Rio Tocantins, à jusante da barragem (cerca de 450 famílias), segundo informações da Coordenadoria. Dado um cenário de rompimento da barragem, implicando na necessidade de embarcações ou outro transporte aquático para o deslocamento até estas áreas, O aumento súbito do nível da água dificultaria o acesso via terrestre e esses transportes aquáticos seriam primordiais para o resgate da população local. Outro item verificado na pesquisa foi em relação ao quantitativo de materiais e insumos próprios pertencentes à COMPDEC Breu Branco, sendo constatado, porém, que a Coordenadoria não possui itens próprios.

Os meios de comunicação acerca da obtenção, fornecimento e troca de informações entre COMPDEC, pessoas ou instituições é caracterizado da seguinte forma: a COMPDEC possui um *link* no site da Prefeitura que contêm o endereço da Coordenadoria, e-mail e o telefone para contato, demonstrando possuir um canal de atendimento satisfatório à população. O sistema de comunicação operacional da COMPDEC não dispõe de radiocomunicadores para a troca de informações e comunicação; sendo verificado que a coordenação possui um telefone celular e utiliza o correio eletrônico para realizar a comunicação com os órgãos respondedores com maior articulação (8º GBM/CEDEC). No que se refere ao acesso digital, existe o serviço de internet de boa qualidade na sala do gabinete da Prefeitura, o que permite a utilização de sistemas essenciais para o órgão, tais como o S2iD.

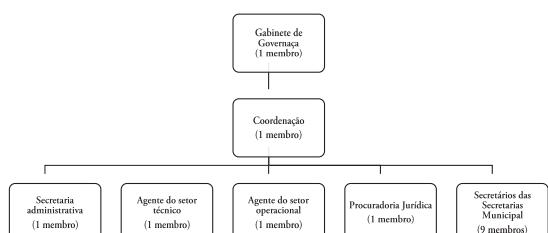
No quesito estrutura financeira, no Breu Branco, o cenário de inundação devido às chuvas é frequente e ocorre nos primeiros quatro meses do ano (Higuchi,

2011). E neste caso, o aporte financeiro às ações de prevenção à população, conta com recursos das Secretarias municipais, uma vez que a COMPDEC sempre trabalha de forma articulada com as Secretarias, principalmente a de Assistência Social (SAAS). Neste período a Coordenadoria em conjunto com a CEDEC e a SAAS, priorizam ações de remanejamento das famílias ribeirinhas, doação de cestas básicas, aluguéis sociais e etc. A COMPDEC relata ainda, que havendo a necessidade de aquisição de materiais e insumos para uso direto do órgão, a compra é viabilizada por meio da agenda de compras da Prefeitura.

Propõe-se a inclusão de verbas no Plano Plurianual (PPA) e na Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) para emergências atendidas pela defesa civil, para estruturação da COMPDEC para atendimento de ações de prevenção e ações educativas (SEDEC, 2021). Segundo a COMPDEC em estudo, não há este planejamento junto à Prefeitura, ocorrendo muitas vezes atendimento parcial das necessidades do órgão. Diante deste contexto, a COMPDEC acaba desenvolvendo suas atividades com forte dependência do planejamento financeiro da gestão municipal.

#### Estrutura Organizacional e Recurso Humanos

A COMPDEC de Breu Branco, criada pela Lei nº. 508/2009 está vinculada diretamente ao gabinete da Prefeitura e foi criada pela Portaria nº 292/2022. Segundo a Portaria, é composta por 15 membros servidores oriundos de 09 Secretarias (Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo - SEMOB, Secretaria Municipal de Assistência e Desenvolvimento Social - SEMADS, Secretaria Municipal da Saúde - SEMUS, Secretaria Municipal de Educação - SEMED, Secretaria Municipal da Fazenda - SEFAZ, Secretaria Municipal de Esporte, Cultura e Turismo - SECUT, Secretaria Municipal de Administração e Planejamento - SEMAP, Secretaria Municipal de Agricultura, Pesca e Desenvolvimento Econômico - SEMAPEC e Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Saneamento - SEMASA), conforme (fig. 9).



**Fig. 9 - Organograma da COMPDEC de Breu Branco.**

**Fig. 9 - Organizational chart of COMPDEC in Breu Branco.**

Analizando a estrutura mínima da COMPDEC de Breu Branco pelo critério do Ministério da Integração (2023) (TABELA II), o município apresenta 45.712 habitantes (IBGE,

2022). Conforme S2ID (2025), cinco ocorrências foram registradas de desastres a saber: estiagem, incêndios em aglomerados residenciais, inundações, tempestade local/convectiva-chuvas intensas e Incêndio Florestal - Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar.

Esta característica leva a inferir que o município de Breu se enquadra na estrutura organizacional simplificada (TABELA II-a). É conveniente refletir sobre a estrutura organizacional simplificada; mesmo que os municípios adotem uma composição de estrutura simplificada da defesa civil, estes também estão em risco de desastres e a pouca recorrência de desastres por si só não justifica a ausência de funções necessárias à resposta. Ainda, esse tipo de composição simplificada apresenta uma estrutura fixa, mas que há elementos de uma estrutura complementar, variável e flexível, que devem ser realocados de outras secretarias e órgãos no momento do desastre, ou seja, as funções necessárias à prevenção, mitigação, preparação, resposta e reconstrução são as mesmas que na composição de estrutura organizacional completa, porém os recursos estão distribuídos de outra forma. No entanto, é necessário que haja integração operacional entre todos os órgãos de respostas.

Analizando o aspecto de capacitação da equipe COMPDEC Breu Branco, em 2021 e 2022, ocorreram dois cursos presenciais, ofertados pela CEDEC e Corpo de Bombeiro Militar do Pará, assim como mencionado para o município de Tucuruí, cujas temáticas foram: a) Intervenção Básica de Proteção e Defesa Civil de Capacitação Básica de e Proteção e Defesa Civil e; b) Curso Avançado em proteção e defesa civil Práticas em S2ID e decretação de situação de 'emergência. Na ocasião, houve apenas a participação da coordenadora da COMPDEC nos dois cursos, conforme (TABELA IV).

Ao confrontar a carga horária dos Cursos do Plano de Capacitação Continuada, ofertados pela Defesa Civil Estadual com o que efetivamente foi realizado pela Coordenadora, verifica-se deficiência de conteúdos absorvidos, haja vista que até o período atual, a

COMPDEC realizou apenas a capacitação ofertada pela CEDEC, cuja carga horária total foi de 50h, distribuídas em dois cursos de pequena duração (20h e 30h), sendo abordados alguns itens relativos aos Eixos temáticos 1 e 2 da grade ofertada pela SINPDEC. Destacando-se que o Eixo 1 contabiliza 215 h, enquanto o Eixo 2, a carga horária prevista é de 144h. Vale destacar que segundo informações junto as COMPDECs que a referida plataforma online é de conhecimento das coordenadoras.

Na visão de Muda *et al.* (2021), a capacitação dos profissionais de emergência visa melhorar a atuação das pessoas de responder aos impactos de um desastre, enquanto a prevenção pretende diminuir os riscos de desastres. Para estar preparado, as pessoas devem ter conhecimentos e competências adequadas para reduzir o efeito de um desastre numa comunidade.

Este cenário de baixa aderência dos membros da COMPDEC na capacitação dos cursos disponíveis no Plano de formação continuada, pode ser motivado pelas seguintes causas: vínculo dos membros da COMPDEC sendo realizado por meio de contratações temporária, trazendo incertezas na continuidade do trabalho nas coordenadorias; inexistência de um Plano de capacitação em nível de Secretarias a qual estão vinculas às defesas civis e; acúmulo de função restringindo o tempo disponível para capacitação.

As COMPDECs devem obter capacitação suficiente para atuar em cenários de alta complexidade, tal qual o de rompimento de uma barragem, haja vista que nestas ocorrências é a equipe COMPDEC que irá liderar as ações de resposta. O PLANCON passa a ser ativado, ocorrendo a atuação do chamado SCI (Sistema de Comando de Incidência). O SCI trata-se de uma metodologia baseada na participação de múltiplos órgãos no processo de resposta ao desastre, organizados em uma estrutura de organograma (FEMA, 2019).

O gestor municipal (prefeito/vice-prefeito) e/ou pelo Coordenador da Defesa Civil, são os responsáveis por

TABELA IV - Cursos de capacitação realizados pelas COMPDEC Breu Branco.

TABLE IV - Training courses carried out by the Breu Branco COMPDECs under study.

Tema do Curso	Conteúdo abordado	Período	Participantes
Intervenção Básica de Proteção e Defesa Civil (20h).	1. Proteção e Defesa Civil: Introdução à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil; II Principais conceitos em Defesa Civil; 2. Contexto dos desastres; 3. Atribuições e competências; 4. Avaliação de risco de desastres (Análise da ameaça, vulnerabilidade); 5. Introdução ao S2ID.	19 a 21/10/2021	Somente a coordenadora (COMPDEC Breu Branco)
Avançado em proteção e defesa civil Práticas em S2Id e decretação de situação de 'emergência (30h).	1. Principais Legislações para Decretação de Situação de Emergência: Portaria nº 260-MDR, de 2 de fevereiro de 2022; Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012; Decreto nº 891, de 10 de julho de 2020; 2. Práticas ao Sistema S2ID; Formulário de Informações sobre Desastre - FIDE; Declaração Municipal de Atuação Emergencial - DMATE; Relatório Fotográfico; e Oficina prática.	08 a 11/11/2022	

ativar o PLANCON de Breu Branco, acionando as Seções de Operação, de Planejamento e de Logística (COMPDEC Breu Branco, 2023). Estas por sua vez, acionam as Subseções, conforme detalhamento do organograma do SCI apresentado (fig. 10).

140

A estrutura organizacional do SCI de Breu Branco tem semelhanças com Tucuruí, devido terem sido elaboradas em conjunto com os PLANCONs. Conforme o SCI, a COMPDEC Breu Branco é estruturada em quatro Seções de trabalho, sendo estas: a) Seção de Operações; b) Sessão de Planejamento; c) Sessão de Logística e Seção de finanças e Administração. Em cada seção destas, tem-se as subseções com as suas atribuições e competências; A Defesa Civil Municipal, aparece envolvida diretamente na Área de Espera, Assistência, Cadastramento, Abrigos, Ajuda Humanitária, Remoção, Evacuação, Seção de Planejamento, Unidade de Situação, Unidade de Recursos, Unidade de Documentação, Unidade de desmobilização e Unidade de Comunicação Operacional.

O comando é compartilhado entre as seguintes autoridades: o Prefeito, que é encarregado de implementar a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) no município, ou um servidor por ele designado que represente o Poder Público Municipal; o Comandante do 8º GBM que é responsável em nível estadual pela execução da PNPDEC, sendo capacitado

para apoiar o município e estabelecer conexões com o Estado ou a União; a COMPDEC que é responsável pelas ações de socorro e gestão de emergências no âmbito municipal, além de fazer as articulações necessárias com o Estado ou a União.

Quanto maior a preparação para enfrentamento aos desastres, menor tende ser a proporção dos prejuízos (CBMPA, 2022). Ratifica-se que o trabalho de Defesa Civil é extremamente específico, e por isso torna-se fundamental a capacitação de todos os servidores ou voluntários, que desempenham atividades no gerenciamento de risco (MDR, 2022). Dessa maneira, os agentes da COMPDEC devem receber treinamentos de nível operacional que estejam alinhados com suas atividades rotineiras, bem como a coordenação também devem receber capacitação de nível gerencial de forma que os gestores públicos possam ter conhecimento suficiente para diligenciar uma ocorrência usando ferramentas de gestão mais amplas.

A coordenadoria do COMPDEC deve ser assumida por profissional experiente e com capacidade técnica em gestão de desastres, tendo acesso ao prefeito, bem como competência e autoridade para tomar decisões em situações de crise (CBMPA, 2022). Deve estar articulado com toda a estrutura de resposta do município: Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, associações de moradores, entidades religiosas, de assistência e etc.

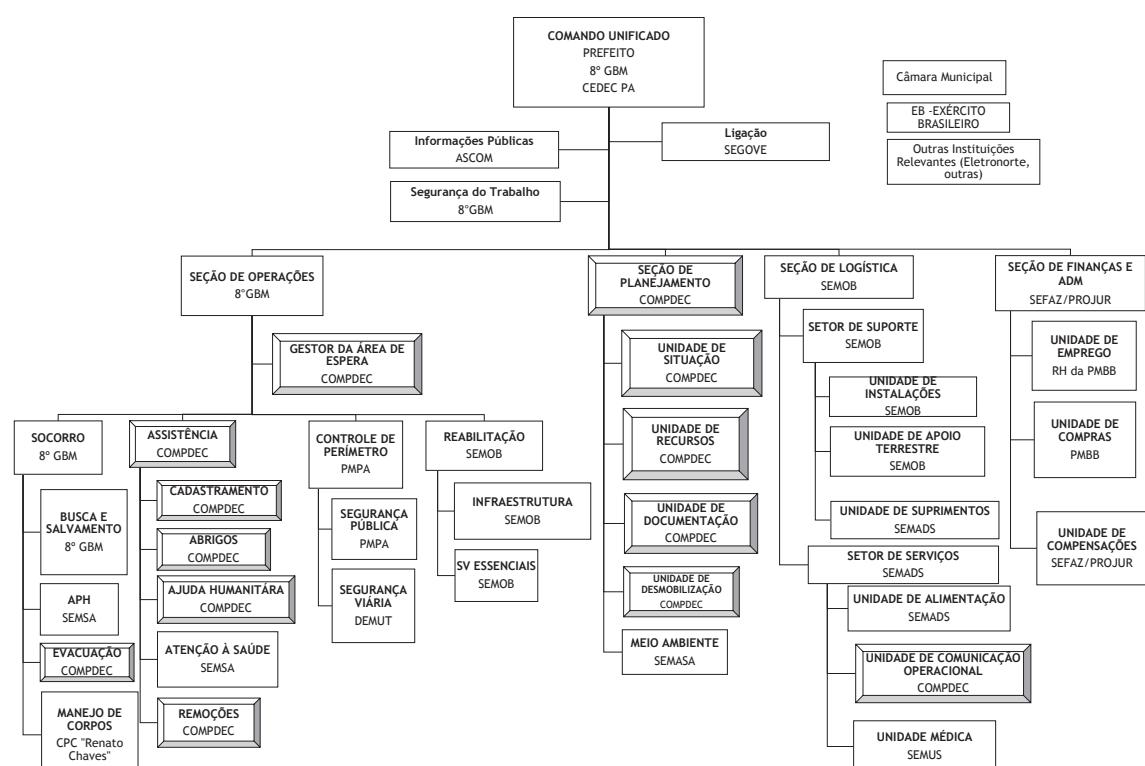


Fig. 10 - Estrutura Organizacional do SCI, PLANCON-Breu Branco (Fonte: COMPDEC Breu Branco, 2023).

Fig. 10 - Organizational Structure of the SCI, PLANCON-Breu Branco (Source: COMPDEC Breu Branco, 2023).

### *Análise comparativa das COMPDECs em estudo e o cenário brasileiro*

A estrutura física da COMPDEC Tucuruí pode ser considerada satisfatório, haja vista que apresenta espaço físico próprio, salas para acomodar a equipe, computadores e internet disponível a todos os agentes e veículo próprio. No entanto, verifica-se a ausência de equipamentos aquáticos ou embarcações, necessários em uma região de população ribeirinha, ausência de materiais e equipamentos de uso corrente nas diversas atividades da Defesa Civil. Em Breu Branco, a situação é mais desfavorável, já que a COMPDEC não dispõe de espaço próprio (ficando a coordenadora na secretaria do Gabinete), não possui veículo próprio, nem materiais e equipamentos necessários a execução das atividades rotineiras da defesa civil. Ainda, similar à situação de COMPDEC Tucuruí, não conta com embarcações para suporte nas atividades de salvamento. Constatase que Breu Branco, infelizmente segue um padrão nacional, demonstrado no diagnóstico da Estruturação das COMPDECs no Brasil (SEDEC, 2021), onde a maioria das Coordenadorias, ou seja, 65 % dividem o espaço físico com outro setor ou secretarias e apenas 16 % apresentam espaço físico próprio. Ainda, em nível nacional, 67 % das COMPDECs não possuem viaturas, enquanto 32 % possuem viatura. Na região Norte, os números correspondem a 63 % que dividem o espaço físico com outro setor ou secretarias e 8 % apresentam espaço físico próprio.

Os meios de comunicação para obtenção, fornecimento e troca de informações entre a Defesa Civil, de Tucuruí, pessoas ou instituições, necessitam de melhorias, pois existe um contato de celular da COMPDEC, porém não divulgado na website da Prefeitura ou em rede social; a COMPDEC não dispõe de radiocomunicadores o que pode dificultar a comunicação, em uma situação de emergência. Breu Branco, apresenta as mesmas características de comunicação de Tucuruí, acrescentase que não possui e-mail próprio diferente de Tucuruí, sendo as demandas encaminhadas pelo e-mail do gabinete da Prefeitura, já que a coordenadora atua também no gabinete.

As duas COMPDECs não utilizam de meios que poderiam ser adotados para a comunicação eficaz com a população, tais como: redes sociais, aplicativos, programas de rádio, alertas por SMS, campanhas educacionais, reuniões e encontros presenciais, sites, revistas ou jornais e programas de TV. Conforme SEDEC (2021), no Brasil, os meios de comunicação mais utilizados pela Defesa civil são: 56 % redes sociais, 43 % aplicativos, 31 % programas de rádio, 25 % alertas por SMS, 21 % campanhas educacionais, 21 % reuniões e encontros presenciais, 18 % sites, revistas ou jornais e 8 % programas de TV.

Neste sentido, é válido comentar a importância da constituição de um Núcleo (Nupdec) para as Defesas Civis, pois esta organização poderia auxiliar no fortalecimento da comunicação e divulgação das ações das COMPDECs destes municípios, servindo também de ponto de apoio para treinamentos com a população. A comunicação poderia ser estabelecida de forma permanente, tornando mais “próximas” todas as ações e alinhamentos sobre a gestão de segurança da UHE Tucuruí e assuntos correlatos.

Em termos de recursos financeiros, as duas COMPDECs não possuem recursos próprios; estes são provenientes do tesouro municipal e em momentos de cheias, recebem recursos do governo do estado. Olhando os dados da pesquisa nacional (SEDEC, 2021), a distribuição das fontes dos recursos financeiros configura-se assim: 24 % dos respondentes informaram que os recursos são provenientes do tesouro municipal, 16 % associam a origem ao repasse de outras secretarias, enquanto 28 % reportaram ter orçamento próprio e 10 % obtêm recursos via programas do estado; 26 % das defesas civis entrevistadas afirmaram não ter orçamento, e 11 % não souberam dizer. No Norte, os números são, 33 % dos respondentes informaram que os recursos são provenientes do tesouro municipal, 23 % associam a origem ao repasse de outras secretarias, enquanto 19 % reportaram ter orçamento próprio e 12 % obtêm recursos via programas do estado; 28 % das defesas civis entrevistadas afirmaram não ter orçamento, e 9 % não souberam dizer.

Analizando a estrutura organizacional e de recursos humanos da COMPDEC Tucuruí, a Coordenadoria está vinculada à Secretaria de Segurança Pública do município e apresenta uma estrutura organizacional classificada como mínima (de acordo com a TABELA II - Composição da estrutura da defesa civil), porém, composta por uma equipe interdisciplinar formada por 8 membros, sendo esses bombeiros e assistentes social. A COMPDEC Breu Branco apresenta uma estrutura também mínima, composta por uma equipe grande somando 15 membros (a maioria secretários municipais), que praticamente não atuam nas atividades da Defesa Civil, caracterizando uma atuação “solo” da coordenadora. Comparando com o diagnóstico nacional 10 % das Coordenadorias possuem efetivo de 6 a 10 pessoas, 5 % possuem efetivo de 11 a 20 pessoas e 83 % apresentam um efetivo igual ou menor que 5 pessoas (SEDEC, 2021).

No aspecto de vínculos das COMPDECs à estrutura organizacional dos municípios, 49 % das Coordenadorias no Brasil, estão vinculadas ao gabinete, enquanto 10 % estão ligadas à secretaria de segurança pública e 2 % estão ligados ao Corpo de Bombeiro. Na Região Norte, 48 % das COMPDECs estão vinculadas ao gabinete do (a) prefeito (a), 33 % à secretaria de meio ambiente e 1 %

estão ligados ao Corpo de Bombeiro (SEDEC, 2021). De acordo com a percepção da coordenação da COMPDEC de Tucuruí, estar ligado à Secretaria de segurança pública não dificulta a atuação e articulação com os demais órgãos de resposta, e segundo a coordenação de Breu Branco, estar ligada ao gabinete do prefeito, facilita o atendimento de solicitações feitas ao gestor, agilizando tramitações de processos administrativos necessários para determinadas ações da COMPDEC, aumentando a eficiência da atuação da referida defesa civil.

Em termos de capacitação, conforme TABELA III, todos os membros COMPDEC de Tucuruí participaram de dois cursos ministrados pela SEDEC em 2021 e 2022, enquanto apenas a coordenação da COMPDEC Breu Branco realizou os referidos cursos, não havendo participação dos demais membros. Essa constatação, indica fragilidades no quesito capacitação da COMPDEC Breu Branco. Avalia-se ainda, que as duas COMPDECs poderiam ter uma formação mais sólida nas áreas preparação e resposta, haja vista a disponibilidade de cursos remotos, ofertados pelo MDR em seu Plano de Capacitação (MDR, 2022).

#### *Análise da estrutura operacional dos PLANCONs no cenário de resposta de desastre com a barragem*

Analizando os SCI das fig. 8 e 10, dada uma situação de rompimento da barragem, o 8º GBM/CEDEC instalado em

Tucuruí, atuaria simultaneamente nas ações de respostas dos dois municípios. As ações de resposta da COMPDEC Breu Branco poderiam ficar comprometidas, pois os recursos do 8º GBM/CEDEC aparecem envolvidos nas ações de socorro à população afetada de Tucuruí, dificultando o apoio e resposta no território do Breu. Ocorre que atuação dos bombeiros militares nestes cenários é indispensável, pois, segundo Pires *et al.* (2017), estes agentes apresentam expertise para diversas situações trágicas, como incêndios, colisões, desabamentos e naufrágios, em que a urgência da decisão do que fazer é parte habitual da atividade. Portanto, são órgãos de pronta resposta estratégicos, juntamente com os demais organismos da Defesa Civil estadual e municipal.

Vale citar que a criação do 8º GBM/CEDEC foi fruto da política de interiorização do CBMPA, iniciada em meados de 2005, através da qual, diversas Unidades Bombeiro Militar foram concebidas no interior do estado do Pará (CBMPA, 2019). Em maio de 2006, foi assinado o convênio entre Prefeitura de Tucuruí e governo do Estado, cuja finalidade era a fundação do Quartel do Corpo de Bombeiros, às margens da BR 422, iniciando, portanto, a cobertura preventiva na Região do Lago da UHE Tucuruí (fig.11). Esta região, é composta por sete municípios circunvizinhos do Sul do Pará (Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna, Novo Repartimento e Tucuruí) (Gonçalves, 2019).

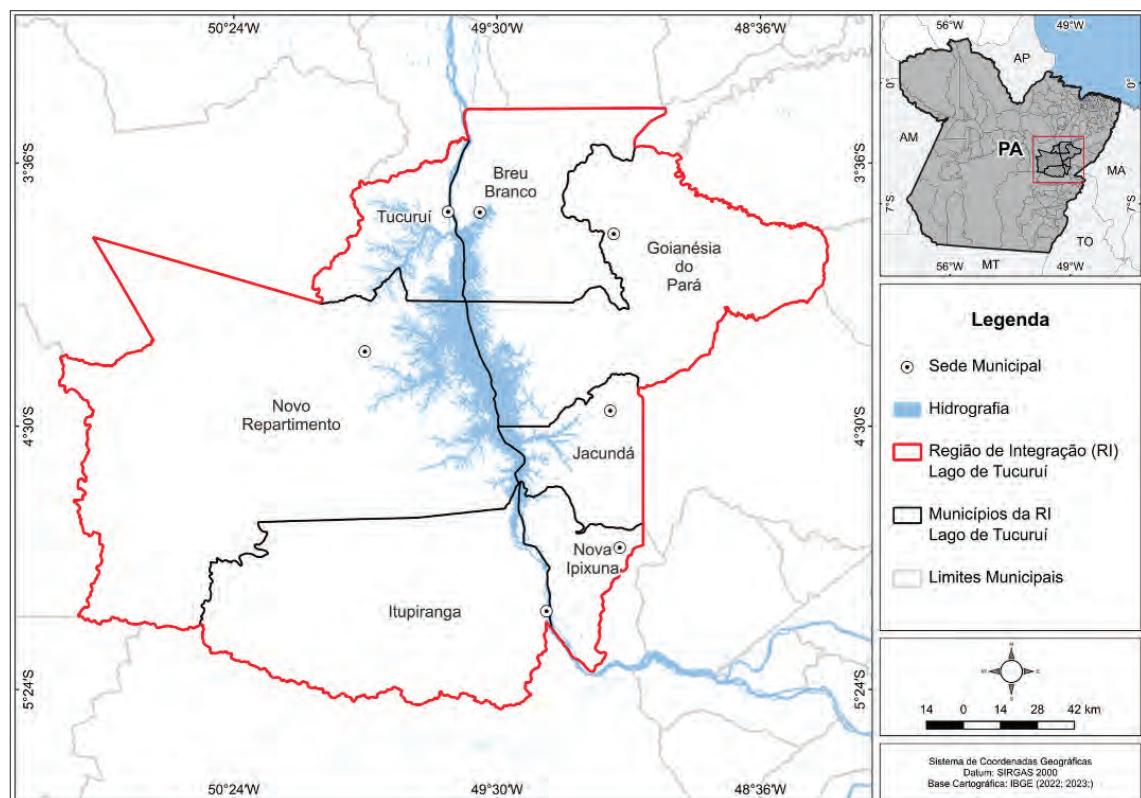


Fig. 11 - Mapa Localização geográfica da Região Integração do Lago de Tucuruí.

Fig. 11 - Map showing geographic location of the Tucuruí Lake Integration Region.

Como segunda análise, ainda que o 8º GBM/CEDEC apresentasse recursos suficientes para apoiar as operações de socorro à população de Breu Branco, o deslocamento via terrestre até o município estaria comprometido, uma vez que a única rodovia que interliga Breu a Tucuruí é a PA-263; a mesma que “passa por cima” da barragem. O apoio ao socorro via transporte aquaviário também seria problemático, devido à inexistência de equipamentos aquáticos, tanto por parte do 8º GBM/CEDEC, quanto pela COMPDEC de Tucuruí.

Desta forma, o apoio às ações de socorro à Breu Branco, dadas as dificuldades do 8º GBM/CEDEC poderia advir do batalhão mais próximo da cidade, o 14º GBM de Tailândia, localizado a 162 km (aproximadamente 2 horas) do centro de Breu Branco (fig. 12). Este tempo, no entanto, poderia comprometer a eficiência das ações de salvamento do batalhão, pois conforme PSB da Eletronorte (2021), em menos de 30 minutos toda a área da ZAS de Breu estará inundada após um colapso, e por conseguinte a ZSS (Zona de Segurança Secundária - ZSS). Este cenário indica mais um ponto crítico na etapa de resposta ao acidente em Breu Branco, e nos faz refletir sobre a possibilidade da criação de uma nova unidade do Corpo de Bombeiros neste município.

Outro ponto verificado na estrutura do SCI, trata-se da atuação do Exército Brasileiro (EB) - 23º Esquadrão

de Cavalaria de Selva, a qual foi definida apenas como uma instituição de Staff, ligada a Secretaria de Governo (SEGOV). Avalia-se, porém, que o EB além de atuar como Staff, deveria ser um órgão de apoio as ações operacionais, especificamente nas subseções de busca e salvamento e evacuação, juntamente com o 8º GBM/CEDEC e COMPDEC, tendo em vista à expertise do exército. O 23º Esquadrão conta com 45 efetivos, entre soldados, sargentos e tenentes, dispondo de recursos materiais, equipamentos, veículos e entre outros recursos, o que aumentaria consideravelmente o aparato de resposta à situação do desastre.

É válido ainda, mencionar a ressalva do Ministério da Defesa (2015), que diz as forças armadas não devem assumir o controle operacional dos Órgãos de Defesa Civil e de Segurança Pública (OSP), devendo a sua atuação transcorrer em coordenação com os mesmos. A atuação das Forças Armadas nas atividades de Defesa Civil deverá ocorrer em regime de cooperação com o SINPDEC e sob a coordenação das ações do CENAD.

Conclusão

A pesquisa possibilitou analisar aspectos relativos à resposta de um cenário de ruptura da barragem de Tucuruí, revelando que as COMPDECs dos municípios localizados na ZAS necessitam de melhorias para tal

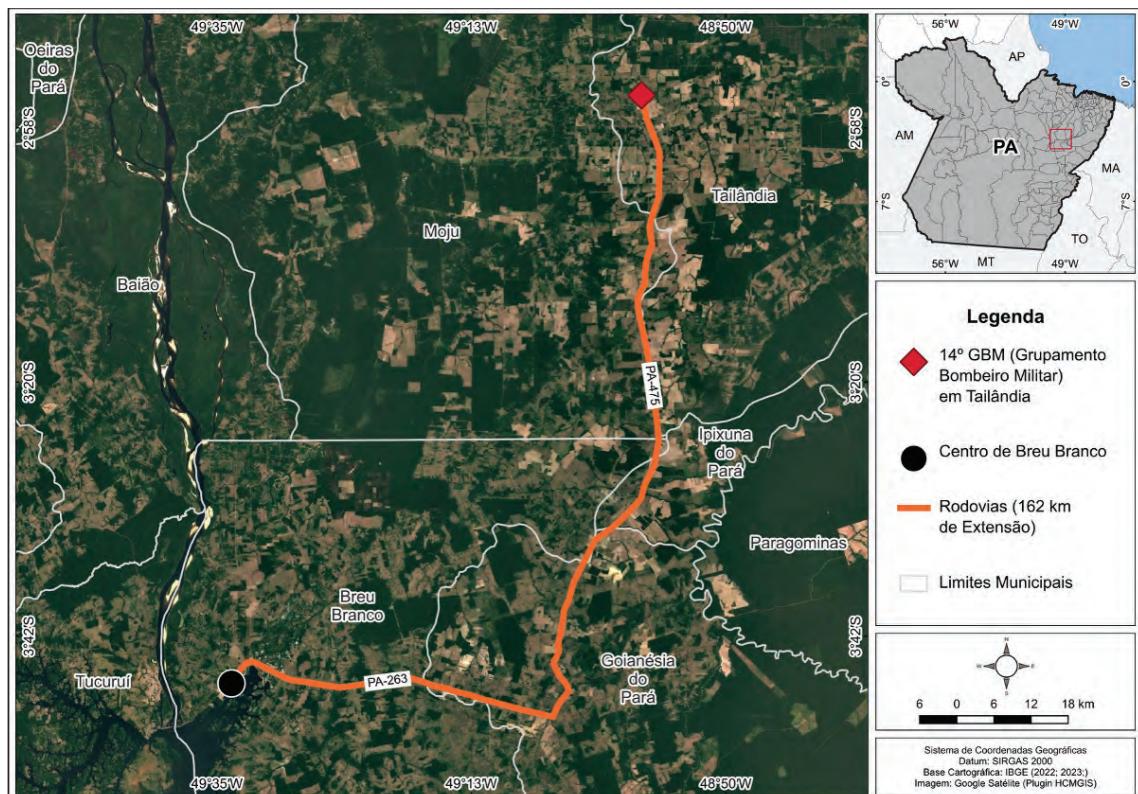


Fig. 12 - Distância entre o 14º GBM de Tailândia e o centro do município de Breu Branco.

**Fig. 12 - Distance between the 14<sup>th</sup> GBM (Military Fire Brigade) of Tailândia and the centre of the municipality of Breu Branco.**

enfretamento; apresentando deficiências em comum, tais como a ausência de recursos financeiros próprios, indisponibilidade de materiais e equipamentos, limitações de dispositivos de troca de informações entre a Defesa Civil, outros órgãos e/ou sociedade; e apresentando particularidades, quando se analisa a estrutura organizacional, o nível de capacitação dos membros das COMPDECs e o SCI previsto nos PLANCONs.

A COMPDEC de Tucuruí apresenta uma estrutura de recursos humanos mais preparada para um possível enfretamento, necessitando porém, de ampliação da capacitação de sua equipe, já que a Coordenadoria deve liderar as ações operacionais junto ao 8º GMB/CEDEC. Positivamente, esta Coordenadoria conta com órgãos estratégicos fundamentais para a eficácia das operações de busca e salvamento, sendo estes o 8º GBM e EB, que encontram-se instalados no município. Faltou contudo, definir no PLANCON como o EB deve atuar no cenário de ruptura, considerando que este ator apresenta legítima preparação para atuar em cenários complexos.

A COMPDEC Breu Branco apresenta uma estruturação mais deficitária, haja vista que no aspecto organizacional, praticamente nenhum dos membros nomeados atuam efetivamente nas ações da Defesa Civil, ficando as atividades do órgão limitadas à atuação da coordenadora, que inclusive é a única integrante com cursos de capacitação na área. Na questão do SCI, constatou-se que a previsão do 8º GBM no fluxo de resposta do PLANCON de Breu deve ser ajustada, pois o grupamento também está alocado no fluxo operacional do SCI de Tucuruí e naturalmente teria dificuldades de apoiar as ações no território Breuense. Este contexto nos faz refletir sobre a real necessidade de instalação de um grupamento ou base do Corpo de Bombeiros em Breu Branco.

Em última análise, as COMPDECs de Tucuruí e Breu, Branco apresentaram desafios bastante similares àqueles identificados no diagnóstico nacional elaborado pela SEDEC (2021), denotando que não adianta dispor de COMPDECs criadas, com PLANCONs elaborados e até integrados com os PAE do empreendedor; o maior desafio é garantir que estes órgãos estejam preparados para enfretamentos de cenários de desastres. Desta forma, espera-se que o presente diagnóstico forneça subsídios para a melhoria contínua da estruturação das COMPDECs de Tucuruí e Breu Branco, assim como da atualização dos PLANCONs, tendo em vista que o objetivo maior destas verificações é salvaguardar a população vulnerável, exposta ao risco.

## Referências bibliográficas

Bevan, M.P., Priest, S.J., Plume, R.C., Wilson, E.E. (2022). Emergency First Responders and Professional Wellbeing: A Qualitative Systematic Review. *International Journal of Environ Res Public Health*, 19, 1-22.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph192214649>

BRASIL (2010). Lei Nº 12.334/2010 que institui a Política Nacional de Segurança de Barragens. Congresso Nacional do Brasil. Brasília.

BRASIL (2012). Lei Federal Nº 12.608/2012. Política Nacional De Proteção E Defesa Civil. Congresso Nacional do Brasil. Brasília.

BRASIL (2020). Lei Nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, a Lei nº 7.797, a Lei nº 9.433 e Decreto-Lei nº 227. Congresso Nacional do Brasil. Brasília.

BRASIL, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2020). Portaria nº 2.457, de 16 de setembro de 2020. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-2.851-de-16-de-setembro-de-2022-430045183>

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2024a). Portaria nº 1384, de 6 de maio de 2024. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n.-1384-de-6-de-maio-de-2024-558188711>

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2024b). Portaria nº 1.466, de 7 de maio de 2024. Disponível em: <http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-1.466-de-7-de-maio-de-2024-558250927>

CÂMARA MUNICIPAL DE TUCURUÍ (2012). Lei nº 9.640 de 14 maio de 2012, que criação da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMPDEC) do Município de Tucuruí e dá outras providências, Tucuruí.

CBMDF (2011). Manual de Sistema de Comando de Incidentes - SCI. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Brasilia.

CBMPA (2022). *Ações de proteção e defesa civil*. Corpo de Bombeiro Militar do Estado do Pará. Disponível em: [https://www.bombeiros.pa.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/Acoes\\_da\\_defesa\\_civil.pdf](https://www.bombeiros.pa.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/Acoes_da_defesa_civil.pdf)

CBMPA (2019). 8º Grupamento Bombeiro Militar - Tucuruí. Corpo de Bombeiro Militar do Estado do Pará. Disponível em: <https://www.bombeiros.pa.gov.br/unidades/8o-grupamento-bombeiro-militartucurui/>

COMPDEC Breu Branco (2023). PLANCON - Cenários de Desastres de Barragem. Prefeitura Municipal de Breu Branco. Disponível em: <https://docxpert.com.br/pmbreubranco/pg-pages.php?NUpaNWxOQmtVM0xZODQ3aTFwWnVkdz09>

COMPDEC Tucuruí (2025). Ofício/00004/2025/PEBGA/NDAE/UFPA. [S. l.]: COMPDEC, 28 ago. 2025.

COMPDEC Tucuruí (2023). PLANCON- Cenários de Desastres de Barragem. Prefeitura Municipal de Tucuruí.

ELETRONORTE - CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A (2021). Plano de Segurança de Barragem - Volume VI. Tucuruí.

- ELETRO NORTE - CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A (2023). UHE Tucuruí - Simulado Externo de Evacuação da ZAS. Tucuruí.
- FEMA (2019). *Emergency Operations Planning: Dam Incident Planning Guide*. Disponível em: [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/dam\\_incident\\_planning\\_guide\\_2019.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/dam_incident_planning_guide_2019.pdf)
- Ferreira, S. C. G., Lima, A.M. M., Corrêa, J. A. M. (2017). Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará): usos da água e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo. *Revista Ambiente & Água*, volume 12 n.º 4.
- Gonçalves, A. L., Cruz, V.M.S., Serra, A.B. (2019). Fragmentação florestal na Região de Integração do Lago de Tucuruí, Pará, Brasil. *Revista de ciência agrarias*, Belém, v. 62, p. 1-10.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.3048>
- GOOGLE EARTH (2024). Website. <http://earth.google.com/>.
- Gouveia, F. P. (2023). Elaboração dos Planos de Contingência (PLANCON) dos municípios localizados na ZAS da UHE Tucuruí - *Relatório Final de Projeto de Extensão*. Tucuruí.
- Higuchi, N., Santos, J., Lima, A.J.N., Higuchi, F.G., Chambers, J.Q. (2011). A floresta amazônica e a água da chuva. *Revista Floresta*, Vol. 41, n. 3, p. 427-434.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i3.24060>
- IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022). *Perfil dos municípios brasileiros*. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com\\_mediaibge/arquivos/496bb4fbf305cca806aaa167aa4f6dc8.pdf](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/496bb4fbf305cca806aaa167aa4f6dc8.pdf)
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO - MI (2016). *Orientações para apoio à elaboração de planos de contingência municipais para barragens. Caderno*. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Caderno--Orientaes-Planos-Contingencia-Barragens-V.03.pdf>
- MINISTERIO DA INTEGRACAO - MI (2023). *Coordenadoria municipal de proteção e defesa civil (COMPDEC)*. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/perguntas-frequentes-defesa-civil/coordenadoria-municipal-de-protecao-e#:~:text=Como%20criar%20a%20defesa%20civil,as%20a%C3%A7%C3%B5es%20de%20defesa%20civil>
- MINISTERIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MDR (2022). *Plano de Capacitação Continuada em proteção e Defesa Civil 2019 a 2023*. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/capacitacoes/PlanodeCapacitaoContinuadaVersoAtualizada20220916.pdf>
- Muda, R. S., Hussain, M. R. M., Tukiman, I., Abdullah, F.S. (2021). Community Preparedness towards Dam Disaster: Disaster Risk Reduction (DRR) Program in Cameron Highlands. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 12, No. 9.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18178/ijesd.2021.12.9.1350>
- Nazli, N. N. N., Sipon, S., Radzi, H. M. (2014). Analysis of Training Needs in Disaster Preparedness. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 140, 576-580.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.473>
- Pires, L. A. A., Vasconcellos, L. C.F., Bonfatti, R. J. (2017). Bombeiros militares do Rio de Janeiro: uma análise dos impactos das suas atividades de trabalho sobre sua saúde. *Revista Saúde Debate*, Rio de Janeiro, v. 41, n. 113, 577-590. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/RT48Q7PhZqFpMvtSRPGnyH/?format=pdf&lang=pt>
- PREFEITURA DE BREU BRANCO (2022). Portaria nº 292 de 04 março de 2022. (2022). Dispõe sobre a Criação da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMPDEC), Breu Branco.
- SEDEC - SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL (2021). Diagnóstico de capacidades e necessidades municipais em proteção e defesa civil. [livro eletrônico]. Brasília. Disponível em: [https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/Versao\\_WEB\\_Projeto\\_Elos\\_Diagnostico\\_Municipal\\_\\_Volume\\_Brasil.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/Versao_WEB_Projeto_Elos_Diagnostico_Municipal__Volume_Brasil.pdf)
- Silva, F. J. N, Mendes, R. C. C., Gomes, W. C. (2020). *Fluxo de comunicação entre central reguladora e o serviço de atendimento móvel de urgência- SAMU*. Editora Pascal: ed.1. São Luís. URL: <https://editorapascal.com.br/2020/02/12/fluxo-de-comunicacao-entre-central-reguladora-e-o-servico-de-atendimento-movel-de-urgencia-samu-1/#:~:text=DOI%3A-10.29327/512493,-AUTORES%3A%0AFrancisco>
- Snisb - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (S/D). Relatório de Segurança de Barragem. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal/snisb>
- S2iD - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (s/d). Sistema eletrônico modulo, Análise geoespacial. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/registros/index.xhtml>





**VULNERABILIDADE SOCIAL E DUPLO CONSTRANGIMENTO DOS AGRICULTORES FAMILIARES  
NO CONTEXTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM MOÇAMBIQUE\***

147

**SOCIAL VULNERABILITY AND DOUBLE CONSTRAINTS OF FAMILY FARMERS  
IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE IN MOZAMBIQUE**

**Henrique Cau**

Universidade Eduardo Mondlane, Maputo (Moçambique)  
Faculdade de Letras e Ciências Sociais, Departamento de Sociologia  
 0009-0004-6591-1726 [henricau@yahoo.com.br](mailto:henricau@yahoo.com.br)

**Patrício Langa**

Eduardo Mondlane University, Maputo (Moçambique)  
ACHER - African Consortium of Higher Education Researchers  
 0000-0002-2360-7118 [patricia.langa@gmail.com](mailto:patricia.langa@gmail.com)

**RESUMO**

Em Moçambique, 66.6 % da população reside nas zonas rurais e desta, 99 % practica agricultura familiar, sendo esta a principal fonte para a sua sobrevivência. A ocorrência de forma cíclica de eventos derivados das alterações climáticas começa a minar os meios de subsistência dos agricultores familiares, que acabam emigrando para zonas urbanas onde, as condições de vida tornam-se cada vez mais precárias, agravando a sua condição de vulnerabilidade social. Este artigo resulta de uma pesquisa mista onde o trabalho de campo foi realizado no Distrito de Barué, província de Manica e na cidade de Maputo em Moçambique. Os resultados revelam existir uma relação entre o meio rural, migrações e meio urbano e apontam para a dualidade dos constrangimentos derivados dos efeitos das mudanças climáticas nos dois meios. sugerimos a necessidade de adoção de políticas e medidas de mitigação, adaptação e resiliência às mudanças climáticas que olhem para as relações dialéticas entre as zonas rurais e as zonas urbanas. As medidas de resiliência devem ter uma abordagem integrada olhando para o rural e o urbano como espaços que estabelecem uma relação de interdependência.

**Palavras-chave:** Zona rural, zona urbana, migrações.

**ABSTRACT**

In Mozambique, 66.6 % of the population live in rural areas and of these 99 % practise family farming, which is the main source of their livelihood. The cyclical occurrence of events derived from climate change is beginning to undermine the livelihoods of family farmers, who end up relocating to urban areas where living conditions are becoming increasingly precarious, aggravating their state of social vulnerability. This article is the result of a mixed survey where fieldwork was carried out in the Barué District, Manica Province, and in the city of Maputo in Mozambique. The results show that there is a relationship between the rural environment, migrations, and the urban environment and point to the duality of constraints arising from the effects of climate change in both environments. We uphold the need to adopt policies and measures for mitigation, adaptation and resilience to climate change that look at the dialectical relationships between rural and urban areas. Resilience measures must have an integrated approach, looking at rural and urban areas as spaces that establish an interdependent relationship.

**Keywords:** Rural area, urban area, migrations.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 04-10-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 01-08-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

A Estratégia Nacional das Mudanças Climáticas (2013-2025), considera Moçambique um país vulnerável às mudanças climáticas devido à sua localização geográfica na zona de convergência intertropical e a jusante das bacias hidrográficas partilhadas, à sua longa costa e à existência de extensas áreas com altitude abaixo do atual nível das águas do mar.

Para MICOA (2013) constituem ainda como fatores que contribuem para a vulnerabilidade de Moçambique às mudanças climáticas, a baixa capacidade de adaptação, a pobreza, os limitados investimentos em tecnologia avançada, e a fragilidade das infraestruturas e serviços sociais com destaque para a saúde e saneamento.

A vulnerabilidade de Moçambique é também referenciada em vários estudos sobre as Mudanças Climáticas podendo-se destacar os do Fundo Monetário Internacional (2020) e do Programa Mundial de Alimentação (2021) que colocam o país a níveis elevados da sua exposição aos eventos extremos causados pelas Mudanças Climáticas. Em 2019, Moçambique foi o país mais afetado a nível mundial pelo impacto de eventos meteorológicos extremos e segundo o Índice de Risco Climático Global (2021), o país ficou em 5º lugar ao longo do período de 2000 -2019.

MICOA (2013) destaca que em Moçambique as mudanças climáticas manifestam-se através de mudanças nos padrões de temperatura e precipitação, aumento do nível das águas do mar e no aumento tanto em termos de frequência e intensidade de eventos climáticos extremos tais como: secas, cheias e ciclones tropicais que afetam diferentes regiões do país todos os anos.

A resiliência às mudanças climáticas tem sido uma preocupação na atualidade devido a ocorrência cíclica dos seus efeitos em vários cantos do mundo em particular, para a África Subsariana, onde a maioria da população é rural e pobre, estando entre os mais afetados pelas alterações climáticas devido a sua dependência da agricultura dependente da chuva (Ifejika Speranza, 2010; Alvar-Beltrán *et al.*, 2021).

Moçambique é um dos exemplos da situação da África subsariana com uma população maioritariamente rural (66,6%) e com dependência em relação a agricultura. A Constituição da República (2004) considera a agricultura a base para o desenvolvimento e constitui a atividade que emprega mais de 75% da população e contribui com cerca de 22% do PIB (INE, 2019).

Dados do Inquérito Agrário Integrado (IAI) 2020, administrado pelo Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural (MADER), indicam que da população que pratica agricultura, a maioria (97,8%) operam pequenas explorações agropecuárias. Por outro lado, dados do Inquérito sobre Orçamento Familiar

(IOF) 2020, administrado pelo INE, mostram que 65.9% dos chefes dos agregados familiares estão vinculados ao sector agrário. Sendo a percentagem dos chefes dos agregados familiares engajados no sector agrário consideravelmente maior nas zonas rurais do que nas urbanas (82.3% contra 31.6%). Assim, a economia de Moçambique é diretamente influenciada pelo desempenho do sector agrário (MADER, 2023).

Nos últimos 60 anos, as mudanças climáticas têm tido um impacto em Moçambique e, em particular, na vida dos produtores familiares que são dependentes da atividade agrícola. As temperaturas tendem a aumentar, o padrão de precipitação e regime de chuvas tem vindo a mudar, alterando as tradicionais estações quente e chuvosa, fria e seca tornando-se cada vez mais instáveis, e deste modo afetando a planificação das atividades agrícolas das famílias.

A baixa produtividade que caracteriza a agricultura familiar (Mosca, 2017 e Marassiro *et al.* (2021) e a vulnerabilidade a eventos extremos tais como seca, cheias, ciclones e inundações, tem um impacto nos níveis de segurança alimentar e bem-estar das famílias, contribuindo para a degradação das condições de vida nas zonas rurais onde reside cerca 66.6% da população moçambicana (INE, 2017) que depende da agricultura familiar para a sua sobrevivência.

De entre as várias opções que o produtor familiar tem para fazer face aos efeitos associados às mudanças climáticas, a emigração da zona rural para a zona urbana (êxodo rural) surge como uma das formas recorrentes de sobrevivência (Foresight, 2011). Porém, o impacto das mudanças climáticas no meio rural reflete-se por transposição também nas zonas urbanas e numa situação muito mais crítica devido a incapacidade das zonas urbanas em responder a demanda do processo de urbanização crescente causado em parte, pelo crescimento populacional, gerando a precariedade das condições de vida e maior exposição e vulnerabilidade aos eventos das mudanças climáticas, desta vez no próprio meio urbano (Araújo, 2003).

Este artigo examina a vulnerabilidade social dos produtores familiares resultante da degradação das condições de vida do meio rural resultante dos efeitos associados às mudanças climáticas sobre a agricultura familiar e a precariedade das condições de vida no meio urbano influenciadas pelo êxodo rural e, por conseguinte, sua maior exposição e vulnerabilidade aos eventos das mudanças climáticas, no meio de acolhimento urbano, gerando um efeito de duplo constrangimento.

Observamos que a exposição e vulnerabilidade das zonas urbanas às mudanças climáticas é influenciada, em parte, pela degradação das condições de vida no meio rural igualmente em consequências das mudanças climáticas.

Neste contexto de duplo constrangimento, há necessidade da compreensão das dinâmicas do meio urbano através dos eventos que ocorrem e influenciam o meio rural, ambos associados aos efeitos das mudanças climáticas.

Os resultados deste estudo, que adotou uma abordagem metodológica mista, revelam existir uma relação entre o meio rural, migrações e meio urbano e apontam ainda para a dualidade dos constrangimentos derivados dos efeitos das mudanças climáticas nos dois meios.

o estudo tem a sua relevância na medida em que traz a necessidade da compreensão dos fenómenos derivados das mudanças climáticas de forma integrada, tendo em consideração a interligação dos seus efeitos nas zonas rurais e urbanas o que pode se traduzir na definição de políticas ou estratégias de intervenção para a sua mitigação considerando esta realidade. Sendo uma realidade, a emergência de migrantes climáticos, seria importante nos próximos estudos aprofundar-se a questão do papel das redes de solidariedades estabelecidas nas zonas urbanas no processo de integração e adaptação destes migrantes nos meios de vida que caracterizam as zonas urbanas.

### Metodologia

Trata-se de um estudo misto que é conduzido no âmbito da elaboração da tese de doutoramento em sociedade e desenvolvimento pela Universidade Eduardo Mondlane, em Moçambique. Para a elaboração deste artigo fez-se a revisão da literatura que aborda sobre agricultura familiar em Moçambique e as mudanças climáticas.

Da revisão da literatura verificamos que vários artigos abordam sobre as mudanças climáticas não de forma integrada entre o rural e o urbano, mas sim de forma independente e ainda há poucos estudos feitos em Moçambique relativos as migrações derivadas das mudanças climáticas. Estas lacunas reforçaram a necessidade de estudos com uma visão integrada das mudanças climáticas e relevância deste estudo pelo facto de abordar a vulnerabilidade social dos produtores familiares no meio rural e urbano derivado das mudanças climáticas.

A componente empírica do estudo consistiu no levantamento de dados quantitativos na Província de Manica, Distrito de Barué, numa amostra de 256 produtores familiares de uma população de 755 integrados no programa de transferência de tecnologias resilientes às mudanças climáticas através da metodologia designada Escola na Machamba de Camponês que é uma técnica de transferência de tecnologias resilientes às mudanças climáticas adotada pelo Fundo das Nações Unidas para Alimentação (FAO) , na região centro de Moçambique.

O trabalho de campo consistiu em duas fases, sendo a primeira, do levantamento de dados quantitativos

através de um questionário que permitiu determinar a influencia dos eventos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola e identificar as tendências e alternativas dos agricultores familiares face à degradação das condições de vida nas zonas rurais em consequência das mudanças climáticas. Com recurso ao pacote informático SPSS fez se a analise dos dados e foi possível determinar os fatores que se destacam quer para os índices de baixa produtividade quer para as diferentes opções dos produtores familiares face às mudanças climáticas.

A segunda fase do trabalho de campo consistiu em levantamento de dados qualitativos através de entrevistas abertas aos moradores da zona de Chango, Bairro de Albazine na cidade de Maputo. Este bairro é um dos poucos da cidade de Maputo onde coabitam as características urbanas e rurais e preferencial para os que ainda se dedicam à prática da agricultura e preferencial dos grupos de imigrantes rurais. Através da técnica de história de vida foram entrevistados 15 moradores identificados de forma aleatória dos quais 60% tem um perfil de origem da zona rural e que por diversas razões encontram-se na zona urbana.

Com as técnicas de recolha de dados adotadas nas duas fases do trabalho de campo, foi possível associar as causas das tendências migratórias referenciadas na primeira fase com as motivações apresentadas na segunda fase e sua relação com as mudanças climáticas.

### Resultados e Discussão

#### *Impacto das Mudanças Climáticas na Agricultura Familiar em Moçambique*

De 1980 até 2019, Moçambique foi afetado por vários eventos extremos derivados das mudanças climáticas (fig. 1) e o ano de 2019, foi o que teve maior intensidade com a ocorrência de dois ciclones designadamente; Idai e Kenneth que fustigaram as regiões centro e norte de Moçambique.

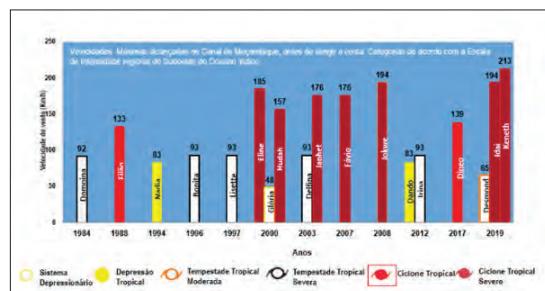


Fig. 1 - Ciclones Tropicais que atingiram diretamente a Costa de Moçambique entre 1980 até 2019

(Fonte: Mavume (s/d) Departamento de Física / UEM ).

*Fig. 1 -Tropical Cyclones that directly hit the Coast of Mozambique between 1980 and 2019  
(Source: Mavume (undated) Department of Physics / UEM).*

O QUADRO I, indica a ocorrência de ciclones em Moçambique de 2019 a 2024 com a indicação do nome, datas, características e as regiões afetadas. Estes dados constituem evidências do aumento da frequência dos eventos causados pelas mudanças climáticas nos últimos tempos. Pode se notar que de 2019 a 2024 em média Moçambique foi fustigado por 4 ciclones por ano.

Um estudo realizado pelo Fundo Monetário Internacional em 2020, sobre o impacto das mudanças climáticas nos países da África Subsariana, indica a posição de Moçambique em termos de ocorrência de catástrofes, prejuízos e pessoas afetadas (FMI, 2020). Moçambique está entre os 10 países da África Subsariana com maior vulnerabilidade de ocorrência e prejuízos causados pelas

QUADRO I - Ciclones que atingiram Moçambique de 2019-2024.

TABLE I - Cyclones that hit Mozambique from 2019-2024.

Nome do ciclone	Características	Regiões afetadas
Hidayá 1 a 4 /05/ 2024	Velocidade do vento: max. 148km/h; Diâmetro: max. 311 km Pressão de ar: abaixo 974 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 1	Noroeste de Mocimboa em Cabo Delgado
Filipo 10 a 14 /03/ 2024	Velocidade do vento: max. 111 km/h; Diâmetro max. 722 km; Pressão de ar: abaixo 990 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Zambézia, Sofala, Inhambane; Gaza Cidade de Maputo
Álvaro 1 a 4 /01/ 2024	Velocidade do vento: max. 74 km/h; Diâmetro: max. 852 km; Pressão de ar: abaixo 989 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Nampula
Freddy 2 a 14 /03/ 2023	Velocidade do vento: max. 183 km/h; sobre a terra: max. 172 km/h; Diâmetro: max. 556 km; Pressão de ar: abaixo 957 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 3	Zambézia e Tete
Freddy 6 a 24 /02/ 2023	Velocidade do vento: max. 111 km/h; Diâmetro: max. 556 km; Pressão de ar: abaixo 924 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Inhambane
Cheneso 17 a 29 /01/ 2023	Velocidade do vento: max. 137 km/h; sobre a terra: max. 65 km/h; Diâmetro: max. 1111 km; Pressão de ar: abaixo 967 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 1	Nampula
Jasmine 24 a 28 /04/2022	Velocidade do vento: max. 94 km/h; sobre a terra: max. 65 km/h; Diâmetro: max. 537 km; Pressão de ar: abaixo 984 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Nampula e Zambézia
Gombe 8 a 14 /03/ 2022	Velocidade do vento: max. 183 km/h; Diâmetro: max. 593 km; Pressão de ar: abaixo 959 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 3	Nampula; Niassa e Tete
Ana 23 a 25 /01/ 2022	Velocidade do vento: max. 93 km/h; Diâmetro: max. 148 km; Pressão de ar: abaixo 993 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Nampula e Tete
Jobo 21 a 24 /04/ 2021	Velocidade do vento: max. 87 km/h; Diâmetro: max. 93 km; Pressão de ar: abaixo 995 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Cabo Delgado (sem contacto directo com a terra)
Jobo 17 a 24 /04/ 2021	Velocidade do vento: max. 96 km/h; Diâmetro: max. 333 km; Pressão de ar: abaixo 980 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Cabo Delgado (sem contacto directo com a terra)
Iman 2 a 11 /03/ 2021	Velocidade do vento: max. 65 km/h; Diâmetro: max. 648 km; Pressão de ar: abaixo 990 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Nampula
Guambe 11 a 22 /02/ 2021	Velocidade do vento: max. 161 km/h; Diâmetro: max. 1185 km; Olho: max. 37 km; Pressão de ar: abaixo 957 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 2	Gaza, Inhambane Sofala
Eloise 11 a 27/01/2021	Velocidade do vento: max. 157 km/h; Diâmetro: max. 611 km; Olho: max. 148 km; Pressão de ar: abaixo 965 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 2	Nampula; Zambézia Sofala e Gaza
Chalane 25 a 30 /12/ 2020	Velocidade do vento: max. 111 km/h; Diâmetro: max. 111 km; Pressão de ar: abaixo 990 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Noroeste de Beira em Sofala (sem contacto directo com a terra).
Chalane 20/12/ 2020 a 4/01/2021	Velocidade do vento: max. 124 km/h; sobre a terra: max. 111 km/h; Diâmetro: max. 556 km; Pressão de ar: abaixo 975 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 1	Zambézia; Sofala e Manica
Belna 2 a 11 /12/ 2019	Velocidade do vento: max. 185 km/h; Diâmetro: max. 74 km Pressão de ar: abaixo 957 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 3	Sudoeste de Ilha de Moç. Nampula (sem contacto com a terra).
Kenneth 21 a 28 /04/ 2019	Velocidade do vento: max. 226 km/h; sobre a terra: max. 102 km/h Diâmetro: max. 111 km; Olho: max. 37 km; Pressão de ar: abaixo 934 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 4	Cabo Delgado
Idai 4 a 16 /03/ 2019	Velocidade do vento: max. 213 km/h; sobre a terra: max. 185 km/h; Diâmetro: max. 185 km; Olho: max. 167 km; Pressão de ar: abaixo 940 mbar; Escala Saffir-Simpson: categoria 4	Zambézia; Nampula; Niassa Sofala; Manica
Desmond 17 a 22 /01/ 2019	Velocidade do vento: max. 83 km/h; sobre a terra: max. 65 km/h Diâmetro: max. 296 km; Pressão de ar: abaixo 989 mbar; Escala Saffir-Simpson: tempestade tropical	Inhambane Zambézia

mudanças climáticas (Idem). Em termos de ocorrência de eventos extremos encontra-se em 4º lugar atrás de Quénia, Nigéria e República Democrática do Congo. Em prejuízos está em 2º lugar atrás de Madagáscar e em número de pessoas afetadas em 8º lugar (fig. 2.).

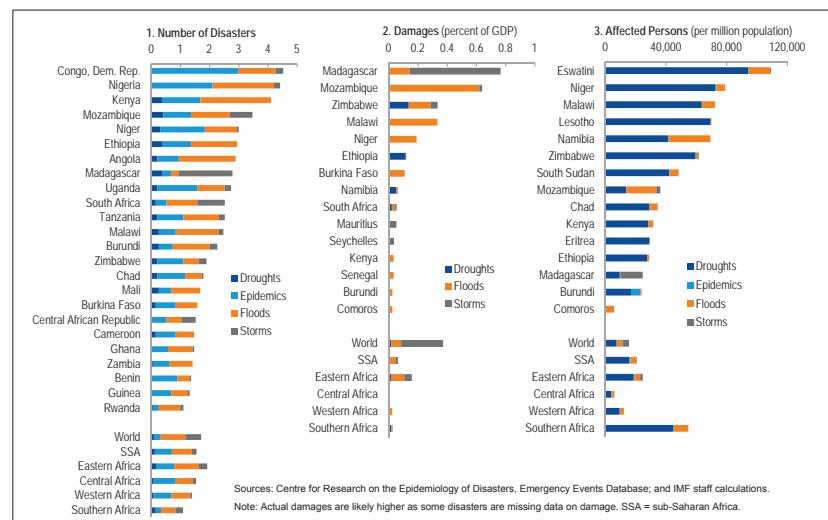
As consequências das mudanças climáticas em Moçambique, incluem perda de vidas humanas, de culturas agrícolas, animais domésticos e fauna bravia, destruição de infra-estruturas sociais e económicas, aumento da dependência da ajuda internacional, aumento dos preços dos produtos agrícolas, deterioração da saúde humana, degradação ambiental e perda de ecossistemas.

As projeções do Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC, 2009), indicam que a alteração dos padrões de precipitação poderá influenciar nos próximos

tempos o comportamento irregular das chuvas em termos de momento de início e término, carga pluviométrica, com fenómenos de precipitação intensa num curto espaço de tempo, e duração da época chuvosa, a estiagem, desfigurando as noções de “início oficial” e “real” das campanhas agrícolas.

As tendências indicadas pelo INGC (2009), poderão resultar em algumas regiões do país na diminuição dos atuais potenciais rendimentos na ordem dos 25% e a redução dos níveis de rendimento agrícolas potenciais até 20% nas principais culturas que constituem a base de segurança alimentar.

Os impactos das mudanças climáticas em Moçambique afetam diferentes sectores ou áreas de atividades como destaca o MICOA (2013), sendo o Sector da Agricultura e Segurança Alimentar com maior destaque (QUADRO II).



**Fig. 2 - Impacto das Mudanças Climáticas na África Subsariana (Fonte: Fundo Monetário Internacional, 2020)**

**Fig. 2 - Impact of Climate Change in Sub-Saharan Africa (Source: International Monetary Fund, 2020).**

**QUADRO II - Impacto das mudanças climáticas por sector em Moçambique.**

**TABLE II - Impact of climate change by sector in Mozambique.**

Sector/ Área	Impactos da MC						
	Mudança nos padrões de temperatura atmosférica	Mudança nos padrões de precipitação	Secas	Cheias	Ciclones tropicais	Subida do nível do mar	Aumento da temperatura média do mar
Recursos hídricos	...	...	...	...	...	..	..
Infra-estruturas		.		...	...	..	..
Agricultura	..	...	...	...	...	..	..
Segurança alimentar	..	...	...	...	...	..	..
Florestas	..	...	...	..	...	..	..
Indústrias		.	...	...	...	..	..
Energia	.	..	..	..	..	..	..
Saúde	..	.	..	..	..	..	..
Turismo	..	.	..	..	..	..	..
Transporte	..	.		...	..	..	..
Biodiversidade e áreas de conservação	..	...	...	...	...	..	..
Zonas costeiras	.	.	.	...	...	..	..
Assentamentos humanos	..	..	...	...	...	..	..
Pesca				..	..	..	..

Chave: ... Elevado; ..Moderado; .Baixo (ou não conhecido)

Fonte: MICOA, Estratégia Nacional sobre as mudanças climáticas, 2013 / Source: MICOA, National Strategy on Climate Change, 2013.

Os sectores da agricultura e o da segurança alimentar apresentam um risco elevado a ocorrência de eventos relacionados às mudanças climáticas tais como: mudanças nos padrões de precipitação atmosférica, secas, cheias e ciclones tropicais.

152

Com cerca de 70% da população moçambicana vivendo nas zonas rurais e a praticar a agricultura como principal fonte de obtenção de renda é evidente o impacto das mudanças climáticas sobre este grupo populacional. De acordo com o Censo Agropecuário de 2009, a produção agrária em Moçambique é desenvolvida maioritariamente pelo sector familiar que representa 99% dos cerca de 4.3 milhões de explorações existentes no País, ocupando mais de 97% dos cerca de 5.7 milhões de hectares atualmente cultivados (INE, 2011).

Dados do Inquérito Agrário Integrado - IAI (2015), indicam que a agricultura em Moçambique ainda é caracterizada por baixo nível de utilização de tecnologias melhoradas, sendo sementes certificadas (8.7%), pesticidas (6.3%), fertilizantes (2.8%), irrigação (4.3%), mecanização (4.2%), crédito (2.0%), fraca cobertura e assistência técnica dos serviços de extensão, fraca qualidade de infraestruturas (vias de acesso, estradas/pontes, mercados), fraca divulgação dos preços e oportunidades de mercado, elevado níveis de perdas pós colheita e forte dependência das condições climatéricas.

Um dos factores que mais afecta a agricultura são os efeitos das mudanças climáticas. Existe uma relação entre o clima e agricultura no espaço rural, onde as práticas agrícolas são dependentes das variações atmosféricas, da quantidade de chuvas, da temperatura e, interferem na produção agrícola.

Um estudo realizado pela FAO em 2017, na província de Manica nos grupos associados às Escolas na Machamba do Camponês, confirma a vulnerabilidade dos produtores face às mudanças climáticas.

O estudo destaca que, os grupos de camponeses das Escolas na Machamba do Camponês (EMC) identificaram como principais impactos das mudanças climáticas as seguintes: aumento das pragas e doenças, (60%);

escassez de água, (47%); erosão de solo, (33%); baixos rendimentos, cheias e inundações e aumento das doenças aos seres humanos, (27%); aumento da segurança alimentar (20%); destruição à infraestrutura, disputa por áreas baixas de plantio e escassez de pasto, (13%) alterações do calendário agrícola, perda da produção da entressafra e aparecimento de novas infestantes (7%) respetivamente (FAO, 2017).

O estudo da FAO é também consubstanciado pela pesquisa que realizamos no distrito de Barué província de Manica, onde os produtores filiados a 27 Escolas na Machamba de Camponês identificam como fatores que influenciam na produtividade agrícola a seca, inundações, ciclones, ventos fortes, subida da temperatura e pragas (fig. 3).

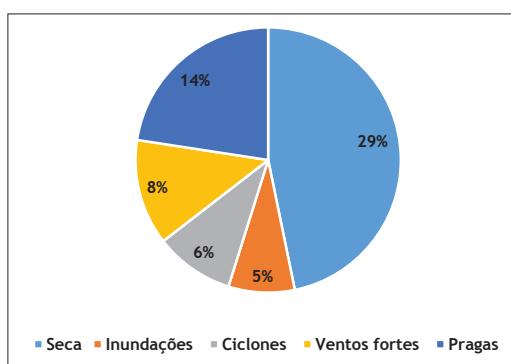


Fig. 3 - Percentagem (%).

Fig. 3 - Percentage (%).

Os agricultores familiares do distrito de Barué, destacam a seca (29%) e as pragas (14%) como sendo fatores com maior impacto na produção e produtividade agrícola. As inundações, os ventos fortes e ciclones tem tido uma influência menos significativa.

Partindo da análise dos relatórios das campanhas agrícolas desde o ano 2015 até 2022, pode-se constatar o impacto dos eventos derivados das mudanças climáticas sobre a agricultura em Moçambique (QUADRO III). Este impacto incide sobre as culturas e afeta diretamente os próprios agricultores familiares.

QUADRO III - Eventos climáticos e o seu impacto sobre as culturas e agricultores afetados 2015-2022.

TABLE III - Weather events and their impact on affected crops and farmers 2015-2022.

Campanha agrícola	Fatores adversos causados pelas mudanças climáticas			
	Fenômeno	Área perdida	% área perdida	Produtores afetados
2015/2016	Irregularidade das chuvas/ seca	177 533ha	3.1	120 000
2016/2017	Ciclone DINEU Chuvas irregulares e inundações	66 616ha	1.2	61113
2018/2019	Ciclone IDAI/ KENETH/ pragas/estriagem	939197ha	9.7	544 515
2019/2020	Estriagem, pragas e chuva excessiva	264 638ha	3.7	243 956
2020/2021	Estriagem, inundações, ciclones Ana	508 842ha	8.2	285890
2021/2022	Tempestade tropical ANA e Gombe	36 464ha	3.2	117512

As perdas de culturas por cada campanha agrícola, o número de pessoas afetadas e a percentagem das perdas é mais evidente na campanha agrícola 2018/2019 com a ocorrência dos ciclones Idai e Kenneth tendo afetado 544 0515 produtores e causando perdas em culturas agrícolas na ordem de 939 197ha o que corresponde a 10% da área cultivada e com culturas a nível nacional naquela campanha agrícola (fig. 4).

#### *Degradação das condições de vida no meio rural Versus êxodo rural no contexto das mudanças climáticas*

Uma das consequências indiretas das mudanças climáticas é a degradação das condições de vida no meio rural onde o produtor familiar tem como a base da sua sobrevivência a agricultura. A degradação das condições de vida no meio rural caracteriza-se pelos altos níveis de insegurança alimentar, baixa produtividade agrícola e destruição de unidades e fatores de produção como consequência da ocorrência de eventos extremos causados pelas mudanças climáticas (cheias, inundações, ventos fortes, ciclones e pragas).

Uma das opções das comunidades rurais face às adversidades das mudanças climáticas é o êxodo rural, procurando fontes alternativas nas zonas urbanas, tal como defende Foresight (2011) quando diz que a migração é portanto, uma abordagem para melhorar os meios de subsistência e construir resiliência às mudanças climáticas.

Esta tese é também argumentada por Kirsh, H. M., Schneider, S. (2016), quando refere que, muitas vezes, os meios de subsistência das famílias rurais estão sujeitos e são confrontados com situações de choque e tensões que podem aumentar sua vulnerabilidade. Diante de tais condições, não raro, a possibilidade que lhes resta é seguir em direção às áreas urbanas, onde suas habilidades rurais quase sempre são difíceis de

serem implantadas e implementadas.

A migração como opção para fazer face às mudanças climáticas é um tema que não é consensual. Por um lado, autores como, Nawrotzkia e Deward (2019) colocam em causa a capacidade de algumas pessoas das zonas rurais emigrarem para as zonas urbanas devido a sua condição de pobreza profunda e persistente. Esta condição as coloca numa situação de limitações para emigrar devido aos custos financeiros. Nawrotzkia e Deward (2019) afirmam ainda que as condições climáticas adversas no continente africano podem não gerar migração. A imobilidade, no entanto, é problemática e pode levar a ciclos cada vez mais profundos de pobreza, vulnerabilidade e exposição a impactos climáticos adversos, colocando populações presas em risco de emergências humanitárias. Esta questão é também abordada por Kirsh, H. M., Schneider, S. (2016) quando aborda a questão de meios de vida, onde chama atenção da necessidade da compreensão das limitações dos pobres e vulneráveis para mobilizar seus meios de subsistência para assegurar a capacidade de adaptação à novas realidades e contextos.

Por outro lado, não obstante a posição de Nawrotzkia e Deward (2019), o estudo preliminar que realizamos na província de Manica, distrito de Barué, numa amostra de 256 produtores familiares filados às Escolas na Machamba do Camponês, das várias alternativas apresentadas aos produtores como solução para fazer face a mudanças climáticas constatou-se que, 33% afirmaram que preferiam emigrar para as zonas urbanas sendo que destes 75% são jovens, 46% afirmaram querer mudar de atividades sendo destes 67% adultos e 21% que não tem outra opção se não continuar a praticar a agrícola apesar das adversidades causadas pelas mudanças climáticas, sendo que destes 60% são idosos (QUADRO IV e fig. 5).

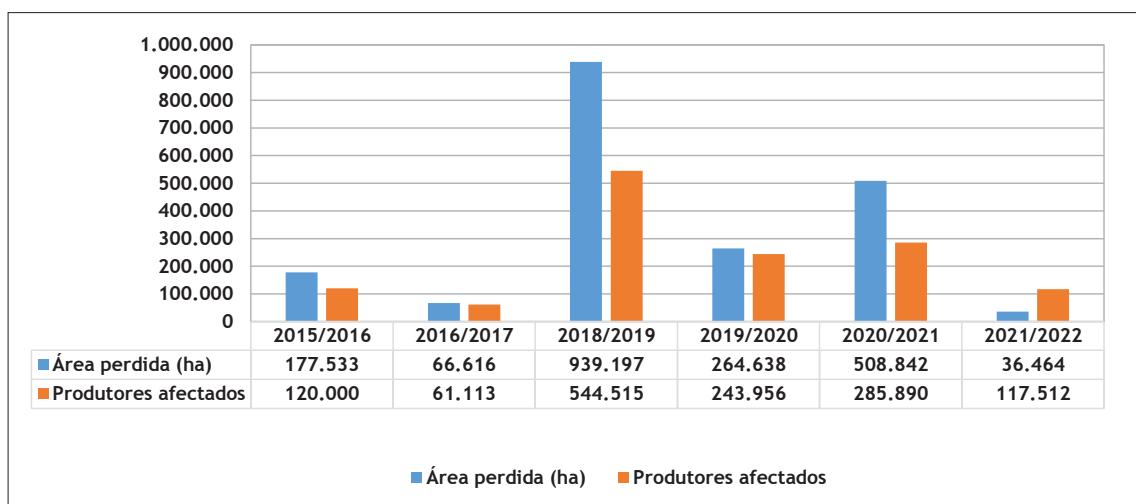


Fig. 4 - Área Perdida (ha) e produtores afetados.

Fig. 4 - Lost Area (ha) and producers affected.

QUADRO IV - Alternativas apresentadas pelos produtores face aos efeitos das mudanças climáticas.

TABLE IV - Alternatives presented by producers in view of the effects of climate change

Categorias	Total inquiridos	% por categoria	Resposta dos inquiridos						% total dos respondentes por categoria	
			Emigrar para cidade		Mudar de atividade		Insistir na Agricultura			
			Nº resp	%	Nº resp	%	Nº resp	%		
JOVENS	88	34%	66	75%	17	19%	5	6%	100%	
ADULTOS	133	52%	16	12%	89	67%	28	21%	100%	
IDOSOS	35	14%	3	9%	11	31%	21	60%	100%	
TOTAL	256	100%	85	33%	117	46%	54	21%	100%	

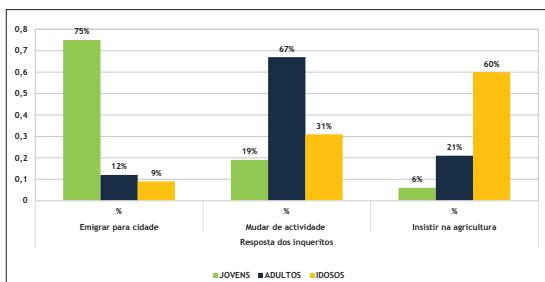


Fig. 5 - Alternativas para fazer face às mudanças climáticas.

Fig. 5 - Alternatives for tackling climate change.

#### ***Mudanças climáticas e a precariedade das condições de vida no meio urbano***

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), em 2007, pela primeira vez na história, a população urbana ultrapassou a população rural em nível global. O processo de urbanização prosseguiu de maneira acelerada nos últimos 60 anos. Em 2014, 54% da população global era urbana, enquanto em 1950 esse percentual era de apenas 30%. As estimativas apontam que em 2050, a população mundial urbana chegará a dois terços da população mundial, quase invertendo o quadro de 1950 no espaço de apenas um século (ONU, 2007).

Em Moçambique as tendências de processo de urbanização decorrem quase ao mesmo ritmo com as do Mundo. O Censo de 1997, indicava que dos 16 milhões de moçambicanos, aproximadamente 4,5 milhões, correspondentes a 28 % da população, residiam em assentamentos urbanos. O Censo de 2007, indicava ainda uma tendência crescente pois, dos 21 milhões de moçambicanos, 30 %, viviam em assentamentos urbanos. O Censo de 2017 revela que, dos cerca de 28 milhões de habitantes, 33,4 % vivem em espaços urbanos, o que corresponde a aproximadamente 9 milhões de habitantes, o que significa que em 20 anos, entre 1997 e 2017 a população urbana moçambicana passou de 28 % para 33,4 % (INE, 2017).

Segundo Hansine e Arnaldo (2019) o crescimento da população urbana moçambicana de 28% para 34,4% em 20 anos, à primeira vista, parece tratar-se de um aumento ligeiro em termos relativos, porém, em termos

absolutos, corresponde a um aumento de 4,5 milhões para 9 milhões de pessoas. Embora o crescimento relativo aparente ser diminuto, em termos absolutos é robusto pois, a população urbana praticamente duplicou.

Como nos referimos no tema anterior, a degradação das condições de vida no meio rural por várias razões incluindo os impactos das mudanças climáticas, tem contribuído para o êxodo rural e, por conseguinte, o crescimento urbano. Porém, é importante notar que existem estudos que reconhecem que o processo de crescimento urbano é em grande parte resultado do aumento das taxas de natalidade que acontecem no meio urbano (Hansine e Arnaldo, 2019).

O estudo realizado por Ezeh *et al.* (2010) citado Hansine e Arnaldo (2019) estima que na África Subsariana, 75% do crescimento demográfico urbano é resultado do crescimento natural e os restantes 25% da migração. De acordo com Hansine e Arnaldo (2019) estes pressupostos são consistentes com os dados censitários relativos ao crescimento demográfico urbano em Moçambique, o que quer dizer que, nas cidades moçambicanas o número de nascimentos não apenas supera o número de óbitos, como também é o fator que mais contribui para o aumento da população urbana.

Tendo em consideração que 33,4% da população moçambicana é urbana, INE (2017), e considerando a hipótese de 25% desta resultar do processo do êxodo rural, não se pode subestimar a possibilidade de uma parte ter como a razão da sua saída do campo para cidade os efeitos das mudanças climáticas. Esta hipótese pode ser desenvolvida a partir dos dados colhidos no estudo realizado em Barué que temos citado neste estudo, que indicam que dos 256 inquiridos 33% manifestam a intenção de abandonar o campo para cidade como alternativa à degradação das condições de vida na zona rural.

Estudos de Araújo (2003) sobre os espaços urbanos em Moçambique, estabelecem uma relação entre o aumento populacional urbana e a incapacidade dos centros urbanos de responder a demanda em diferentes serviços para o bem-estar da população o que tem tornado a vida cada vez mais precária nas zonas urbanas, como pode se ler na seguinte citação:

“[...] com a independência nacional e como consequência de uma série de fatores conjunturais, as cidades moçambicanas viram muito aumentada a sua população, sem que isso tivesse sido acompanhado pelo correspondente crescimento de infraestruturas e serviços urbanos. Esta situação fez com que os espaços urbanos do país se degradassem e neles proliferassem atividades informais, como estratégia de sobrevivência de uma parte considerável da sua população. Face a tudo isto, as cidades moçambicanas sofrem transformações demasiado rápidas, o que tem dificultado as ações de planeamento. Por isso impõe uma estrutura espontânea onde as condições de vida são bastante degradadas [...]” (Manuel de Araújo, 2003.p 165).

Sendo Moçambique um país propenso à ocorrência de fenómenos hidrológicos e atmosféricos intensos, tais como ciclones e inundações, especialmente, à subida do nível médio das águas do mar devido as mudanças climáticas, o aumento da população urbana, quer por razões de ordem natural quer por razões de migrações, implica o aumento de pessoas e infra-estruturas expostas ao risco de eventos naturais extremos tornado a vida nas zonas urbanas cada vez mais precária.

As consequências do crescimento urbano em Moçambique em condições precárias sem uma estrutura de resiliência e adaptação às mudanças climáticas, tornaram-se evidentes com a passagem dos ciclones tropicais IDAI e KENNETH em 2019, a tempestade tropical ANA em 2022, que assolararam a costa moçambicana mostrando a vulnerabilidade dos centros urbanos moçambicanos ao causarem danos avultados quer materiais quer humanos, em particular nas cidades da Beira, Pemba e Tete.

#### *Manifestação do Duplo constrangimento dos produtores familiares em consequência das mudanças climáticas.*

Os efeitos das mudanças climáticas nas zonas rurais e o recurso às zonas urbanas como alternativas de sobrevivência por parte dos agricultores familiares, coloca estes numa situação do duplo constrangimento na medida em que as mesmas razões que os fizeram sair da zona rural, se fazem sentir na zona urbana e em condições precárias e com implicações para se adaptar as novas formas de reprodução da sua sobrevivência.

A associação alemã das cidades coordenou a realização de um estudo em 2019, nos países da América Latina, sobre a resiliência climática e o desenvolvimento urbano, e constatou que a urbanização contínua, a vedação do solo e a densificação urbana agravam os impactos das mudanças climáticas e aumentam a vulnerabilidade e a exposição das comunidades urbanas aos riscos de desastres climáticos (Associação Alemã das cidades, 2019).

A população migrante no meio urbano cria mais pressão sobre os serviços limitados das estruturas urbanas e torna-se cada vez mais vulnerável aos efeitos dos eventos das mudanças climáticas que a forçaram a sair do meio rural e precarizam as condições de vida das zonas urbanas (condições habitacionais e de saneamento do meio precárias, ocupação desordenada do solo urbano, inundações urbanas).

Neste contexto, o rural e o urbano ou o campo e a cidade comportam relações dialéticas que se complementam, se interpenetram e se ligam como defendem Bispo e Mendes (2012). O pensamento destes autores, é também corroborado pelo Maloa (2019) quando aborda as questões de dualidade urbana, a ruralidade no urbano, a informalidade e o crescimento demográfico urbano.

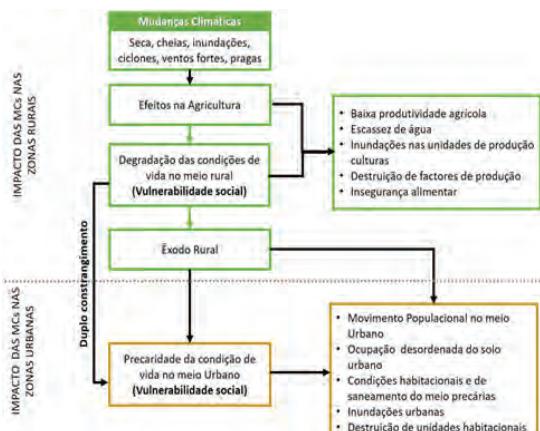
Na mesma linha de pensamento, Costa et al. (2013), sugerem que eventuais polêmicas em torno do entendimento da relação rural-urbano mais prejudicam do que ajudam na análise de situações concretas, particularmente naquelas acerca do planeamento territorial urbano/metropolitano, em que a complexidade do espaço socialmente produzido requer o entendimento da totalidade antes de recortes espaciais específicos.

Estes autores reforçam a necessidade de compreender o urbano pelo rural no contexto das mudanças climáticas pois, as circunstâncias de degradação das condições de vida no meio rural criam uma possibilidade do êxodo rural e por conseguinte, uma pressão sobre as zonas urbanas com a chegada de novos habitantes da zona urbana “emigrantes climáticos” que chegam muitas das vezes desprovidos de condições mínimas para a sua sobrevivência e sujeitos a uma situação de precariedade acentuada e expostos novamente a vulnerabilidade aos efeitos das mudanças climáticas e com impacto severo nas zonas urbanas.

Defendemos ainda a necessidade de adoção de políticas e medidas de mitigação, adaptação e resiliência às mudanças climáticas que olhem para as relações dialéticas entre as zonas rurais e as zonas urbanas. As medidas de resiliência devem ter uma abordagem integrada olhando para o rural e o urbano como espaços que estabelecem uma relação de interdependência.

O apoio aos produtores familiares com tecnologias que possam minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura que é a principal fonte de sobrevivência de cerca de 66,6% da população rural moçambicana é também forma de minimizar os problemas de precariedade do meio urbano e da sua elevada vulnerabilidade às mudanças climáticas.

A hipótese que apresentamos é duma relação entre a degradação das condições de vida no meio rural, mudanças climáticas e a precariedade das condições de vida na zona urbana (fig. 6).



**Fig. 6 - Mudanças climáticas e a precariedade das condições de vida nas zonas urbanas.**

**Fig. 6 - Climate change and precarious living conditions in urban areas.**



**Fot. 1 - Saneamento do meio precário, em Chiang**  
**(Fotografia do Henrique Cau, tirada em 2022).**

**Photo 1 - Sanitation of the precarious environment, in Chiang Mai**  
(Photography by Henrique Cau, taken on 2022).



Fot. 3 - Inundações urbanas, em Chiango  
(Fotografia de Henrique Cau, tirada em 2022)

**Photo 3 - Urban floods in Chiang**  
*(Photography by Henrique Cau, taken on 2022)*

A ocorrência cíclica de eventos extremos derivados das mudanças climáticas nas zonas rurais tais como: secas, inundações, aumento de temperatura, ventos fortes, ciclones e ocorrência de pragas influenciam negativamente na agricultura familiar, cujo impacto se manifesta pela degradação das condições de vida no meio rural constituído maioritariamente por agricultores familiares. Por sua vez, a degradação das condições de vida no meio rural contribui para o êxodo rural que vai influenciar no aumento da população nas zonas urbanas, sem que estas tenham uma estrutura com capacidade para satisfazer a demanda do crescimento populacional.

O crescimento populacional sem o devido acompanhamento gera a precariedade das condições de vida na zona urbana que é caracterizada pela ocupação desordenada dos espaços urbanos, condições de saneamento de meio

## Caso 1

- Nome: Flora
  - Idade: 42 anos
  - Número de agregado familiar: 2
  - Ano de migração- 2001
  - Local de proveniência - Distrito de Chibuto (Gaza)
  - Actividade principal no local de proveniência - prática de agricultura
  - Causa da migração- Cheias 2000 e desemprego
  - Local de residéncia actual - Cidade de Maputo Bairro de Albazine (Chiango)
  - Situação constrangedora - Inundações urbanas, deficientes condições de saneamento do meio (foto 1 e 2)
  - Meio de sobrevivência actual: prestadora de trabalho doméstico



**Fot. 2 - Residência inundada em Chiango**  
 (Fotografia de Henrique Cau, tirada em 2022).

*Photo 2 - Flooded house in Chiang  
(Photography by Henrique Cau, taken on 2022).*

Case 2

- Caso 2

  - Nome: António
  - Idade: 51 anos
  - Número de agregado familiar: 7
  - Local de proveniência - Distrito de Inharrime (Inhambane)
  - Actividade principal - agricultura e a pesca
  - Causa da migração: Seca de 1998
  - Local de residencial actual: Bairro de Albazine (cidade de Maputo)
  - Situação actual - Inundações urbanas e problemas de saneamento do meio
  - Meio de sobrevivência actual: Vendedor Ambulante na cidade de Maputo

precárias, ocorrência de inundações urbanas em tempos chuvoso, habitações precárias o que torna o espaço urbano com maior exposição e vulnerabilidade aos eventos extremos das mudanças climáticas.

A título elucidativo apresentamos a situação de dois casos de moradores da Zona de Chiango, Bairro de Albazine, Cidade de Maputo, que estão sujeitos novamente aos fenómenos de mudanças climáticas sendo que a causa da sua emigração da zona rural para urbana está relacionada aos eventos derivados das mudanças climáticas.

### Conclusão

A população moçambicana é maioritariamente rural (66,6%) e desta, cerca de 99% pratica a agricultura familiar como fonte para a sua subsistência, que é ao mesmo tempo, suscetível aos impactos dos eventos das mudanças climáticas devido a incapacidade dos produtores familiares de aceder a tecnologias ou variedades de culturas resilientes ou adaptáveis às mudanças climáticas.

Devido a ocorrência cíclica dos eventos extremos causados pelas mudanças climáticas, as condições de sobrevivência baseadas na agricultura familiar vão se degradando no meio rural, provocando as migrações campo -cidade (êxodo rural).

Os dados recolhidos no âmbito desta pesquisa no Distrito de Barué, província de Manica, demonstram que uma das alternativas para fazer face às mudanças climáticas apontadas por alguns produtores familiares (33%) é o abandono das zonas rurais para as zonas urbanas. Entretanto, as zonas urbanas debatem-se com a incapacidade de responder a demanda do êxodo rural, tornando-as lugares precários e com maior exposição e vulnerabilidade aos efeitos das mudanças climáticas.

De uma forma geral os resultados deste estudo apontam para a existência de duplo constrangimento para os agricultores familiares, primeiro, pela degradação das condições de vida no meio rural derivado das Mudanças Climáticas e, segundo, pela migração para as zonas urbanas (cidade) onde as suas habilidades rurais quase são difíceis de serem implantadas e implementadas agravando a sua situação de vulnerabilidade social e de maior exposição aos novos eventos das mudanças climáticas.

O estudo defende a necessidade da compreensão da vulnerabilidade social derivada ou agravada pelas mudanças climáticas na relação entre o rural e o urbano considerando que a degradação das condições no meio rural aumenta a possibilidade da precariedade das condições de vida no meio urbano dai a necessidade de soluções integradas.

### Referências Bibliográficas

- Abbas, M. (2022). Efeitos das mudanças climáticas nos sistemas de produção em Moçambique: implicações para a segurança alimentar. *Observador Rural*, N 123, 1-11.
- Alvar-Beltrán, J., Elbaroudi, I., Gialletti, A., Heureux, A., Neretin, L. Soldan, R. (2021). *Climate Resilient Practices: typology and guiding material for climate risk screening*. Rome, FAO.
- Alves, C. H. S., Pereira, A. M., de Souza, E. G., & Silveira, G. S. (2011). Arelação entre o Rural e o Urbano nas Pequenas Cidades do Norte de Minas Gerais. *Revista Geográfica de América Central*, Número Especial EGAL, Universidade Estatal de Montes Claros, Costa Rica, 1-12.
- Atkinson, C. L., Atkinson, A. M. (2023). Impacts of Climate Change on Rural Communities: Vulnerability and Adaptation in the Global South. *Encyclopedia*, 3, 721-729.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3020052>
- Alonso, J. M., de Moraes Guerra, C. A. B., de Oliveira Martins, I. P., Arnaud-Fassetta, G., Marques, A., & da Silva Costa, F. (2014). Risco de cheia e inundações: exposição e adaptação na área ribeirinha de Ponte de Lima. *Territorium - Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança*, 21: Territórios de risco: processos, vulnerabilidades e segurança, ISSN: 0872-8941, Coimbra, 33-48.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_21\\_4](https://doi.org/10.14195/1647-7723_21_4)
- Araújo, M. G. M. (2003). Os Espaços Urbanos em Moçambique. *Espaço e Tempo*, N° 14, São Paulo, 165- 182.
- ASSOCIAÇÃO ALEMÃ DE CIDADES (2019). *Resiliência Climática e Desenvolvimento Urbano: aprendizagem entre pares - nota 26; Connective cities*. Niterói, Brasil, 1-36
- Bispo, Cláudia Luiz; Mendes, Estefane de Paula Pontes (2012). Rural/Urbano e Campo/Cidade: Características e diferenciações em debate. *XXI Encontro de Geografia Agrária*, Universidade Federal de Uberlândia, 15-19.
- CENTRO NACIONAL DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS. ADMINISTRAÇÃO NACIONAL OCEÂNICA E ATMOSFÉRICA (NOAA). <https://www.dadosmundiais.com/africa/mocambique/ciclones.php>, acessado a 09 de Maio 2024.
- Costa, G. M., dos Santos, R. O., & de Moura Costa, H. S. (2013). Reflexões metodológicas sobre a relação rural-urbano a partir da teoria e de evidências socioespaciais da RMBH. *Revista Geografias*, 9(2), Belo Horizonte, 104-120.
- FAO-ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (2017). *Reforço das capacidades dos produtores agrícolas para lidar com as mudanças*

- climáticas no sentido de aumentar a segurança alimentar através da abordagem da Escola na Machamba do Camponês.* FAO, Maputo.
- FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL (2020). *Perspetivas Económicas Regionais para a África Subsariana. Um caminho difícil para a recuperação.* Washington DC.
- Hansine, R. Arnaldo, C. (2019). Natureza Demográfica e Consequências do Crescimento Urbano em Moçambique. In: *Desafios para Moçambique 2019.* IESE. pp: 297-318.
- Ifejika Speranza, C. (2010). Resilient adaptation to climate change in African agriculture (No. 54). Studies.
- INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2011). Censo Agro-pecuário 2009-2010: Resultados Definitivos - Moçambique. INE, Maputo.
- INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2015). Inquérito Agrário Integrado 2015. Moçambique.
- INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2019). Resultados Definitivos. Censo 2017. Moçambique.
- INGC (2009) Synthesis report. INGC Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique. [https://www.biofund.org.mz/wp-content/uploads/2019/01/1548337662INGC\\_Segunda\\_Versao\\_Alteracoes\\_Climaticas\\_Low.pdf](https://www.biofund.org.mz/wp-content/uploads/2019/01/1548337662INGC_Segunda_Versao_Alteracoes_Climaticas_Low.pdf)
- Kirsh, H. M., Schneider, S. (2016). Vulnerabilidade social às mudanças climáticas em contextos rurais. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, v.31, 1-15.
- Maloa, J. M. (2019). A urbanização moçambicana contemporânea: sua característica, sua dimensão e seu desafio. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180101>
- Marassiro. M. J., Oliveira, M. L. R & Pereira, G. P. (2021). Agricultura familiar em Moçambique: Características e desafios. *Research, Society and Development*. V. 10, nº 6, 1-10.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO RURAL - MADER (2023) *Plano Estratégico para o Desenvolvimento do Sector Agrário 2030*, Moçambique.
- Muanamoha, R. C., & Raimundo, I. M. (2018). Cartografia da migração interna em Moçambique entre 1997 e 2007. *REMHU: Revista Interdisciplinar da Mobilidade Humana*, 26, 31-59.
- Mosca, J. (2017). Agricultura familiar em Moçambique: ideologias e políticas. *Revista Nera* -ano 20, Nº 38, 88-105.
- Nawrotzka, R. J. & DeWaard, J. (2019) *Putting trapped populations into place: Climate change and inter-district migration flows in Zambia.* HHS Public. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5810408>
- Pegado, R. S., Blanco, C. J. C., Roehrig, J., Caroça, C., & Costa, F. D. S. (2014) Risco de Vulnerabilidade: uma abordagem às inundações urbanas de Belém/Pará/Brasil. *Territorium - Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança*, 21: Territórios de risco: processos, vulnerabilidades e segurança, ISSN: 0872-8941, Coimbra, 71-76.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_21\\_6](https://doi.org/10.14195/1647-7723_21_6)
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC (2016): Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 116 p.
- Raimundo, I. M (s.d). Migrações em Moçambique: reflexões sobre uma política de Migração. *Estudos Moçambicanos*. Vol. 22, n.º 1, 66-90.
- REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE (2004). Constituição da República. Boletim da República, I Série, Número 51, Quarta-feira, 22 de dezembro de 2004. Maputo.
- WaterAid (2022). *Impacto das Mudanças Climáticas no saneamento em Moçambique.* Afrikaia, Maputo, 1-76.



**IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PATRONES TEMPORALES Y ESPACIALES DE LOS INCENDIOS FORESTALES CAUSADOS POR RAYOS EN LA REGIÓN DE MURCIA (SURESTE DE ESPAÑA): PERÍODO 2000-2020\***

159

**IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF TEMPORAL AND SPATIAL PATTERNS OF WILDFIRES CAUSED BY LIGHTNING IN THE REGION OF MURCIA (SOUTHEAST SPAIN): PERIOD 2000-2020**

Miguel Ángel López-Sandoval

Universidad de Murcia (España)

EDIUM - Escuela Internacional de Doctorado

 0000-0002-2961-700X [miguelangel.lopez5@um.es](mailto:miguelangel.lopez5@um.es)

Ramón García-Marín

Universidad de Murcia (España)

Departamento de Geografía

 0000-0003-3268-5182 [ramongm@um.es](mailto:ramongm@um.es)

## RESUMEN

Se presenta un estudio en el que se han analizado diferentes elementos que han permitido la consecución de toda una secuencia de patrones temporales y espaciales asociados a los incendios forestales originados por rayos en la Región de Murcia, a lo largo del periodo 2000-2020. El resultado ha sido la obtención de una relación entre los incendios inducidos por rayos con una serie de patrones temporales desde el punto de vista de tendencia dentro del periodo, interanual, mensual, por quincenas y horaria, además de la consecución de toda una serie de patrones espaciales desde el punto de vista de su localización geográfica, altitud, pendiente, orientación, modelo de combustible, comunidades vegetales, humedad del material vegetal fino, condiciones meteorológicas, piso bioclimático, edafología, litología e intensidad eléctrica (Kiloamperios) de los rayos. En la investigación se han analizado los datos proporcionados por la UDIF (Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia), obtenidos de los informes realizados por los agentes medioambientales que recogieron la información. Se concluye que la distribución de los incendios forestales originados por rayos no es aleatoria, y el riesgo de simultaneidad de incendios al que dan lugar las descargas eléctricas provocadas por tormentas hacen que este fenómeno de origen natural deba tenerse muy en cuenta por parte de las administraciones y gestores ambientales.

**Palabras clave:** Riesgo natural, análisis de tendencias, variabilidad, probabilidad, modelo predictivo.

## ABSTRACT

This study analyses various elements that have enabled the identification of a sequence of temporal and spatial patterns associated with wildfires caused by lightning in the Region of Murcia between 2000 and 2020. The result has been to establish a relationship between lightning-induced fires and a series of temporal patterns from the point of view of trends within the period, namely interannual, monthly, fortnightly and hourly trends. A series of spatial patterns was also involved, from the point of view of their geographical location, altitude, slope, orientation, fuel model, plant communities, moisture content of fine plant material, meteorological conditions, bioclimatic floor, edaphology, lithology, and the electrical intensity (kiloamperes) of the lightning. The research analysed the data provided by the UDIF (Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Region of Murcia/Forest Fire Defence Unit), obtained from the reports by the environmental agents who collected the information. It is concluded that the distribution of wildfires caused by lightning is not random, and the risk of simultaneous fires resulting from electrical discharges caused by storms means that this natural phenomenon must be considered by environmental authorities and managers.

**Keywords:** Natural hazard, temporal and spatial trend analysis, variability, probability, predictive model.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 29-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 18-01-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introducción

Los rayos se producen principalmente a partir de cumulonimbos, que se forman a través de cuatro mecanismos: debido al flujo de aire caliente que se eleva por causa del intenso calentamiento de la superficie, por el fuerte contraste de temperatura entre superficies, al ascenso frontal o al ascenso de masas de aire debido a la orografía (Sturman y Tapper, 1996). Todos estos procesos pueden desencadenar desarrollos convectivos en la atmósfera y, por lo tanto, la generación de rayos. Estos se originan alrededor de los 3000-4000 metros sobre el nivel del mar, debido a una separación de carga que tiene lugar dentro de la masa de aire de la nube cargada negativamente y el campo eléctrico positivo de la superficie del suelo (Cooray, 2003). Los vientos de valle-montaña producidos a partir de las diferencias de temperatura entre dos superficies inclinadas, unido al ascenso del aire que ocasiona la orografía puede ser un incitador a la producción de rayos (fot. 1), por lo que existe una relación entre la altitud y la densidad de rayos (López y Holle, 1986; Lericos *et al.*, 2002; Orville *et al.*, 2002; Dissing y Verbyla, 2003) (fig. 1). Las predicciones basadas en los Modelos de Circulación Global indican que la fracción de lluvia convectiva tenderá a aumentar, así como el número de descargas de rayos (Price y Rind, 1994a).



Fot. 1 - Inicio de incendio forestal por rayo latente en el Cerro de la Canaleja en el municipio de Caravaca de la Cruz (Región de Murcia), 09/07/2020 a las 14:17 horas (Fuente: UDIF-Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Photo 1 - Start of a wildfire caused by latent lightning at Cerro de la Canaleja in the municipality of Caravaca de la Cruz (Region of Murcia), 09/07/2020 at 14:17 hours  
(Source: UDIF - Forest Fire Defense Unit).*

Las tormentas secas con gran cantidad de aparato eléctrico tienen como consecuencia determinadas condiciones meteorológicas adversas (fuertes vientos erráticos, baja humedad relativa y altas temperaturas), generando simultaneidad de puntos de ignición y creando las condiciones de una auténtica “Tormenta de Fuego” en la que los bomberos forestales son incapaces de controlar esos incendios y no importa cuantos efectivos y equipos estén disponibles (Komanek, 1967). Valga como ejemplo lo sucedido el 06/08/2015 con tres incendios forestales prácticamente simultáneos ocasionados por varias tormentas secas que afectaron al territorio regional, o lo acaecido en la Región de Murcia y Albacete

el 13/08/2022 en Cerro Patoja (Jumilla) y Gamonal (Hellín), o también lo acontecido el 20/07/2023 con 6 incendios por rayos, uno latente y 5 de ellos simultáneos todos generados por la misma tormenta.

Los rayos no sólo serán más abundantes, sino que se extenderán más a lo largo del año, ampliando la estación de incendios (Price y Rind, 1994b). Se ha demostrado que existe una estrecha relación entre la temperatura del Mar Mediterráneo y la fracción convectiva de lluvia (Rambal y Hoff, 1998). En el pasado, la mayoría de los incendios causados por rayos se produjeron durante unos pocos eventos, esto es, días consecutivos con actividad tormentosa (Vázquez y Moreno, 1998). Por tanto, la persistencia de dichas situaciones debido a la mayor estabilidad de las condiciones atmosféricas puede ser particularmente peligrosa. El mayor grado de abandono forestal que suele ocurrir en las zonas altas, donde son más frecuentes los rayos, permite suponer que la acumulación de combustible va en aumento, y con ello los incendios producidos por rayos (fot.2). Los rayos son la principal causa natural de ignición de incendios forestales en España y en todo el mundo (Pyne *et al.*, 1996), y es la principal causa global de ignición en algunas masas forestales, como las de bosque boreal y en determinadas masas forestales mediterráneas en los últimos años. Sin embargo, un incendio forestal con ignición en un rayo puede quemar una superficie más grande de bosque que los originados por el ser humano, debido a su lejanía y agregación en el espacio y en el tiempo (Poduret *et al.*, 2003). Aunque la mayoría de los incendios provocados por rayos suelen extinguirse antes de propagarse demasiado lejos, este tipo de incendios tienden a ocurrir en las elevaciones superiores y en lugares remotos, lo que plantea desafíos para su extinción (Conedera *et al.*, 2006). Varios autores han informado que los incendios inducidos a rayos no ocurren al azar, sino que tienden a comenzar en lugares específicos (Vankat, 1985), pudiendo confirmar tras este trabajo que dichas afirmaciones no van desencaminadas.



Fot. 2 - Imágenes del resultado del impacto de un rayo sobre un pino (*Pinus halepensis*) en Sierra Larga, en el municipio de Jumilla (Región de Murcia), origen del incendio forestal por rayo latente que tuvo lugar el 27/08/2022 (Fuente: UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Photo 2 - Images of the result of a lightning strike on a pine tree (*Pinus halepensis*) in Sierra Larga, in the municipality of Jumilla (Region of Murcia), origin of the wildfire caused by latent lightning that took place on 27/08/2022  
(Source: UDIF - Forest Fire Defense Unit).*

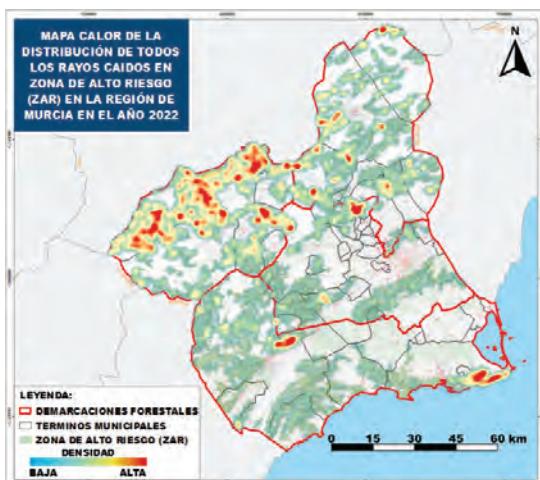


Fig. 1 - Mapa de densidad de rayos nube-tierra caídos dentro de Zona de Alto Riesgo (ZAR) en color verde, en la Región de Murcia a lo largo de todo el año 2022 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

**Fig. 1 - Map of the density of cloud-to-ground lightning strikes within the Zona de Alto Riesgo (ZAR) in green, in the Region of Murcia throughout 2022 (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).**

La eficacia de un rayo para dar lugar a una ignición que pueda desencadenar un incendio forestal va a depender de una serie de variables que van a estar relacionadas también con los propios rayos, tales como por la cantidad, polaridad e intensidad, además de otra serie de variables como son la humedad del combustible de la masa forestal resultante de condiciones climáticas previas, incluyendo la precipitación, temperatura y humedad, además de variables topográficas que pueden afectar a las variables antes mencionadas (Díaz-Ávalos et al., 2001). Por otro lado, hay que tener en cuenta que la importancia o la influencia de las variables que influyen en la ignición originada por un rayo en una masa forestal varía con la escala considerada, no siendo realista y viéndose distorsionados los resultados en modelos que consideran grandes áreas geográficas, siendo recomendable el desarrollar modelos de identificación y análisis a escala local o regional (Pacheco et al., 2009; Nieto et al., 2006), como es el caso de este trabajo para la Región de Murcia (fig. 2).

#### Área geográfica de estudio

Dentro del área geográfica de estudio se analiza de manera simultánea el espacio en dos perspectivas, en primer lugar, a nivel regional, desde el punto de vista de todas las masas forestales que en conjunto la Región de Murcia posee, enfocadas de una manera global; y en segundo lugar, a un nivel desde el punto de vista de



Fig. 2 - Mapa de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia con sus 4 Demarcaciones Forestales (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

**Fig. 2 - Map of the Autonomous Community of the Region of Murcia with its 4 Forest Demarcations (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).**

cada una de las cuatro demarcaciones forestales de las que consta el territorio regional (fig. 2). En este sentido, vamos a tener en cuenta solamente aquellas áreas forestales denominadas como Zonas de Alto Riesgo (ZAR) inscritas dentro de su correspondiente demarcación forestal. Como Zona de Alto Riesgo (ZAR) se entiende aquellas áreas en las que la frecuencia o virulencia de los incendios forestales y la importancia de los valores amenazados hacen necesarias medidas especiales de protección contra los incendios, estando declaradas por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia de acuerdo con la ley 43/2003, de 21 de noviembre, modificada por la Ley 21/2015, de 20 de julio, y delimitadas por la Orden de 12 de julio de 2012, de la Consejería de Presidencia (BORM nº169 de 23 de julio de 2021).

Los municipios de la Demarcación Forestal I (Noreste) son: Yecla, Jumilla, Cieza, Abarán, Blanca, Molina de Segura, Fortuna y Abanilla. Dentro de su vegetación forestal predominan los pinares de pino carrasco con un sotobosque de lentiscos, espinos, enebros y coscojas en las umbrías, y en las solanas se abren los pinares con un matorral de romeros, tomillos y espartales. Los municipios de la Demarcación Forestal II (Noroeste) son: Moratalla, Caravaca de la Cruz, Cehegín, Calasparra y Bullas. Dentro de su vegetación forestal predominan en las zonas más degradadas submatorrales formados por romeros, jaras, aliagas y espartales. En las sierras occidentales donde existe una mayor precipitación aparecen los mejores encinares y pinares de rodeno, y en las cotas más altas pinares de laricio y las sabinas

albares. Los municipios de la Demarcación Forestal III (Centro) son: Ricote, Mula, Pliego, Ulea, Ojós, Campos del Río, Librilla, mitad norte del municipio de Alhama de Murcia, mitad norte del municipio de Totana, extremo septentrional del municipio de Fuente-Álamo, Aledo, Murcia, Santomera y Beniel. Dentro de su vegetación forestal predominan los pinares de pino carrasco en umbrías y en cotas más altas de las Sierras de Ricote, Espuña y Carrascoy, con un sotobosque de lentiscos, acebuches, espinos y a veces palmito. En las zonas más altas encontramos rodales relicticos de encinas, mientras que, en las laderas más bajas y transformadas de la vega del Segura, río Mula y valle del Guadalentín se desarrolla un matorral bajo formado por romeros, tomillos, bojas y salados. Los municipios de la Demarcación Forestal IV (Sur) son: Lorca, Puerto Lumbreras, Águilas, Mazarrón, mitad sur del municipio de Totana, tercio sur del municipio de Alhama de Murcia, las dos terceras partes meridionales del municipio de Fuente Álamo, Cartagena y La Unión. Dentro de su vegetación forestal predominan los pinares de pino carrasco que se desarrollan en las umbrías de las sierras litorales, como sotobosque de este y en las solanas encontramos un matorral costero formado por lentiscos, espinos, palmitos, cornicales y azufaifos, así como un matorral bajo formado por erguenes y espartales.

### Metodología

La Dirección General del Medio Natural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia posee una base de datos de los incendios forestales que han tenido lugar en la región y que incluyen información sobre la causa, fecha, ubicación del punto estimado del inicio, término municipal, paraje, superficie, tipo de incendio (forestal, agrícola, periurbano, etc.), causas reales del incendio, causas supuestas, especies arbustivas afectadas, especies arboladas afectadas, propiedad del terreno forestal afectado (pública o privada), si la masa forestal afectada por el incendio posee alguna figura de protección medioambiental (ENP, ZEPA, LIC, ZEC, etc.).

Dentro de este trabajo y desde el punto de vista del área de intervención en el que se clasifican los incendios en la Región de Murcia, hemos tenido en cuenta los incendios dentro de la serie estadística acontecidos a lo largo del periodo 2000-2020 y que además hayan tenido lugar dentro de Zona de Alto Riesgo (ZAR), que son las áreas forestales dentro de la región en las que la frecuencia o virulencia de los incendios pueden llegar a suponer un riesgo sobre una serie de valores naturales que pueden verse amenazados. Además, solamente se han tenido en cuenta aquellos incendios cuyo origen han sido por causa natural, debida a la ignición de un rayo de manera real o supuesta según las determinaciones de la BRIDA (Brigada de Delitos Ambientales) en sus correspondientes informes.

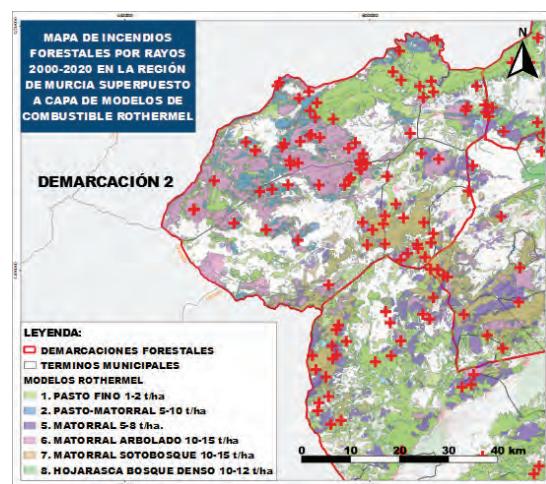


Fig. 3 - Superposición de las ubicaciones de los incendios forestales por rayos del periodo 2000-2020 sobre la capa de modelos de combustible de la Región de Murcia (Fuente: UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

Fig. 3 - Overlapping of lightning induced wildfire locations for the period 2000-2020 on the fuel model layer of the Region of Murcia (Source: UDIF - Forest Fire Defense Unit).

A lo largo de la serie estadística analizada, se han registrado un total de 4462 incendios, de los cuales 229 han sido provocados por rayos dentro de Zona de Alto Riesgo (ZAR) de una manera real o supuesta, según los informes realizados por la BRIDA (Brigada de Delitos Ambientales). Por lo que de esta manera podemos afirmar que el 5,13% de los incendios forestales en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020 han tenido su origen en la ignición directa o latente de un rayo de una manera real o en determinadas ocasiones de una manera supuesta. Para la visualización gráfica y cartográfica de las variables espaciales que se han decidido representar, y para poder caracterizar los posibles patrones que pudieran seguir los incendios inducidos a rayos dentro de las masas forestales en las Zonas de Alto Riesgo (ZAR) de la Región de Murcia, se ha trabajado con el Sistema de Información Geográfica QGIS, el cual ha permitido elaborar toda una cartografía gracias a las ubicaciones con coordenadas UTM (X, Y) de cada uno de los 229 incendios. Todas las coordenadas UTM de las ubicaciones de los incendios inducidos a rayos se han obtenido de los informes post-incendio elaborados por la BRIDA (Brigada de Delitos Ambientales) o por los Agentes Medioambientales de cada zona. El Sistema de Información Geográfica QGIS, ha permitido solapar las coordenadas UTM (X, Y) de cada uno de los inicios de los incendios por rayos con otras capas con valores y variables que han interesado (altitud, pendiente, orientación, modelo de combustible, tipo de suelo, litología, climatología, kiloamperaje de rayos, patrones mensuales y horarios, tiempo de ignición tras el impacto, etc.), y que han posibilitado el caracterizar las condiciones iniciales de cada uno de los incendios por

rayos y, en la medida de lo posible, vislumbrar posibles patrones de variables espaciales y temporales que hacen viable su ignición.

Utilizando hojas de cálculo (Excel) y con las descripciones de las comunidades vegetales presentes en las ubicaciones de los inicios de los incendios por rayos se ha podido determinar un patrón de aquellas comunidades vegetales que poseen una mayor presencia en este tipo de incendios. También se ha trabajado para obtener información sobre cuáles son los patrones climáticos, como la Humedad Relativa Mínima Absoluta, Temperatura Máxima Absoluta, Precipitación Media Diaria, Velocidad del Viento Máxima Diaria, así como la Dirección del Viento Medio medida en grados, o su componente y dirección cardinal presentes cada día a lo largo de la quincena más recurrente en incendios forestales a lo largo del periodo 2000-2020 en cada una de las cuatro demarcaciones forestales de la Región de Murcia. Y de esta manera, se ha podido determinar cuáles han sido las condiciones meteorológicas iniciales más favorables a lo largo del año para que un impacto eléctrico nube-tierra sea viable y ocasione una ignición en las diferentes demarcaciones forestales. Asimismo, se han realizado cuatro salidas de campo para tomar muestras y poder determinar patrones de porcentaje de humedad del material vegetal fino vivo en especies herbáceas como el esparto (*Macrochloa tenacissima*), precisamente en las quincenas del mes de agosto en las que cada demarcación forestal es más recurrente a este tipo de incendios. Se ha elegido a esta especie vegetal porque se trata de una de las especies herbáceas forestales más representativas de la región, ya que está presente en todas las demarcaciones forestales.

Esto ha permitido tener una idea de la situación de humedad de esta especie y de las masas forestales circundantes y la predisposición que este tipo de herbáceas posee para hacer viable una ignición al recibir el impacto de una descarga eléctrica, y ser la responsable del conocido como efecto “yesca” al que dan lugar, pues hay que decir que esta herbácea está presente en casi todos los incendios inducidos a rayos junto con el lastón (*Brachypodium retusum*), aunque esta última en menor medida. Finalmente, también se ha intentado determinar un patrón de kiloamperaje de los rayos nube-tierra que han producido ignición ocasionando incendio forestal a nivel regional y en cada una de las demarcaciones forestales. Hay que decir, que sólo se ha podido disponer de datos de kiloamperaje de rayos nube-tierra gracias a la web “nowcastLIGHTNING.DETECTED. LINETview”, y sólo ha sido posible la visualización de rayos nube-tierra de tormentas eléctricas desde el año 2020 hasta 2022 dentro de su apartado de serie histórica. La web ha permitido recopilar información de cada uno de los impactos que han ocasionado ignición proporcionando datos de su fecha, hora, kiloamperaje

(positivo, negativo), tipo (nube-tierra) y coordenadas UTM (X, Y), entre otras variables y para el territorio regional. Con esta información se han elaborado gráficas que han permitido representar el momento del día en el que los incendios por rayos son más recurrentes, así como el retardo en el que el impacto de una descarga eléctrica nube-tierra que ha conseguido la ignición hace acto de presencia dentro de una masa forestal con llama y pequeña columna de humo ya visible por los vigilantes.

## Resultados y discusión

Con anterioridad al periodo de análisis 2000-2020, ya se consideraba la posibilidad de un progresivo aumento de los incendios forestales inducidos a rayos como consecuencia del cambio climático producido por el aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera (Price y Rind, 1994a). En un estudio del año 1994 se consideraban los posibles efectos del cambio climático con un incremento de los incendios forestales naturales provocados por rayos. Los resultados indicaban que la relación en la disminución de la precipitación efectiva como producto de la Precipitación menos Evapotranspiración potencial ( $P-E_p$ ) y la frecuencia de la actividad de las tormentas conducirían a aumentos tanto en el número de incendios como en el total de las superficies quemadas. En este estudio se demuestra la probabilidad de que a diferentes escalas espaciales se experimente una mayor actividad de los incendios provocados por rayos en un clima más cálido. Por lo que las tendencias de estas relaciones para este estudio en concreto son válidas y sólidas. Los cambios en la frecuencia e intensidad de los incendios (naturales) deben tenerse en cuenta en las estimaciones de causas del cambio climático debido a su potencial para alterar las concentraciones atmosféricas de gases (invernadero) y partículas (aerosoles), así como su capacidad para cambiar la vegetación y el albedo de la superficie de la tierra (Price y Rind, 1994b).

### Patrones temporales

#### *Patrones de tendencia en número de siniestros y superficies calcinadas a lo largo del periodo 2000-2020*

Dentro del gráfico de patrones de tendencia para la Región de Murcia (fig. 4), se observa una disposición al alza de los incendios forestales originados por rayos a lo largo del periodo de análisis 2000-2020, posiblemente como consecuencia del cambio climático que afecta ya a nuestras masas forestales, dando lugar a alteraciones en las principales variables climáticas y a modificaciones en los comportamientos fenológicos de la vegetación forestal. Otra variable para tener en cuenta es la posibilidad del aumento del volumen de combustible disponible en las masas forestales de la región como

resultado del abandono de los aprovechamientos y de las actividades silvícolas tradicionales por parte de la población rural a lo largo del todo el siglo XX y de lo que llevamos del siglo XXI, como consecuencia del conocido como “éxodo rural”, facilitando con ello una mayor viabilidad de los impactos eléctricos nube-tierra como consecuencia de una mayor proporción de combustible muerto disponible.



Fig. 4 - Relación entre el número de incendios por rayos y superficie quemada en la Región de Murcia 2000-2020 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Fig. 4 - Relationship between the number of fires caused by lightning and the area burnt in the Region of Murcia 2000-2020 (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).*

Dentro del gráfico de tendencias (fig. 4) es observable un ligero aumento de los incendios forestales originados por rayos a partir del año 2009, siendo el año 2015 el de mayor número de incendios forestales debidos a rayos de toda la serie con un número de 26. A lo largo del periodo de estudio se puede confirmar para el territorio regional la existencia de una tendencia al alza en el número de hectáreas que han sido pasto de las llamas originadas por rayos. Dentro de la serie destaca el año 2015, en el que ardieron 545,71 hectáreas en total, siendo éste el año de toda la serie en el que más superficie forestal ardió debido a la ignición por rayos. Cabe destacar que la superficie quemada por rayos a lo largo del periodo de estudio fue de 730,15 hectáreas, pudiendo afirmar la tendencia al alza de una manera contundente, puesto que en el año 2022 la superficie total calcinada por rayos fue de 627,68 hectáreas, lo que supuso que en un solo año se quemara aproximadamente el 85% de la superficie que se había calcinado a lo largo de todo el periodo de más de 20 años (2000-2020).

En todos y cada uno de los incendios por rayos del periodo 2000-2020, los medios operativos de la UDIF fueron movilizados para su extinción. La superficie quemada dependió siempre de manera directa del tiempo empleado para acceder al lugar del incendio, así como de las condiciones del combustible con relación a su humedad relativa y a otra serie de variables meteorológicas, como velocidad del viento, temperatura, topografía, orientación, etc. En la actualidad podría estimarse la superficie que un incendio

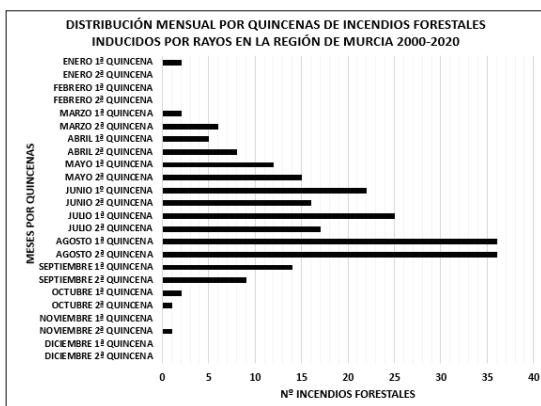
forestal causado por un rayo podría calcinar si este se dejara a su libre albedrío con programas como FLAMMAP, WILDFIRE ANALYST, FARSITE, etc., proporcionándoles datos de tipología de combustible afectado, topografía, condiciones meteorológicas, etc. Actualmente, en la Región de Murcia no se plantea el dejar un incendio forestal causado por rayo que se apague de manera natural, por lluvia o condiciones meteorológicas no aptas para la continuidad del fuego o por falta de combustible, cosa que si ocurre en otros países como EEUU, Australia, Canadá, Rusia, etc., en los que algunos incendios forestales se dejan libremente siempre que sean por causa natural y que los mismos no supongan un riesgo para poblaciones, infraestructuras o empresas.

#### Patrones mensuales

Dentro de las quincenas anuales analizadas con mayor número de incendios forestales causados por rayos son de destacar, en primer lugar, las dos quincenas del mes de agosto en las que en cada una de ellas han tenido lugar 36 incendios, lo que supone que en cada quincena de este mes se han producido un 15,72% de los siniestros y un 31,44% para el conjunto del mes. Agosto, por tanto, es el mes del año con mayor riesgo de incendio forestal por rayos en la región. Lógicamente, esta situación es consecuencia de que este mes sea en el que mayor número de días con tormenta de tipo convectivo tienen lugar en la montaña media de la costa mediterránea, así como en las zonas de mayor relieve dentro del territorio regional, unido además a unas condiciones meteorológicas que favorecen la predisposición de las masas forestales en general, y del material vegetal fino muerto en particular, a la combustión tras el impacto de una descarga eléctrica nube-tierra procedente de una tormenta como resultado de la escasa humedad de las mismas. Tras el mes de agosto, destaca la primera quincena de julio y la primera quincena de junio. En consecuencia, el patrón mensual más recurrente se corresponde con los meses de agosto y en menor medida julio y junio (fig. 5).

#### Patrones horarios

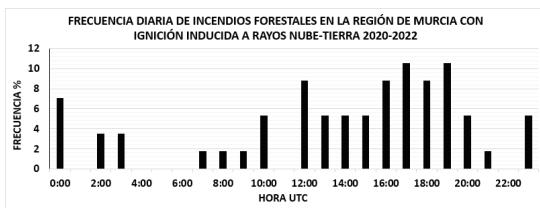
La frecuencia diaria de incendios forestales en la Región de Murcia por rayos (fig. 6) muestra que en cualquier momento del día se producen incendios como consecuencia de la ignición producida por una descarga eléctrica nube-tierra. Sin embargo, se puede afirmar que más de la mitad de las igniciones por rayos que ocasionaron incendios forestales en la región a lo largo del periodo 2020-2022 ocurrieron a partir del mediodía solar (desde las 14:00 horas UTC) y hasta aproximadamente el ocaso (21:00 horas). Tal distribución de la variación diurna de incendios por rayos será más o menos similar a lo largo de toda la costa mediterránea, pues los procesos convectivos que los provocan funcionan a partir



**Fig. 5 - Distribución mensual por quincenas de incendios forestales inducidos a rayos en la Región de Murcia 2000-2020** (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

**Fig. 5 - Monthly distribution by fortnight of lightning-induced wildfires in the Region of Murcia 2000-2020** (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).

del mediodía solar, y de la misma manera a lo largo de toda la franja mediterránea e interior peninsular, corroborándose del mismo modo en la distribución de los incendios forestales inducidos a rayos en este trabajo para la Región de Murcia, así como en los resultados obtenidos del estudio realizado por Pineda *et al.* (2012).



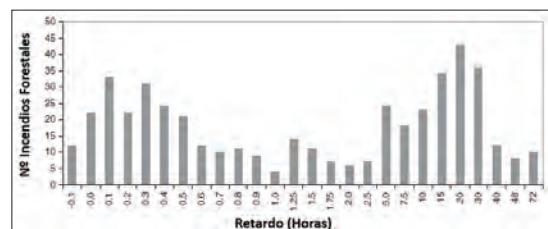
**Fig. 6 - Frecuencia diaria de incendios forestales con ignición inducida a rayos nube-tierra en la Región de Murcia 2020-2022** (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF (Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

**Fig. 6 - Daily frequency of wildfires with cloud-to-ground lightning-induced ignition in the Region of Murcia 2020-2022** (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).

La distribución diaria de las igniciones inducidas a rayos en las masas forestales representadas en este gráfico pueden ser extrapoladas a lo largo de la franja mediterránea, considerando pequeñas variaciones como son la latitud, altitud y la distancia a la costa, pero todas estas variables estarán influenciadas siempre desde el punto de vista de que los procesos convectivos de las tormentas que dan origen a los rayos y a los incendios forestales causados por ellos van a estar determinados

por el mar mediterráneo y sus vientos. Se puede observar una distribución horaria más concentrada desde las 12:00 horas UTC hasta las 20:00 horas UTC, donde se concentran casi un 70% de los incendios, alcanzando un máximo entre las 17:00 y 19:00 horas. Parecen existir también dos valles donde las igniciones horarias son más reducidas, por un lado, entre las 21:00 y 22:00 horas, y otro más prolongado entre las 1:00 y 9:00 horas (fig.6).

Se puede observar la existencia de un ciclo diurno de actividad eléctrica causado como respuesta a los procesos convectivos tormentosos, debido al ciclo diurno de la insolación (Pineda *et al.*, 2012). También existe un patrón que relaciona la duración en tiempo que transcurre desde el impacto del rayo en el suelo hasta que la ignición de este es visible (fig. 7), ocasionalmente puede que la visibilidad de la ignición (incendio forestal) no ocurra de una manera inmediata. A veces, con posterioridad al impacto del rayo nube-tierra, se produce un fuego latente, cuya ignición desembocará en una combustión con llamas que será vista, registrada y comunicada por los vigilantes de incendios forestales, pero habiendo transcurrido un tiempo entre la propia ignición provocada por el rayo y la posterior combustión con llamas. El tiempo de espera o remanente muestra una distribución bimodal desde que el rayo impacta en el suelo hasta que es detectado, mostrando dos picos o máximos, uno alrededor de los 6 minutos tras el impacto del rayo nube-tierra y otro alrededor de las 20 horas. Respecto a este fenómeno de rayo latente se pueden poner varios ejemplos en nuestra región; como el incendio del “Cerro de la Canaleja o Cerro Gordo” en la Sierra del Buitre, en el municipio de Caravaca de la Cruz (09/07/2020), pues el rayo impactó a las 0:58 y el incendio fue declarado a las 14:17 horas, habiendo transcurrido poco más de 13 horas; o el incendio de Los Cantaores en Sierra Larga, en el municipio de Jumilla, en el que el rayo impactó el 26/08/2022 a las 22:09 horas y el incendio fue declarado el 27/08/2022 a las 13:36 horas, habiendo transcurrido poco más de 15 horas, destacando de entre todos el declarado el 3/05/2023 a las 16:59 en la Sierra de Lavia, en Bullas, habiendo transcurrido unas 70 horas de la descarga del rayo, habiendo impactado en el suelo el 30/04/2023 a las 19:00 horas.



**Fig. 7 - Distribución del retardo (latencia) entre la ignición y la detección de la combustión con fuego** (Pineda *et al.*, 2012).

**Fig. 7 - Distribution of the delay (latency) between ignition and detection of combustion with fire** (Pineda *et al.*, 2012).

En el gráfico (fig. 7) encontramos un máximo de actividad que se corresponde con incendios forestales que presentaron una combustión llameante pocos minutos (6 minutos) después del impacto del rayo nube-tierra tras la correspondiente ignición. La mayoría de estos incendios forestales poseen un breve periodo latente y acontecen generalmente entre las 12:00 horas UTC y las 18:00 horas UTC. El segundo máximo se corresponde con incendios cuya ignición fue producida por un rayo nube-tierra presentando una combustión llameante desencadenando un incendio forestal tras un periodo latente de aproximadamente 1 día. Un análisis más detallado muestra que la mayoría de las igniciones que dan lugar a un fuego latente tienen lugar al anochecer, la ignición sobrevive toda la noche permaneciendo encendida gracias a la lenta combustión de la hojarasca o mantillo existente bajo el árbol, y esta etapa en la que la ignición está encendida de una manera subyacente suele durar hasta pasado el mediodía siguiente, siempre que la cantidad disponible de hojarasca o mantillo sea suficiente (fot. 3), despertando finalmente la llama que originará el incendio forestal en el momento en el que las condiciones de temperatura y humedad la hagan viable, unido a la entrada en juego del aporte de oxígeno que proporcionan los vientos de valle a mediodía.

#### *Patrones espaciales*

#### *Patrones geográficos*

En la distribución espacial de los incendios forestales inducidos a rayos en la Región de Murcia (periodo 2000-2020) tuvieron lugar 229 siniestros dentro de Zona de Alto Riesgo (ZAR), quedando reflejado de manera clara la relación entre estos y el relieve. De mayor a menor densidad de incendios por rayos destacan las sierras del Altiplano Jumilla-Yecla (Demarcación Forestal I) como las que mayor densidad de incendios padecen



Fot. 3 - Imágenes de detalle de la base del pino (*Pinus halepensis*) por el anverso y el reverso en la que se observan las dos entradas del rayo al suelo y que permitió una combustión subyacente de la hojarasca o mantillo existente bajo el mismo a lo largo de más de 15 horas, dando lugar a un incendio por rayo latente el 27/08/2022 a las 13:36 horas en Jumilla (Región de Murcia)

(Fuente: UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Photo 3 - Detailed images of the base of the pine tree (*Pinus halepensis*) from the front and back, showing the two points where the lightning struck the ground, causing underlying combustion of the leaf litter or much beneath it for more than 15 hours, resulting in a fire caused by latent lightning on 27/08/2022 at 13:36 hours in Jumilla (Region of Murcia)*

dentro de la región, seguidas de las sierras del Noroeste (Demarcación Forestal II), Sierra Espuña y Sierra de Carrascoy (Demarcación III) y Sierra del Almirez, Sierra de Pericay, Sierra del Gigante, Sierra de las Moreras, Sierra del Algarrobo y Sierra de Cartagena (Demarcación Forestal IV) (fig. 8).

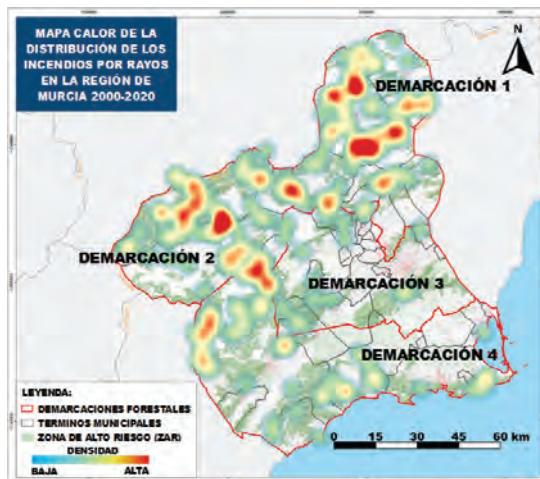


Fig. 8 - Distribución espacial en mapa de calor de los incendios forestales inducidos a rayos en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Fig. 8 - Spatial distribution of lightning-induced wildfires in the Region of Murcia on a heat map over the period 2000-2020 (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).*

Además, son visibles dos gradientes espaciales de incendios forestales inducidos a rayos en el territorio regional, pudiendo distinguir que siguen dos diagonales diferentes; una diagonal que va en aumento desde la costa murciana hacia el interior y una segunda diagonal que va en aumento desde el noroeste hacia el noreste de

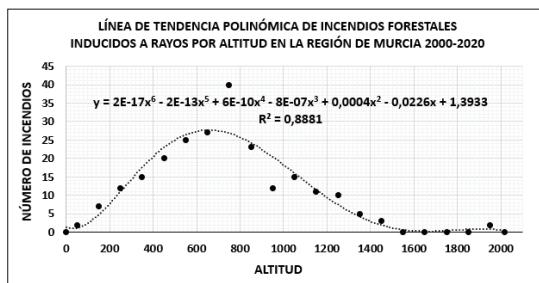


(Source: UDIF - Forest Fire Defense Unit).

la región. De esta representación destacamos tres figuras, una "U" inclinada a la derecha formada en el Altiplano con mayor densidad de incendios por rayos en la Sierra de Sopalmo-Sierra Larga, Sierra de la Pedrera-Sierra del Escabezado-Pico de Tella-Sierra de los Gavilanes, una "V" muy abierta formada por la Sierra del Búho, Almadenes, Sierra de Ricote y Sierra de la Pila, y una "J" inclinada a la izquierda formada por la Sierra de la Muela, Sierra del Buitre, Sierra del Quípar, Sierra de Burete, Sierra de Lavia, girando hacia la izquierda desde la Sierra de Pedro Ponce hacia la Sierra del Almirez y Sierra de Pericay en Lorca. Dos puntos aislados en Sierra Espuña y en la Sierra de Carrascoy. Así como algunas densidades en la línea que forman los relieves costeros en la Sierra de las Moreras, Sierra de lo Alto, Sierra del Algarrobo y en la Sierra de Cartagena.

#### *Patrones altitudinales*

Dentro de la distribución altitudinal queda reflejado que el intervalo situado entre los 600-800 metros de altitud es el que mayor número de incendios registra con 67, suponiendo el 29,26% del total de los acontecidos en el periodo de análisis. Si la altitud en la Región de Murcia oscila entre los 0 metros a nivel del mar y los 2015 metros de altitud máxima en el Pico del Obispo en la Sierra de Revolcadores, se observa que el número de incendios por rayos es ligeramente superior desde el nivel del mar hasta los 800 metros que desde los 800 metros hasta la cota de mayor altitud de la región (fig. 9). Lógicamente, las igniciones por rayos en este caso estarán determinadas por los intervalos altitudinales que mayor superficie forestal y disponibilidad de combustible posean y las altitudes de relieve en las que con mayor frecuencia se desarrollan los procesos meteorológicos en la atmósfera que son los que dan lugar a las tormentas de tipo convectivo, a las descargas eléctricas y como consecuencia de ello a incendios forestales por causa natural.



**Fig. 9** - Número de incendios forestales causados por rayos según altitud y su correspondiente línea de tendencia polinómica en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

**Fig. 9 - Number of wildfires caused by lightning according to altitude and its corresponding polynomial trend line in the Region of Murcia over the period 2000-2020 (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).**

La línea de tendencia de incendios forestales inducidos a rayos según la altitud ha sido obtenida mediante el programa Excel, tras haber introducido como variable independiente la altitud y como dependiente el número de incendios por rayos acontecidos dentro de cada uno de los intervalos altitudinales, aclarando que se ha posicionado el número total de incendios provocados por rayos dentro de cada intervalo en el valor medio del mismo, es decir, y que valga como ejemplo, los incendios por rayos que han tenido lugar entre los 200 y 300 metros de altitud se han posicionado en el valor altitudinal de 250 metros. Mediante el programa Excel también se ha podido obtener una curva de tendencia polinómica que relaciona el número de los incendios forestales originados por rayos en zona ZAR (Zona de Alto Riesgo) con la altitud a la que han tenido lugar cada uno de ellos (fig. 9), obteniendo que dicha curva de tendencia posee un coeficiente de correlación con un valor de  $R^2 = 0,8881$ . Dentro de la curva, se confirma que el mayor porcentaje de incendios por rayos se concentra entre los 500 y los 820 metros de altitud. Así lo confirman, por ejemplo, los dos últimos grandes incendios acaecidos en la Región de Murcia por rayos en la campaña 2022, con los incendios de Cerro Patoja (Jumilla), originado el 13/08/2022 y ubicado a los 741 metros de altitud, en el que se calcinaron 225,09 hectáreas; y el incendio de Sierra Larga (Jumilla), originado el 27/08/2022 y ubicado a los 512 metros de altitud, en el que se calcinaron 424,82 hectáreas. La curva de tendencia polinómica obtenida es una línea que relaciona la altitud en la región con el número de incendios forestales por rayos, siendo su fórmula la siguiente:

$$y = 2E-17x^6 - 2E-13x^5 + 6E-10x^4 - 8E-07x^3 + 0,0004x^2 - 0,0226x + 1,3933$$

La letra "E" en la ecuación no representa una variable, sino que se utiliza como una abreviatura de "exponente" en notación científica. En lugar de representar números grandes o pequeños en su forma completa, se abrevia usando este tipo de anotación, donde se escriben en términos de potencia 10. Si bien es cierto que la letra "E" es empleada como sigla en forma exponencial, valga como ejemplo que  $2E-17x^6$  equivaldría a  $2 \cdot 10^{-17}x^6$ . Esta curva es interesante porque nos permite conocer cuál es el intervalo altitudinal donde acontecen más incendios por rayos en la Región de Murcia dentro de Zona de Alto Riesgo (ZAR), pudiendo de esta manera llevar a cabo una mejor gestión y prevención del riesgo de incendio forestal al que dan lugar los rayos mediante trabajos silvícolas de limpieza de cortafuegos y pistas forestales, quemas prescritas, así como la realización de nuevos cortafuegos, etc., gracias a la información que nos proporciona.

Dentro de los valores de superficie quemada (ha) por rayos y su relación altitudinal para toda la Región de Murcia quedan reflejados dos intervalos altitudinales en los que han tenido lugar varios incendios forestales originados por

rayos y con una superficie a tener en consideración por su extensión. Un primer intervalo se situaría entre los 450-550 metros de altitud, con un incendio cuya superficie máxima calcinada supera ligeramente las 250 hectáreas; y otro intervalo con varios incendios situados aproximadamente entre los 1000-1100 metros de altitud y con una superficie máxima calcinada en el mayor de ellos de unas 230 hectáreas aproximadamente (fig. 10). Estos dos intervalos aportan información acerca de cuáles serían las altitudes potencialmente más propensas dentro de la región a padecer un incendio forestal de grandes dimensiones, en las que se podría incluir y así lo avala la altitud de 512 metros del incendio de Sierra Larga en jumilla de la campaña 2022 con 424,82 hectáreas. Esta información, unida a la anterior, tendría que servir para centrar en determinadas áreas forestales de nuestra región aquellos trabajos silvícolas destinados a la prevención de incendios forestales con este origen natural y que estadísticamente está demostrado que irán en aumento por las condiciones climáticas recurrentes que nos está deportando el cambio climático en el arco mediterráneo en general y en el sureste de la Península Ibérica en particular.

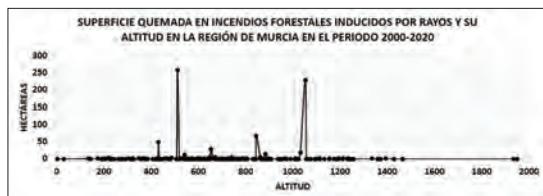


Fig. 10 - Distribución de la superficie quemada de incendios forestales inducidos a rayos y su altitud en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF -Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Fig. 10 - Distribution of the area burnt by lightning-induced wildfires and their altitude in the Region of Murcia over the period 2000-2020 (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).*

#### Patrones de pendiente

La pendiente afecta a la velocidad y dirección de propagación del incendio, que se transmite más rápido cuesta arriba y con pendientes más pronunciadas (Rothermel, 1991). Las pendientes que oscilan entre el 25-50% constituyen los intervalos que más incendios por rayos registran en la Región de Murcia con 88 siniestros, lo que suponen el 38,43% de los mismos, siendo más del doble de los que han acontecido en el periodo de estudio en el intervalo de pendientes del 50-75% (inmediatamente superior), con 41 sucesos y suponiendo el 17,90%; y casi el doble de los que han tenido lugar en el intervalo de pendientes del 12-25%, con 46 siniestros y suponiendo el 20,09% (fig. 11).

Además, hay que decir que el intervalo de pendientes del 25-50% coincide desde el punto de vista geográfico con

las denominadas pendientes reguladas o vertientes de “Richter”, que se caracterizan por poseer un perfil regular y que llevan el nombre del geomorfólogo norteamericano Charles Francis Richter. Son estas las vertientes rectilíneas y claramente inclinadas de 25°-35° (25° = 46,6%), sin rupturas de pendiente (George, 2003), las que facilitan mejor la ignición ocasionada por un rayo desde el punto de vista geomorfológico. La pendiente muestra una relación directa con la superficie quemada, siendo mayor la proporción de área quemada en las zonas con una mayor pendiente. Este dato está relacionado con varios factores, entre los que destacan la ocupación por cultivos de las zonas más planas. En zonas de una gran pendiente comienzan a aparecer los roquedos que dificultan la propagación. Otros estudios muestran resultados similares a los aquí obtenidos para zonas de montaña de la región mediterránea (Lozano et al., 2008).



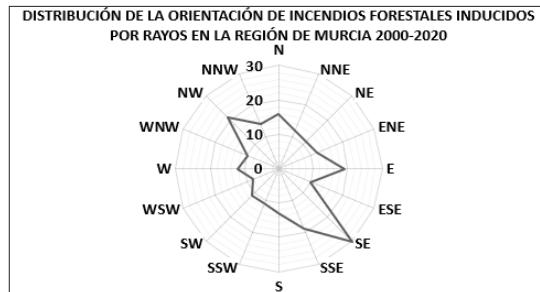
Fig. 11 - Distribución de incendios forestales inducidos a rayos por pendientes en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Fig. 11 - Distribution of lightning-induced wildfires by slopes in the Region of Murcia over the period 2000-2020  
(Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).*

#### Patrones de orientación

El medio mediterráneo se caracteriza por recibir una fuerte insolación, por lo que el efecto de orientación de las laderas tiene una importancia notable compartimentando el espacio en mesoclimas diferenciados en “solanas” y “umbrías”, cuya consecuencia se traduce en una menor disponibilidad hídrica del material vegetal vivo, del material vegetal muerto, así como del suelo y su hojarasca en solana en relación con la umbría (Mesón y Montoya, 1993; González Ochoa et al., 2003), lo que predispone de esta manera a las solanas a una más fácil ignición originada en una descarga eléctrica provocada por una tormenta. Este patrón de orientación se confirma en el análisis de las igniciones por rayos en la Región de Murcia a lo largo del periodo de estudio (fig. 12). La orientación condiciona el estado del combustible, que se seca más rápidamente en las laderas de solana apareciendo combustibles más secos y menos densos que los de la ladera de umbría (Anderson, 1982). La vegetación es un elemento clave para establecer los patrones espaciales

de los incendios forestales. Existen varios factores que determinan su ocurrencia, entre ellos, las características de los combustibles, como son el tipo, carga, humedad e inflamabilidad (Rothermel, 1983), siendo todas estas características en gran medida dependientes de la orientación solana-umbría.



**Fig. 12 - Distribución de la orientación de los incendios forestales inducidos a rayos en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020** (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

**Fig. 12 - Distribution of the orientation of lightning-induced wildfires in the Region of Murcia over the period 2000-2020** (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).

Dentro de los patrones espaciales de distribución de incendios forestales en relación con la orientación a nivel regional, destaca la orientación SE como la que ocupa el mayor número de siniestros con 30, suponiendo el 13,1% del total, seguido de las orientaciones NW con 21, suponiendo el 9,17%, E y SSE con 19 sucesos y significando cada una de ellas el 8,29% de los sucesos. Esta situación es el resultado de la orientación SW-NE de la mayoría de los relieves en la Región de Murcia, como consecuencia de la alineación de la cordillera del Sistema Bético que afecta a nuestro territorio (Conesa, 2007). Esta situación va a determinar que el mayor número de igniciones inducidas a rayos posean la orientación SE-NW (solana-umbría) como resultado en primer lugar de ser las orientaciones preponderantes en nuestra región por la tectónica y en segundo lugar, como resultado del factor exposición S-SE (solana), ya que en estas orientaciones el combustible está mucho más desecado y propenso a la ignición que el resto por la insolación, sobre todo en los meses de verano cuando tienen lugar las tormentas de tipo convectivo con un gran número de descargas eléctricas.

#### Patrones de modelo de combustible

Dentro de la distribución de incendios forestales inducidos a rayos, y siguiendo los patrones de modelos de combustible en el territorio regional (fig. 3), destaca en primer lugar el Modelo 1 de combustible con 81 siniestros, suponiendo el 35,37% del total, formado

por pasto fino seco bajo con valores de carga de 1-2 toneladas por hectárea y suponiendo más del doble de sucesos a lo largo del periodo de estudio que el siguiente modelo de combustible, formado por el Modelo 8, con 40 siniestros y suponiendo el 17,47% del total de ellos, formado por hojarasca bajo bosque denso con carga de 10-12 toneladas de combustible por hectárea. El tercer lugar lo ocupa el Modelo 5, formado por matorral denso bajo, con 5-8 toneladas de combustible por hectárea, y con 34 sucesos, representando el 14,85% del total (fig. 13). Dentro de este tipo de patrón se puede deducir la efectividad que en el proceso de ignición proporciona un pasto fino seco y bajo, como es el Modelo 1 de combustible frente al resto, en concreto con la viabilidad que este tipo de combustible ofrece al impacto de la descarga eléctrica nube-tierra cuando toca suelo y consigue hacer llama (efecto "Yesca").



**Fig.13 - Distribución por modelos de combustible de incendios forestales inducidos a rayos en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020** (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

**Fig. 13 - Distribution by fuel model of lightning-induced forest fires in the Region of Murcia over the period 2000-2020** (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).

#### Patrones de comunidades vegetales

En relación con las comunidades vegetales forestales presentes, algunos autores han encontrado relaciones significativas entre la ocurrencia de incendios forestales y la composición de especies y la densidad total (Minnich y Bahre, 1995). Un aumento en la cantidad de combustible supone un incremento en la inflamabilidad, que repercute en la extensión y severidad del incendio (Broncano y Retana, 2004). La ocurrencia de incendios forestales se ha relacionado con otros parámetros forestales, como la fracción total de cabida de la masa forestal, la proporción de coníferas y no-coníferas, y la no presencia de combustible (Flannigan *et al.*, 2005; Johnson, 1992). Se han realizado estudios en diferentes ecosistemas forestales con la finalidad de determinar el grado de inflamabilidad de las especies que lo conforman, especies arbóreas, arbustivas y herbáceas (Marino *et al.*, 2010), y con una fuente de punto de ignición en diferentes combustibles forestales, especialmente la hojarasca y pastos, tanto en el campo (Blackmarr, 1972; Lin, 1999;

Tanskanen *et al.*, 2006; Beverly y Wotton, 2007) como en estudios de laboratorio (Ferreira, 1987; McAlpine y Wakimoto 1991; Ellis, 2000; Guijarro *et al.*, 2002; Pérez-Gorostiaga *et al.*, 2002; Plucinski, 2003; Satoh *et al.*, 2003; Manzello *et al.*, 2006; Jappiot *et al.*, 2007; Plucinskiy & Anderson 2008). También existen diferentes estudios que han sido llevados a cabo para evaluar la sostenibilidad de la ignición de suelos orgánicos (Frandsen, 1987; Hartford, 1993; Lawson *et al.*, 1997; Frandsen, 1997; Miyanishi y Jonhson, 2002; Otway *et al.*, 2007; Reardon *et al.*, 2007). Una investigación reciente (Curt *et al.*, 2007) evaluó la inflamabilidad de los combustibles en diferentes tipos de vegetación, incluyendo un complejo de combustibles compuesto por pastos, arbustos, etc.

Dentro de las comunidades vegetales forestales presentes en incendios forestales con ignición inducida a rayos en la Región de Murcia destaca la comunidad arbolada formada por *Pinus halepensis*, *Stipa tenacíssima*, *Salvia rosmarinus* y *Thymus sp.*, suponiendo esta comunidad el 21,40% del total de las igniciones acontecidas, y por otro lado, dentro de las comunidades vegetales forestales no arboladas destaca la comunidad vegetal forestal formada por *Stipa tenacíssima*, *Salvia rosmarinus* y *Thymus sp.*, suponiendo la misma el 19,21% del total. Dentro de las dos comunidades vegetales forestales mencionadas anteriormente, es de destacar que sea ligeramente mayor la proporción del número de igniciones por rayos en la comunidad arbolada, frente a la no arbolada, siendo posible la respuesta a este porcentaje ligeramente superior a un pequeño efecto "Receptor" al que pudieran dar lugar los árboles, que a veces salpican los espartizales con pequeñas manchas arboladas aisladas formadas principalmente de pino carrasco (*Pinus halepensis*) que, cargados positivamente, frente a las nubes tormentosas cargadas negativamente, facilitarían este fenómeno que tal vez no ocurre de igual manera en las comunidades vegetales forestales no arboladas. Valga como ejemplo la gran cantidad de pinos (*Pinus halepensis*) impactados y algunos de ellos muy próximos unos a otros la noche del 25/08/2022 en Sierra Larga y Sierra de Sopalmo, en Jumilla, y Sierra del Serral en Yecla, así como el 26/07/2022 en el paraje de Tobarrillas en la Sierra Lacera de Yecla.

#### Patrones de pisos bioclimáticos

En cuanto a los pisos bioclimáticos que existen en la Región de Murcia, definidos como cada uno de los tipos o grupo de medios que se suceden en una zonación altitudinal o latitudinal y delimitados en función de los factores climáticos y de las comunidades vegetales cambiantes, encontramos a mayor altitud al piso bioclimático Oromediterráneo, que es el que aparece en las montañas más elevadas de la Península Ibérica y en la Región de Murcia. Los ecosistemas maduros son ya casi forestales, excepto en las zonas donde existe influencia oceánica. El estrato arbóreo no es muy

denso y está formado fundamentalmente por coníferas. El estrato arbustivo, en cambio, presenta una gran diversidad, estando formado por sabinas, piornos y enebros. El piso bioclimático Supramediterráneo está distribuido por toda la Península Ibérica. Los ecosistemas maduros son forestales, formados por sabinares, encinares, quejigares, hayedos, etc. En la Región de Murcia se encuentran tanto sabinares albares como encinares. El piso bioclimático Mesomediterráneo está ampliamente representado, y encontramos tanto encinares como coscojares. El piso bioclimático Termomediterráneo es el que aparece en zonas costeras, aunque en la Región de Murcia también aparece en áreas alejadas del litoral, con formaciones de lentiscos y espinales murciano-almerienses (Dirección General de Medio Natural-CARM, <https://murcianatural.carm.es>).

Dentro de los patrones de los pisos bioclimáticos de la distribución de incendios forestales inducidos a rayos para la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020, destaca en primer lugar el Piso Mesomediterráneo Cálido, siendo el que mayor número de incendios originados por rayos ha soportado dentro de la región a lo largo del periodo, con un total de 111 incendios suponiendo el 48,47% del total de siniestros, en segundo lugar se encuentra el Piso Mesomediterráneo Frio con 71 incendios suponiendo el 31,00%, en tercer y cuarto lugar se sitúan el Piso Termomediterráneo Superior y el Piso Supramediterráneo, con 17 incendios originados por rayos en cada uno de ellos, suponiendo cada uno el 7,42% del total de siniestros por rayos a lo largo del periodo de estudio. Finalmente, encontramos el Piso Termomediterráneo Inferior con 11 incendios suponiendo el 4,80% de los incidentes y el Piso Oromediterráneo con sólo 2, suponiendo el 0,87% del total (fig. 14).

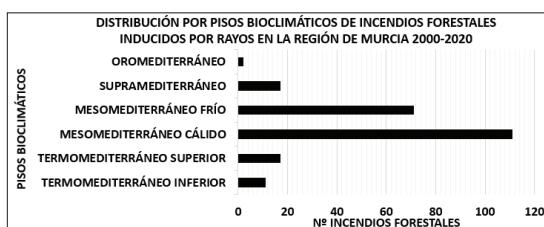


Fig. 14 - Distribución de incendios forestales inducidos a rayos por pisos bioclimáticos en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Fig. 14 - Distribution of lightning-induced wildfires by bioclimatic zones in the Region of Murcia over the period 2000-2020 (Source: Prepared by the authors based on data provided by the UDIF - Forest Fire Defense Unit).*

Es de destacar que, si en valores absolutos es el Piso Mesomediterráneo Cálido el que mayor número de incendios inducidos a rayos posee con 111, existe un significativo valor de densidad de incendios

en el Piso Mesomediterráneo Frío en relación con su menor superficie. Ocurre lo mismo en el piso Supramedaiterráneo, sumando entre ambos 88 incendios, siendo su superficie más reducida que la que poseen el Piso Mesomediterráneo Frío y el Piso Termomediterráneo Superior unidos. Lógicamente, tras esto está la íntima relación que existe en la región entre la altitud y el número de incendios originados por rayos (fig.9).

### Patrones climáticos

En la Región de Murcia también se han estudiado las tendencias de las precipitaciones durante las últimas décadas, así como la posible intensificación de sequías y el impacto de estas sobre el territorio (García Marín y Conesa García, 2006; García Marín y Calvo García-Tornel, 2008; Sánchez Toribio *et al.*, 2010). En estos estudios de ámbito regional se habla de la acentuación e intensificación de los períodos secos en el SE peninsular desde mediados del S. XX. Algunos autores muestran que las rachas secas se manifiestan como uno de los hechos climáticos definidores del ambiente mediterráneo, y su trascendencia es sustancial en el funcionamiento de muchos ecosistemas, al generar fuertes alteraciones en la disponibilidad de agua dentro de un ambiente semiárido, afectando todo esto de manera directa a la disponibilidad de humedad de las masas forestales en la región y a su predisposición a la ignición por causa natural o antrópica (García Marín y Calvo García-Tornel, 2008). Por otro lado, estudios recientes de la Universidad de Murcia ponen de manifiesto para el territorio regional una tendencia positiva en el número de días de lluvia ≥ 1mm en la mayor parte de los observatorios analizados, siendo significativamente positiva en algunas series del interior, evidenciando posiblemente un aumento en el

número de días en el acontecer tormentas secas en los meses de verano. Por lo tanto, los períodos de sequía se están alargando, confirmando de esta manera una mayor probabilidad de incendio forestal por rayos cuando las tormentas ocurren en el mes de agosto. Algunos autores afirman que las condiciones de sequía y la probabilidad de incendio (forestal natural) siguen una relación de tipo umbral, es decir, [...] existe un nivel de sequía a partir del cual el área afectada aumenta enormemente (Pausas, 2020). La mayor frecuencia de situaciones con déficit hídrico en el suelo hace suponer que la eficiencia de las descargas en producir un incendio forestal será mayor (Nash y Jonson, 1996). La estrecha relación entre condiciones meteorológicas y el estado de los combustibles hace que los índices de peligro de incendio al uso, como el índice de peligro meteorológico FWI (Fire Weather Index) (Van Wagner, 1987), estén basados en unas pocas variables meteorológicas: humedad relativa del aire, velocidad del viento, temperatura y precipitación (Vélez, 2009; Viegas *et al.* 2000), así como en el número medio anual de días de tormenta.

Los resultados para cada una de las variables climáticas definitorias de los patrones climáticos y que determinan de cierta manera la viabilidad de las igniciones por rayos en la Región de Murcia han sido los siguientes; los valores medios para la Humedad Relativa Mínima Absoluta (HRMINABS %) fueron del 23,88%, los valores medios para la Temperatura Máxima Absoluta (TMAXABS °C) fueron de 35,8 °C, los valores de Precipitación Media Diaria fueron de 0,29 mm, la Velocidad del Viento Máximo (VVMAX m/s) fueron de 5,43 metros por segundo, que equivalen a 19,55 Km/h, y, finalmente, la Dirección del Viento Medio (DVMED°) fue de 135,64°, que cardinalmente supone un viento de componente SE y de dirección NW (TABLA I).

**TABLA I - Variables climáticas medias más determinantes en la viabilidad de una descarga eléctrica en la quincena más recurrente de cada una de las demarcaciones forestales de la Región de Murcia y media anual a lo largo del periodo 2000-2020.**

**TABLE I - Average climatic variables most decisive in the viability of an electrical discharge in the most recurrent fortnight in each of the forest demarcations of the Region of Murcia and annual average over the period 2000-2020.**

<b>VARIABLES CLIMÁTICAS MEDIAS POR QUINCENA MÁS RECURRENTE INCENDIOS POR RAYOS POR DEMARCACIÓN 2000-2020</b>				
<b>DEMARCACIÓN FORESTAL</b>	<b>QUINCENA-FECHA</b>	<b>ESTAC. METEOR.</b>	<b>HR.MIN.ABS % (Humedad)</b>	<b>T.MAX.ABS °C</b>
Demarcación 1	1ª Quincena agosto	Las Encebras	23,88	35,9
Demarcación 2	2ª Quincena agosto	La Torrecica	28,3	33,5
Demarcación 3	1ª Quinc. junio/1ª Quinc. Agosto	La Paca	26,93-25,76	27,6-32,3
Demarcación 4	2ª Quincena agosto	La Paca	29,93	30,9
Región Murcia MEDIA	agosto	-	26,96	32
IF Los Losares-Cieza	06-08-2015	La Carrichosa	18,38	36,4

<b>VARIABLES CLIMÁTICAS MEDIAS POR QUINCENA MÁS RECURRENTE INCENDIOS POR RAYOS POR DEMARCACIÓN 2000-2020</b>				
<b>DEMARCACIÓN FORESTAL</b>	<b>PREC. MEDIA DIARIA mm</b>	<b>VV.MAX. km/h</b>	<b>DVMED°</b>	<b>COMPONENTE</b>
Demarcación 1	0,29	19,51	135,64°	SE
Demarcación 2	0,92	19,15	119,62°	ESE
Demarcación 3	0,35-0,26	20,88-21,46	133,27°-131,85°	SE-SE
Demarcación 4	0,65	20,27	125,72°	SE
Región Murcia MEDIA	0,49	20,25	129,22°	SE
IF Los Losares-Cieza	0	54	129,15°	SE

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la Red del Sistema de Información Agraria de Murcia (SIAM) y del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA).

*Source: Prepared by the authors based on data obtained by the network of the Murcia Agrarian Information System (SIAM) and by the Murcian Institute of Agricultural and Environmental Research and Development (IMIDA).*

### Patrones de humedad vegetal

En relación con los patrones de humedad vegetal, se trabajó de la siguiente manera; se realizaron cuatro salidas de campo a las ubicaciones geográficas donde son más recurrentes los incendios provocados por rayos para cada una de las demarcaciones forestales para determinar la humedad que posee el material vegetal fino vivo. Se decidió tomar la humedad que poseía el esparto (*Macrochloa tenacissima*) por ser una especie de herbácea que está representada en todas las demarcaciones forestales, además de estar presente como especie vegetal en casi todos los incendios descritos por los agentes medioambientales en los informes. En la TABLA II se detallan los datos de las muestras y el porcentaje de humedad.

La fecha en las que han sido tomadas las cuatro muestras se corresponde con la quincena del año en la que cada demarcación es más recurrente a la ignición por rayos. Cada muestra analizada permite extrapolar información acerca del estado de humedad y su predisposición a generar un incendio por rayo. La hora que se eligió para tomar las muestras fue las 12:45 h, para que no se correspondiera con la primera hora de la mañana ni con la última del día, ni tampoco con la hora de mayor temperatura ambiental. Los porcentajes de posesión de humedad por parte del esparto (*Macrochloa tenacissima*) obtenidos fueron de menor a mayor los siguientes; en primer lugar, con un 7,48% de su peso de humedad la muestra de la Demarcación Forestal I (Noreste), tomada en la Sierra de Sopalmo (Jumilla), siendo esta muestra la que menor proporción en peso de humedad poseía. En segundo lugar, con un 14,06% de su peso de humedad la muestra de la Demarcación Forestal III (Centro), tomada en la Cuerda de la Selva (Mula). En tercer lugar, con un 17,97% de su peso en humedad la muestra de la Demarcación Forestal IV (Sur), tomada en la Sierra del Almirez (Lorca). Finalmente, en cuarto lugar, con un 23,51% de su peso en humedad, la muestra de la Demarcación Forestal II (Noroeste), tomada en la Sierra del Buitre (Caravaca de la Cruz). A grandes rasgos es de destacar la escasa humedad que poseía la muestra de material vegetal vivo fino de la Sierra de Sopalmo, en Jumilla, perteneciente a la Demarcación Forestal I (Noreste) frente al resto de muestras tomadas.

La muestra fue tomada el 08/08/2022, y tras realizar el análisis, acontecieron dos incendios por rayos, uno en Cerro Patoja el 13/08/2022 y otro en Sierra Larga el 27/08/2022, ambos en Jumilla, lo que confirma la escasa humedad que poseen las masas forestales en esta demarcación forestal en el mes de agosto y su predisposición para hacer viable una ignición provocada por una descarga eléctrica resultado de una tormenta.

### Patrones de kiloamperaje

Dentro de los patrones de kiloamperaje se han realizado comparaciones con otras comunidades autónomas vecinas, como Castilla-La Mancha. Según estudios realizados en esta comunidad autónoma, analizando en el periodo 2012-2015 de los 166.379 rayos registrados, el 82% fueron de polaridad negativa, mientras que el 18% fueron de polaridad positiva (Calderón Cortes, 2021). Los porcentajes que se manejan en la Región de Murcia en lo que respecta a rayos positivos y negativos van a ser similares. Si bien es cierta la controversia existente entre algunos expertos respecto de la importancia de la polaridad respecto a la ignición dentro de las masas forestales. En este estudio y para la Región de Murcia, de los 31 incendios forestales declarados y originados por rayos desde el año 2020 hasta el 2022 de los que disponemos de valores de kiloamperaje, 25 de las igniciones en masa forestal fueron provocados por rayos negativos, lo que supone el 80,64% de los mismos, frente a 6 igniciones provocadas por rayos de polaridad positiva suponiendo estas el 19,35% del total (TABLA III).

Por otro lado, el poder localizar y conocer las características espaciales y temporales, así como de kiloamperaje de los rayos que han producido incendio forestal, ha sido posible gracias a la web “nowcastLIGHTNING.DETECTED.LINETview”, y que ha permitido determinar la intensidad media de los rayos que causaron incendio forestal a lo largo del periodo 2020-2022, siendo el kiloamperaje medio de -15,25 kA para los negativos y de 39,6 kA para los positivos. No obstante, como se ha comentado con anterioridad, se discrepa de la importancia de la intensidad en muchos trabajos, asignando una mayor importancia a la posibilidad de generar una corriente de larga duración

**TABLA II - Porcentajes de humedad del material vegetal vivo fino por demarcaciones forestales en la Región de Murcia, durante la quincena del año más recurrente de incendios forestales con ignición inducida a rayos en cada una de ellas.**

**TABLE II - Percentages of humidity of fine living plant material by forest demarcation in the Region of Murcia, during the fortnight of the year with the most recurrent wildfires with lightning-induced ignition in each of them.**

PATRONES DE HUMEDAD DEL MATERIAL VEGETAL VIVO POR DEMARCACIONES FORESTALES										
DEMARC.	MUNICIPIO	SIERRA	X	Y	FECHA	HORA	ESPECIE	PESO HÚMEDO	PESO DESECCADO	% HUMEDAD
I	JUMILLA	S <sup>a</sup> SOPALMO	652563	4199095	08-08-2022	12:45	M. tenacissima	856 grs	792 grs	7,48%
II	CARAVACA	S <sup>a</sup> BUITRE	597412	4220607	22-08-2022	12:45	M. tenacissima	925 grs	708 grs	23,51%
III	MULA	S <sup>a</sup> LA SELVA	615868	4199095	10-08-2022	12:45	M. tenacissima	882 grs	758 grs	14,06%
IV	LORCA	S <sup>a</sup> ALMIREZ	593410	4186802	26-08-2022	12:45	M. tenacissima	907 grs	744 grs	17,97%

Fuente: Elaboración propia a partir de toma de muestras en campo / Source: Prepared by the authors based on field sampling.

**TABLA III - Características de los rayos nube-tierra que han causado ignición y han desencadenado incendio forestal a lo largo del periodo 2020-2022.**

**TABELA III - Characteristics of cloud-to-ground lightning strikes that have caused ignition and triggered wildfires over the period 2020-2022.**

CARACTERÍSTICAS DE LOS RAYOS NUBE-TIERRA QUE HAN CAUSADO IGNICIÓN Y HAN PROVOCADO INCENDIO FORESTAL EN EL PERÍODO 2020 - 2022						
IMPACTO RAYO	TIPO IGNICIÓN	INCENDIO	KILOAMPERIOS	MUNICIPIO	X	Y
28/05/2020-12:49	DIRECTA	28-05-2020	68,8 kA	Mazarrón	647157	4174645
04/06/2020-17:42	DIRECTA	04-06-2020	- 8,0 kA	Ricote	635161	4224468
08/07/2020-23:56	DIRECTA	08-07-2020	- 9,4 kA	Molina de Segura	656880	4235064
09/07/2020-0:01	DIRECTA	09-07-2020	- 8,8 kA	Abanilla	665623	4237369
09-07-2020 00:45	LATENTE	09-07-2020 12:25	- 7,0 kA	Caravaca de la Cruz	585358	4206300
09-07-2020 00:58	LATENTE	09-07-2020 14:17	- 8,7 kA	Caravaca de la Cruz	598243	4221804
09/07/2020-3:04	DIRECTA	09-07-2020	- 19,7 kA	La Union	688089	4161250
14/07/2020-11:24	DIRECTA	14-07-2020	- 32,1 kA	Caravaca de la Cruz	591634	4197179
14/07/2020-12:01	DIRECTA	14-07-2020	- 9,4 kA	Lorca	610896	4191164
14/07/2020-13:04	DIRECTA	14-07-2020	- 5,9 kA	Fortuna	657133	4235416
14/07/2020-14:56	DIRECTA	14-07-2020	- 12,1 kA	Mazarrón	643600	4160698
14-07-2020 17:20	LATENTE	15-07-2020 16:01	6,4 kA	Moratalla - Letur	587610	4236700
14-07-2020 17:01	LATENTE	16-07-2020	25,6 kA	Moratalla	581175	4237928
14/07/2020-19:06	DIRECTA	14-07-2020	99,4 kA	Lorca	613035	4194580
01/08/2020-16:54	DIRECTA	01-08-2020	- 9,1 kA	Alhama de Murcia	630471	4193629
27/11/2020-10:00	DIRECTA	27-11-2020	- 18,9 kA	Cartagena	669474	4161718
03/04/2021-15:22	DIRECTA	03-04-2021	12,3 kA	Lorca	630862	4163180
05-06-2021 19:24	DIRECTA	05-06-2021	- 14,2 kA	Calasparra	614927	4230315
15-08-2021 15:45	DIRECTA	15-08-2021	- 11,6 kA	Lorca	588549	4177192
02-09-2021 10:04	DIRECTA	02-09-2021	- 17,2 kA	Mazarrón	653702	4166959
16-04-2022 18:32	LATENTE	19-04-2022	- 33,5 kA	Jumilla	640409	4263065
02/05/2022-17:14	DIRECTA	02-05-2022	- 7,7 kA	Moratalla	612220	4235656
02/05/2022-17:27	DIRECTA	02-05-2022	- 10,0 kA	Calasparra	620297	4233479
21/06/2022-19:51	DIRECTA	21-06-2022	- 6,0 kA	Jumilla	652587	4270382
13/08/2022-0:31	DIRECTA	13-08-2022	- 25,0 kA	Jumilla	633500	4255777
13/08/2022-18:04	DIRECTA	13-08-2022	- 30,8 kA	Moratalla	590726	4230797
25/08/2022-2:23	DIRECTA	25-08-2022	- 6,4 kA	Jumilla	646697	4247216
25/08/2022-2:25	DIRECTA	25-08-2022	- 12,9 kA	Jumilla	650925	4252599
25/08/2022-2:40	DIRECTA	25-08-2022	- 50,1 kA	Yecla	663671	4260138
26-08-2022 22:09	LATENTE	27-08-2022 13:36	25,1 kA	Jumilla	641708	4247133
15-10-2022 19:40	LATENTE	16-10-2022 17:16	- 6,8 kA	Jumilla	636179	4256604

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la web “nowcastLIGHTNING.DETECTED.LINETview”

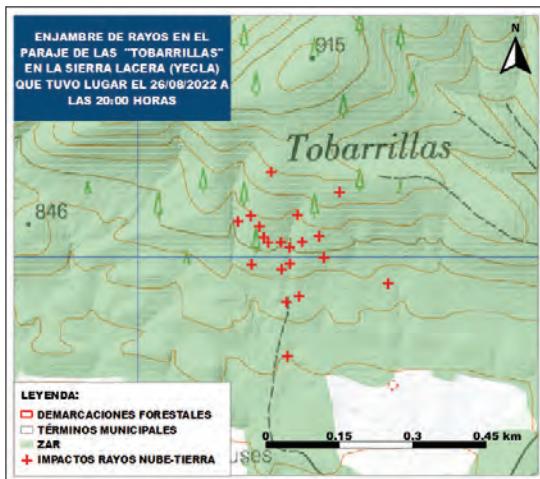
Source: Prepared by the authors based on data obtained from the website “nowcastLIGHTNING.DETECTED.LINETview”.

o una Larga Corriente Continua “LCC” (*Long Continuing Current*) junto con la multiplicidad o un gran número de impactos, además de la polaridad. Esto es debido en parte a que se atribuye que 1 de cada 2 rayos de polaridad positiva cuenta con componente “LCC”, mientras que en el caso de los negativos es de 1 cada 4 (Flannigan & Wotton, 1991). Parece ser, por tanto, que los rayos de polaridad positiva serán el doble de efectivos en su capacidad para generar una ignición en una masa forestal frente a los de polaridad negativa.

También es de destacar que en la Región de Murcia a veces son frecuentes los rayos con multiplicidad de impactos, como los acontecidos en la Sierra del Serral, en Yecla, el 25/08/2022. Asimismo, también se confirma en la Región de Murcia que el porcentaje de rayos con kiloamperaje positivo en valor absoluto capaz de provocar un incendio forestal es superior al valor absoluto de los rayos de kiloamperaje negativo que son capaces de ocasionar un incendio forestal. Estudios anteriores ya encontraron evidencias de que

las causas de las igniciones por rayos son debidas a aquellas descargas eléctricas que poseen una corriente de larga duración o Corriente Continua Larga (LCC) (Fuquay *et al.*, 1967; Fuquay *et al.*, 1972). La duración de la corriente continua en los rayos varía significativamente (Uman, 1987). Sin embargo, hay otros autores que afirman que solamente los rayos que poseen una “LCC” (*Long Continuing Current*) son los únicos rayos que van a ser capaces de ocasionar incendios forestales (Latham y Williams, 2001). A modo de reseña, con relación a los usos del suelo dentro de las masas forestales, es de destacar la predisposición a los impactos de rayos de las zonas con un uso minero por encima de los demás usos (Prieto Sisniega, 2014). En la Región de Murcia esta situación es extrapolable a las canteras de áridos y de piedra ornamental, pues es un hecho que en el periodo de estudio en ellas y en sus inmediaciones existe una mayor predisposición y riesgo a padecer incendios forestales, como así ha ocurrido en algunas ocasiones en los alrededores de la cantera

situada en el Cerro González y en la cantera situada en el paraje de la Ceja del Reloj, en la Solana de la Sierra Sopalmo, municipio de Jumilla, o en las canteras del paraje de El Cano, en la Sierra del Almirez (Lorca).



**Fig. 15 - Los “Enjambres de Rayos” nube-tierra son muy frecuentes, especialmente en sierras con amplias superficies rocosas, con cantiles y peñascos abruptos aislados del resto de relieves, y generalmente desprovistos de vegetación. Ejemplo de “Enjambre de Rayos” en el paraje de Tobarrillas, en la Sierra Lacera, en el municipio de Yecla (Región de Murcia), que tuvo lugar el 26/08/2022 a las 20:00 horas; y en el que impactaron en un solo minuto 20 rayos dentro de una superficie de 6,75 ha (Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la web “nowcastLIGHTNING.DETECTED.LINET view”).**

**Fig. 15 - The “Lightning Swarms” cloud-ground are very frequent, especially in mountain ranges with large rocky surfaces, with cliffs and steep crags isolated from the rest of the landscape, and generally devoid of vegetation. Example of a “Lightning Swarm” in the Tobarrillas area, in the Sierra Lacera, in the municipality of Yecla (Region of Murcia), which took place on 26/08/2022 at 20:00 hours; and in which 20 lightning strikes occurred in a single minute within an area of 6.75 ha (Source:**

*Prepared by the authors based on data obtained from the website “nowcastLIGHTNING.DETECTED.LINET view”.*

También es de destacar que algunas veces con anterioridad a un incendio forestal inducido a una descarga eléctrica nube-tierra existe un suceso previo que hasta ahora no se había tenido en cuenta o se desconocía, fenómeno que acontece más frecuentemente de lo que creímos y que hemos denominado como “Enjambre de Rayos”, tiene lugar cuando una gran tormenta eléctrica atraviesa determinadas zonas formadas por roquedos masivos, que conforman grandes peñascos, peñas con fuerte pendiente, desprovistas de vegetación en zonas de relieve elevado, que sobresalen con gran desnivel del resto del territorio que les circunda y tienen lugar en breve espacio de tiempo una gran multiplicidad de impactos nube-tierra en una reducida superficie forestal. Se define como “Enjambre de Rayos” el impacto de un conjunto de descargas eléctricas ( $\geq 3$ ) dentro de una

superficie de una hectárea en un periodo de tiempo relativamente corto ( $\leq 2$  minutos). La densidad de rayos que impactan en el suelo con relación a la superficie dentro del “Enjambre de Rayos” es aproximadamente de una media de tres descargas eléctricas por hectárea. El periodo de tiempo utilizado para definir su duración es igual o inferior a 2 minutos, aunque se han documentado algunos “Enjambres de Rayos” en el que durante un solo minuto han impactado 20 rayos tipo nube-tierra en una superficie de unas 6,75 hectáreas, como el acontecido en el paraje de Tobarrillas, en la Sierra Lacera (Yecla), el 26/07/2022 a las 20:00 horas (fig.15). Otro ejemplo lo constituye el gran número de descargas que tuvo lugar el 12/08/2022 a las 22:31 horas en Cerro Patoja (Jumilla), 6 impactos en 1,6 hectáreas en un solo minuto desencadenado también un incendio forestal.



**Fot. 4 - Imagen aérea de la superficie calcinada en el incendio forestal de “Sierra Larga”, en Jumilla (Región de Murcia), que comenzó en el paraje de Los Cantaores el 27/08/2022 a las 13:36 horas, por un rayo latente que impactó el día anterior 26/08/2022 a las 22:09 horas, produciendo llamas 15 horas después de alcanzar el suelo forestal (Fuente: UDIF - Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).**

**Photo 4 - Aerial image of the burnt area in the “Sierra Larga” wildfire, in Jumilla (Region of Murcia), which started in the Los Cantaores area on 27/08/2022 at 13:36 hours, due to. It was caused by a latent lightning strike the previous day, 26/08/2022, at 22:09 hours, producing flames 15 hours after reaching the forest floor (Source: UDIF - Forest Fire Defense Unit).**

#### Patrones de edafología

Dentro de los patrones edáficos, destacan en primer lugar el gran número de incendios forestales por rayos que han acontecido dentro del suelo tipo Litosol íntegro, con un total de 69 siniestros, lo que supone el 30,13% de los incendios a lo largo del periodo analizado. Si bien es cierto que este tipo de patrón edáfico es con diferencia el más recurrente en este tipo de igniciones, hay que decir que la proporción sería aún mayor si a ellos uniéramos otros tipos de litosoles, sumando en total unos 139 siniestros, suponiendo en este caso el 60,7% del total. Destacan en segundo lugar los suelos conformados por los litosoles asociados al Xerosol cálcico, con un total de 35 incendios contabilizando el 15,28%, y en tercer lugar encontramos al Xerosol petrocálcico íntegro, con 26 sucesos computando

el 11,35%, siendo este suelo el no asociado a litosoles que más incendios por rayos ha recibido. En cuarto lugar, se encuentra el Regosol calcárico con 21 incidentes suponiendo el 9,17% del total. Los litosoles son los suelos predominantes en los relieves agrestes de la Región de Murcia, donde son más frecuentes los incendios forestales inducidos a rayos, caracterizándose de ser suelos poco profundos y desarrollados aun estando bajo una cubierta vegetal más o menos continua. Con esta información se confirma que, dadas las características de estos tipos de suelos de escasa profundidad, donde predomina el material lítico (roquedo), estos no aportan en un primer momento una excesiva cantidad de combustible (hojarasca o mantillo) a la ignición del rayo cuando este tiene lugar. En este sentido, los primeros momentos se alinean a nuestro favor facilitando y siendo decisivos para alertar y acometer su extinción, pudiéndose evitar en una proporción importante de ellos un gran incendio forestal.

#### *Patrones de litología*

Con relación a los patrones litológicos (fig. 16) es apreciable, en primer lugar, el número de incendios acontecidos dentro de la litología formada por las calizas, con un total de 59 siniestros y suponiendo el 25,76% de los mismos; en segundo lugar, se encuentran las dolomías, con un total de 53 incendios forestales que contabilizan el 23,14%. A mayor distancia encontramos las gravas, con un total de 29 incendios computando el 12,66%, y en cuarto lugar se sitúan los conglomerados con 21 sucesos y suponiendo el 9,17% del total. Sorprende que siendo las margas un material geológico que posee mucha mayor superficie en la Región de Murcia que gravas y conglomerados, acontezcan muchas menos igniciones por rayos, siendo factible que la razón se deba a que al tratarse de una material desde el punto de vista físico-químico y sedimentológico más blando y deleznable que gravas, conglomerados, calizas y dolomías, posea una



Fig. 16 - Distribución de incendios forestales inducidos por rayos por litologías en la Región de Murcia a lo largo del periodo 2000-2020 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la UDIF- Unidad de Defensa contra Incendios Forestales de la Región de Murcia).

*Fig. 16 - Distribution of lightning-induced wildfires by lithology in the Region of Murcia over the period 2000-2020  
(Data source: UDIF - Forest Fire Defense Unit).*

mayor capacidad para absorber y amortiguar la energía que los rayos proporcionan para hacer viable la ignición, su intensidad eléctrica, o la posibilidad de desprendir pequeñas lascas incandescentes del basamento geológico como ocurre en otros materiales litológicos más duros como las cuarcitas. También puede ser debido a que las margas (Miocénicas) ocupan las cubetas terciarias del territorio regional con una menor cota altitudinal y esta sea la causa de que reciban menos impactos nube-tierra, además unido a que son suelos poco desarrollados y de escasa fertilidad, dando lugar a unas masas forestales limitadas en altura y en densidad conformando en definitiva un combustible discontinuo reacio a la viabilidad de una ignición inducida a un rayo. El resto de los incendios por rayos sobre las demás litologías son meramente representativos.

#### Conclusión

Para planificar y organizar la prevención de los incendios forestales de manera eficaz es necesario conocer cuáles son los factores que causan estos eventos. Este estudio presenta un esfuerzo por profundizar en el conocimiento de los factores que originan los incendios forestales por causas naturales en la Región de Murcia. Las conclusiones obtenidas indican que hay que considerar a los rayos como un importante agente de ignición en una gran parte de las áreas forestales de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Por ello, los objetivos de este trabajo han sido el identificar y analizar toda una serie de patrones temporales y espaciales para determinar la casuística de los incendios forestales que tiene su origen en una ignición por rayo nube-tierra. También se ha determinado que la distribución de los incendios forestales originados por rayos no es aleatoria, sino que siguen unos determinados patrones de temporalidad horaria, quincenal y mensual, además de una tendencia al alza a lo largo del periodo, y que cada vez los incendios por rayos serán más grandes en lo que a superficie calcinada se refiere y más numerosos. Con este trabajo de investigación, además, se ha determinado que la distribución de incendios por rayos sigue una serie de patrones espaciales, motivados por la ubicación geográfica, altitud, orientación, pendiente, modelo de combustible, especies vegetales preponderantes, tipo de suelo (edafología), litología, condiciones meteorológicas, patrones bioclimáticos, humedad del material vegetal vivo fino e intensidad eléctrica de los rayos (kiloamperaje), etc. Los incendios forestales originados por rayos se han convertido en un fenómeno a tener muy en cuenta por las autoridades competentes en esta materia, como consecuencia de que las masas forestales han pasado a ser uno de los espacios más sensibles a las influencias del cambio climático antropogénico. El riesgo de simultaneidad de incendios forestales al que dan lugar las descargas eléctricas de las tormentas que ocurren en los meses más secos hacen que este fenómeno con origen natural sea cada vez

más peligroso. En este sentido, toda la información que pueda ser obtenida, identificando patrones temporales y espaciales, debe de ser estudiada y utilizada con el objetivo de mejorar la gestión y la prevención, para evitar en la medida de lo posible que se produzcan grandes incendios forestales, dentro de un clima cambiante que se prevé que podría agravar este tipo de sucesos y conflictos ambientales asociados de una manera más recurrente en las próximas décadas.

### Agradecimientos

El primer autor (Miguel Ángel López Sandoval) ofrece los siguientes agradecimientos: A la memoria de mi padre, a mi hijo Marco, a mi mujer y a toda mi familia, a Ramón García Marín director de mi tesis doctoral, a la empresa ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U., perteneciente al GRUPO HOZONO GLOBAL, donde trabajo, y a todos los componentes de la Unidad de Defensa contra Incendios Forestales (UDIF) de la Región de Murcia; gariteros, brigadistas, técnicos y Agentes Medioambientales, que con el esfuerzo conjunto de todos, conseguimos en la medida de lo posible mitigar los daños que los incendios forestales ocasionan al medio natural de nuestra región.

### Bibliografía

- Anderson, H. E. (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behavior [Grass, shrub, timber, and slash, photographic examples, danger ratings]. *USDA Forest Service general technical report INT-Intermountain Forest and Range Experiment Station (USA)*.
- Beverly, J. L., & Wotton, B. M. (2007). Modelling the probability of sustained flaming: predictive value of fire weather index components compared with observations of site weather and fuel moisture conditions. *International Journal of Wildland Fire*, 16(2), 161-173.
- Blackmarr, W. H. (1972). Moisture content influences ignitability of slash pine litter. *Res. Note SE-173. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station*, 7.
- Broncano, M. J., & Retana, J. (2004). Topography and forest composition affecting the variability in fire severity and post-fire regeneration occurring after a large fire in the Mediterranean basin. *International Journal of Wildland Fire*, 13(2), 209-216.
- Calderón Cortés, D., (2021). Desmontando el rayo en Incendios Forestales. *Revista Incendios y Riesgos Naturales*. Diciembre 2021/Núm. 5.
- Conedera, M., Cesti, G., Pezzatti, G. B., Zumbrunnen, T., & Spinedi, F. (2006). Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem. *Forest Ecology and Management*, 234(1), S68.
- Conesa García, C. (Ed.). (2007). *El medio físico de la Región de Murcia*. Murcia: Editum.
- Cooray, V., (2003). The Lightning Flash. *The Institution of Electrical Engineers*, 574 pp. London.
- Curt, T., Ganteaume, A., Alleaume, S., Borgniet, L., Chandioux, O., Jappiot, M., & Martin, W. (2007, May). Vegetation flammability and ignition potential at road-forest interfaces (southern France). In *Proceedings of the 4th International Wildland Fire Conference* (pp. 14-18).
- Díaz-Avalos, C., Peterson, D. L., Alvarado, E., Ferguson, S. A., & Besag, J. E. (2001). Space time modelling of lightning-caused ignitions in the Blue Mountains, Oregon. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(9), 1579-1593.
- Dissing, D., and D. L. Verbyla, (2003). Spatial patterns of lightning strikes in interior Alaska and their relations to elevation and vegetation. *Can. J. For. Res.*, 33, 770-782.
- Ellis, P. F. (2000). *The aerodynamic and combustion characteristics of eucalypt bark: a firebrand study*.
- Ferreira, M. C., & Ferreira, G. S. (1987). Impacte de fogo nos escolítideos associados com Pinheiro Bravo. *Floresta*, 4, 12-14.
- Flannigan, M. D., & Wotton, B. M. (1991). Lightning-ignited Forest fires in northwestern Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(3), 277-287.
- Flannigan, M. D., Logan, K. A., Amiro, B. D., Skinner, W. R. y Stocks, B. J. (2005): Future Area Burned in Canada. *Climatic Change*, 72, 1, 1-16.
- Frandsen, W. H. (1987). The influence of moisture and mineral soil on the combustion limits of smoldering forest duff. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(12), 1540-1544.
- Frandsen, W. H. (1997). Ignition probability of organic soils. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(9), 1471-1477.
- Fuquay, D. M., Baughman, R. G., Taylor, A. R., & Hawe, R. G. (1967). Characteristics of seven lightning discharges that caused forest fires. *Journal of Geophysical Research*, 72(24), 6371-6373.
- Fuquay, D. M., Taylor, A. R., Hawe, R. G., & Schmid Jr, C. W. (1972). Lightning discharges that caused forest fires. *Journal of Geophysical Research*, 77(12), 2156-2158.
- García Marín, R., & Conesa, C. (2006). Secuencias pluviométricas secas de larga duración en la cuenca del Guadalentín (Murcia-Almería). En: J. M. Cuadrat Prats, M. A. Saz Sánchez, S. M. Vicente Serrano, S. Lanjeri, M. de Luis Arrillaga y J. C. González-Hidalgo (Eds.). *Clima*,

- sociedad y medio ambiente.* Zaragoza: Asociación Española de Climatología, 1-12. URL: <https://repository.aemet.es/handle/20.500.11765/8844>
- García Marín, R., & García-Tornel, F. C. (2008). Frecuencia y evolución de rachas secas en la cuenca del Guadalentín (Sureste de España). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, Vol. 48, 71-89.
- George, P. (2003). Diccionario Akal de geografía (Vol. 5). Ediciones Akal.
- González-Ochoa, A. I., de Las Heras, J., Torres, P., & Sánchez-Gómez, E. (2003). Mycorrhization of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinaster* Aiton seedlings in two commercial nurseries. *Annals of forest science*, 60(1), 43-48.
- Guijarro, M., Hernando, C., Díez, C., Martínez, E., Madrigal, J., Lampin-Cabaret, C., & Fontturbel, M. T. (2002, November). Flammability of some fuel beds common in the South-European ecosystems. In *IV International Conference Forest Fire Research*.
- Hartford, R. A. (1993). Smoldering combustion limits in peat as influenced by moisture mineral content and organic bulk density. Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Papers. 7385. University of Montana. <https://scholarworks.umt.edu/etd/7385>
- Jappiot, M., Curt, T., Lampin, C., Borgniet, L., Vinet, O., Louis, S., & Estève, R. (2007, May). Characteristics and flammability of French Mediterranean dead litter fuels. In *Poster at the International Wildland Fire Conference*, Seville, Spain, 13-17.
- Johnson, E. A. (1992): Fire and vegetation dynamics: studies from the North American boreal forest. Cambridge, United Kingdom. Cambridge University Press.
- Komarek, E. V. (1967, November). The nature of lightning fires. In *Tall Timbers Fire Ecology Conference*, vol. 7, 5-41.
- Latham, D., & Williams, E. (2001). Lightning and forest fires. In *Forest Fires* (pp. 375-418). Academic press.
- Lawson, B. D., Frandsen, W. H., Hawkes, B. C., & Dalrymple, G. N. (1997). Probability of sustained smoldering ignition for some boreal forest duff types. Edmonton, Alberta, Can For Serv. For Manage. Note 63, 11.
- Lericos, T. P., H. E. Fuelberg, A. I. Watson, and R. L. Holle, (2002). Warm season lightning distributions over the Florida peninsula as related to synoptic patterns. *Wea. Forecasting*, 17, 83-99.
- Lin, C. C. (1999). Modeling probability of ignition in Taiwan red pine forests. *臺灣林業科學*, 14(3), 339-344.
- López, R. E., and R. L. Holle, (1986). Diurnal and spatial variability of lightning activity in northeastern Colorado and Central Florida during the summer. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1288-1312.
- Lozano, F. J., Suárez-Seoane, S., Kelly, M., & Luis, E. (2008). A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 708-719.
- Manzello, S. L., Cleary, T. G., Shields, J. R., & Yang, J. C. (2006). On the ignition of fuel beds by firebrands. *Fire and Materials: An International Journal*, 30(1), 77-87.
- Marino, E., Madrigal, J., Guijarro, M., Hernando, C., Díez, C., & Fernández, C. (2010). Flammability descriptors of fine dead fuels resulting from two mechanical treatments in shrubland: a comparative laboratory study. *International Journal of Wildland Fire*, 19(3), 314-324.
- McAlpine, R. S., & Wakimoto, R. H. (1991). The acceleration of fire from point source to equilibrium spread. *Forest Science*, 37(5), 1314-1337.
- Mesón, M., & Montoya, M. (1993). Selvicultura mediterránea. Madrid: Mundiprensa.
- Minnich, R. A., & Bahre, C. J. (1995). Wildland fire and chaparral succession along the California Baja-California boundary. *International Journal of Wildland Fire*, 5(1), 13-24.
- Miyanishi, K., & Johnson, E. A. (2002). Process and patterns of duff consumption in the mixed wood boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(7), 1285-1295.
- Nash, C. H., & Johnson, E. A. (1996). Synoptic climatology of lightning-caused forest fires in subalpine and boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 26(10), 1859-1874.
- Nieto, H., Aguado, I., Chuvieco, E., (2006). Estimation of lightning-caused fires occurrence probability in central Spain. *Proc 5th International conference on forest fire research*. Coimbra, Portugal, Nov 27-30, 15 p.
- Orville, R. E., G. R. Huffines, W. R. Burrows, R. L. Holle, and K. L. Cummins (2002). The North American Lightning Detection Network (NALDN)—First results: 1998-2000. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2098-2109.
- Otway, S. G., Bork, E. W., Anderson, K. R., & Alexander, M. E. (2007). Predicting sustained smouldering combustion in trembling aspen duff in Elk Island National Park, Canada. *International Journal of Wildland Fire*, 16(6), 690-701.
- Pacheco, C. E., Aguado, I., Nieto, H., (2009). Análisis de ocurrencia de incendios forestales causados por rayo en la España peninsular. *Geofocus* 9, 232-249.
- Pausas, J. G. (2020). *Incendios forestales*. Los libros de la Catarata.

- Pérez-Gorostiaga, P., Vega J.A., Fonturbel, M. T., Guijarro, M., Hernando, C., Diez, C., Martínez, E., Lampin, C., Blanc, L., Colin, P. Y., (2002). Capability of ignition of some forest firebrands. In "Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research & Wildland Fire Safety", November 2002, Luso-Coimbra, Portugal.
- Pineda Rüegg, N., Montañá Puig, J., & Van der Velde, O. A. (2012). Characteristics of lightning related to wildfire ignitions in Catalonia. *Atmospheric research*, 135, 380-387.
- Plucinski, M. P. (2003). *The investigation of factors governing ignition and development of fires in heathland vegetation (PhD thesis)*. University of New South Wales.
- Plucinski, M. P., & Anderson, W. R. (2008). Laboratory determination of factors influencing successful point ignition in the litter layer of shrubland vegetation. *International Journal of Wildland Fire*, 17(5), 628-637.
- Podur, J., Martell, D. L., & Csillag, F. (2003). Spatial patterns of lightning-caused forest fires in Ontario, 1976-1998. *Ecological modelling*, 164(1), 1-20.
- Price, C., & Rind, D. (1994a). The impact of a 2x CO<sub>2</sub> climate on lightning-caused fires. *Journal of Climate*, 7 (10), 1484-1494.
- Price, C., & Rind, D. (1994b). Modeling global lightning distributions in a general circulation model. *Monthly Weather Review*, 122 (8), 1930-1939.
- Prieto Sisniega, D. (2014). *Análisis de las descargas eléctricas en el principado de Asturias*. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Oviedo, 54 p.
- Pyne, S. J. (2011). *Fire: a brief history*. University of Washington Press.
- Rambal, S., & Hoff, C. (1998). Mediterranean ecosystems and fire: the threats of global change. In 'Large Forest Fires'. (Ed. JM Moreno) pp. 187-213.
- Reardon, J., Hungerford, R., & Ryan, K. (2007). Factors affecting sustained smouldering in organic soils from pocosin and pond pine woodland wetlands. *International Journal of Wildland Fire*, 16(1), 107-118.
- Rothermel, R. C. (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires (Vol. 143). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Rothermel, R. C. (1991). Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains (Vol. 438). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Sánchez-Toribio, M. I., García-Marín, R., Conesa-García, C., & López-Bermúdez, F. (2010). Evaporative demand and water requirements of the principal crops of the Guadalentín valley (SE Spain) in drought periods. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8, 66-75.
- Satoh, K., Yang, L. Z., & Yang, K. T. (2003). TED-aj03-551. Study of forest fire initiation due to lighted cigarette: measurement and observation of flaming probability of dried leaves. In *Proceedings of the ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference* (Vol. 2003, No. 6, p. 346). 日本機械学会.
- Sturman, A. P., & Tapper, N. J. (1996). The weather and climate of Australia and New Zealand. *Oxford University Press*. USA.
- Tanskanen, H., Granström, A., Venäläinen, A., & Puttonen, P. (2006). Moisture dynamics of moss-dominated surface fuel in relation to the structure of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* stands. *Forest Ecology and Management*, 226(1-3), 189-198.
- Uman, M. A. (1987). The lightning discharge. *Academic*, San Diego, California.
- Van Wagner, C. E. (1987). *Development and structure of the Canadian forest fire weather index system* (Vol. 35), Forestry Technical Report - Canadian Forestry Service.
- Vankat, J. L. (1985). General patterns of lightning ignitions in Sequoia National Park, California. In JE Lotan, BM Kilgore, WC Fischer, and RW Mutch, technical coordinators. *Proceedings of the symposium and workshop on wilderness fire*. USDA General Technical Report INT-182, Ogden, Utah, USA, 408-411.
- Vázquez, A., & Moreno, J. M. (1998). Patterns of lightning-, and people-caused fires in peninsular Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 8(2), 103-115.
- Vélez, R. (2009). *Los índices meteorológicos de peligro. En: La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. Segunda Edición. McGraw-Hill / Interamericana de España, S. A. U. 151-161.
- Viegas, D. X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A., & Sol, B. (1999). Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of wildland fire*, 9(4), 235-246.



**ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS  
A PARTIR DOS MAPEAMENTOS DE FOCOS DE CALOR E DE SUAS ÁREAS MAIS SUSCETÍVEIS\***

179

**ANALYSIS OF FOREST FIRE OCCURRENCES  
BASED ON THE MAPPING OF HEAT SPOTS AND THEIR MOST SUSCEPTIBLE AREAS**

**Paulo Queiroz Trinta**

Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (Brasil)  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente  
**ORCID** 0009-0009-7963-6741 [trinta.defesacivil@gmail.com](mailto:trinta.defesacivil@gmail.com)

**Diego Donato Fonseca**

Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (Brasil)  
**ORCID** 0009-0008-7139-4111 [diegodonato@hotmail.com](mailto:diegodonato@hotmail.com)

**Marco Antonio Basques Sobrinho**

Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (Brasil)  
**ORCID** 0009-0001-3300-9904 [mbasques@gmail.com](mailto:mbasques@gmail.com)

**Leandro de Souza Camargo**

Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (Brasil)  
**ORCID** 0000-0003-2464-8488 [leandrocamargocartografo@gmail.com](mailto:leandrocamargocartografo@gmail.com)

**Luciene Pimentel**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós Graduação em Gestão Urbana (Brasil)  
**ORCID** 0000-0002-6533-9430 [pimentel.luciene@pucpr.br](mailto:pimentel.luciene@pucpr.br)

**RESUMO**

Os incêndios florestais têm se apresentado a cada temporada com maiores complexidades e intensidades, dificultando a gestão desse desastre e aumentando danos e prejuízos. O artigo pretende analisar 1.105 focos de calor confrontados com as respostas às 1.559 ocorrências de incêndios florestais atendidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) entre 2015 e 2022. Notou-se uma relação positiva entre os registros de ocorrências/focos de calor, sendo mais forte no período úmido e mais fraca no período seco. Os resultados sugerem que à medida que aumenta o número de focos de calor, também aumenta o número de ocorrências de incêndios em vegetação. A correlação estatisticamente significativa reflete a intrincada interação de variáveis climáticas, antropogênicas e geoespaciais. Concluiu-se que existe a necessidade de construir um novo mapeamento que seja convergente com as ações de resposta da corporação e a premente demanda por políticas públicas que regulem a utilização do solo de maneira mais consciente, visando a educação preventiva da população para a redução de risco desse desastre.

**Palavras-chave:** Fogo em vegetação, desastre ambiental, redução de risco de desastres.

**ABSTRACT**

Forest fires have been occurring each season with greater complexity and intensity, making the management of this disaster difficult and increasing damage and losses. This article intends to analyse 1,105 hot spots compared with the responses to the 1,559 forest fire incidents attended by the Military Fire Brigade of the State of Rio de Janeiro (CBMERJ) between 2015 and 2022. A positive relationship was noted between the records of occurrences/hot spots, which was stronger in the wet season and weaker in the dry season. The results suggest that as the number of hot spots increases, the number of vegetation fires also increases. The statistically significant correlation reflects the intricate interaction of climatic, anthropogenic, and geospatial variables. It was concluded that there is a need to build a new mapping that is convergent with the corporation's response actions and the pressing demand for public policies that regulate land use in a more conscious way, aiming at preventive education of the population to reduce risk of this disaster.

**Keywords:** Vegetation fire, environmental disaster, disaster risk reduction.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 16-10-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 01-03-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Um incêndio florestal é qualquer fogo sem controle e com poder destrutivo que ocorra na vegetação, sendo iniciado por ações antrópicas ou naturais (erupções vulcânicas e raios), que acabam por acarretar fragmentos de florestas, a perda de biodiversidade, danos materiais, erosão, empobrecimento do solo, assoreamento dos corpos hídricos, piora da qualidade do ar com impactos na saúde respiratória, e até mesmo a óbitos de moradores e brigadistas, sendo esse o maior impacto social (Ramalho et al., 2021; Douglas-Vail et al., 2023).

A importância conceitual deve ser abordada por vários prismas, sendo que suas definições devem utilizar uma análise transdisciplinar para poder caracterizar, mensurar e compreender sua magnitude, sendo necessária uma terminologia que possibilite transferências de conhecimentos comuns às diversas agências operacionais, aos pesquisadores, às comunidades intervenientes e aos legisladores de políticas públicas (Tedim et al., 2018).

Existe a percepção global de que os incêndios florestais estão piorando. Conforme apontam Zhou et al. (2023), em junho de 2023, a fumaça dos incêndios no Canadá atingiram cidades americanas e até a Europa. As ocorrências de ondas de calor têm sido mais frequentes e os períodos de estiagem têm se alongado em várias partes do mundo. Temperaturas mais altas e períodos mais longos de estiagem geram um ambiente mais seco, aumentando a susceptibilidade e a frequência dos incêndios florestais. Isso contribui para a retroalimentação do aquecimento global, já que os incêndios aumentam as emissões de gases, alimentando o aquecimento global e contribuindo para o aumento da frequência dos incêndios (MacCarthy et al., 2022).

O Marco de Ação de Sendai (UNISDR, 2015) descreve medidas para Redução dos Riscos e Desastres envolvendo incêndios florestais. Um componente crítico para a prevenção efetiva dos incêndios é a avaliação de longo prazo dos riscos, baseados em métodos que possam apropiar em termos de localização espacial e temporal a natureza dos riscos dos incêndios. A prevenção de incêndios não é só preferível, como também reduz os custos em relação às medidas de combate e supressão de incêndios.

Entre as medidas de gestão e redução de riscos dos incêndios, sobretudo na prevenção, além da formação e capacitação de brigadas de incêndio, a instalação de torres de observação e a construção de castelos de água, são os mapeamentos que permitem o planejamento e a vigilância mais acurados. Essa informação, através da análise de mapas com bases em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), é extremamente útil na implementação de medidas para a redução dos riscos. Auxiliam também a otimizar os recursos na resposta aos combates a incêndios florestais diminuindo a frequência,

o tempo de combate inicial, facilitam as estratégias e, concomitantemente, reduzem os danos ao homem e ao meio ambiente (Soares Neto et al., 2016).

Possuindo o objetivo comum de correlacionar as ocorrências de incêndios florestais com um mapeamento prévio em área específica do Distrito Federal - Brasil, Tavares et al. (2018), compararam os dados de foco de calor fornecidos pelas diversas agências públicas, que abastecem os principais SIG do país, com informações de pessoas que reportavam os incêndios florestais por aplicativos, fundindo também dados de outras fontes dinâmicas. Tal metodologia pretendeu integrar-se num dado momento com as operações de resposta dos corpos de bombeiros e voluntários que atuam na prevenção e combate no bioma Cerrado, parte central do país. Dessa forma, concluíram que tais informações, organizadas em um algoritmo específico, conseguem complementar e contribuir para a adequada gestão desse desastre.

A importância do mapeamento do comportamento dos incêndios é também descrita por McClure et al. (2023) onde foi possível monitorar em tempo real, além da fumaça, a progressão do incêndio através da área queimada. Dessa forma a detecção precoce pela metodologia do cruzamento de informações de satélites, quando se integra com a rápida resposta, traz informações valiosas ao serem cruzadas com outros dados e validados pela estratégia de supressão da equipe na cena do desastre.

O Bioma Mata Atlântica no Brasil é historicamente o mais impactado e vulnerável ao desmatamento. Nesse Bioma, estão localizadas as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, com altas densidades populacionais, além de outras cidades importantes das Regiões Nordeste e Sul do país. Chama atenção também nessa região os contingentes populacionais de vulneráveis que habitam os territórios periféricos, mais suscetíveis a desastres. Os fragmentos florestais remanescentes desse bioma têm função importante na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e constituem várias áreas de conservação da biodiversidade (Rodrigues et al., 2009).

Os dados estatísticos do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) apontam que, só no ano de 2022, foram recebidos mais de 12.000 chamados de “Fogo em Vegetação”, definição dada para os eventos de incêndios em vegetações diversas no sistema associado à Corporação. O mapeamento de susceptibilidade às ocorrências de foco de calor, dividido em trimestre seco, trimestre úmido e período anual, permite comparar sazonalmente os dados de ocorrência de incêndios, analisando períodos críticos de estiagem e uma previsibilidade dos inícios dos incêndios.

A hipótese testada supõe que os atendimentos aos chamados para incêndios florestais tenham alguma correlação com a localização prevista de focos de calor

descritos pelo mapeamento de susceptibilidade aos incêndios florestais. O objetivo principal do presente artigo é apontar tais relações, validando nuances dos mapas pode-se utilizar como instrumento de planejamento para a Secretaria de Estado de Defesa Civil (SEDEC), que subsidiará com informações as ações de RRD prestadas pelo CBMERJ, especificamente, no combate aos incêndios florestais.

## Materiais e Métodos

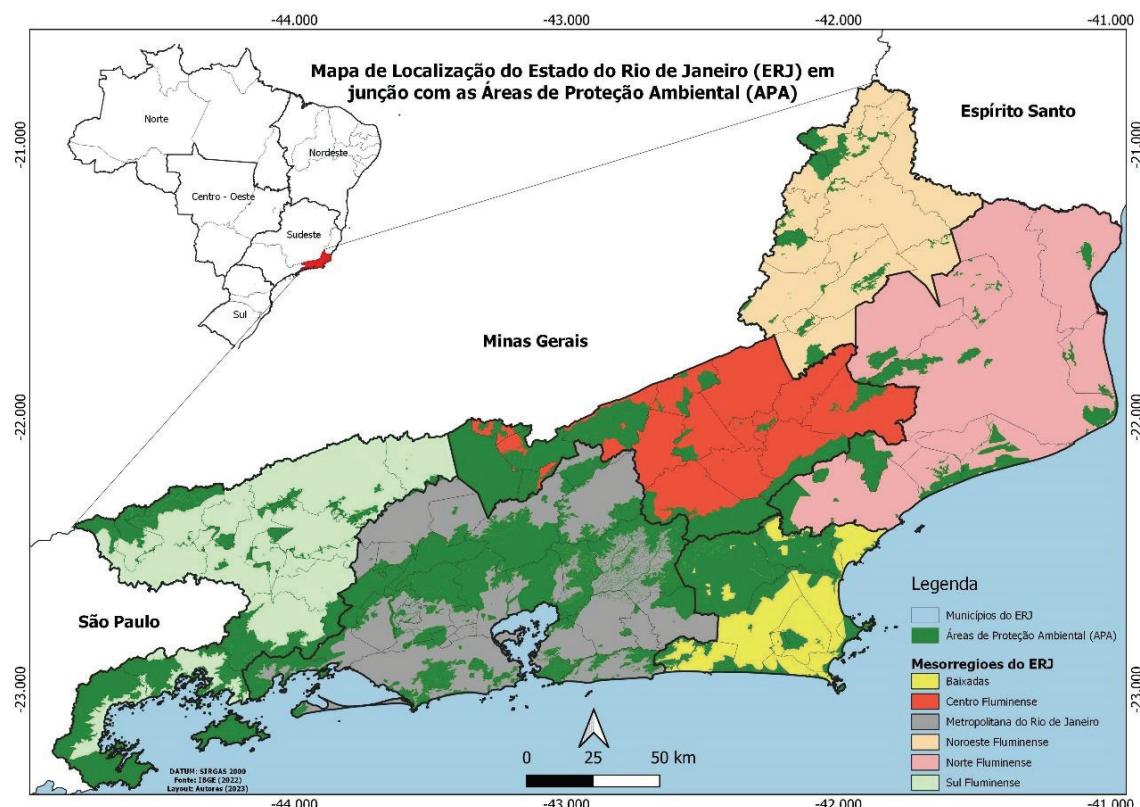
### Caracterização da Unidade Territorial de Estudo

A unidade territorial de estudo está inserida em um dos biomas mais ameaçados do Brasil, o de Mata Atlântica, sobretudo em seus domínios no Estado do Rio de Janeiro (ERJ). O ERJ possui 43.750,425 km<sup>2</sup> de área e 16.054.524 habitantes e densidade demográfica de 366,96 hab/m<sup>2</sup>, segundo o Censo 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Administrativamente, o ERJ é dividido em seis Mesorregiões com 92 municípios: Noroeste Fluminense (NOF), Norte Fluminense (NF), Baixadas Litorâneas (BL), Centro Fluminense (CF), Metropolitana do Rio de Janeiro (MRJ) e Sul Fluminense (SF) (fig. 1).

O Rio de Janeiro possui seu bioma com cerca de 1,3 milhão de hectares de vegetação nativa remanescente de Mata Atlântica, correspondendo a 29,9% do seu território de acordo com os dados da Fundação SOS Mata Atlântica e INPE (2021).

O clima nas diferentes regiões, conforme a classificação de Köppen, varia de tropical no NOF, NF e BL; marítimo úmido no SF; e tropical subtropical/de altitude no MRJ (Alvares *et al.*, 2013). Mudanças no uso e cobertura do solo têm impactado o ERJ, aumentando a vulnerabilidade a eventos meteorológicos extremos, como aumento da temperatura do ar devido a ilhas de calor, chuvas intensas e estiagens prolongadas (Brito *et al.*, 2017; Sobral *et al.*, 2018).

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é um componente fundamental da circulação atmosférica subtropical do hemisfério sul, com grande influência na determinação das condições climáticas na região sudeste do Brasil (Reboita *et al.*, 2010; Reboita *et al.*, 2015). No contexto do Estado do Rio de Janeiro (ERJ), o ASAS afeta aspectos como a distribuição de precipitação, a ocorrência de eventos meteorológicos extremos, a formação de inversões térmicas e a circulação dos ventos locais de baixa intensidade com predominância



**Fig. 1 - Mapa de Localização do Estado do Rio de Janeiro e suas meso regiões administrativas, em junção com as Áreas de Proteção Ambiental.**

**Fig. 1 - Location Map of the State of Rio de Janeiro and its administrative meso- administrative regions, in conjunction with the Environmental Protection Areas.**

nas direções norte e nordeste que afetam especialmente o nordeste do estado (FIDERJ, 1978).

A formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) predomina entre os meses de novembro e março (Kousky, 1988; Kodama 1992a, b, 1993). A topografia complexa acidentada e proximidade com a costa e o mar levam a altas variabilidades das precipitações, influenciando a ocorrência de sistemas meteorológicos de mesoescala, como brisas terrestres/marítimas e de vale/montanha, e Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) (Brito *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2021). Localmente, os índices pluviométricos médios anuais são influenciados pela altitude, com maiores valores em áreas elevadas e menores em áreas baixas e costeiras (Silva e Dereczynski, 2014; Sobral *et al.*, 2018). As médias anuais de precipitação variam de 1000 mm a 2300 mm, com regiões como SF e MRJ acima da média estadual, e BL, NOF e NF abaixo da média (Brito *et al.*, 2017; Sobral *et al.*, 2018). A sazonalidade mostra menor precipitação em junho, julho e agosto, e maior nos meses de novembro a março, dependendo da região do estado.

As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) desempenham um papel fundamental na conservação e preservação dos recursos naturais no ERJ devido a sua rica diversidade de ecossistemas e atuação como corredores ecológicos, protegendo ecossistemas vitais, promovendo a conservação da biodiversidade, além de promover a conservação de nascentes e cursos d'água, fornecendo um serviço essencial para a população local (Brito, 2012; Gaudereto *et al.*, 2017). Outro importante aspecto das APAs é a preservação do patrimônio cultural e histórico das localidades, enriquecendo a identidade do ERJ e oferecendo oportunidades para o desenvolvimento de atividades turísticas sustentáveis (Rodrigues e Schumacher., 2020). Com sua gestão adequada, as APAs do ERJ integram a preservação da fauna e flora local e o bem-estar das comunidades locais, tornando-se um legado valioso para as futuras gerações (Limaverde *et al.*, 2005).

O CBMERJ é o órgão de resposta às emergências em todo território do ERJ, funcionando em 2023 com 111 unidades operacionais, atendendo mais de 200 mil eventos até julho do mesmo ano. As estatísticas estão divididas em 13 tipos principais de registros, sendo o Combate a incêndios subdividido em incêndio, fogo em veículo, fogo em via pública e fogo em vegetação (origem dos números de ocorrências), este último com 12.002 registros. A Diretoria Geral de Comando e Controle Operacional (DGCCO) é o Órgão de Direção Setorial, responsável por emanar doutrina de Comando e Controle de Operações, por executar o equilíbrio operacional da corporação dentro do ERJ e gerenciar todos os registros de chamadas para os eventos, que são lançadas pelo software chamado *On Call* e que possibilita

a visualização de todas as ocorrências através do Sistema de Gestão de Ocorrências (SisGeO).

O SisGeO é uma ferramenta de consciência situacional e de apoio à tomada de decisão para órgãos de primeira resposta, possibilitando ainda aos Comandantes, Diretores e Comando Geral o acompanhamento do evento em tempo real, sendo alimentado pelas unidades operacionais, espalhadas pelo Estado.

O Dashboard do SisGeO possibilita uma série de pesquisas ao banco de dados, conforme refinamento através das abas, possibilitando depurar em consultas por: Evento/Ocorrência, Período, Operação, Comando de Bombeiro de Área (CBA), Grupamento, Usuário, Viatura, Município, Tipo, Subtipo, Filtro de Pesquisa (alguma palavra-chave), Logradouro, Com Atendimento Pré-Hospitalar (APH) e Com Serviço de Remoção de Cadáver (SRC).

## Dados Utilizados

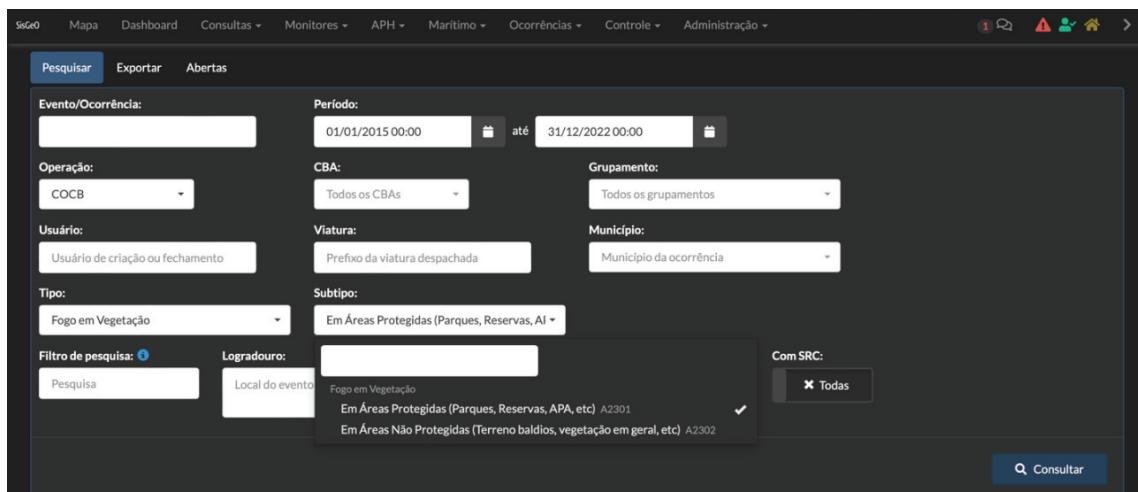
### Fogo em Vegetação

A análise espaço-temporal de registros de ocorrências de “fogo em vegetação” realizadas pelo CBMERJ, entre os anos de 2015 e 2022, foi obtida do SiSGeO. O conjunto de dados sobre as operações de combate a incêndios realizada pelo CBMERJ, registradas no SisGeO, foi extraído através do menu “Consulta”. Na tela principal (Figura 2), especificamente no submenu “Pesquisar”, não teve adição de nenhuma informação, nem no campo de preenchimento “Evento/Ocorrência”. Foram selecionados os registros entre 01/01/2015 e 31/12/2022. No campo de preenchimento de “Operação” foi selecionado “COCB” por se tratar de operações específicas de combate a incêndio, bem como “Todos os CBAs” e “Todos os Grupamentos” com a intenção de ter como espaço amostral toda a cobertura do ERJ.

Os campos de preenchimento (fig. 2) relativos a “Usuário”, “Viatura” e “Município” não foram completados por não apresentarem informações necessárias na coleta de dados. O “Tipo” foi selecionado como “Fogo em Vegetação”, sendo restrito ao “Subtipo” selecionado “Em Áreas Protegidas (Parques, Reservas, APA, etc)”. Foram eliminados registros duplicados, ausentes de coordenadas geográficas, falsos avisos e ocorrências inconsistentes (De Castro e Ferrari, 2017). Os dados foram separados por mês e ano, para representar as ocorrências em diferentes épocas anuais e mensais, conforme operações desempenhadas na região de estudo.

### Focos de Calor

Os dados de focos de calor estão acessíveis no banco de dados BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estes registros foram obtidos por meio

**Fig. 2 - Visualização da tela do SisGeO.****Fig. 2 - View of the SisGeO screen.**

do satélite de órbita polar AQUA M-T, que possui uma resolução espacial de 1 km<sup>2</sup> e proporciona dados diários, normalmente disponíveis no começo da tarde com uso do sensor MODIS, adequado a análise de tendências nos números de focos de calor, uma vez que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) enfatiza que o satélite mencionado deve ser considerado como referência na série temporal adotada. Esta coleta está restrita ao mesmo período temporal dos registros de ocorrência obtidos no SisGeO. Os dados foram organizados por mês e ano, permitindo representar as ocorrências ao longo das diferentes épocas anuais e mensais, de acordo com a passagem do satélite sobre a região de estudo. Registros duplicados foram eliminados com base em uma análise comparativa das coordenadas geográficas e informações temporais, assegurando a integridade e confiabilidade dos dados para análises e tomada de decisões.

#### *Mapas de Susceptibilidade*

As variáveis utilizadas na construção dos mapas foram: a declividade do terreno; a forma da ocupação antrópica no local; a temperatura; a precipitação; a orientação das encostas; a altimetria e o déficit hídrico da localidade. Esses fatores condicionantes, no período de baixo regime de chuvas, potencializam o aparecimento de focos de calor, que por consequência, podem evoluir e tornar-se incêndios florestais, sendo estes limitados mediante a utilização dos dados coletados.

#### *Análises Estatísticas*

As análises descritivas foram conduzidas utilizando o software RStudio e incluíram medidas de tendência central e dispersão, apresentadas em gráficos de caixa

e “medidas resumo” para facilitar a avaliação dos resultados e identificação de diferenças significativas entre os grupos temáticos. Os resultados das “medidas resumo” foram representados com uso de tabelas, cujos valores foram aproximados para números inteiros.

A análise do conjunto de dados sobre focos de calor, referentes as APAs localizadas no bioma Mata Atlântica, foram obtidos do satélite AQUAM-T, e está restrita à mesma série temporal dos registros de ocorrência obtidos no SisGeO, com distinção do tipo de sensor (MODIS) e do tipo de satélite (geoestacionário). Os dados foram separados por mês e ano, para representar as ocorrências em diferentes épocas anuais e mensais, conforme passagem do satélite na região de estudo. Foram eliminados os registros repetidos com base em uma análise comparativa das coordenadas geográficas e informações temporais, garantindo assim a integridade e confiabilidade dos dados para análise e tomada de decisões.

Foram utilizados três mapas de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor, fornecidos pela SEDEC, que representam o panorama anual, período úmido e seco, classificados em cinco níveis, de muito baixa a muito alta (De Souza Camargo *et al.*, 2022). Esses mapas foram limitados aos contornos das APAs no software Quantum GIS 3.18.1 e os registros de ocorrência do CBMERJ e, junção com os focos de calor disponibilizados pelo INPE foram representados com uso de mapas, agrupados em três categorias: Período Úmido, Período Seco e Anual, representando todos os meses do ano.

O teste de correlação de Spearman foi empregado para verificar a existência de correlação entre os dados, utilizando um nível de significância de 95%, equivalente a um p-valor de 0,05. A opção pelo teste de correlação de Spearman se deu em função da necessidade de comparar medidas quantitativas com variáveis qualitativas ordinais. Essa escolha foi fundamentada no fato de que

o teste de correlação de Pearson requer que as variáveis sejam medidas em escala de intervalo ou razão, bem como atendam aos pressupostos de normalidade e linearidade (Figueiredo e Silva Júnior, 2009), adotando como hipótese nula ( $H_0$ ) a ausência de correlação significativa entre os focos de calor e os registros de ocorrência do CBMERJ, enquanto a hipótese ( $H_a$ ) alternativa sugere que há uma correlação significativa entre essas variáveis.

O teste Qui-Quadrado de independência foi empregado para medir a discrepância entre os registros de ocorrências de fogo em vegetação e as classes de susceptibilidade dos focos de calor, possibilitando testar a hipótese de independência entre as variáveis (Fávero e Belfiore, 2017), gerando três tabelas de frequências observadas e frequências esperadas. Contudo, após a verificação dos pressupostos necessários para a aplicação do teste de Qui-Quadrado, verificou-se a presença de valores inferiores a 5 na tabela da frequência esperada e, neste sentido, optou-se por adotar o teste exato de Fisher (MacDonald e Gardner, 2000; Sharpe, 2015; Kim, 2015). Após a aplicação do teste exato de Fisher, os resultados da validação cruzada entre os mapas de susceptibilidade e os eventos do CBMERJ foram representados em função da frequência absoluta e percentual a fim de verificar qual das categorias concentrou o maior número de ocorrências.

## Resultados

Os resultados deste estudo mostram a variação espaço-temporal dos focos de calor captados pelo sensor MODIS, disponibilizado pelo INPE, e as ocorrências de fogo em vegetação disponibilizados no SisGeO com uso de medidas resumo e gráficos de BoxPlot nos períodos anuais e mensais, além de apresentar suas correlações estatísticas. Ainda como forma de apresentar os resultados, destaca-se a análise das significâncias estatísticas entre as áreas susceptíveis a ocorrência de focos de calor e as ocorrências do CBMERJ.

### *Análise Descritiva dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE*

A análise descritiva dos registros de ocorrência do CBMERJ e dos focos de calor capturados pelo sensor MODIS, a bordo do satélite AQUA e disponibilizado pelo INPE revelou distintas variações nos padrões temporais das ocorrências.

Os períodos de maior e menor atuação do CBMERJ se deram nos anos de 2020 e 2022, respectivamente. No ano de 2020, o Q2 (segundo quartil) apresentou 38 ocorrências, com uma assimetria de 2, um desvio padrão de 54 e um erro padrão de 16. Já em 2022, o Q2 apresentou 5 ocorrências, com uma assimetria de 2, um desvio padrão de 8 e um erro padrão de 2. Além disso, os anos de 2020 e

2022 também apresentaram os máximos de atendimento na faixa de 185 e 27 ocorrências, nesta ordem.

Os períodos de maior e menor registro de focos de calor capturados por sensoriamento remoto ocorreram nos anos de 2015 e 2018, respectivamente. Em 2015, o segundo quartil (Q2) registrou um total de 7 focos de calor, com uma assimetria de 1, um desvio padrão de 13 e um erro padrão de 4. Já em 2020, o Q2 apresentou 3 focos de calor, com uma assimetria de 2, um desvio padrão de 7 e um erro padrão de 2. Além disso, foram observados picos de registros em 2015 na ordem de 42 e 25 focos.

Os gráficos de caixa (Boxplot) ilustram a distribuição anual dos registros de ocorrência do CBMERJ e dos focos de calor capturados pelo INPE ao longo do período analisado (fig. 3).

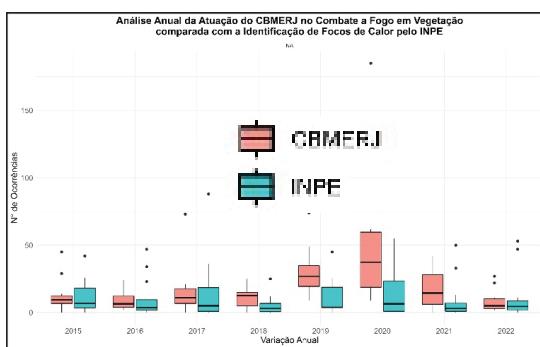


Fig. 3 - Variação Temporal Anual dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE: Gráficos de Caixa.

Fig. 3 - Annual Temporal Variation of CBMERJ Occurrence Records and Hot Spots by INPE: Box Plots.

Os meses de maior e menor registro de ocorrências mensais de fogo em vegetação do CBMERJ foram Julho e Dezembro. Em Julho, o valor da Média das ocorrências foi de 44, com Erro padrão de 21. O segundo quartil (Q2) registrou 26 ocorrências, um desvio padrão em relação a Média de 59 e uma assimetria de 3. Em Dezembro, o valor da Média das ocorrências foi de 10, com Erro padrão de 4. O Q2 apresentou 7 ocorrências, um desvio padrão em relação a Média de 11 e uma assimetria de 1. Além disso, os máximos registros nos meses supracitados foram de 185 e 30 ocorrências.

Os períodos de maior e menor registro de focos de calor capturados por sensoriamento remoto ocorreram nos meses de Setembro e Dezembro, respectivamente. Em Setembro, o valor da Média das ocorrências foi de 40, com Erro padrão de 9. O segundo quartil (Q2) registrou 40 ocorrências, um desvio padrão em relação a Média de 25 e uma assimetria de 1. Em Dezembro, o valor da Média das ocorrências foi de 1, com Erro padrão de 0. O Q2 apresentou 1 ocorrência, um desvio padrão em relação a Média de 1 e uma assimetria de 2. Além disso, os máximos registros nos meses supracitados foram de 88 e 4 ocorrências.

**QUADRO I - Análise Descritiva da Variação Temporal Anual dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE.**

**TABLE I - Descriptive Analysis of the Annual Temporal Variation of CBMERJ Occurrence Records and Hot Spots by INPE.**

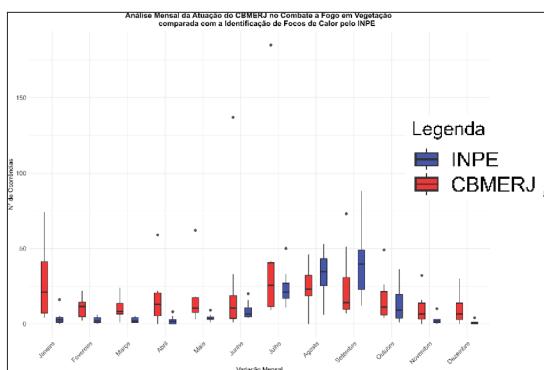
185

Os gráficos (de caixa Boxplot) ilustrando a distribuição mensal dos registros de ocorrência do CBMERJ e dos focos de calor capturados pelo INPE ao longo do período analisado, 2015 a 2022 fig. 4).

É apresentada a seguir uma análise de estatística descritiva dos registros de ocorrência do CBMERJ e dos focos de calor capturados pelo INPE ao longo do período analisado (**QUADRO II**).

## QUADRO II - Análise Descritiva da Variação Temporal Mensal dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE.

TABLE II - Descriptive Analysis of the Monthly Temporal Variation of CBMERJ Occurrence Records and Hot Spots by INPE.



**Fig. 4 - Variação Temporal Mensal dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE: Gráficos de Caixa.**

**Fig. 4 - Monthly Temporal Variation of CBMERJ Occurrence Records and Hot Spots by INPE.**

#### Análise Estatística dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE

Os resultados da aplicação da correlação de Spearman mostraram baixa associação entre os registros de ocorrências de fogo em vegetação e os focos de calor anualmente ( $\rho = 0,46$ );  $p$ -valor =  $(3 \times 10^{-6})$ , no período úmido ( $\rho = 0,3$ );  $p$ -valor =  $(0,03)$  e forte associação no período seco ( $\rho = 0,57$ ),  $p$ -valor =  $(2 \times 10^{-5})$ .

#### Análise Estatística dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e o Mapa de Susceptibilidade a Ocorrências de Focos de Calor para ERJ

Os resultados da aplicação do teste exato Fisher mostraram a associação entre os registros de ocorrências de fogo em vegetação e as classes de susceptibilidade dos focos de calor anualmente ( $p$ -valor =  $0,0005$ ), no período úmido ( $p$ -valor =  $0,02$ ) e no período seco ( $p$ -valor =  $0,02$ ).

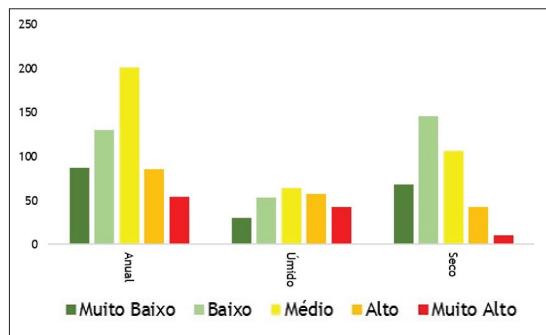
A comparação entre as categorias de susceptibilidade no panorama anual e as Ocorrências atendidas pelo CBMERJ demonstra prevalência da categoria de susceptibilidade média (201), equivalente a 36% dos registros, seguida pelas categorias Baixo (130), Muito Baixo (87), Alto (85) e Muito Alto (54), conforme QUADRO III (fig. 5).

A comparação entre as categorias de susceptibilidade no período úmido e as Ocorrências atendidas pelo CBMERJ continua a prevalecer a categoria média (64), proporcional a 26% das ocorrências, seguida pelas categorias Alto (57), Baixo (53), Muito Alto (42) e Muito Baixo (30).

A comparação entre as categorias de susceptibilidade no período seco e as Ocorrências atendidas pelo CBMERJ destaca a prevalência da categoria Baixa (146), proporcional a 39% das ocorrências, seguida pelas categorias Média (106), Muito Baixo (68), Alto (42) e Muito Alto (10).

A fig. 5 ilustra a comparação entre a classificação de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor, representada graficamente, e os registros de ocorrência do CBMERJ, também representados de forma gráfica ou por pontos no mapa. A classificação de susceptibilidade baseada em métodos analíticos, variando em função da intensidade e cores, identifica áreas mais propensas ao surgimento focos de calor, enquanto os registros do CBMERJ indicam os locais e períodos em que ocorreram os incêndios de fato.

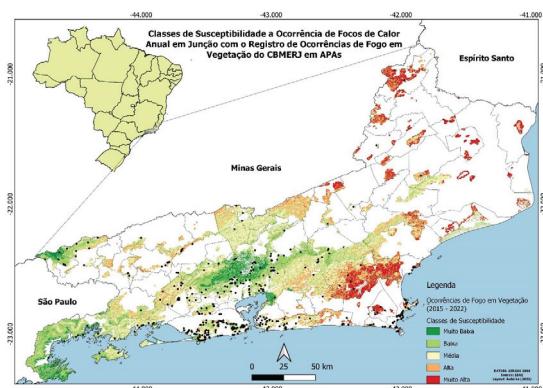
Vê-se (fig. 5) a comparação entre a classificação de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor, representada graficamente, e os registros de ocorrência do CBMERJ, também representados de forma gráfica ou por pontos no mapa (fig. 6). A classificação de susceptibilidade baseada em métodos analíticos identifica áreas mais propensas ao surgimento de focos de calor, enquanto os registros do CBMERJ indicam os locais e períodos em que ocorreram os incêndios de fato.



**Fig. 5 - Comparação entre a Classificação de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de Calor e os Registros de Ocorrência do CBMERJ.**

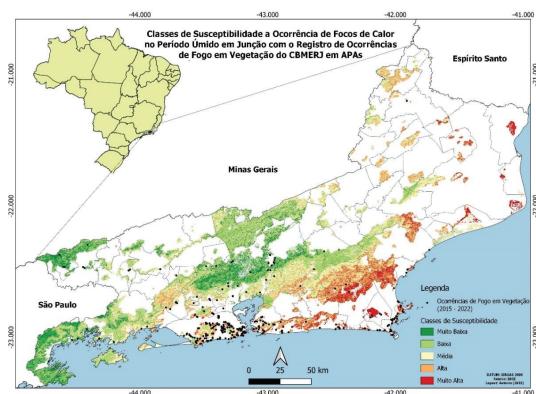
**Fig. 5 - Comparison between the Classification of Susceptibility to the Occurrence of Hot Spots and the CBMERJ Occurrence Records.**

As sobreposições foram apresentadas entre as ocorrências de fogo em vegetação, representadas por pontos, e as áreas de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor no interior das APAs, representadas em mapas que retratam a variação anual (fig. 6), o período úmido (fig. 7) e seco (fig. 8), permitindo a visualização da relação espacial entre os locais onde os incêndios ocorreram efetivamente e as áreas consideradas mais propensas a esses eventos com base na classificação de susceptibilidade.



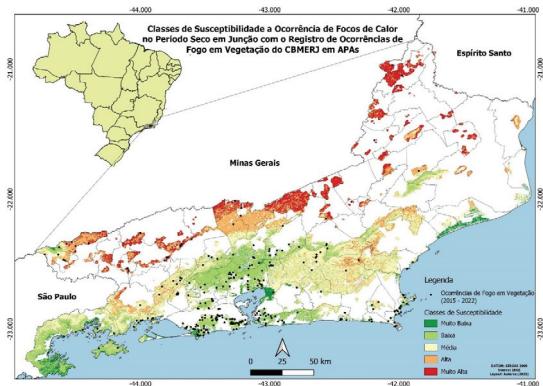
**Fig. 6 - Variação Anual da Sobreposição entre Ocorrências de Fogo em Vegetação e Áreas de Susceptibilidade a Focos de Calor em APAs.**

**Fig. 6 - Annual Variation in Overlap between Fire Occurrences in Vegetation and Areas of Susceptibility to Hot Spots in APAs.**



**Fig. 7 - Variação no Período Úmido da Sobreposição entre Ocorrências de Fogo em Vegetação e Áreas de Susceptibilidade a Focos de Calor em APAs.**

**Fig. 7 - Variation in the Humid Period of Overlap between Fire Occurrences in Vegetation and Areas of Susceptibility to Hot Spots in APAs.**



**Fig. 8 - Variação no Período Seco da Sobreposição entre Ocorrências de Fogo em Vegetação e Áreas de Susceptibilidade a Focos de Calor em APAs.**

**Fig. 8 - Variation in the Dry Period of Overlap between Fire Occurrences in Vegetation and Areas of Susceptibility to Hot Spots in APAs.**

## Discussão

A análise descritiva dos registros de fogo em vegetação nas APAs demonstra que entre os anos de 2015 e 2018 não houve variações significativas no número de ocorrências registradas pelo CBMERJ, com exceção dos valores acima do esperado (outliers) nos anos de 2015 e 2017. Neste sentido, no ano de 2015 o pico de registro de ocorrências de fogo em vegetação em APAs foi convergente com o prolongado período de estiagem no verão que afetou o ERJ em 2014 e 2015, causado pelo deslocamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) para oeste de sua posição climatológica, implicando em anomalias positivas de pressão atmosférica sobre o sudeste do Brasil e anomalias positivas de temperatura da superfície do mar próximas à costa sul-sudeste do país (Rebiota *et al.*, 2015), o que potencializou a ocorrência de incêndios florestais e queimadas em

várias regiões do ERJ (Otto *et al.*, 2015; Rodrigues *et al.*, 2018), convergente com o aumento no número de solicitações ao CBMERJ e com a máxima mediana da série temporal dos focos de calor, uma vez que nos meses de verão, os sistemas meteorológicos exercem influência significativa na precipitação. As Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), destacadas como um dos principais contribuintes para a chuva na área (Barcellos e Quadro, 2019), e os sistemas frontais (Dereczynski *et al.*, 2009) desempenham papéis fundamentais. Além disso, sistemas convectivos isolados (Silva e Dereczynski, 2014) podem interagir entre si (Moura *et al.*, 2013), levando a variações na distribuição espacial e intensidade das chuvas. Essas condições climáticas favorecem a umidade do material combustível na superfície Sausen e Lacruz, (2015), o que contrasta com regiões como o Mediterrâneo, caracterizadas por verões de alta temperatura, longos períodos de estiagem e ventos fortes (Ganteaume *et al.*, 2013). Essa combinação de altas temperaturas e baixa precipitação, como observado na estiagem prolongada em janeiro de 2015, pode contribuir para o aumento de focos de calor na Região Sudeste do Brasil, o que explica a presença do outlier dos focos de calor e o elevado registro de ocorrências de fogo em vegetação no mês de janeiro.

Os anos com maior dispersão dos registros de fogo em vegetação foram 2017 e 2020, sinalizados pelos maiores valores de desvio padrão e valores máximos na ordem de 73 e 185 registros, inferindo maior heterogeneidade nas ocorrências nesses anos. Em contraste, os anos de 2016 e 2018 apresentaram menor variabilidade e maior concentração de ocorrências em torno da média. Destaca-se que nos anos de 2015, 2017, 2019, 2021 e 2022 os valores dos registros estão mais concentrados à esquerda da distribuição, e há uma cauda longa à direita, onde se encontram valores mais extremos, ou seja, há menos ocorrências com valores abaixo da média

(Fávero e Belfiore, 2017), implicando que os registros de fogo em vegetação tendem a se aproximar dos maiores valores das respectivas séries temporais.

Os registros de ocorrências de fogo em vegetação do CBMERJ nas APAs apresentaram variações significativas ao longo dos meses, com destaque para Julho como o período de maior registro e Dezembro como o de menor. Em Julho, o segundo quartil (Q2) apresentou 26 ocorrências, com uma assimetria positiva de 3, desvio padrão de 59 e erro padrão de 21, indicando uma concentração elevada de ocorrências, com maior dispersão em direção a valores mais altos. Em contraste, Dezembro registrou apenas 7 ocorrências no segundo quartil (Q2), com uma assimetria de 1, desvio padrão de 11 e erro padrão de 4, revelando uma redução nas ocorrências e menor dispersão em relação a valores mais altos.

Conforme Ackland e Kilinc (2023) tal fenômeno de estiagem é um fator que levou às piores temporadas de incêndios florestais nos períodos de 2019-20, 2008-09, 2006-07 e 1938-39 em Victoria, Austrália. A variável climatológica é acompanhada com seus padrões de condições análogas com outras temporadas também influenciadas por diversos fenômenos, como por exemplo o El Nino.

A correlação de Spearman, constatou que a relação positiva entre os registros de ocorrências de combate ao fogo em vegetação e os focos de calor foi moderada ao longo do ano, mais fraca no período úmido e mais forte no período seco, confirmando em parte a hipótese levantada (Rumsey, 2019). Esses resultados sugerem que à medida que aumenta o número de focos de calor, também aumenta o número de ocorrências de incêndios em vegetação. Embora essa correlação seja estatisticamente significativa, destaca-se que a análise não estabelece causalidade direta, uma vez que a correlação mede a interdependência entre variáveis e quantifica a relação entre elas, porém não esclarece os motivos desse relacionamento (Patrício, 2016). A análise descritiva também mostrou um aumento das ocorrências de combate ao fogo em vegetação em APAs durante o mês de janeiro, apesar da diminuição do número de ocorrências de focos de calor. Esse aumento sazonal pode estar relacionado a condições meteorológicas locais, como elevadas temperaturas que favorecem a taxa de secagem do material combustível (de Souza Camargo *et al.*, 2020), a mudanças no uso e cobertura do solo, entre os quais: novos limites agrícolas e processos de expansão urbano-florestal, tornando as áreas expostas mais vulneráveis a queimadas e incêndios (Badia *et al.*, 2019) e/ou subestimativa das ocorrências devido ao tempo de revisita do satélite as áreas supracitadas (Souza da Silva *et al.*, 2023). Outro aspecto de destaque é a alta concentração de quartéis do Corpo de Bombeiros em áreas próximas às regiões com maior número de

registros, o que infere na melhor capacidade de resposta na extinção do fogo em vegetação.

Os resultados da análise estatística mostraram uma associação de moderada a baixa entre os registros de ocorrências de fogo em vegetação e as classes de susceptibilidade dos focos de calor em diferentes períodos (anualmente, período úmido e período seco). Os valores da frequência relativa e acumuladas demonstram prevalência da classificação de susceptibilidade média sobre as demais classes em relação às ocorrências do CBMERJ no mapeamento anual e no período úmido. Fatores como a escala de mapeamento, que generaliza classes de uso do solo, mesmo em áreas mais suscetíveis a incêndios florestais, e a interface florestal-urbana, caracterizada pelo adensamento populacional próximo a áreas de proteção ambiental, podem explicar a ocorrência frequente de eventos de fogo em vegetação, mesmo em locais classificados com susceptibilidade média (Chuvieco *et al.*, 2003; Hardy, 2005; Nunes *et al.*, 2023).

O mapa de susceptibilidade a ocorrência de focos de calor no Período Seco apresentou maior prevalência de ocorrências na classificação Baixo o que infere que apesar da redução nos acúmulos de precipitação e o aumento das taxas de evapotranspiração nas Mesorregiões NOF, CF e SF (Anjos, 2014; Silva e Dereczynski, 2014; Sobral *et al.*, 2018) os fatores antrópicos são preponderantes nas ocorrências de fogo em vegetação, até porque, segundo Shi *et al.* (2023) na China, as causas antropogênicas são as maiores causadoras de incêndios, havendo a proibição de qualquer tipo de ignição em localidades susceptíveis e sensíveis aos incêndios em períodos propícios para ocorrência, estabelecendo políticas públicas que inibem tal ação.

## Conclusão

Pode-se constatar que a análise proporciona um entendimento abrangente das dinâmicas das ocorrências de fogo em vegetação em APAs. A estabilidade observada na frequência de focos de calor, alinhada aos padrões climatológicos, enfatiza a influência preponderante de fatores climáticos, notadamente aqueles associados às variações sazonais, na configuração das ocorrências de incêndios. A correlação de Sperman entre os focos de calor e registros de fogo em vegetação reflete a intrincada interação de variáveis climáticas, antropogênicas e geoespaciais, cabendo a sua utilização na gestão dos incêndios florestais, já que apresentou uma relação muito próxima e diretamente proporcional entre número de focos e atendimentos a esse tipo de ocorrência pelo CBMERJ.

Os mapas de susceptibilidade a ocorrências de focos de calor não apresentaram resultados que possam subsidiar com precisão o planejamento de operações e

a identificação de áreas prioritárias para a prevenção e resposta a fogo em vegetação para o CBMERJ. No período úmido, há menos registros de ocorrências e a maioria deles ocorre em áreas de susceptibilidade média, refletindo a interação de fatores climáticos, antropogênicos e geoespaciais. Já no período seco, o estudo demonstrou que as áreas de baixa susceptibilidade são as que possuem um maior registro de ocorrências, denotando a possibilidade de serem as fontes dos focos de origem antropogênica. Essa constatação ressalta a necessidade de construir um novo mapeamento que seja convergente com as ações de resposta da corporação e a premente demanda por políticas públicas que regulem a utilização do solo de maneira mais consciente, que visem a educação preventiva da população e os possíveis desdobramentos nos casos de negligenciamento.

Além disso, percebe-se também a constatação de que áreas classificadas com suscetibilidade moderada também experimentam incidentes frequentes, predominantemente impulsionados por fatores antropogênicos, reforçando a necessidade de incorporar ao mapeamento proposto maior detalhamento dos aspectos sociais e de uso do solo na avaliação de riscos.

É comum que, em operações de maior complexidade, o CBMERJ atue por vários dias consecutivos, com o aumento da percepção das comunidades das ações da corporação e, consequentemente, diminuindo o número de chamadas, visto que a resposta já se encontra acontecendo no cenário do desastre. Isto pode explicar, em muitos casos, o fato do número de focos registrados pelo INPE ser maior que o número de atendimentos do CBMERJ. Neste sentido, outros estudos devem ser desenvolvidos para verificar as variáveis de impactos sociais que desencadeiam o fenômeno supracitado.

A frequência de registros das ocorrências apresenta inicialmente um aumento nos anos iniciais do espaço amostral, corroborando uma tendência mundial de aumento nos registros desse tipo de desastre. Cabe então uma maior investigação dos anos seguintes, visto que apresentaram um pequeno decaimento, divergindo dos registros de outras pesquisas, que afirmam que as alterações climáticas têm se correlacionado com os eventos extremos para este fenômeno.

Assim, a convergência dos achados do estudo com as percepções detalhadas provenientes da análise enfatizam a natureza intrincada dos incêndios florestais e ressalta a demanda por estratégias multidisciplinares e contextualmente conscientes na gestão de incêndios. Através da integração das dimensões climáticas, antropogênicas e geoespaciais, é possível avançar na formulação de abordagens operacionais, políticas e sociais mais eficazes para enfrentar o desafio crescente representado para a redução de risco desse desastre.

## Referência Bibliográfica

- Ackland A., Kılınç M. (2023). Accurately Predicting Fire Season Severity From Analysis of Historic Fire Climatology. *Wildfire*, Q2 2023, 30-34. Disponível em <https://www.iawfonline.org/wildfire-author-guidelines/>
- Almeida, M. (2021). *Análise de eficácia em grupos de baixo risco em ensaios clínicos randomizados (Monografia de graduação)*. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., & de Moraes Gonçalves, J. L. (2013). Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(3), 407-427.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0796-6>
- Anjos, A. W. dos, Delgado, R. C., Lyra, G. B., de Souza, L. P., & Suhett, E. R. (2016). Evapotranspiração a partir de produtos orbitais para o estado do Rio de Janeiro. *Irriga*, 1(01), 126-126.  
DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p126-140>
- Badia, A., Pallares-Barbera, M., Valldeperas, N., & Gisbert, M. (2019). Wildfires in the wildland-urban interface in Catalonia: Vulnerability analysis based on land use and land cover change. *Science of the Total Environment*, 673, 184-196.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.01>
- Barcellos, D. R., & de Quadro, M. F. L. (2019). Classificação de eventos extremos de precipitação quanto sua intensidade, persistência e abrangência na região das ZCAS. *Metodologias e Aprendizado*, 2, 76-81.  
DOI: <https://doi.org/10.21166/metapre.v2i0.1320>
- Brito, F. (2012). *Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas*. Editora da UFSC. Acesso em 19 de julho 2023, <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187610>
- Brito, T. T., Oliveira-Júnior, J. F., Lyra, G. B., Gois, G., & Zeri, M. (2017). Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 129(5), 469-478. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0481>
- Caúla, R. H., Oliveira-Júnior, J. F., Lyra, G. B., Delgado, R. C., & Heilbron Filho, P. F. L. (2015). Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 1497-1508.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4142-z>
- Clemente, S. D. S., Oliveira, J. F. D., & Passos Louzada, M. A. (2017). Focos de calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 32, 669-677.  
DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786324014>

- CPEDEC (2019). Centro de Estudos e Pesquisas em Defesa Civil - Rio de Janeiro, Brasil. *Mapa de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de Calor no Estado do Rio de Janeiro*, 1-61. Disponível em <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/sedec-arquivos/Mapa-de-susceptibilidade--ocorrencia-de-focos-de-calor-no-Estado-do-Rio-de-Janeiro.pdf>
- Chuvieco, E., Allgöwer, B., & Salas, J. (2003). Integration of physical and human factors in fire danger assessment. In *Wildland fire danger estimation and mapping: The role of remote sensing data* (197-218).
- Davis, E. G., & Naghettini, M. C. (2000). *Estudo de chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro* (2nd ed.). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.
- De Castro, L. N., & Ferrari, D. G. (2017). *Introdução à mineração de dados*. Saraiva Educação SA.
- De Souza Camargo, L., Silva, C., Pimentel, L. C. G., et al. (2022). Geotechnologies as decision support strategies for the identification of fire-susceptible areas in Rio de Janeiro State. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 557.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10227-0>
- Dereczynski, C. P., Oliveira, J. S. D., & Machado, C. O. (2009). Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 24(1), 24-38.  
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000100003>
- Erolova, Y., & Tsryapkina, Y. (2023, March). Local Reflections on the Chernobyl Disaster 35 Years Later: Peripheral Narratives from Ukraine, Belarus, Russia, and Bulgaria. *Comparative Southeast European Studies*(1), 12-31.  
DOI: <https://doi.org/10.1515/soeu-2021-0069>
- Fávero, L. P., & Belfiore, P. (2017). *Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®*. Elsevier Brasil.
- FIDERJ - FUNDAÇÃO INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL DO RIO DE Janeiro (1978). *Indicadores Climatológicos do Estado do Rio de Janeiro. Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro*. Acesso em 18 de julho 2023, EM: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=217801&view=detalhes>
- Figueiredo Filho, D. B., & Silva Júnior, J. A. (2009). Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ). *Revista Política Hoje*, 18(1), 115-146.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE. (2021). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020. *Relatório Técnico da Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*,
- 01-73. Disponível em [https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA\\_Atlas-da-Mata-Atlantica\\_2019-2020.pdf](https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA_Atlas-da-Mata-Atlantica_2019-2020.pdf)
- Gaudereto, G. L., Aguiar, A. O., & Gallardo, A. L. C. F. (2017). Plano Municipal da Mata Atlântica de São Paulo: Oficinas Participativas como Parte do Processo de Planejamento. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 6(2), 18-30.
- Hardy, C. C. (2005). Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest ecology and management*, 211(1-2), 73-82.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022). Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>, acesso 5 de julho de 2023
- Kim, H. Y. (2017). Statistical notes for clinical researchers: Chi-squared test and Fisher's exact test. *Restorative dentistry & endodontics*, 42(2), 152-155.
- Kodama, Y. M. (1992). Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 70(4), 813-836.  
DOI: [https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4\\_813](https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813)
- Kodama, Y. M. (1993). Large-scale common features of subtropical convergence zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 71(5), 581-610.  
DOI: [https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4\\_813](https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813)
- Kousky, V. E. (1988). Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 3(1), 217-2
- Lacasta, N. S., & Barata, P. M. (1999, Julho). O Protocolo de Quioto sobre Alterações Climáticas: Análise e Perspectivas. *EUR NATUR Working Paper 1/98*. Disponível em [https://www.ecoreporter.abae.pt/docs/apoio/Protocolo\\_de\\_Quioto.pdf](https://www.ecoreporter.abae.pt/docs/apoio/Protocolo_de_Quioto.pdf)
- Lima, A. O., Lyra, G. B., Abreu, M. C., Oliveira-Júnior, J. F., Zeri, M., & Cunha-Zeri, G. (2021). Extreme rainfall events over Rio de Janeiro State, Brazil: Characterization using probability distribution functions and clustering analysis. *Atmospheric Research*, 247, 105221.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105221>
- Limaverde Filho, A. M., de Aguiar, L. A., de Sá Rego, V. V. B., & Mello, J. F. S. (2005). Preservação dos Mananciais do Rio São Pedro Projeto Interdisciplinar de Educação Ambiental. *Revista Rio de Janeiro*, (16-17), 167.

- MacCarthy J., Tyukavina S., Weisse M., Harriset N., (2022). *New Data Confirms: Forest Fires Are Getting Worse*. World Resources Institute [https://www.wri.org/insights/global-trends-forest-fires?utm\\_source=twitter&utm\\_medium=anidasguptawri&utm\\_campaign=socialmedia&utm\\_term=ceb16bba-7a5b-4664-9c51-ac2a91ca2fff](https://www.wri.org/insights/global-trends-forest-fires?utm_source=twitter&utm_medium=anidasguptawri&utm_campaign=socialmedia&utm_term=ceb16bba-7a5b-4664-9c51-ac2a91ca2fff).
- MacDonald, P. L., & Gardner, R. C. (2000). Type I error rate comparisons of post hoc procedures for 1 j Chi-Square tables. *Educational and psychological measurement*, 60(5), 735-754.
- Nimer, E. (1972). Climatologia da Região Sudeste do Brasil: Introdução à Climatologia Dinâmica - Subsídios à Geografia Regional do Brasil. *Revista Brasileira De Geografia*, 34(1), 3-48.
- Nunes, A. N., Figueiredo, A., Pinto, C., & Lourenço, L. (2023). Assessing Wildfire Hazard in the Wildland-Urban Interfaces (WUIs) of Central Portugal. *Forests*, 14(6), 1106.
- Otto, F. E. L., Coelho, C. A. S., King, A., Perez, E. C. de, Wada, Y., van Oldenborgh, G. J., Haarsma, R., Haustein, K., Uhe, P., van Aalst, M., Aravequia, J. A., Almeida, W., & Cullen, H. (2015). Factors other than climate change, main drivers of 2014/15 water shortage in Southeast Brazil. In S. C. Herring, M. P. Hoerling, J. P. Kossin, T. C. Peterson, & P. A. Stott (Eds.). *Explaining Extreme Events of 2014 from a Climate Perspective* (vol. 96, nº12, pp. S35-S40). American Meteorological Society.  
DOI <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00120.1>
- Patrício, M. (2016). Correlações e causalidade: Breves reflexões numa perspectiva económica. *Revista Jurídica Luso-Brasileira*, 2, 1347-1380.
- Ramalho, A. H. C., de Castro Neder, E., Fiedler, N. C., Moreira, T. R., & Silva, J. P. M. (2021, Janeiro). Geotechnology applied to predict the risk of occurrence of fire in the Atlantic Forest. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(1), 706-720.  
DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0057>
- Reboita, M. S., Gan, M. A., Rocha, R. P. D., & Ambrizzi, T. (2010). Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 25, 185-204.  
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>
- Reboita, M. S., Oliveira, D. D., Freitas, C. D., Oliveira, G. D., & Pereira, R. D. A. (2015). Anomalias dos Padrões Sinóticos da Atmosfera na América do Sul nos Meses de Janeiros de 2014 e 2015. *Revista brasileira de energias renováveis*, 4(4).  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v4i4.44141>
- Rodrigues, C., & Schumacher, L. (2020). Turismo de base comunitária na Área de Proteção Ambiental Guapi-Mirim: uma proposta de guia de campo para a interpretação ambiental. *Caderno Virtual de Turismo*, 20(3).  
DOI: <https://doi.org/10.18472/cvt.20n3.2020.1791>
- Rodrigues, J. A., Libonati, R., de Faria Peres, L., & Setzer, A. (2018). Mapeamento de áreas queimadas em Unidades de Conservação da região serrana do Rio de Janeiro utilizando o satélite Landsat-8 durante a seca de 2014. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(1), 318-327.  
DOI: [https://doi.org/10.11137/2018\\_1\\_318\\_327](https://doi.org/10.11137/2018_1_318_327)
- Rodrigues R. R., Brancalion P. H. S., Isernhagen I. (2009). *Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal* - São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009. 256p.: il. col., 23cm. ISBN 978-85-60840-02-1 Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal da USP
- Rumsey, D. (2019). *How to Interpret Correlation Coefficient R-Dummies*. Dummies. Retrieved On, 13(07), 2019.
- Sausen, T. M., & Lacruz, M. S. P. (2015). *Sensoriamento remoto para desastres* (Cylon Gonçalves da Silva; Doris C. C. K. Kowaltowski; José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene; Rozely Ferreira dos Santos; & Teresa Gallotti Florenzano, Orgs.). Editora Oficina de Textos.
- Sharpe, D. (2015). Chi-Square Test is Statistically Significant: Now What?. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 20(1), 8.
- Shi M., Gao C., Huang X. (2023). Precipitation and Temperature - Climate Change Impacts the Fire Landscape. *Wildfire*, Q2 2023, p. 22-26. Disponível em <https://www.iawfonline.org/wildfire-author-guidelines/>
- Silva, W. L., & Dereczynski, C. P. (2014). Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(2), 123-138.  
DOI: [https://doi.org/10.11137/2014\\_2\\_123\\_138](https://doi.org/10.11137/2014_2_123_138)
- Soares Neto, G. B., Bayma, A. P., de Faria, K. M. S., de Oliviera, E. G., & Menezes, P. H. B. J. (2016). Riscos de Incêndios Florestais no Parque Nacional de Brasília - Brasil. *Territorium*, (23): Riscos, Saúde e Sociedade, ISSN: 0872-8941,, Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança: IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 161 - 170.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_23\\_13](https://doi.org/10.14195/1647-7723_23_13)

- Sobral, B. S., de Oliveira-Júnior, J. F., Alecrim, F., Gois, G., Muniz-Júnior, J. G., de Bodas Terassi, P. M., Pereira-Júnior, E. R., Lyra, G. B., & Zeri, M. (2020). PERSIANN-CDR based characterization and trend analysis of annual rainfall in Rio De Janeiro State, Brazil. *Atmospheric Research*, 238, 104873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104873>
- Sobral, B. S., Oliveira-Júnior, J. F., Gois, G., de Bodas Terassi, P. M., & Muniz-Júnior, J. G. R. (2018). Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira De Climatologia*, 22, 281-308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104873>
- Souza da Silva, S., Fearnside, P. M., Anderson, L., Flores de Melo, A. W., Silva Junior, C. H. L., Brown, F., & Morelli, F. (2023). Análise de focos de calor e área queimada no estado do Acre. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis: INPE, 2979 -2982.
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M. R., Delogu, G. M., Xanthopoulos, G. (2018). Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. *Fire*, 1(9), 1 - 28. Disponível em [www.mdpi.com/journal/fire](http://www.mdpi.com/journal/fire)
- UNISDR. (2015). *Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres*. Disponível em [https://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf).



## CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA E SOCIOECONÓMICA DO CONCELHO DE MONCHIQUE: AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO\*

BIOPHYSICAL AND SOCIO-ECONOMIC CHARACTERIZATION OF THE MUNICIPALITY OF MONCHIQUE: FIRE RISK ASSESSMENT

193  
Carla Rolo Antunes

Universidade do Algarve, MED (Portugal)  
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, do Mar e do Ambiente  
 0000-0002-7446-2537 [cmantunes@ualg.pt](mailto:cmantunes@ualg.pt)

Henrique César Ribeiro

Universidade do Algarve (Portugal)  
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, do Mar e do Ambiente  
 0000-0002-4898-4737 [a62984@ualg.pt](mailto:a62984@ualg.pt)

Maria de Belém Costa Freitas

Universidade do Algarve, MED (Portugal)  
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, do Mar e do Ambiente  
 0000-0001-7645-7099 [mbfreitas@ualg.pt](mailto:mbfreitas@ualg.pt)

Miguel Domingos Teixeira

Universidade do Algarve (Portugal)  
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, do Mar e do Ambiente  
 0000-0002-7180-217X [a65890@ualg.pt](mailto:a65890@ualg.pt)

Maria do Rosário Partidário

Universidade de Lisboa, CiTUA (Portugal)  
Instituto Superior Técnico - Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Ambiente  
 0000-0002-5564-719X [mariapartidario@tecnico.ulisboa.pt](mailto:mariapartidario@tecnico.ulisboa.pt)

### RESUMO

No contexto das alterações climáticas, é essencial criar políticas de ordenamento do território e combate ao risco de incêndio florestal, considerando as características biofísicas e socioeconómicas de territórios vulneráveis. Monchique, no Barlavento Algarvio, ocupa 36.000 ha, e sofreu dois grandes incêndios nos últimos 20 anos. Este estudo avalia a relação entre os incêndios florestais e as especificidades do território, como o uso do solo, declive, exposição de encostas, espécies florestais, etc. O objetivo desta análise é avaliar o poder explicativo dessas variáveis na vulnerabilidade ao risco de incêndio, utilizando como variáveis dependentes o número, origem e extensão da área afetada nos últimos 20 anos. A análise integrativa dessas características combina contextos socioeconómicos e biofísicos. A análise estatística identifica e comprehende as causas dos incêndios no concelho. As conclusões obtidas são relevantes para integrar em novas abordagens políticas no contexto dos incêndios florestais e do combate a este flagelo.

**Palavras-chave:** Aspetos biofísicos, caracterização socioeconómica, risco de incêndio, floresta, Monchique.

### ABSTRACT

In the context of climate change, it is essential to create policies for land-use planning and combating the risk of forest fires, taking the biophysical and socio-economic characteristics of vulnerable territories into account. Monchique, in the western Algarve, occupies 36,000 hectares and has suffered two major fires in the last 20 years. This study assesses the relationship between forest fires and specific characteristics of the territory, such as land use, slope, slope exposure, forest species, etc. The objective of this analysis is to evaluate the explanatory power of these variables in terms of fire risk vulnerability. The number, origin, and extent of the area affected in the last 20 years were used as dependent variables. The integrative analysis of these characteristics combines socio-economic and biophysical contexts to explain fire risk. Statistical analysis identifies and understands the causes of fires in the municipality. The conclusions obtained are relevant for integrating new policy approaches in the context of forest fires and in combating this scourge.

**Keywords:** Biophysical aspects, socio-economic characterization, fire risk, forest, Monchique.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 15-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 05-04-2024. Este artigo é parte integrante da Revista Territorium, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

A ocorrência de incêndios florestais em Portugal não é um fenómeno recente, mas as profundas transformações ocorridas no país desde a década de 70 do século XX, contribuíram para o seu aumento em frequência, dimensão e intensidade (Bento-Gonçalves, 2021). Vários são os fatores que contribuem para este fenómeno, particularmente as características climáticas, topográficas, ocupação e uso do solo (Batista, 2000; Motta, 2008; Torres *et al.*, 2017; Ward *et al.*, 2020). Por exemplo, o abandono de áreas agrícolas conduz a um aumento da vulnerabilidade do espaço rural para com os incêndios, devido ao facto de aumentarem as áreas naturais de vegetação espontânea (matos) e áreas florestais sem gestão (Conedera e Tinner, 2000; Moreira *et al.*, 2001).

Considerando a posição geográfica no contexto da dinâmica atmosférica, Portugal é bastante suscetível a secas, episódios de precipitação intensa, ondas de calor e de frio (Ganho, 2019). Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), Portugal Continental apresenta, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, um clima temperado do tipo C, com o subtipo Cs (clima temperado com Verão seco) e as variedades Csa, Csb e ainda se verifica o tipo B, com o subtipo Bs (clima de estope) e a variedade Bsk. À exceção da pequena área classificada com o tipo B, estas características climáticas são o cenário típico dos países da bacia mediterrânea.

As características climáticas contribuem para os incêndios, nomeadamente, quanto à frequência, dimensão, intensidade, sazonalidade e tipo de incêndio (Dale *et al.*, 2001). Estas características desempenham um papel crucial na quantidade e na inflamabilidade da carga de combustível presente (Nunes *et al.*, 2013), por determinarem o teor de humidade do combustível e a quantidade de biomassa produzida (Loepfe *et al.*, 2011).

De acordo com Lowe (2001) (citado por Nunes *et al.*, 2005), a hora do dia tem uma influência importante nos níveis de humidade relativa, sendo mais alta nas primeiras horas da manhã, devido às temperaturas mais baixas. Conforme o dia avança, a temperatura aumenta e a humidade relativa diminui, atingindo o seu valor mínimo a meio da tarde, quando as temperaturas estão no seu máximo. Neste contexto, é importante observar com periodicidade os níveis de humidade relativa, pois estes apresentam uma forte relação com o teor de humidade dos combustíveis.

Territórios que apresentam grandes altitudes, por norma estão condicionados em vários aspectos devido à presença de declives acentuados. No que diz respeito aos incêndios florestais, o declive parece não ter grande importância para explicar a variação espacial da ocorrência de incêndios (Carmo *et al.*, 2011). No

entanto, vários estudos descrevem o declive como uma característica topográfica que afeta direta e indiretamente a propagação do fogo (Ventura e Vasconcelos, 2006), nomeadamente aumentando a sua velocidade (Rothermel, 1983) e ainda pelo facto de condicionar a utilização do território pelo Homem, o que torna a ocorrência de matos mais frequente nos declives mais acentuados (Carmo, 2009).

Em cada uma das vertentes de uma encosta está a origem de um microclima, que vai determinar o tipo de vegetação predominante desse sítio. A determinação do clima nas encostas é amplamente condicionada pela sua exposição solar, o que faz com que, à partida, as vertentes expostas a sul sejam mais quentes do que as expostas a norte (Carmo, 2009). Considerando a acumulação de humidade durante a noite, às primeiras horas do dia a radiação solar servirá para evaporar essa humidade. O máximo térmico desloca-se com o sol de Sudeste para Sudoeste, devido ao facto de as primeiras horas de radiação solar serem utilizadas para a evaporação de humidade e o aquecimento de massas de ar (Carmo, 2009), ou seja, com o avançar do tempo as temperaturas vão aumentando, verificando-se assim uma maior temperatura nas encostas orientadas a Sudoeste (Abdo *et al.*, 2022). Já as encostas mais frias vão ter valores de humidade maiores e desta forma proporcionam um aumento na produção de biomassa; de acordo com Yang *et al.* (2020), os valores de produção de biomassa em encostas orientadas a norte, podem ser muito superiores aos das encostas viradas para sul.

O uso e ocupação do solo é importante em diversas áreas do conhecimento científico, como geografia, ordenamento do território, agricultura, silvicultura e ecologia, entre outras. O uso adequado do solo é essencial para a preservação da biodiversidade e prestação de serviços ecossistémicos, além de ser um fator determinante para o desenvolvimento económico e social, principalmente em espaços rurais. No que se refere à ocupação e uso do solo em Portugal Continental, verifica-se que têm ocorrido variações importantes, tais como redução de área agrícola e aumento da área florestal. Esta transformação deve-se essencialmente ao êxodo rural, à emigração e à falta de incentivos para a fixação de mão-de-obra na agricultura, sendo que este abandono da área agrícola promove também o aparecimento de vegetação natural (Meneses *et al.*, 2014), como os matos. O uso e ocupação do solo são fatores que podem influenciar a ocorrência e a propagação de incêndios florestais (Tagliarini e Gonçalves, 2016), pois a forma como o solo é ocupado reflete a quantidade e qualidade da biomassa produzida, bem como a densidade e distribuição das espécies, o que influencia o microclima do local, sendo que todos estes fatores podem aumentar ou reduzir o risco de incêndio. De acordo com Pereira *et al.* (2006) de 1990 a 2005 menos de 1/3 da área ardida era floresta, no

entanto, mais de metade correspondia a matos.

As causas dos incêndios podem assim variar significativamente (Nunes *et al.*, 2014), embora Bento-Gonçalves (2021) refira que maioria da origem de ignições ocorre devido à ação antrópica e apenas uma pequena percentagem tem origem natural. De qualquer forma, este é um problema complexo, decorrente do grande número de fatores naturais envolvidos e da influência da presença humana, uma vez que a distribuição de áreas ardidas resulta da sinergia de fatores fisiográficos e outras variáveis, como a topografia, a temperatura, a precipitação e as mudanças socioeconómicas que se refletem no uso e cobertura vegetal do solo (Nunes *et al.*, 2013).

Neste contexto, este artigo pretende debater-se sobre as características fisiográficas e de uso do solo específicas do concelho de Monchique, no Algarve (fig. 1), e estudar a forma como as mesmas se relacionaram com a ocorrência de incêndios, usando dados obtidos ao longo de 20 anos, entre 2001 e 2021.

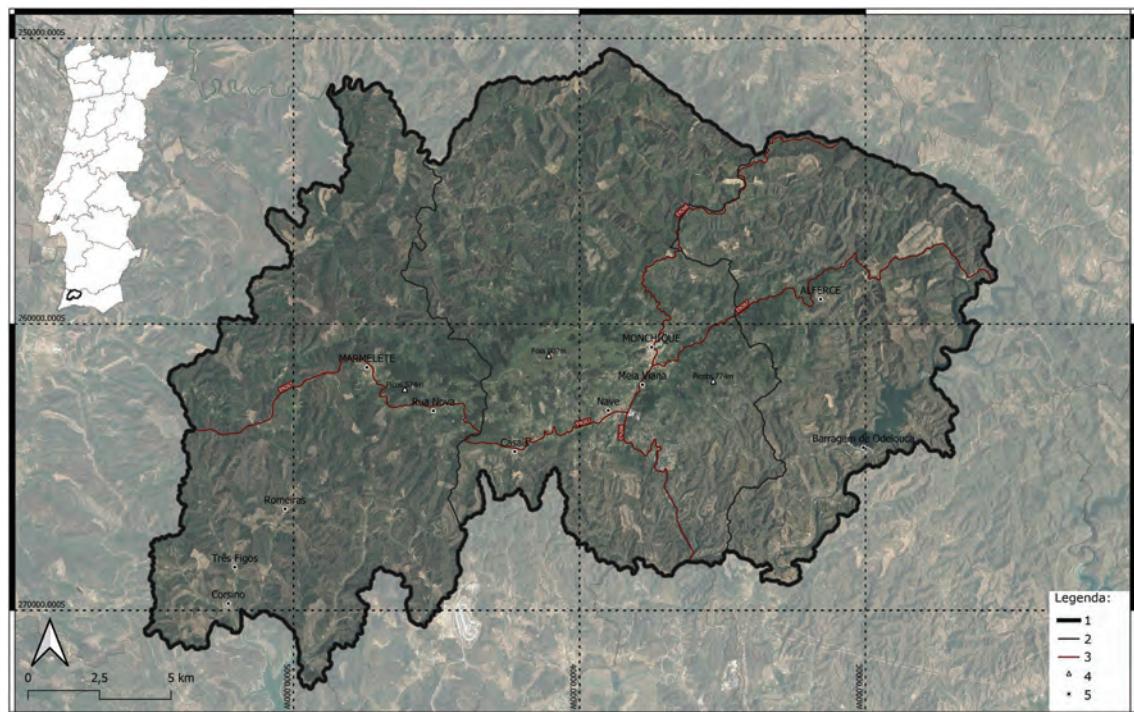
O estudo apresentado neste artigo foi desenvolvido no âmbito do Projeto BRIDGE (“*Bridging science and local communities for wildfire risk reduction*”), resultado de uma parceria entre o Instituto Superior Técnico (IST), o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e

a Universidade do Algarve (UAlg). O projeto tem a duração de 2 anos tendo iniciado em março de 2021, com o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). Com vista a promover uma ligação entre o conhecimento prático de comunidades locais com o conhecimento científico produzido na Academia, o BRIDGE possui uma estratégia centrada na prevenção e mitigação do risco de incêndios florestais no concelho de Monchique. Em virtude disto, a elaboração deste artigo contribui para a identificação de possíveis relações entre as características fisiográficas do território e a ocorrência de incêndios, com o propósito de tornar este território mais resiliente aos fogos.

### Metodologia

O desenvolvimento da investigação foi feito com base nos dados da caracterização fisiográfica da área de estudo previamente elaborada no âmbito do projeto “BRIDGE”, nomeadamente a Carta de Declives, a Carta de Exposição de Encostas e a Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS 2018), disponibilizada pela Direção Geral do Território (DGT).

Diversos estudos relacionam características socioeconómicas, como o envelhecimento da população, com o aumento da vulnerabilidade do território aos incêndios (Mancini *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2020), pelo que a



**Fig. 1 -** Carta de localização da área de estudo: 1) Limite do concelho; 2) Limite das freguesias; 3) Rede rodoviária; 4) Marcos geodésicos; 5) Localidades (Fonte dos dados cartográficos: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, Google Satellite e QGIS 2021).

**Fig. 1 -** Location map of the study area: 1) Boundary of the municipality; 2) Boundary of the parishes; 3) Road network; 4) Geodesic landmarks; 5) Localities (Source of cartographic data: CAOP 2021, National Road Network, Google Satellite and QGIS 2021).

caracterização dos produtores foi também um elemento considerado na caracterização da área de estudo.

A caracterização dos produtores florestais e as respectivas propriedades foi realizada a partir de um instrumento de inquérito por entrevista, na freguesia de Alferce. O instrumento pretende diagnosticar a situação do sistema socioeconómico que suporta a floresta no concelho de Monchique, direcionado ao agregado, que visa entender a relação dos habitantes de Alferce com o lugar, o risco e vulnerabilidade percebida, a experiência a episódios de desastres, se os entrevistados são proprietários florestais e uma caracterização do indivíduo. Foram realizadas cerca de 60 entrevistas, das quais 18 não eram produtores florestais e 2 não sabiam descrever a sua propriedade florestal, totalizando 40 produtores florestais, que representa uma amostra de conveniência.

Para a obtenção da informação foi gerado, através do software QGIS 3.22, um “Digital Elevation Model” (DEM) resultado de imagens de satélite “ASTER V003”, com uma margem de erro da altitude inferior a 17 metros e um grau de confiança de 95%. Desta forma, e no que à Carta de Declives diz respeito, foi criada uma imagem “raster” decorrente da análise dos declives, expressa em seis classes, que tiveram por base a amplitude de declives na área de estudo: <=5%; 5 a 10%; 10 a 15%; 15 a 25%; 25 a 45% e >45%. O mesmo foi realizado para a análise da orientação de encostas (Carta de Exposição de Encostas), que foi expressa em azimutes e classificada relativamente às oito direções cardinais e os seus colaterais, além das zonas planas com múltiplas exposições resultando num total de nove classes, em que os tons de verdes e amarelos representam as exposições frescas e húmidas, os tons de laranja e azul são exposições intermédias e os de vermelhos e roxo são para as exposições quentes e secas.

A Carta de Uso e Ocupação do Solo foi criada através da informação disponibilizada pela DGT, incluindo uma análise de todos os usos, onde foi observado o domínio das classes de Florestas e Matos, 66% e 26% do concelho, respetivamente. Tendo em conta esta informação, foi ainda realizada uma análise mais aprofundada da classe de Florestas.

Após a elaboração das 3 cartas necessárias para a análise foram obtidos os dados das ocorrências de incêndios para o concelho de Monchique entre o período de 2000 a 2020, disponíveis no site do Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF - Registros Individuais de incêndios 2001-2022) que inclui todas as informações obtidas do início do incêndio até o momento da extinção do fogo, contendo a hora de início, duração do incêndio, área total ardida, causa do incêndio e as coordenadas do início de cada incêndio, informação crucial para a análise dos dados.

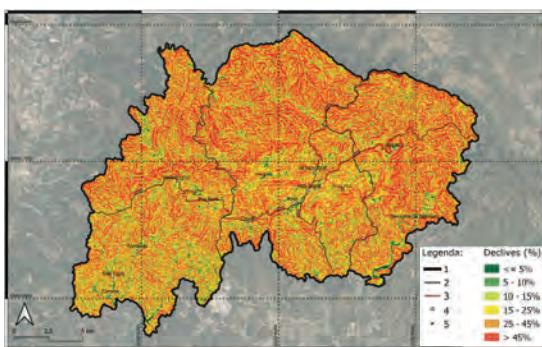
Com o objetivo de perceber se existe alguma relação entre as ocorrências de incêndios e a fisiografia do território, procedeu-se ao cruzamento dos dados recolhidos. Esta integração permitiu sobrepor os locais de início das ocorrências com as bases cartográficas, obtendo informações sobre o declive, a exposição de encostas e a ocupação do solo para cada incêndio. Com esta abordagem visou-se estabelecer potenciais relações entre os dados e identificar padrões ou correlações relevantes.

Todos os dados foram tratados e analisados através do software Excel para perceber se existe influencia dos declives, da orientação de encostas, da duração do incêndio e da altura do ano com a ocorrência de incêndios no concelho de Monchique. Para além da análise principal foram determinadas algumas relações entre as variáveis analisadas de forma a entender ao pormenor a ocorrência de incêndios. As relações analisadas contemplaram a correlação entre a hora de início dos incêndios, o número de ocorrências e área ardida, determinando assim o intervalo do dia em que ocorreram mais incêndios; a relação entre os meses do ano que mais ocorreram incêndios, área ardida e duração; a tipologia de uso do solo que possui o maior número de ocorrências, maior área ardida e maior duração; a relação existente entre as diferentes tipologias de declives e exposição de encostas com o número de ocorrências, área ardida e duração do incêndio.

### Caracterização do território

O concelho de Monchique localiza-se no Sul de Portugal, região algarvia (fig. 1), e é abrangido pelos subtipos de clima Csb e Csa (RTGEO, 2013), encontrando-se parte sob influência de um clima mais ameno, com um verão mais fresco e à medida que se avança para Este, as temperaturas sobem e torna-se mais seco. A precipitação é afetada pela altitude da Serra de Monchique apresentando uma precipitação média anual superior a 1000 mm, que vai decrescendo com a altitude, à medida que progride para os limites do concelho, até apresentar valores na ordem dos 700 mm (RTGEO, 2013). A posição próxima da fachada ocidental e das massas de ar húmidas, quando se deparam com o relevo e altitude, favorecem a ocorrência de precipitação. A temperatura no concelho de Monchique (tal como a precipitação) destaca-se do resto do Algarve, variando a temperatura média entre 16,3°C e 16,8°C (RTGEO, 2013).

O concelho de Monchique além de ser uma região de altitude elevada possui declives acentuados e através da análise da Carta de Declives (fig. 2) foi constatado que mais de 80% do concelho apresenta declives superiores a 15%, sendo esta uma condicionante para o uso do solo. Adicionalmente, cerca de 62% do território apresenta declives superiores a 25%, estando sujeito a erosão e deslizamentos de terra. Finalmente, cerca de 22% do território apresenta declives muito acentuados (>45%),

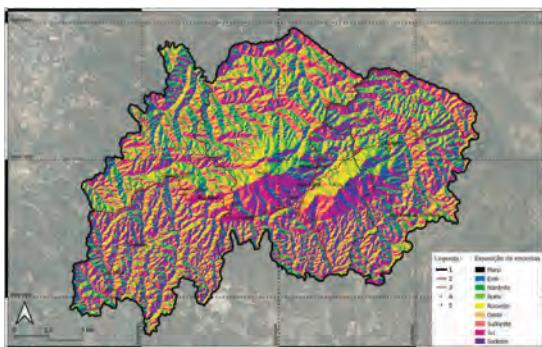


**Fig. 2 - Carta de Declives de Monchique:** 1) Limite do concelho; 2) Limite das freguesias; 3) Rede rodoviária; 4) Marcos geodésicos; 5) Localidades (Fonte dos dados cartográficos: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, ‘NASA EOSDIS Land Processes’, Google Satellite e QGIS 2021).

**Fig. 2 - Map of slopes in Monchique:** 1) Boundary of the municipality; 2) Boundary of the parishes; 3) Road network; 4) Geodesic landmarks; 5) Localities (Source of cartographic data: CAOP 2021, National Road Network, NASA EOSDIS Land Processes, Google Satellite and QGIS 2021).

o que limita a mobilidade pedestre e de outros meios de transporte e, potencialmente, dificulta o combate num contexto de incêndio florestal.

No que diz respeito à exposição de encostas, é possível constatar, de acordo com a análise da Carta de Exposição de Encostas do concelho de Monchique (fig. 3), que a orientação de encostas é bastante semelhante em cada uma das classes, embora seguindo a ordem de grandeza as encostas voltadas a Sul, Sudeste, Sudoeste e Oeste possuam maior expressão no território, com exceção dos picos da Foia e da Picota. Dois dos principais núcleos urbanos do concelho estão localizados em encostas orientadas a sul. A combinação da topografia e dos declives intensifica a ação

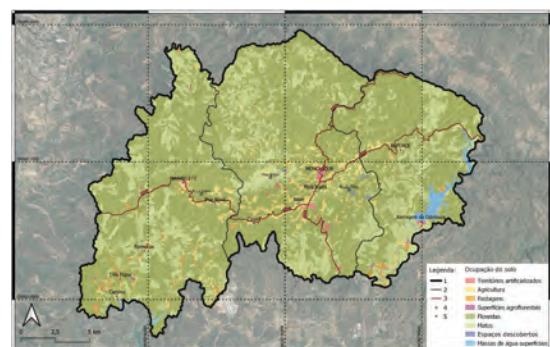


**Fig. 3 - Carta de Exposição de Encostas de Monchique:** 1) Limite do concelho; 2) Limite das freguesias; 3) Rede rodoviária; 4) Marcos geodésicos; 5) Localidades (Fonte dos dados cartográficos: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, ‘NASA EOSDIS Land Processes’, Google Satellite e QGIS 2021).

**Fig. 3 - Slope Exposure Map of Monchique:** 1) Boundary of the municipality; 2) Boundary of the parishes; 3) Road network; 4) Geodesic landmarks; 5) Localities (Source of cartographic data: CAOP 2021, National Road Network, NASA EOSDIS Land Processes, Google Satellite and QGIS 2021).

dos ventos dominantes vindos do Norte e dos ventos quentes vindos do Sul, no que diz respeito ao comportamento das massas de ar, com um deslocamento ascendente dos vales até as zonas de baixa pressão.

Relativamente ao uso e ocupação do solo, a análise da COS 2018 (fig. 4) permitiu constatar que o concelho de Monchique é maioritariamente ocupado por florestas (65,7%) seguido da classe de matos (26,2%). Desta forma estas duas classes de ocupação ocupam cerca de 90% de todo o concelho. A relevância da classe de matos é ainda mais significativa devido à sua associação com o abandono das áreas rurais, o que, por si só, constitui um fator agravante no que se refere à ocorrência de incêndios. A carta de Uso e Ocupação do Solo também permite um diagnóstico mais pormenorizado do



**Fig. 4 - Carta de uso e ocupação do solo de Monchique:** 1) Limite do concelho; 2) Limite das freguesias; 3) Rede rodoviária; 4) Marcos geodésicos; 5) Localidades (Fonte dos dados cartográficos: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, DGT, Google Satellite e QGIS 2021).

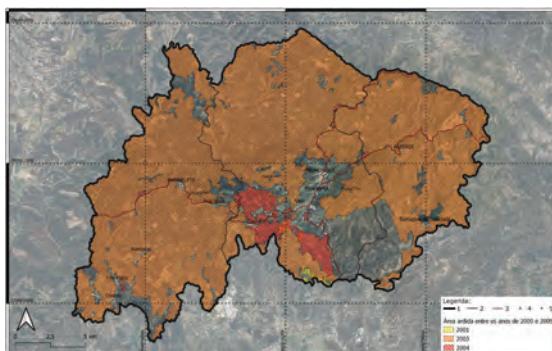
**Fig. 4 - Land use and land cover map of Monchique:** 1) Boundary of the municipality; 2) Boundary of the parishes; 3) Road network; 4) Geodesic landmarks; 5) Localities (Source of map data: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, DGT, Google Satellite and QGIS 2021).

território, nomeadamente da classe de florestas: os dados indicam que 68% das florestas do concelho são de eucaliptos, seguido de folhosas, mais especificamente de sobreiro (*Quercus suber*), com cerca de 26,3%.

De acordo com os dados disponíveis no ICNF ocorreram 439 incêndios, durante o período analisado (2000-2020). Destes incêndios apenas 20 têm representação vetorial, os quais são apresentados por quinquénio (2000-2005, 2011-2015, 2016-2020) nas figuras seguintes (fig. 5, 6 e 7). Entre 2006 e 2010 não existem incêndios vetORIZADOS.

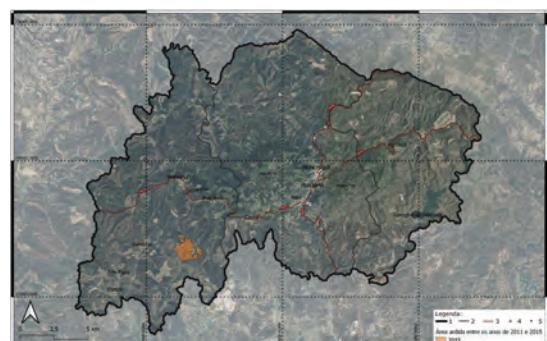
#### Caracterização do produtor florestal

Como previamente mencionado, foi elaborada para a freguesia de Alferce, no âmbito do projeto “BRIDGE”, uma caracterização dos produtores florestais e as respetivas propriedades, com uma amostra de conveniência.



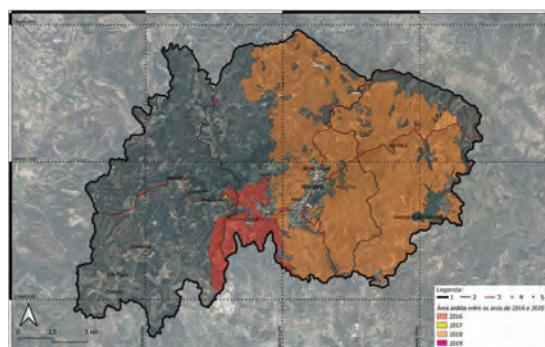
**Fig. 5 - Áreas Ardidas no concelho de Monchique, no período de 2000 a 2005:** 1) Limite do concelho; 2) Limite das freguesias; 3) Rede rodoviária; 4) Marcos geodésicos; 5) Localidades (Fonte dos dados cartográficos: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, DGT, Google Satellite e QGIS 2021).

**Fig. 5 - Burned areas in Monchique municipality, between 2000 and 2005:** 1) Boundary of the municipality; 2) Boundary of the parishes; 3) Road network; 4) Geodesic landmarks; 5) Localities (Source of map data: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, DGT, Google Satellite and QGIS 2021).



**Fig. 6 - Áreas Ardidas no concelho de Monchique, no período de 2011 a 2015:** 1) Limite do concelho; 2) Limite das freguesias; 3) Rede rodoviária; 4) Marcos geodésicos; 5) Localidades (Fonte dos dados cartográficos: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, DGT, Google Satellite e QGIS 2021).

**Fig. 6 - Burned areas in Monchique municipality, between 2011 and 2015:** 1) Boundary of the municipality; 2) Boundary of the parishes; 3) Road network; 4) Geodesic landmarks; 5) Localities (Source of map data: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, DGT, Google Satellite and QGIS 2021).



**Fig. 7 - Áreas Ardidas no concelho de Monchique, no período de 2016 a 2020:** 1) Limite do concelho; 2) Limite das freguesias; 3) Rede rodoviária; 4) Marcos geodésicos; 5) Localidades (Fonte dos dados cartográficos: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, DGT, Google Satellite e QGIS 2021).

**Fig. 7 - Burned areas in Monchique municipality, between 2016 and 2020:** 1) Boundary of the municipality; 2) Boundary of the parishes; 3) Road network; 4) Geodesic landmarks; 5) Localities (Source of map data: CAOP 2021, Rede Rodoviária Nacional, DGT, Google Satellite and QGIS 2021).

Após o tratamento dos dados, verificou-se que a maioria dos produtores (77%) tem seis ou menos propriedades. No entanto, existe uma grande diversidade de tamanhos de propriedades, com 33% tendo mais de 50 hectares. A maioria dos produtores pratica agricultura e tem produção animal, principalmente para consumo próprio. Foi constatado que a principal espécie explorada é o eucalipto (82,5%), na sua maioria em florestas plantadas há mais de 30 anos, sendo o rendimento o principal motivo para a sua plantação (69%). Todos os produtores inquiridos foram afetados por incêndios, com destaque para aqueles afetados nos grandes incêndios de

2003 e 2018 (cerca de 70%), tendo a maioria (78%) a percepção de que os incêndios devastaram a totalidade das suas propriedades. As produções mais afetadas foram cortiça, madeira e medronho. Quase metade dos produtores (47%) optou por replantar os seus terrenos, embora 42% destes tenha decidido plantar espécies não florestais. Apenas 47,4% dos produtores que decidiram replantar afirmou ter recebido algum tipo de apoio. Cerca de 65% dos produtores têm 65 anos ou mais e a mesma percentagem tem um nível de escolaridade que não vai além do 2º ciclo do ensino básico. De acordo com Ferrara et al. (2019), o nível de educação é um dos fatores que está positivamente relacionado com a discriminação dos contextos territoriais com elevada área florestal e alterações na cobertura florestal, as quais estão associadas à severidade de incêndios. As consequências das características descritas antes podem-se observar de certa forma na situação atual do concelho de Monchique: o rendimento foi o principal motivo no que diz respeito às alterações de coberto vegetal para eucaliptais. A floresta de eucalipto, por si só, não aumenta a severidade dos incêndios, o que pode eventualmente aumentar a severidade dos incêndios, são as explorações de eucalipto ao abandono e/ou sem a devida gestão.

Ferrara et al. (2019), indicam que territórios com maiores índices de pobreza rural e desemprego são mais suscetíveis à ocorrência de incêndios de grandes proporções devido a estes fatores influenciarem as propriedades dos incêndios florestais, nomeadamente a frequência, intensidade e severidade. As alterações no uso e ocupação do solo, como é o caso das grandes explorações de eucaliptos, representam outro

exemplo de um fator muito presente no Concelho e que aumenta a sua vulnerabilidade, demonstrando a falta de sensibilidade para com os impactos sociais ou ambientais, que essas transformações possam causar.

## Resultados e Discussão

Após a análise dos dados não foi encontrada nenhuma relação direta entre os Declives, Orientação de Encostas, Duração do Incêndio e Altura do Ano com a ocorrência ou ausência de incêndios. De acordo com os dados disponíveis no ICNF, dos 439 incêndios ocorridos durante o período de 20 anos analisados, totalizando 66.000 ha ardidos, somente três (dois em 2003 e um em 2018) foram responsáveis por 86% do total de área ardida. Dada a heterogeneidade do território abrangido por estes três grandes incêndios, as diferentes classes das características biofísicas consideradas estavam sempre presentes, não havendo uma clara dominância, pelo que não foi possível estabelecer uma relação entre uma característica determinada e o incêndio. Tendo em consideração a situação referida, esses três incêndios foram excluídos das análises que envolviam as áreas ardidas, logo as áreas foram reduzidas para 9.056 ha.

No que diz respeito às causas identificadas, verificou-se que apenas um incêndio (0,2%) teve origem natural, 3% teve origem em reacendimentos, 6,8% foram intencionais, ou seja, tiveram na origem atos criminosos. Aproximadamente 28% dos incêndios foram resultado de negligência, enquanto que a grande maioria, cerca de 61%, teve causa desconhecida (TABELA I), ou seja, o total de incêndios que resultaram de ação antrópica foram cerca de 35,5% (TABELA I). Não é possível determinar se as causas desconhecidas são ou não devidas à presença humana. De acordo com Hernández *et al.* (2019), os incêndios ocorrem no Mediterrâneo essencialmente devido à ação humana - em média, apenas 4% dos incêndios atribuídos a causas desconhecidas resultam de causas naturais, sendo os restantes 96% resultado da ação humana. Hernández *et al.* (2019) referem ainda

TABELA I - Identificação das causas de incêndios florestais em Monchique entre os anos de 2000 e 2020.

*TABLE I - Identification of the causes of forest fires in Monchique between the years 2000 and 2020.*

Tipologia de causas de incêndios	Nº	%
Natural	1	0,2
Reacendimento	13	3,0
Intencional	30	6,8
Negligente	126	28,7
Desconhecida	269	61,3
Total antrópico	156	35,5
Total	439	100,0

Fonte: Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas.  
Source: Institute for Nature Conservation and Forests.

que, em Portugal, apenas 1% dos incêndios tem origem natural, e que 99% é devido à ação antrópica. Esses dados sugerem que o número real de incêndios causados por ação humana pode ser significativamente maior do que o indicado pelas estatísticas conhecidas.

A hora do dia tem uma importante influência nos níveis de humidade relativa do ar: às primeiras horas da manhã, a temperatura é mais baixa e os níveis de humidade são mais altos, o que se inverte com o passar das horas, ou seja, a temperatura vai aumentar e a humidade relativa vai diminuir (Souza *et al.* 2012). Neste sentido, foi realizada uma análise entre o número de ignições e a sua área ardida em relação às horas do dia, tendo-se verificado que durante o intervalo das 12h às 18 h ocorreram cerca de 59% das ignições, responsáveis por 97% da área ardida (fig. 8).

Constatou-se que, durante o período de 20 anos analisado, os meses em que ocorreram mais incêndios foram os de julho e agosto com cerca de 40% do total de ignições (fig. 9) e 62% de toda área ardida, o que se pode relacionar com as condições climáticas, como as altas temperaturas e os períodos de estiagem cada vez mais longos. Os resultados obtidos vão de encontro ao período crítico estipulado no Artigo 2.º da Lei n.º 76/2017, de 17 de agosto (Lei n.º 76/2017, 2017), que de acordo com o Sistema de Defesa da Floresta contra incêndios (SDFCI) vigora de 1 de julho a 30 de setembro (embora este período possa ser alterado, em situações excepcionais).

Vários estudos realizados no Sul da Europa revelam que as ocorrências que têm início nos matos e florestas, resultam em maiores áreas ardidas (Catry *et al.*, 2008, Bajocco e Ricotta, 2008, Pezzatti *et al.*, 2009, Moreira *et al.*, 2010, De Angelis *et al.*, 2012). Pelo contrário, Ganteaume e Jappiot (2013), sobre a ocorrência de incêndios no Sul de França, indicam que as classes de uso e ocupação relativas às florestas não possuem relação com a ocorrência de incêndios. Observa-se a relação entre o uso e ocupação do

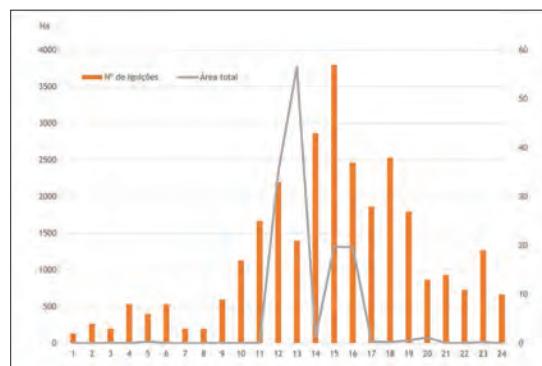
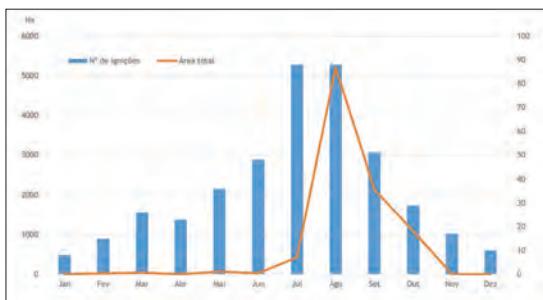


Fig. 8 - Relação entre as horas do dia, ocorrências e a área ardida total.

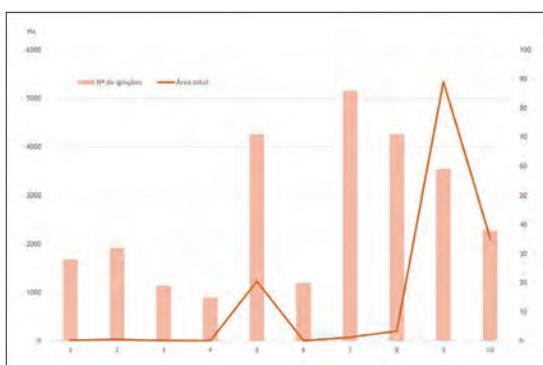
*Fig. 8 - Relationship between hours of the day, occurrences and total burned area.*



**Fig. 9 - Relação entre os meses do ano, ocorrências e a área ardida total.**

**Fig. 9 - Relationship between the months of the year, occurrences, and total burned area.**

solo com o número de ocorrências (fig. 10), com a duração e com a área total ardida. Como se pode verificar, em Monchique as classes com o maior número de ignições são a de florestas de sobreiro com cerca de 20%, as florestas de eucalipto com cerca de 16% e os mosaicos culturais e parcelares complexos, com cerca de 16%.



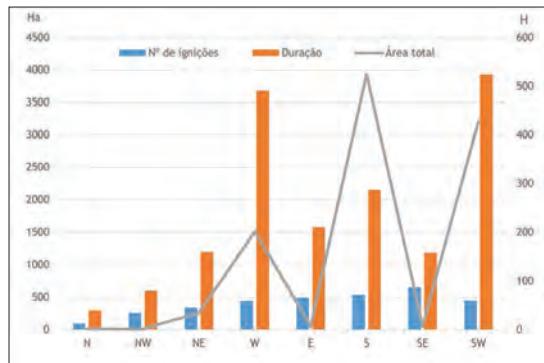
**Fig. 10 - Relação entre usos do solo, ocorrências e a área ardida total:** 1) Tecido edificado contínuo; 2) Tecido edificado descontínuo; 3) Tecido edificado descontínuo esparsos; 4) Culturas temporárias de sequeiro e regadio; 5) Mosaicos culturais e parcelares complexos; 6) Agricultura com espaços naturais e seminaturais; 7) Florestas de sobreiro; 8) Florestas de eucalipto; 9) Matos; 10) Outros.

**Fig. 10 - Relationship between land use, occurrences and total burnt area:** 1) Continuous built environment; 2) Discontinuous built environment; 3) Sparse discontinuous built environment; 4) Dry and irrigated temporary crops; 5) Complex cultural and parcel mosaics; 6) Agriculture with natural and semi-natural spaces; 7) Cork oak forests; 8) Eucalyptus forests; 9) Scrubland; 10) Other.

Adicionalmente, apesar da classe dos matos não ter sido a classe com maior número de ocorrências (cerca de 13%), esta foi a que resultou na maior área total ardida, a qual representa cerca de 60% da área devastada pelas chamas.

A partir da análise do registo de número de ocorrências de acordo com a exposição de encostas, com a duração (em horas totais) das ocorrências e área total ardida

(fig. 11), verificou-se que o maior número de ocorrências foi registado nas encostas Sudeste (cerca de 20%), Sul (cerca de 17%) e Este (cerca de 15%). No entanto, as que corresponderam a uma maior área total ardida foram as orientadas a Sul (cerca de 43%), Sudoeste (cerca de 35%) e Oeste (cerca de 17%).



**Fig. 11 - Relação entre as orientações de encostas, ocorrências, duração e a área ardida total.**

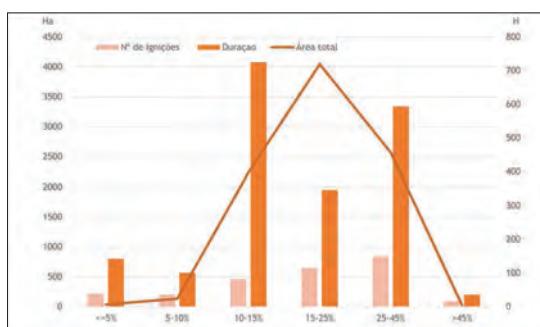
**Fig. 11 - Relationship between slope orientation, occurrences, duration and total burned area.**

Adicionalmente, observou-se que apesar das ocorrências registadas nas encostas orientadas a Sul terem a maior área ardida, estas representam apenas cerca de 15% da duração em horas em relação ao total das horas de todas as ocorrências.

Como já foi referido anteriormente as encostas voltadas a Sudoeste, Sul e Sudeste recebem radiação solar durante mais tempo no decorrer do dia, proporcionando encostas mais quentes e secas, o que se torna um fator condicionante para a criação de microclimas que por sua vez influenciam na distribuição e no tipo de vegetação existente no local. Teoricamente segundo a revisão bibliográfica a orientação onde deveriam ocorrer um maior número de incêndios seria Sudoeste (Geiger, 1961; Radke, 1982; Pereira, 2020), por apresentar maior temperatura e menor teor em humidade dos combustíveis, o que vai aumentar a suscetibilidade a incêndios florestais (Oliveira et al., 1995; Pereira, 2020), num cenário de ocorrências com causa natural. Contudo, essa situação não se verifica, o que enfatiza a presença humana como principal causa de ocorrências de incêndios.

Observa-se a comparação entre a duração de cada incêndio e a área ardida em cada classe de declives (fig. 12), tendo-se constatado que a maioria das ignições ocorreram em declives entre 10 e 45%, sendo que estes deram início a incêndios de maior duração e que consumiram uma maior área. Analisando em maior detalhe verifica-se que o maior número de ignições ocorreu nas encostas com maior declive (15 - 45%), tal

como observado nos dados, resultaram na maior área total ardida (cerca de 73%). Este fenómeno pode ser explicado pela possibilidade de ocorrência do efeito “chaminé”, que resulta da deslocação do ar por ação do gradiente de calor gerado pelo fogo, o que vai aumentar a propagação do mesmo (Castro *et al.*, 2003; Carmo, 2009). No entanto, verifica-se que apenas cerca de 4% de todos os incêndios ocorreram em declives superiores a 45%, que representaram somente 0,34% da área total ardida. De novo, enfatiza-se aqui a relação, já descrita na bibliografia, entre a ocorrência de incêndios e a presença humana. Considerando que declives acentuados (>45%) representam uma condição que limita a ação antrópica, a baixa ocorrência de incêndios nestes locais parece sustentar a existência de uma relação entre estes dois fatores.



**Fig. 12 - Relação entre os declives, ocorrências, duração e a área ardida total.**

**Fig. 12 - Relationship between slopes, occurrences, duration and total burned area.**

Além disso, zonas com declives acentuados e muito acentuados ( $\geq 45\%$ ) possuem grande risco de erosão hídrica, sendo de extrema importância a existência e proteção de coberto vegetal (Santos e Fortuna, 2005). A presença constante de incêndios no território, associada às características específicas do mesmo, nomeadamente nas zonas mais íngremes, induz a degradação severa da vegetação existente, tornando esta área ainda mais sensível a chuvas e eventos extremos, já que a vegetação não consegue recuperar a ponto de fixar as encostas (Kosmas *et al.*, 2000).

## Conclusão

O número de fatores que podem influenciar a ocorrência e propagação dos incêndios florestais é de grande complexidade, tendo origem nos problemas que ocorrem devido a mudanças socioeconómicas e que se refletem no uso e ocupação do solo (Carmo, 2009) e no abandono do espaço rural, contribuindo para o aumento da frequência, dimensão e intensidade dos incêndios. Além disso, vários outros fatores contribuem para este fenômeno,

nomeadamente as características socioeconómicas, climáticas, topográficas e ocupação e uso do solo. Após a revisão bibliográfica e análise dos dados recolhidos, estas foram as principais conclusões deste estudo:

- As condições socioeconómicas de uma região podem contribuir para a vulnerabilidade do território quanto aos incêndios;
- A principal causa dos incêndios na área de estudo está relacionada com a presença humana, além disso a revisão bibliográfica sugere que os valores sejam ainda maiores do que os conhecidos, para esta causa;
- A hora do dia tem uma grande importância na ocorrência de incêndios;
- Durante o período de 20 anos analisado, a ocorrência de incêndios distribui-se dentro do período crítico estipulado no âmbito do SDFCI;
- De acordo com os dados de ocupação e uso de solo, a classe dos matos foi a mais afetada pelos incêndios;
- Observou-se que as encostas mais quentes são mais propensas a incêndios, embora esse fator não afete a propagação do fogo, mas sim a ocorrência, devido à criação de microclimas mais favoráveis para a ignição;
- Verificou-se uma forte relação entre o aumento do declive e o aumento da área total ardida, no entanto para os declives mais acentuados ( $>45\%$ ), esta relação não se verifica, o que pode ser explicado pela condicionante destes declives para a presença humana.

Portanto pode-se afirmar que as características fisiográficas do local influenciam indiretamente na ocorrência de um incêndio, porém são determinantes diretos na sua propagação. Fatores como o declive, orientação de encosta, ocupação do solo e umidade, em conjunto, vão ditar como o incêndio se vai propagar, o comportamento do fogo (velocidade e intensidade de propagação) e a acessibilidade no combate (Teditim *et al.*, 2014) durante um episódio de desastre.

## Financiamento

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, através do Projeto PCIF/AGT/0072/2019 “BRIDGE” e UIDB/05183/2020 MED.

## Referências bibliográficas

- Abdo, H.G., Almohamad, H., Al Dughairi, A.A., e Al-Mutiry, M. (2022). GIS-Based Frequency Ratio and Analytic Hierarchy Process for Forest Fire Susceptibility Mapping in the Western Region of Syria. *Sustainability* 2022, 14, 4668.

DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084668>

- Bajocco, S., e Ricotta, C. (2008). Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer? *Landscape Ecology*, 23, 241-248.
- Batista, A. C. (2000). Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Floresta*, 30(1/2).
- Bento-Gonçalves, A. (2021). *Os incêndios florestais em Portugal*. Fundação Francisco Manuel dos Santos.
- Carmo, M. C. D. (2009). *Influência do uso do solo e topografia na ocorrência de incêndios rurais no Norte de Portugal* (Doctoral dissertation).
- Carmo, M., Moreira, F., Casimiro, P., e Vaz, P. (2011). Land use and topography influences on wildfire occurrence in northern Portugal. *Landscape and Urban Planning*, 100(1-2), 169-176.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.017>
- Castro, C. F., Serra, G., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L., e Correia, S. (2003). Combate a incêndios florestais. *Revista da Escola Nacional de Bombeiros*, 13.
- Catry, F., Rego, F. C., Moreira, F., e Baçao, F. (2008). Characterizing and modelling the spatial patterns of wildfire ignitions in Portugal: fire initiation and resulting burned area. *Transactions on Ecology and the Environment*.
- Conedera, M., e Tinner, W. (2000). The interaction between forest fires and human activity in southern Switzerland. *Biomass Burning and its Interrelationships with the Climate System*, 247-261.
- Dale, V. H., Joyce, L. A., McNulty, S., Neilson, R. P., Ayres, M. P., Flannigan, M. D., Hanson, P. J., Irland, L. C., Lugo, A. E., Peterson, C. J., Simberloff, D., Swanson, F. J., Stocks, B. J., e Michael Wotton, B. (2001). Climate Change and Forest Disturbances: Climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *BioScience*, 51(9), 723-734.  
DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0723:caafdf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0723:caafdf]2.0.co;2)
- De Angelis, A., Bajocco, S., e Ricotta, C. (2012). Modelling the phenological niche of large fires with remotely sensed NDVI profiles. *Ecological Modelling*, 228, 106-111.
- Ferrara, C., Salvati, L., Corona, P., Romano, R., e Marchi, M. (2019). The background context matters: Local-scale socioeconomic conditions and the spatial distribution of wildfires in Italy. *Science of The Total Environment*, 654, 43-52.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.049>
- Ganho, N. (2019). "Mudanças climáticas e mudanças na valoração do clima", em Portugal, nos últimos 50 anos. *Acta Geográfica*, 13(33), 196-208.
- Ganteaume, A., e Jappiot, M. (2013). What causes large fires in Southern France. *Forest Ecology and Management*, 294, 76-85.
- Geiger R. (1961). *Manual de microclimatologia, o clima da camada de ar junto ao solo*. Fundação Calouste Gulbenkian, 2ª edição, Lisboa, 556 p.
- Hernández, L., Barreira, R., Colomina, D., Maroto, A., Peiteado, C., Suárez, L., Vallauri, D., Pollutri, A., Liarikos, C., Tziritis, E., Devranoglu, S., Kalem, S., e Ersin, M. Ö. (2019). Arde el Mediterráneo - Propuesta mediterránea de WWF para la prevención de incendios forestales. [https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf\\_\\_informe\\_incendios\\_forestales\\_2019\\_arde\\_el\\_mediterraneo\\_2019.pdf](https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf__informe_incendios_forestales_2019_arde_el_mediterraneo_2019.pdf).
- Kosmas, C., Danalatos, N. G., e Gerontidis, S. (2000). The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *CATENA*, 40(1), 3-17.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00061-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00061-2)
- Lei n.º 76/2017, Assembleia da República (2017). Diário da República n.º 158/2017, Série I de 2017-08-17, páginas 4734 - 4762. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/76-2017-108010872>.
- Loepfe, L., Martinez-Vilalta, J., e Piñol, J. (2011). An integrative model of human-influenced fire regimes and landscape dynamics. *Environmental Modelling and Software*, 26(8), 1028-1040.
- Mancini, L. D., Corona, P., e Salvati, L. (2018). Ranking the importance of Wildfires' human drivers through a multi-model regression approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 72, 177-186.
- Meneses, B. M., Saraiva, R., Reis, R., e Vale, M. J. (2014). A importância da avaliação das transições de uso e ocupação do solo na compreensão da evolução da paisagem. *Espaços de Fronteira, Territórios de Esperança: Das Vulnerabilidades às Dinâmicas de Desenvolvimento*; Jacinto, R., Ed, 79-92.
- Moreira, F., Rego, F. C., e Ferreira, P. G. (2001). Temporal (1958-1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology*, 16, 557-567.
- Moreira, F., Catry, F. X., Rego, F., e Bacao, F. (2010). Size-dependent pattern of wildfire ignitions in Portugal: when do ignitions turn into big fires?. *Landscape Ecology*, 25, 1405-1417.
- Motta, D. S. (2008). Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em incêndios florestais.
- Nunes, J. R. S., Soares, R. V., e Batista, A. C. (2005). Estimativa da umidade relativa das 13:00, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o Estado do Paraná. *Floresta*, 35(2).

- Nunes, A., Lourenço, L., Gonçalves, A. B., e Vieira, A. (2013). *Três décadas de incêndios florestais em Portugal: incidência regional e principais fatores responsáveis.*
- Nunes, A. D. J. N., Lourenço, L., Fernandes, S., e Castro, A. C. M. (2014). Principais causas dos incêndios florestais em Portugal: variação espacial no período 2001/12. *Territorium - Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança*, 21; Territórios de risco: processos, vulnerabilidades e segurança; Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança;, ISSN: 0872-8941, 135-146.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_21\\_11](https://doi.org/10.14195/1647-7723_21_11)
- Oliveira, R. R., Záu, A. S., Lima, D. F., Silva, M. B. R., Vianna, M. C., Sodré, D. O., e Sampaio, P. D. (1995). Significado ecológico da orientação de encostas no maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. *Oecologia brasiliensis*, 1(1), 523-541.
- Oliveira, S., Gonçalves, A., Benali, A., Sá, A., Zézere, J. L., e Pereira, J. M. (2020). Assessing Risk and Prioritizing Safety Interventions in Human Settlements Affected by Large Wildfires. *Forests*, 11(8), 859. MDPI AG.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/f11080859>
- Pereira, J. M. C., Pereira, J. M. C., Rego, F. C., Silva, J. M. N., e Silva, T. P. (2006). *Incêndios florestais em Portugal*. ISAPress. Lisboa.
- Pereira, F. M. (2020). Identificação de áreas suscetíveis a perdas de solo após incêndio florestal. Caso de estudo: Serra de Monchique. Projeto apresentado para obtenção do grau de Mestre em Geomática. Universidade do Algarve. Faro. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib&db=edsair&AN=edsair.dedup.wf.001..c9b37f4e6b18752a5ea9830b2b64ecf8&lang=pt-pt&site=eds-live&scope=site>
- Pezzatti, G. B., Bajocco, S., Torriani, D., e Conedera, M. (2009). Selective burning of forest vegetation in Canton Ticino (southern Switzerland). *Plant biosystems*, 143(3), 609-620.
- Radke, J. K. (1982). Managing early season soil temperatures in the northern corn belt using configured soil surfaces and mulches. *Soil Science Society of America Journal*, 46(5), 1067-1071.
- Rothermel, R. C. (1983). *How to predict the spread and intensity of forest and range fires* (Vol. 143). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- RTGEO, PLANEAMENTO E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO, (2013). Agenda 21 local Monchique - Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável. Câmara Municipal de Monchique. Disponível em: [https://cm-monchique.pt\(pt\)/menu/503/agenda-21-local.aspx](https://cm-monchique.pt(pt)/menu/503/agenda-21-local.aspx)
- Santos, L. dos, e Fortuna, J. (2005). Modelo de exigências para uso urbano do solo. Critérios urbanísticos e riscos naturais - um exemplo em Coimbra. *Territorium - Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança*, 12; Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança;, ISSN: 0872-8941, 69-95.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_12\\_6](https://doi.org/10.14195/1647-7723_12_6)
- Souza, A. P., Casavecchia, B. H., e Stangerlin, D. M. (2012). Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia Plena*, 8(5).
- Tagliarini, F. D. S. N., e Gonçalves, A. K. (2016). Zoneamento de risco de incêndios florestais para a bacia hidrográfica do Córrego do Petró-Potucatu (SP). *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 12(1).
- Tedim, F., Garcin, M., Vinchon, C., Carvalho, S., Desramaut, N., e Rohmer, J. (2014). Comprehensive Vulnerability Assessment of Forest Fires and Coastal Erosion: Evidences from Case-Study Analysis in Portugal. *Assessment of Vulnerability to Natural Hazards: A European Perspective*, 149-177.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410528-7.00007-2>
- Torres, F. T. P., Roque, M. P. B., Lima, G. S., Martins, S. V., e Faria, A. L. L. D. (2017). Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floresta e Ambiente*, 24.
- Ventura, J., e Vasconcelos, M. J. (2006). O fogo como processo físico-químico e ecológico. *Incêndios Florestais em Portugal Impactes e Prevenção*, 93-113.
- Ward, M., Tulloch, A. I., Radford, J. Q., Williams, B. A., Reside, A. E., Macdonald, S. L., e Watson, J. E. (2020). Impact of 2019-2020 mega-fires on Australian fauna habitat. *Nature Ecology e Evolution*, 4(10), 1321-1326.
- Yang, J., El-Kassaby, Y. A., e Guan, W. (2020). The effect of slope aspect on vegetation attributes in a mountainous dry valley, Southwest China. *Scientific Reports*, 10, 16465.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73496-0>





**TRANSFORMAÇÃO DA GOVERNANÇA DO FOGO NO TOCANTINS, BRASIL:  
VISÃO EMERGENTE NA REGIÃO DE CERRADO DA AMAZÔNIA LEGAL\***

**TRANSFORMATION FIRE GOVERNANCE IN TOCANTINS STATE, BRAZIL:  
EMERGING VISION IN THE CERRADO REGION (BRAZILIAN SAVANNA) OF THE LEGAL AMAZON**

Erisvaldo de Oliveira Alves

Universidade Federal do Tocantins (Brasil)  
Programas de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional  
 0000-0002-7608-0858 [alvesbm12@mail.ufc.br](mailto:alvesbm12@mail.ufc.br)

Waldecy Rodrigues

Universidade Federal do Tocantins (Brasil)  
Programas de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional  
 0000-0002-5584-6586 [waldecy@uft.edu.br](mailto:waldecy@uft.edu.br)

Nilton Marques de Oliveira

Universidade Federal do Tocantins (Brasil)  
Programas de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional  
 0000-0001-6485-314X [niltonmarques@mail.ufc.br](mailto:niltonmarques@mail.ufc.br)

## RESUMO

O paradigma dominante da política de supressão do fogo provou ser ineficaz para lidar com os atuais desafios dos incêndios florestais. As mudanças climáticas potencializam os eventos desse desastre em frequência e intensidade, exigindo mudanças na governança do fogo. O artigo tem como o objetivo principal examinar o uso do fogo no Tocantins, um dos estados brasileiros que pertencem à Amazônia Legal, para identificar caminhos potenciais de mitigar os efeitos dos incêndios florestais num cenário de mudanças climáticas. A metodologia aplicada é o estudo de caso, onde se revisaram documentos oficiais e se realizaram entrevistas com especialistas no tema, aplicando a técnica análise de conteúdo. Os principais resultados apontam para o papel central dos atores governamentais, que a coexistência com o fogo diminui a rigidez institucional, além da legitimização dos conhecimentos de povos tradicionais. Como desafios, tem-se a necessidade de difundir a Política do Manejo Integrado do Fogo, proceder à normatização da prática da queima prescrita e a necessidade da produção de mais estudos sobre os impactos dessa política ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Manejo integrado do fogo, coexistência com o fogo, incêndios florestais, mudanças climáticas.

## ABSTRACT

The dominant fire suppression policy paradigm has proven to be ineffective in dealing with the current wildfire challenges of forest fires. Climate changes potentiate increases the events of this disaster in frequency and intensity of this disaster, thus requiring changes in fire governance. The main objective of this article is to examine the use of fire in Tocantins, one of the Brazilian states that belong to the Legal Amazon, to identify potential ways to mitigate the effects of forest fires in a scenario of climate change. The methodology applied is the case study, where official documents were reviewed and interviews with specialists in the subject were carried outinterviewed, applying the content analysis technique. The main results point to the central role of government actors, that coexistence with fire reduces institutional rigidity, in addition to legitimizingand that the knowledge of traditional peoples is legitimized. As The challenges, there is include the need to disseminate the Integrated Fire Management Policy, standardize the practice of prescribed burning, and the need to produce more studies on the impacts of this policy on the environment.

**Keywords:** Integrated fire management, coexistence with fire, forest fires, climate change.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 25-06-2023, sujeito a revisão por pares a 27-06-2023 e aceite para publicação em 23-10-2023. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

O Estado do Tocantins pertence à região norte do Brasil e faz parte da Amazônia Legal (Paim, 2022), área que, nas últimas décadas, tem sofrido com incêndios florestais. A cada ano esses desastres ficam mais intensos devido às mudanças climáticas (Jolly *et al.*, 2015), consequência das mudanças na biofísica do planeta. Por causa das atividades humanas (Chaffin *et al.*, 2016), os riscos gerados pelas mudanças climáticas são globais e devem ser considerados no contexto das políticas públicas, das alterações ambientais e governança (IPCC, 2021). A maior parte do Tocantins, mais de 90%, é coberta pelo Cerrado (savana tropical brasileira). Este Bioma é um complexo de formações vegetais que apresenta fisionomias e composição florística variáveis - campestres (campo limpo), savânicas (campo sujo, campo cerrado e cerrado *stricto sensu*) e florestais (cerradão) - formando um mosaico ecológico muito suscetível aos incêndios florestais (Becerra *et al.*, 2009). A mitigação desse problema passa pelo desenvolvimento de uma governança mais adequada para o uso do fogo ou, conforme sustenta Steelman (2016), criando um sistema de governança de prevenção aos incêndios florestais focado na resiliência social e ecológica.

Da mesma forma que Copes-Gerbitz e coautores (2022), quando estudaram a transformação do uso do fogo na Colúmbia Britânica, Canadá, este artigo abordará algumas questões-problema: 1 - Como é que a governança do uso do fogo mudou ao longo do tempo no Estado do Tocantins? 2 - Que fatores moldaram essa governança no tempo? 3 - O que os especialistas em combate a incêndio florestal vislumbram para a governança do uso do fogo no Tocantins? 4 - Até que ponto os atributos da governança atual apoiam essa visão?

A governança do fogo precisa ser revista, mesmo considerando a existência de uma dependência histórica consistente da política de supressão do fogo, reforçada pelas decisões e resultados alcançados no decorrer das últimas décadas (Steelman, 2016; Tedim *et al.*, 2020). Práticas como o Manejo Integrado do Fogo - MIF (Franke *et al.*, 2018) têm ganhado importância e destaque nas políticas públicas de prevenção e resposta aos incêndios florestais, em contraste à governança baseada na supressão do fogo.

No Tocantins, a adoção da “Política do Fogo Zero”, isto é, a exclusão do uso do fogo de forma controlada e manejada, apresentou-se ineficaz para solucionar o problema dos incêndios florestais. Pelo contrário, contribuiu para temporadas de incêndios florestais intensos, como em 2010 (Patriota *et al.*, 2017), porque contribuiu para acúmulo de material combustível, o qual associado a temperaturas crescentes devido às mudanças climáticas, geraram cenários indesejáveis. O

acompanhamento de como mudou a governança, ou se realmente mudou ao longo do tempo, permite identificar oportunidades de transformação de cenários.

Governança, para fins desse artigo, segue a definição de atributo capaz de influenciar os resultados ambientais, organizações e atores individuais, além de normativas, objetivos, processos e tomada de decisão (Bennett e Satterfield, 2018). Em outras palavras, é o exercício da autoridade por pessoas diversas (Thaler *et al.*, 2019). A governança sendo, por sua vez, moldada por resultados à medida que esses atributos interagem ao longo do tempo. De acordo com Moritz e coautores (2014), as condições de mudanças biofísicas nos combustíveis florestais e as mudanças climáticas tornaram a governança de supressão do fogo inadequada. Ou ainda, ações destinadas a reduzir o risco de incêndios florestais a curto prazo, como a “Política do Fogo Zero”, podem produzir *feedbacks* positivos que levam a um risco elevado de perda de longo prazo por incêndios florestais (Spies *et al.*, 2014).

## Metodologia

A abordagem metodológica é qualitativa, tem natureza aplicada e apresenta-se como um estudo de caso, no sentido de Creswell (2007), para quem o estudo de caso é uma metodologia, uma forma ou produto da pesquisa, que seria um *single instrumental case study*.

*“Case study research is a qualitative approach in which the investigator explores a bounded system (a case) or multiple bounded systems (cases) over time, through detailed, in-depth data collection involving multiple sources of information (e.g., observations, interviews, audiovisual material, and documents and reports), and reports a case description and case-based themes”* (Creswell, 2007, p. 73).

Do ponto de vista dos objetivos, tem-se uma pesquisa exploratória e o método pode ser entendido como empírico por sustentar-se em análise de conteúdo, que, segundo Bardin (2011, p.15), “[...] é um conjunto de instrumentos de cunho metodológico em constante aperfeiçoamento que se aplicam a discursos”. Sobre a geração do material, a pesquisa tem como fontes para a captura de dados: documentos oficiais, bibliografia e entrevistas semiestruturadas. Os documentos analisados foram: (n=2) documentos de planejamento estadual, (n=3) planos de ação para o combate e controle dos incêndios florestais e das queimadas ilegais e (n=2) relatórios das ações executadas no Tocantins nos últimos anos. Todos os documentos são de instituições governamentais oficiais como recomenda (Coffey, 2014; Bowen, 2009). Esses registros e fontes são importantes para a análise, já que todos os documentos citados

são, de acordo com Coffey (2014) considerados “*social facts*”, *in that they are produced, shared and used in socially organized ways*”.

Sobre as entrevistas semiestruturadas (Holstein e Gubrium, 1997; Schensul e Lecompte, 2013), foram realizadas num total de 17 (dezessete), com especialistas da área de gestão dos incêndios florestais das 3 (três) esferas (municipal, estadual e federal) que atuam no Estado do Tocantins. Os entrevistados foram selecionados através de uma combinação de indivíduos que atua no estrato específico, ou seja, agentes que atuam diretamente na governança do uso do fogo, dimensionando o tema chave da pesquisa e somando a uma abordagem do tipo bola de neve “*snowball sampling approach*” (Palinkas *et al.*, 2015). O entrevistado com mais tempo de trabalho na temática contava com 24 anos; o que possuía menos tempo conta com 3 anos e a média de todos os entrevistados tem um valor de 13 anos atuando no combate e gestão dos incêndios florestais.

As entrevistas seguiram o previsto a Resolução n.º 510, de 07/04/2016 do Conselho Nacional de Saúde - CNS (Guerriero e Minayo, 2019; BRASIL, 2016). Cada entrevista recebeu tratamento adequado, com anotações e construção de categorias analíticas. Para fins de garantia de sigilo dos sujeitos, as entrevistas foram numeradas e codificadas no seguinte formato onde o # corresponde ao número de indivíduos em cada classe: 2 (dois) Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Tocantins - sigla CBM#, 5 (cinco) Coordenadores Municipais de Defesa Civil que fazem a gestão dos incêndios florestais a nível municipal

- sigla CMD#, 2 (dois) Agentes e gestores da Defesa Civil Estadual - sigla DCE#, 4 (quatro) integrantes e gestores do Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - PrevFogo/IBAMA - sigla PFI#, 3 (três) gestores do Instituto Natureza do Tocantins - Naturatins - sigla NAT# e 1 (um) agente gestor municipal integrante de Guarda Municipal - sigla GUM#. As entrevistas foram executadas em horário previamente marcado com o entrevistado(a) e as conversas foram registradas em áudio ou videoconferência e, posteriormente, transcritas para permitir o cadastramento no software MAXQDA.

Sobre a região pesquisada, o Estado do Tocantins foi criado em 5 de outubro de 1988, possui uma área de 277.423.627 km<sup>2</sup>, tendo Palmas como sua capital. Situa-se no Sudeste da Amazônia Legal e limita-se ao Norte com os Estados do Maranhão e do Pará; ao Sul com o Estado de Goiás; ao Leste com os Estados do Maranhão, do Piauí e da Bahia; e à Oeste com os Estados do Pará e do Mato Grosso. Possui 139 municípios. A principal rodovia é a BR 153. Possui 2 (dois) grandes rios, o Araguaia e o Tocantins, além de ser cortado pela Ferrovia Norte Sul, (fig. 1). Ainda, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, o Estado do Tocantins possuía uma população, estimada, em 2021, de 1.607.363 pessoas. A densidade demográfica é de 4,98 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022).

Para analisar o conteúdo do material coletado, foi utilizado um software CAQDAS (*Computer Assisted Qualitative Data Analysis*), que é uma ferramenta de pesquisa bem estabelecida. No caso específico, o software utilizado foi o MAXQDA (Marjiae *et al.*, 2019;

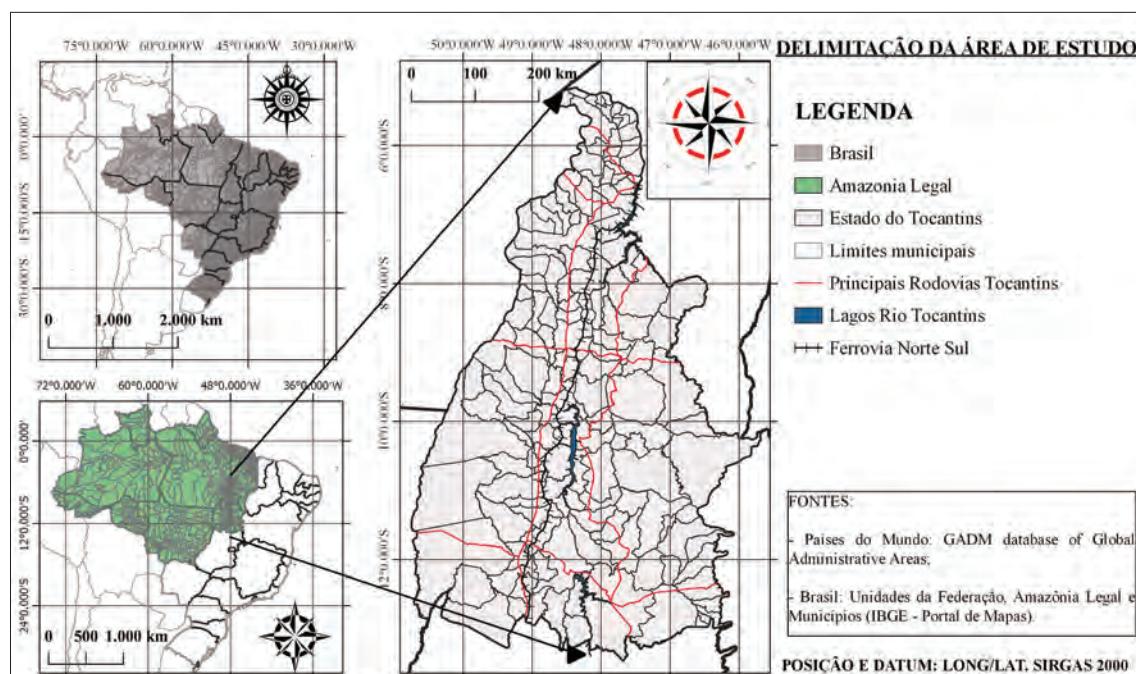


Fig. 1 - Localização do Estado do Tocantins (Fonte dos dados: Portal de Mapas, 2022).

Fig. 1 - Location of the State of Tocantins, Brazil (Data source: Portal de Mapas, 2022).

Consoli, 2021), que auxilia na sistematização da análise de entrevistas, arquivos de texto, relatórios, imagens etc., sendo que, foram montados conjuntos categóricos de análise buscando qualificar: homogeneidade, pertinência, objetividade, fidelidade e exclusão mútua (Bardin, 2011).

208

## Estruturação do artigo

O artigo foi dividido em 4 (quatro) partes, sendo que a primeira corresponde à introdução, destacando a necessidade de análise dos fatores que envolvem a governança do fogo, e onde se apresenta as notas metodológicas do manuscrito e a segunda parte corresponde a uma revisão teórica sobre a governança e aspectos que envolvem os incêndios florestais, assim como a sua gestão no Estado. Na terceira parte, é efetuada uma análise dos resultados alcançados no artigo e, na quarta e última parte são apresentadas as conclusões finais dos autores.

### A governança como elemento da política pública no incêndio florestal

Características como a adequação e a interação são essenciais para avaliar a eficácia das políticas e instituições dentro das estruturas de governança (Young *et al.*, 2008; Steelman, 2016). Se o termo governança se refere às formas e meios empregados para a tomada de decisões coletivas, escolha de objetivos e as ações para o seu alcance pela sociedade (Chaffin *et al.*, 2016), a gestão do uso do fogo é uma questão de governança local, pois é a partir do que, coletivamente, se define como ideal ou, a melhor escolha, que são traçados os objetivos e desenvolvidas as ações, ainda que o cenário esteja repleto de incertezas e informações imperfeitas.

Autores como Chaffin *et al.* (2016) veem restrições que podem ser impostas em desfavor das transformações de governança, notadamente o que foi chamado de “*rigidez institucional ou organizacional*”. A rigidez organizacional pode ser entendida como uma manifestação da dependência de trajetória; o termo “*path depende*ce” é utilizado pelo institucionalista (North 1990, 2005) para justificar as mudanças institucionais incrementais, tendo a cultura e o avanço tecnológico como a chave das mudanças.

No Tocantins, a “Política do Fogo Zero” levou a episódios de grandes incêndios, como em 2010, o maior da série histórica das últimas duas décadas (Patriota *et al.*, 2017). Os incêndios florestais na região amazônica têm trazido transtornos para a população, como o aumento de doenças respiratórias e sobrecarga do sistema público de saúde (Anderson e Marchezini, 2020; Andrade *et al.*, 2021). Sendo assim, o campo de discussão, estratégico/tático, do combate aos incêndios florestais, passou a ser o Comitê Estadual de Combate a Incêndios e do Controle de Queimadas no Estado do Tocantins - Comitê do Fogo,

criado através do Decreto n.º 645, de 20/08/1998 (TOCANTINS, 1998), que foi posteriormente alterado para permitir a coordenação das ações pela Defesa Civil Estadual, e do Decreto n.º 3.143, de 17/09/2007 (TOCANTINS, 2007), com foco na busca da integração das organizações que atuam diretamente com a temática dos incêndios florestais no Estado.

Na doutrina da Defesa Civil, a gestão dos incêndios florestais possui as seguintes fases: prevenção, mitigação, preparação e resposta, dentre as quais as ações de mitigação podem ser entendidas como “medidas destinadas a reduzir, limitar ou evitar o risco de desastre” (BRASIL, 2020; TOCANTINS, 2021b). Sendo assim, a utilização do Manejo Integrado do Fogo (MIF) é uma política pública formalmente instituída, principalmente nas áreas de proteção ambiental e nas terras indígenas. Até porque, após décadas de tentativas frustrantes de implementação de “Políticas do Fogo Zero”, passou-se a implementar políticas de manejo do fogo, reintroduzindo o fogo como ferramenta de gestão em ecossistemas como o cerrado (Andrade *et al.*, 2021).

Logo, um atributo primordial dos modelos de governança, que buscam a convivência com o fogo, reconhecendo que o atual modelo de comando e controle, centrado na supressão do fogo e ação reativa, é ineficaz, deve permitir a coordenação por atores locais. As políticas devem ser flexíveis e adaptáveis, além de incluir atores em múltiplas escalas e mecanismos legais de acompanhamento (Steelman, 2016; Kelly *et al.*, 2019; Tedim *et al.*, 2019). Desde 2012, o Manejo Integrado do Fogo (MIF), entendido como o mesmo processo que Kelly *et al.* (2019) chamam de “*all-lands approach*”, ou “*all-lands management*” (ALM), tem sido empregado em áreas de proteção ambiental e em terras indígenas no cerrado, com 2 (dois) objetivos: seja para manejar e proteger a biodiversidade, seja para melhorar os meios de subsistência das comunidades, por meio de práticas sustentáveis de manejo da terra usando o fogo (Franke *et al.*, 2018). O Instituto Natureza do Tocantins - NATURATINS, já adota essa política no Estado há alguns anos, em contraste à “Política do Fogo Zero” que estava em vigor (NATURATINS, 2022), justamente porque esta política conduziu o Estado a temporadas com incêndios florestais de grandes proporções. Para Kelly e Brotons (2017), uma gestão correta dessa questão tem como chave a reintrodução das práticas tradicionais de uso do fogo, buscando reproduzir os seus efeitos naturais tanto quanto possível, mantendo e protegendo a biodiversidade.

Os incêndios florestais podem ter relação com a expansão da produção de grãos no Estado, que apresenta um bom cenário para o agronegócio baseado em *commodities*, podendo ser apresentada, para isso, a capacidade de expansão da produtividade, já que a inclusão de novas

áreas produtoras como MATOPIBA (Araújo *et al.*, 2019) e Centro Norte (Oliveira e Piffer, 2017) representam um crescimento da área plantada, sendo detectado que a maioria das áreas queimadas no Estado, em 2021, ocorreu em imóveis rurais particulares, sendo (44,21%) do total, muitos reincidentes, ou seja, que tiveram sua área queimada no ano anterior (G1\_TOCANTINS, 2022).

Na mesma linha, considerando, também, que a Amazônia Legal é reconhecida como uma das últimas fronteiras agrícolas no mundo, Thaler *et al.* (2019), ao discutir a expansão do agronegócio na região, que chamou de “governança de fronteira”, e conceituou esse fenômeno como a expansão de uma fronteira de governança, afirma que se tem novamente a visão de importância dos atores locais e das formações socioeconômicas e ecológicas de fronteira, por ser uma economia política intensiva, com destaque para a soja mecanizada e pecuária intensiva. Portanto, o uso do fogo não é um tema apenas de áreas de preservação e terras indígenas, mas impacta diretamente na dimensão econômica, pela aptidão do Tocantins para o agronegócio. “Ressalta-se que o Bioma Cerrado no Estado de Tocantins, encontra-se adjacente à Floresta Amazônica e faz parte da Amazônia Legal, compondo assim parte do grande ecossistema amazônico” (Becerra *et al.*, 2009, p. 126).

Nessa linha de pensamento, o agronegócio também teria sua governança, que estabiliza e regula essa organização da produção, sendo dinamicamente inter-relacionada entre si e com outros projetos, como meios de subsistência socioambientais e ativismo de povos indígenas, e pequenos proprietários, ou desmatamento em grande escala, e grilagem de terras por fazendeiros extensivos (Thaler *et al.*, 2019).

É dentro desse contexto que a simples supressão total do uso do fogo se mostrou ineficiente para impedir os incêndios florestais, necessitando de uma governança onde múltiplas organizações públicas e privadas atuem conjuntamente em multinível, gerando benefícios coletivos, entendendo os incêndios florestais como um problema de risco compartilhado em áreas multijurisdicionais (Kelly, 2019; Ostrom, 2012).

Nos incêndios florestais, conforme Franke *et al.* (2018), a continuidade do combustível é um dos principais fatores determinantes da propagação do fogo e quaisquer descontinuidades podem atuar como aceiros. Isso apoia a afirmação de que mosaicos de manchas de paisagem de regimes de fogo variados podem reduzir incêndios em grande escala que ocorrem no período de estiagem no Tocantins, notadamente nos meses de agosto e setembro.

Há necessidade de desenvolver abordagens de uso do fogo que sejam mais bem adaptadas às condições locais (Kelly e Brotons, 2017). Copes-Gerbitz *et al.* (2022, p. 10) citam 7 (sete) estratégias que podem ser implementadas para

facilitar essa transformação (“*education, vegetation management, emergency planning, cross-training, interagency cooperation, legislation and planning, and development*”), que, de forma geral, estão abordadas nas ações realizadas no Estado do Tocantins pelo Comitê do Fogo, distribuídas em 4 (quatro) fases e quatorze ações (TOCANTINS, 2021a).

## Discussão

Nessa seção do artigo busca-se discutir os principais achados nos documentos oficiais e nas entrevistas com atores do enfrentamento a incêndios florestais no Tocantins. Essa conexão mostrou que pode ser realizada uma divisão dos momentos de predomínio da política de supressão do fogo (Fogo Zero) relatada pelos entrevistados(as) que estão a mais tempo trabalhando com essa temática; e, num segundo momento, o surgimento da política de coexistência com o fogo (Manejo Integrado do Fogo), quando a política de supressão do fogo passou a ser questionada.

“Eu não acredito na política do fogo zero, para ser sincero, como brigadista e, também como defesa civil aqui do Sul, eu não vejo esse resultado. Por quê? Nós temos áreas a serem abertas ano a ano e todos vão queimar essas áreas. Anteriormente, eles queimavam a área de uma forma aleatória para todo lado aqui no município, e hoje, através da queima controlada, a pessoa agenda a queima, a gente vai lá e observa se ele tem condição de fazer aquela queima, se a gente vê que ele não tem condição de fazer a queima, a gente vai com a brigada lá e realiza a queima com todo o sucesso. Ainda não tive problema do fogo fugir do controle, então a questão do MIF, do Manejo Integrado do Fogo, é uma ideia que a gente usa e, aqui no município, funciona muito bem” (CMD#01).

Apesar do termo “Manejo Integrado do Fogo” ser empregado na língua inglesa com sentido de ciclo completo da gestão dos incêndios florestais, nos moldes do que prevê o Projeto de Lei nº 11276/2018 (BRASIL, 2018), que promete regulamentar essa política no país, o MIF ainda é associado apenas ao uso do fogo nas queimas prescritas. Nesse sentido, foi utilizado o termo na pesquisa, ademais, uma das dificuldades apresentadas é, justamente, a falta de regulamentação que ainda é latente nessa prática, sendo captada nas entrevistas: “Mas eu acredito que agora é o momento de nós partirmos pra normas, normas, e visando essas normas comunicar com quem usa o fogo, e facilitar esse acesso pra quem usa o fogo” (NAT#01). “A palavra correta seria normalizar mais detalhadamente esse uso do fogo” (DCE#02). “E assim, na minha opinião, eu acho, que o Tocantins tem tanta expertise, que o Tocantins poderia liderar aí um documento, uma instrução normativa” (NAT#03).

### Período de supressão do fogo (1998-2012)

É necessário considerar que a resposta a esse tipo de desastre necessita da participação ativa de agências das 3 (três) esferas: Federal, Estadual e Municipal, sendo na defesa desse bem público, o meio ambiente. Sendo assim, estar passiva de sofrer fragmentação da governança por haver conflito e desalinhamento da missão (Fleming *et al.*, 2015) e o domínio de regimes de direitos de propriedade privada que colocam a primazia no direito do indivíduo de administrar sua propriedade como quiser, em oposição a uma norma mais coletiva, além de elementos culturais. Percebendo esse contexto que envolve o desenvolvimento da governança do uso do fogo no Tocantins, foi a partir de 1998 que o problema começou a ser percebido na região.

“Olha, eu estou nessa luta, nesse trabalho, com os parceiros, desde 98, período em que se deu um boom, na verdade, entender que combater incêndio era necessário, porque as nossas reservas florestais, o cerrado, estava sofrendo muito, então, em 98, iniciou as ações através do (COAP) que foi um investimento internacional, através do Banco Mundial, da (JAI), um trabalho de combater as queimadas, e nós tivemos aí isso nesse período, um investimento pelo Naturatins e que, na verdade, nesse período, a gente era... não conhecia praticamente o que era o incêndio florestal, queimadas urbanas e etc., e aí a gente começou a trabalhar essa questão. Inclusive, o estado de Tocantins, ainda não tinha nem implantado ainda as (Comdec), Defesa Civil estadual, municipal, foi quando deu início” (GUM#01).

E o fogo começou a ser visto como indesejável. Isso ocorre porque, o Tocantins é o Estado mais novo da federação e nasceu com a constituição de 1988, conforme artigo 13 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias (BRASIL, 1988). Sendo assim, a temporalidade da detecção dos problemas, assim como a implantação de políticas públicas para solucioná-los, são elementos relativamente novos comparados a outras regiões do país e do mundo, como citado por (CMD#02): “Antes, eu me lembro que a gente morava no sertão, ali pra 1992, 1996, o fogo era uma coisa oculta. A gente via queimada de todo jeito no sertão. A partir que começou isso lá em 1998, a gente viu que o pessoal passou mais a respeitar, deu mais controle desse tipo de queimada”.

Inicialmente, a política adotada no Estado foi de supressão do uso do fogo que teria durado até aproximadamente 2012. CMD#03 também aproxima essa data como marco de início das discussões sobre o MIF: “De 2013 pra cá, o MIF começou a ser usado com frequência, e até repassado pra nós”. No entanto,

esse período de “Política do Fogo Zero” é marcado por temporadas de incêndios intensas, destacando-se o ano de 2010, onde ficou claro que confiar apenas na supressão do fogo era inadequado. Neste ano, o número de focos de calor, registrados apenas no período mais crítico do ano, ultrapassou os 25 mil. Observando-se os registros de focos de calor para o período mais crítico no Tocantins, nos respectivos anos, a partir de 1998 (ano em que se iniciou a medição e também a preocupação com o tema), nota-se que os anos de 2007, 2010 e 2012 se destacam como anos em que o registro de focos de calor foi alto, principalmente em 2010, período da governança voltada para a supressão do fogo (fig. 2).

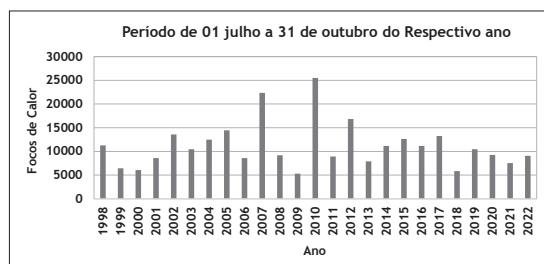


Fig. 2 - Focos de calor no Tocantins durante o período de estiagem (Fonte dos dados: INPE, 2022).

Fig. 2 - Hot spots in Tocantins during the dry season  
(Data source: INPE, 2022).

O primeiro Plano a nível estadual foi instituído em 2009 (TOCANTINS, 2009) não se encontra disponível para consulta em página digital, sendo as entrevistas, uma das principais fontes de informações do período. Contudo, é possível captar que se começou a destacar um ator importante: o Comitê do Fogo. (NAT#01) “Mas eu acredito que a integração entre as instituições, e no meu entender o Comitê do Fogo foi primordial nesse aspecto, porque é justamente a instância no qual existe todas as instituições, e nós podemos integrar”, “Eu acho que o principal fator, o principal organismo aí, é o Comitê do Fogo” (DCE#02), “através do Comitê do Fogo, ela foi essencial para que pudesse haver essa mudança da forma de abordagem aos incêndios florestais, inclusive, trazendo essa discussão do MIF, em contraponto com o fogo zero” (CBM#02), “Porque eu acho que talvez, eu acho que no Brasil, o Tocantins deve ser um estado que tem um comitê mais organizado e atuante do Brasil” (PFI#03). Sendo assim, aduz afirmar que a política da supressão do fogo contribuiu para temporadas com incêndios de grandes proporções no Estado.

“Então chegou a ter esse nível pra não fazer uso do fogo, então ignorou-se todo o conhecimento, ignorou-se uma conversa com quem realmente era detentor desse conhecimento, e a população aderiu a isso: “Não, nós não vamos queimar”. Montando-se um barril de pólvora. E quando... o

Cerrado vai queimar um dia. Então não adianta falar: "Ah, tem 10 anos que não queima". Porque no dia que queimar, o desastre é quase que imensurável" (PFI#02).

Conforme a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH, Tocantins (2015) seria a primeira revisão do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento (PPCD), e o primeiro disponível para consulta. O documento que leva o título de "Plano de Ação Para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Estado do Tocantins" aqui designado de Tocantins (2015), tem o foco no desmatamento, tratando das queimadas de forma subsidiária, como elemento que compõem o cenário do desmatamento e expansão de áreas novas para plantio. Os aspectos da governança ainda estariam centrados na ideia de supressão do fogo.

*"Em outras palavras, centrais na estratégia de controlar e reduzir o desmatamento e as queimadas nesta região são os esforços para (i) direcionar os processos de substituição da agropecuária e a intensificação da produção; (ii) reduzir a conversão de novas áreas; e (iii) reduzir o uso do fogo. Para conseguir o direcionamento da produção na região central e para reduzir as taxas de desmatamento e dos incêndios florestais será necessário investir na capacidade de monitoramento do Estado, na capacidade de realizar a gestão e o ordenamento territorial, na gestão florestal, no controle e combate das queimadas e no fomento de alternativas produtivas"* (TOCANTINS, 2015, p. 64).

No entanto, já se vislumbrava que a existência do Comitê do Fogo era um fator importante na moldagem da governança e que as Unidades de Conservação são áreas prioritárias e, por isso, devem ter o impacto dos incêndios florestais melhor analisado no seu entorno (TOCANTINS, 2015, p. 67). A mudança na governança do uso do fogo é perceptível em Tocantins (2021), onde se cita como atribuição o "*desenvolvimento do Manejo Integrado do Fogo - MIF*" (TOCANTINS, 2021, p. 20). "Cabe ressaltar que o número de brigadas não é o único determinante para reduzir os impactos dos incêndios. Importantíssimo neste sentido são as medidas preventivas, como por exemplo a adoção do Manejo Integrado do Fogo" (TOCANTINS, 2021, p. 85). O Termo Manejo Integrado do Fogo não aparece em Tocantins (2009; 2015), mas esse processo não foi linear, houve resistência para aceitar a mudança.

"Da minha experiência desde dezembro de 2015 pra cá, já era... quando eu entrei, já havia esse trabalho de migrar do fogo zero pra um manejo integrado do fogo, e eu percebi que, daquela época pra hoje, havia muita resistência em entender que o MIF seria um fogo do bem.

Então, eu percebo sim, que houve uma mudança de mentalidade, tanto de instituições, como, também, da sociedade civil" (CMD#04).

Portanto, no primeiro período aqui definido, muito mais do que a existência de documentação de implementação ou avaliação da política de supressão do fogo, tem-se uma falta de discurso coletivo em sua defesa, o que aduz pensar numa governança fraca entorno do tema, abrindo caminho para a implementação da política de coexistência do uso do fogo, que já era conhecida pelos povos indígenas da região. "Tem uma questão muito evidente no nosso estado, que é a expansão da fronteira agrícola em diversos municípios. Com isso houve a necessidade do manejo melhor das terras agricultáveis, e o uso do fogo, ele foi maléfico em algumas situações, ele é maléfico em algumas situações (CBM#01).

#### *Período de coexistência com o fogo (2012 - atual)*

Na tentativa de evitar ou minimizar a fragmentação da governança no gerenciamento dos incêndios florestais, o modelo de atuação em Comitê e num processo de pactuação de ações (TOCANTINS, 2021a), apresenta-se como solução interessante. O Plano de Ação Anual, desenvolvido pelo Comitê do Fogo, busca destacar as ações de cada instituição e, dentre estas, na fase de mitigação, o uso do fogo pelos órgãos ambientais, seja federal (PrevFogo/IBAMA), estadual (Naturatins) ou municipal (Brigadas Florestais Municipais).

Sobre a cicatriz das queimadas no Tocantins, em 2022, tem-se que boa parte são queimas prescritas realizadas por essas organizações. No entanto, pela falta de regulamentação da atividade, não é possível distinguir as cicatrizes das queimas prescritas e incêndios florestais, apesar de contribuir para mitigar o problema dos incêndios florestais no período de estiagem, já que diminui a possibilidade de propagação do fogo. Caso ocorra um incêndio florestal na área, é necessário registrar e validar melhor esse processo. É possível observar as cicatrizes de queima no Estado, para o ano de 2022, de acordo com informações do Ministério Público do Tocantins, além de perceber que outra política pública importante é a "formação de brigadas municipais", que tem a aderência da maioria dos municípios, os quais instituem suas brigadas em parceria com a Defesa Civil Estadual (fig. 3).

Ainda, na busca de elementos que contenham a formalização da governança do uso do fogo no Tocantins, tem-se o primeiro Plano de Ação do Comitê do Fogo disponível para consulta, o de 2021 (TOCANTINS, 2021a). Nesse documento, consta, na segunda etapa, a ação 9: "*Desenvolver o Manejo Integrado do Fogo - MIF*" (TOCANTINS, 2021a, p. 1). Apesar de não constar o Plano de Ação 2020, aduz afirmar que já constava a utilização do fogo como ferramenta na gestão dos

21.

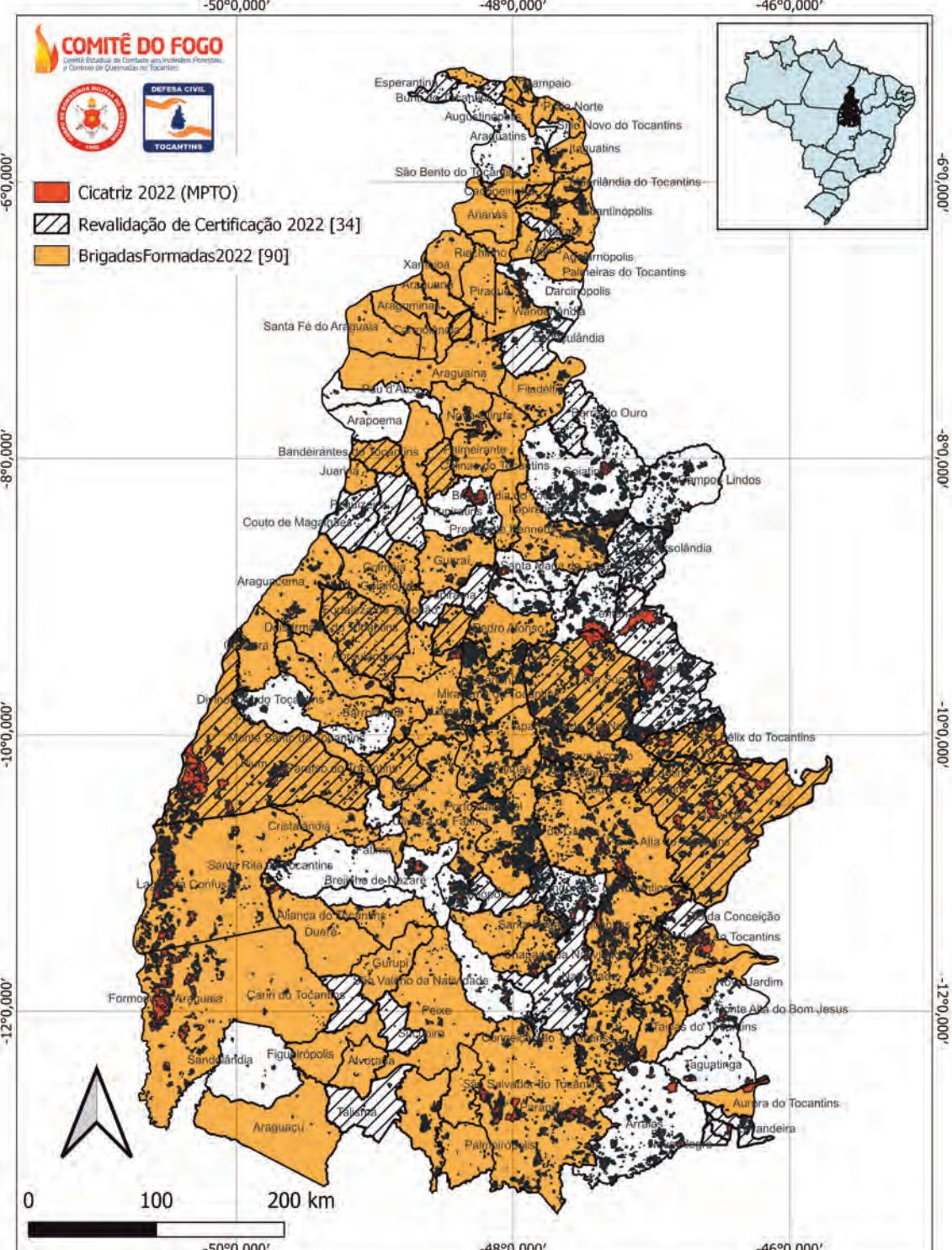


Fig. 3 - Cicatriz de queima e brigadas municipais (Fonte: Defesa Civil do Tocantins, 2022).

**Fig. 3 - Fire scar and municipal brigades (Source: Civil Defense of Tocantins, Brazil, 2022).**

incêndios florestais, já que no Relatório Anual daquela temporada, que consta resultados parecidos com os constantes no Relatório de 2021, apresentam-se ações desenvolvidas com o uso do fogo, ou seja, a hipótese

que se exibe é que o planejamento seguiu a mesma linha nos dois anos (TOCANTINS, 2020, 2021b); inclusive, utilizando o fogo para prevenir incêndios florestais às margens das rodovias.

*“Nas vias estaduais, a AGETO realizou 22 km de aceiros na TO 050 entre Palmas e Lajeado, esse aceiro é diferente da roçagem para limpeza das margens da rodovia, que também foi realizada normalmente. No caso específico do aceiro, foi retirada toda a massa de vegetação a uma certa distância da via permitindo que os Brigadistas do Naturatins fizessem a queima controlada da vegetação entre a via e o aceito, sem risco de o fogo propagar” (TOCANTINS, 2020, p. 3).*

Em Tocantins (2022), o Manejo Integrado do Fogo continua presente, o que comprova a mudança da governança da supressão do fogo, para a convivência ou coexistência com o fogo. A principal mudança desse documento em relação aos outros parece ser a distribuição das ações em fases, já esboçada no relatório de 2021, onde o MIF é apresentado como ação da fase de mitigação, conceituada como “[...] medidas destinadas a reduzir, limitar ou evitar o risco do desastre. Com relação aos incêndios florestais, tem-se que os órgãos ambientais são os principais executores desse tipo de ação” (TOCANTINS, 2022, p. 10). Há, também, o entendimento de que o Bioma Cerrado responde melhor a uma governança de coexistência com o fogo. “Eu acho que são duas técnicas distantes, que uma não exclui a outra. Acho que elas se complementam de acordo com a característica da região qual se quer controlar” (CBM#02).

“A política do fogo zero, eu particularmente acredito que ela, de forma geral, pra todos os ambientes, ela é um equívoco, um equívoco que já vem sendo corrigido. Existe o fogo zero, mas o fogo zero pra determinados ambientes, e pra isso a gente recorre à ecologia do fogo. Onde precisa de fogo, se usa fogo, onde não precisa de fogo se exclui o fogo. Então, nesse conceito, a gente consegue trabalhar melhor” (NAT#01).

A formalização da governança, por documento oficial, apresenta-se como ganho conceitual e delimitação do uso do fogo. Dessa forma, a convivência com o fogo apresenta-se de forma definida no estado do Tocantins com sua governança institucionalizada e formalizada pelas organizações que atuam no combate aos incêndios florestais. O que aduz pensar que, comovisão de futuro, a prática da queima prescrita irá desenvolver-se ainda mais: “não é que o fogo seja ruim, mas ele, o fogo, ele pode ser bom ou ruim, depende de como nós usamos; e a proposta do MIF, ele vem mostrar que o fogo, ele é bom, ele é amigo, mas desde que seja feito da forma correta” (CMD#04).

#### *Avanços e Desafios para a coexistência com o Fogo no Tocantins*

A análise revela 3 (três) condicionantes para entender o futuro da governança do fogo no Tocantins. Em primeiro lugar, os entrevistados e os documentos estratégicos

analizados, nomeadamente os mais recentes, compartilham uma visão de uso do fogo de forma preventiva “coexistindo com o fogo”, mas ainda com um envolvimento eminentemente governamental. “O MIF dentro, principalmente dos parques estaduais, das APA. E depois, o Governo Federal estende praas terras indígenas. Você entendeu? E tentaram até expandir praas áreas de propriedade rural, mas na propriedade rural o MIF não entra tão fácil” (DCE#01), “O que mais influenciou foi a mobilização governamental né, teve diversos atores, diversos órgãos que trabalham diretamente nessa questão tanto da prevenção, quanto ao combate, isso melhorou muito ao longo dos anos” (CBM#01). Mas algumas ações ajudam nesse envolvimento, como exemplo, pode ser citado que o PrevFog/IBAMA contrata como brigadistas para atuarem nas áreas de sua responsabilidade os povos que residem nas terras indígenas.

Em segundo lugar, alcançar essa visão deve superar a rigidez organizacional e melhorar o compartilhamento de informações, mesmo dentro das próprias organizações. Os entrevistados concordam que ainda não há um entendimento único sobre os termos, ações e objetivos do uso do fogo de forma preventiva, o que, certamente, interfere nos resultados e dificulta a disseminação da política pública. Pode-se perceber essa visão em algumas respostas: “Não, a informação, a essência da informação tá com poucos” (DCE#01), “Olha, eu acredito que alguns têm essa visão, [...], mas a maioria não tem” (GUM#01), “Eu acredito que ainda tenha um caminho a percorrer. Isso não está definido nas instituições” (PFI#02), “Ah, [...], assim, alguns, não entendem” (PFI#01), “Eu acredito que ainda existe alguma dificuldade, por problema de comunicação” (NAT#01), “Meu ponto de ver, não” (CMD#03), “Eu entendo que ainda tem um caminho ainda um pouco longo a percorrer” (CBM#01), dentre outras.

Terceiro, para superar essas condicionantes, é necessário institucionalizar e dar maior respaldo ao conhecimento dos povos tradicionais sobre o uso do fogo e normatizar o Manejo Integrado do Fogo. Esse último fato já foi reconhecido e privilegiado, já que o Plano Estadual em vigor coloca esse tema como uma ação prioritária, conforme consta da matriz lógica do eixo prevenção, com previsão de que o regulamento seja publicado no Diário Oficial do Tocantins, em 2023: “Regulamentar o MIF como metodologia de prevenção aos incêndios e queimadas no Tocantins” (TOCANTINS, 2021, p. 110), mas ainda é necessário atuar na integração dos povos tradicionais.

“Só que infelizmente, as políticas públicas começaram a impactar esses grupos, essa política de fogo zero mesmo, criminalizou o uso do fogo de uma forma geral, e midiática, e com isso, essas comunidades começaram a perder esse conceito. Mas originalmente, eu acho que

eles são os grandes mestres, e a parte técnica e científica, tem muito ainda o que aprender com essas comunidades sobre o uso tradicional do fogo” (NAT#01).

Aduz registrar que a alteração da governança “Política do Fogo Zero” para a “Política do Manejo Integrado do Fogo”, mesmo não contando com a participação de comunidades tradicionais na tomada de decisão, de forma compartilhada: “Eu não vejo, ainda, a iniciativa por parte das comunidades tradicionais, mas eles já deram sinal que isso é possível” (CMD#01), existem ações neste sentido, como exemplo, as ações desenvolvidas pelo PrevFogo/IBAMA, que atua com brigadas indígenas em suas áreas de responsabilidade. Iniciativa que pode ser entendida como um “*caminho facilitador desse processo*” (Abbott e Chapman, 2018; Anderson e Marchezini, 2020).

Portanto, quanto à concentração no poder público para a tomada de decisão, a governança precisa considerar dimensões de adaptabilidade para ser eficaz, dado o contexto das mudanças climáticas que pressionam as políticas públicas a cada temporada de incêndios, e considerar a necessidade de inclusão dos produtores rurais nessa adaptação: “acho que tem ainda... ainda tem muito pra desenvolver, crescer ainda, principalmente na parte da produção, como produtores rurais” (CMD#04). (NAT#01) “Agora, o desafio nosso, e eu acredito que isso pode acontecer, é partir pra áreas privadas, levar esse conceito pra áreas privadas”. As organizações e os atores têm que agir, cada vez mais, de forma emergente e holística, na busca de soluções adequadas para o problema. Um ponto importante é a participação da academia nesse processo, já que o Centro de Monitoramento e Manejo do Fogo -CeMAF, faz parte do Comitê do Fogo, assim como empresas privadas como Energisa e BP Bunge, além do terceiro setor, como a Federação da Agricultura e Pecuária do Tocantins - FAET/SENAR (TOCANTINS, 2022).

No problema da rigidez organizacional, já que os entrevistados entendem que não há um consenso sobre essa política pública entre os atores da área: “Eu acho que um pouco da cultura organizacional de várias entidades quanto ao uso do fogo, a gente pode observar que alguns órgãos eram resistentes à questão do uso do fogo, e a gente tem observado que isso tem mudado” (DCE#02). Apresenta-se como solução a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, que se apresenta de forma sistêmica e não hierarquizada. Do ponto de vista da doutrina de gestão do desastre, o Comitê do Fogo nada mais é do que o Sistema de Defesa Civil atuando nos incêndios florestais, onde o uso do fogo se situa na fase de mitigação e se apresenta como ação fundamental para reduzir os danos e prejuízos dos incêndios florestais no período crítico do ano. “Eu acredito muito até que

a gente vê que o Tocantins já surgiu com um perfil de organização sobre o combate aos incêndios florestais. A gente vê que, naquele artigo lá, no Decreto 645 do Comitê do Fogo, (inint 05:42) de 1998 a gente já vê que já surgiu com integração com outros órgãos (CMD#02).

Sobre a regulamentação da prática, apresenta-se como limitação para o avanço da governança da coexistência com o fogo. Registra-se a falta de regulamentação do MIF em algumas entrevistas, comprovada nos documentos de Planejamento, mas que já consta como ação prioritária. Em Tocantins (2021), essa regulamentação, tanto a nível nacional, estadual ou mesmo municipal, permitirá uma intervenção mais ativa e preventiva da governança.

Por fim, a governança da coexistência com o fogo requer intervenção das organizações e a implementação de ações de forma coordenada, para alterar estruturas rígidas e dependentes de decisões passadas “*path dependence*” que tende a restringir as mudanças significativas. Os grandes incêndios florestais e a quantidade de queimadas registradas no Tocantins, como nos anos de 2007, 2010 e 2012, mostraram que ainda há muito a ser feito, e que a participação da sociedade organizada no processo é necessária, e nem todos compartilham do entendimento de que é possível avançar sobre as áreas privadas. “De um modo geral a gente não tem como usar o MIF, por exemplo, numa fazenda muito grande” (CBM#01), assim como são necessários mais estudos para analisar os impactos no meio ambiente. “Então, como prevenção, e como são poucos estudos, ninguém vê o estudo de ponta a ponta. Porque ao longo prazo, sim, ao curto prazo, eu vejo que como prova preventiva, só a intensidade, mas a consequência ainda não foi debatida” (DCE#01), “Então, tem que haver estudos de forma acadêmica, observando tanto como que ele vai agredir o solo, como que vai ser a regeneração da floresta” (CBM#02), “E como eu falei, precisa de estudos aí pra melhorar onde, como e quando queimar. Isso aí precisa evoluir bastante ainda” (PFI#03).

No entanto, os números do Estado nas últimas temporadas de estiagem, pela perspectiva do combate aos incêndios florestais, apresentam-se como uma direção correta para diminuir a intensidade desse desastre e consolidar a governança da coexistência com o fogo.

“Na verdade, o conceito de manejo integrado do fogo, ele é bem amplo, e acho que, dentro do próprio conceito de manejo integrado do fogo, está o não uso do fogo. Mas dentro do manejo também está a queima prescrita, que é, de fato, o uso do fogo. É uma das ferramentas do manejo, que é o uso do fogo. E esse uso do fogo, essa queima prescrita, esse fogo tradicional, esse fogo sertanejo que, ao longo da vida aí, foi usado com muita responsabilidade e com objetivos, sem sombra de dúvida, é a forma correta de trabalharmos. Se não trabalharmos

utilizando esses conhecimentos, utilizando o fogo pra alcançar objetivos, seja de frutificação, seja de proteção, seja de redução dos grandes incêndios, humanamente é quase que impossível a gente dar resposta pra sociedade no quesito de combate a incêndio florestal” (PFI#02).

Os resultados apresentados, nos últimos anos, mostram que é possível adaptar-se de forma eficiente às mudanças climáticas e buscar mitigar seus efeitos, coexistindo com o uso do fogo de forma controlada e preventiva, minimizando a chance de ter-se, novamente, temporadas de incêndios e queimadas de grandes proporções no Tocantins. O segredo do sucesso pode ser a governança adequada das políticas públicas, um processo muito mais difícil de executar, do que ter a percepção da sua importância, já que necessita de vários atores. “Mas o grande ponto hoje na prevenção e combate de incêndios florestais, isso não só no estado do Tocantins mas de modo geral no país, é a integração dos vários órgãos e fatores, tanto estadual, quanto federal, quanto municipal nessa questão de prevenção aos incêndios” (CBM#01).

### Conclusão

O artigo analisou a governança do fogo no Tocantins, um dos estados brasileiros que faz parte da Amazônia Legal e que vem destacando-se no cenário nacional por ter temporadas de incêndios florestais intensas. Verificou-se que a governança foi alterando-se no decorrer da última década, passando de uma política de supressão do fogo (“Política do Fogo Zero”) para a coexistência com o fogo “Manejo Integrado do Fogo” que já era conhecida pelos povos tradicionais da região, mas que não correspondia à visão de mundo das instituições governamentais. Esse processo levou a grandes temporadas de incêndios florestais, destacando os anos de 2007, 2010 e 2012.

A mudança transformadora iniciou-se por volta de 2012, potencializada pela existência do Comitê do Fogo, que ajudou a diminuir a rigidez organizacional, já que atua conforme a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, numa abordagem sistêmica e não hierarquizada, de forma que o MIF passou a ser uma política pública executada pelas organizações ambientais (Federal e Estadual), reproduzida pelas Defesas Civis Municipais (Brigadas Municipais), e inserida de forma clara nos documentos oficiais de planejamento estratégico e táticos/operacionais.

Apesar dos números indicarem uma redução das queimadas e estabilidade, ao longo dos últimos anos, a governança do uso do fogo ainda tem como desafios o avanço do agronegócio na região, a participação dos povos tradicionais na tomada de decisão e a falta de regulamentação do Manejo Integrado do Fogo, além da necessidade de mais estudos sobre o impacto do uso preventivo do fogo no meio ambiente.

### Agradecimentos

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da Fundação Universidade Federal do Tocantins - UFT, conforme Parecer Consustanciado nº 7.148.492, que se deu por meio do Processo CAAE: 82881024.8.0000.5519.

215

### Referências bibliográficas

- Abbott, G., & Chapman, C. M. (2018). *Columbia, Addressing the new normal: 21st century disaster management in British*. Victoria, British Columbia, Canadá. Recuperado de: <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/public-safety-and-emergency-services/emergency-preparedness-response-recovery/embc/bc-flood-and-wildfire-review-addressing-the-new-normal-21st-century-disaster-management-in-bc-web.pdf>
- Anderson, L., & Marchezini, V. (2020). Mudanças na exposição da população à fumaça gerada por incêndios florestais na Amazônia: o que dizem os dados sobre desastres e qualidade do ar? *Saúde em Debate*, 44(2 Especial), 284-302.  
DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042020E220>
- Andrade, A. S., Ramos, R. M., Sano, E. E., Santos, R. L., Rodrigues, J. A., Giongo, M., Franca, R. R., & Laranja, R. E. (2021). Implementation of Fire Policies in Brazil: An Assessment of Fire Dynamics in Brazilian Savanna. *Sustainability*, 13(20).  
DOI: <https://doi.org/10.3390/su132011532>
- Araújo, M. L., Sano, E. E., Bolfe, E. L., Santos, J. R., Santos, J. S., & Silva, F. B. (2019). Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990-2015). *Land use policy*, 80, 57-67.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.040>
- Bardin, L. (2011). *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70.
- Becerra, J. A., Shimabukuro, Y. E., & Alvalá, R. C. (2009). Relação do Padrão Sazonal da Vegetação com a Precipitação da Região de Cerrado da Amazônia Legal, usando Índices Espectrais de Vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2), 125-134. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/8v/w3vVpSXR3tgBsp6Yxgcvt/?lang=pt&format=pdf>
- Bennett, N. J., & Satterfield, T. (2018). Environmental governance: a practical framework to guide design, evaluation, and analysis. *Conservation Letters*, 11(6), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1111/conl.12600>
- Bowen, G. (2009). Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27-40. DOI: <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- BRASIL (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília-DF: Casa Civil. Recuperado de: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)

BRASIL (2016). *Resolução nº 510*. Ministério da Saúde, Conselho Nacional de Saúde - CNS, trata sobre as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa em ciências humanas e sociais, Brasília - DF. Recuperado de: <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2016/Reso510.pdf>

BRASIL (2018). *Projeto de Lei nº 11.276/2018*. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo , Brasília - DF. Recuperado de: [http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/Projetos/PL/2018/msg774-dezembro2018.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/Projetos/PL/2018/msg774-dezembro2018.htm)

BRASIL (2020). *Decreto nº 10.593, de Dezembro de 2020*. Dispõe sobre a organização e o funcionamento do SINPDEC e do CONPDEC e sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Informações sobre Desastres, Brasília - DF. Recuperado de: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/D10593.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10593.htm)

Chaffin, B. C., Garmestani, A. S., Gunderson, L. H., Benson, M. H., Angeler, D. G., Arnold, C. A., Cosens, B., Craig, R. K., Ruhl, J. B., & Allen, C. R. (2016). Transformative Environmental Governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 399-423. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7326237/>

Coffey, A. (2014). Analysing Documents. Em F. Uwe, *The SAGE Handbook of Qualitative Data Analysis* (367-379). London: SAGE Publications Ltd.

Consoli, S. (2021). Uncovering the hidden face of narrative analysis: A reflexive perspective through MAXQDA. *ScienceDirect*, 102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.system.2021.102611>

Copes-Gerbitz, K., Hagerman, S. M., & Daniels, L. D. (2022). Transforming fire governance in British Columbia, Canada: an emerging vision for coexisting with fire. *Regional Environmental Change*, 22(2), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01895-2>

Creswell, J. W. (2007). *Qualitative inquiry & research design: choosing among five approaches* (2 ed.). Thousand Oaks, California: SAGE Publications.

Fleming, C. J., McCartha, E. B., & Steelman, T. A. (2015). Conflict and collaboration in wildfire management: the role of mission alignment Public Administration. *Public Administration Review*, 75(3), 445-454. DOI: <https://doi.org/10.1111/puar.12353>

Franke, J., Barradas, A. C., Borges, M. A., Costa, M. M., Dias, P. A., Hoffmann, A. A., Filho, J. C. O., Melchiori, A. E., & Siegert, F. (2018). Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management. *Remote Sensing of Environment*, 217, 221-232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.018>

G1\_TOCANTINS. (2022). Tocantins teve redução de 32% na área queimada durante estiagem em 2021; número ainda é alto. Palmas, Tocantins, Brasil. Recuperado de: <https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2022/04/07/tocantins-teve-reducao-de-32percent-na-area-queimada-durante-estiagem-em-2021-numero-ainda-e-alto.shtml>

Guerriero, I. C., & Minayo, M. C. (2019). The approval of Resolution CNS no. 510/2016 is a progress for Brazilian science. *Saúde e Sociedade*, 28(4), 299-310. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902019190232>

Holstein, J. A., & Gubrium, J. F. (1997). Active Interviewing. In D. Silverman, *Qualitative Research, Theory, Method and Practice* (13-29). London: SAGE Publications Ltd.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2022). Cidades e Estados. Recuperado de: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to.html>

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE (2022). Banco de Dados de Queimadas. Recuperado de: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>

INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS - NATURATINS (2022). Aldeia Cipoal recebe capacitação para brigadistas municipais e indígenas. Recuperado de: <https://www.to.gov.br/naturatins/noticias/aldeia-cipoal-recebe-capacitacao-para-brigadistas-municipais-e-indigenas/770dt8l3v5wx>

Jolly, W. M., Cochrane, M. A., Freeborn, P. H., Holden, Z. A., Jr., B. T., Williamson, G. J., & Bowman, M. J. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, 6, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>

Kelly, L. T., & Brotons, L. (2017). Using fire to promote biodiversity. *Science*, 355(6331), 1264-1265. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aam7672>

Kelly, E. C., Charnley, S., & Pixley, J. T. (2019). Polycentric systems for wildfire governance in the Western United States. *Land Use Policy*, 89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104214>

Marjaei, S., Yazdi, F. A., & Chandrashekara, M. (2019). MAXQDA and its Application to LIS Research. *Library Philosophy and Practice (e-journal)*, 1-10. Recuperado de: <https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/2325/>

Moritz, M. A., Batllori, E., Bradstock, R. A., Gill, A. M., Handmer, J., Hessburg, P. F., Leonard, J., McCaffrey, S., Odion, D. C., Schoennagel, T., & Syphard, A. D. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*, 515, 58-66. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature13946>

North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge: University Press.

- North, D. C. (2005). *Understanding the process of economic change*. New Jersey: Princeton University Press.
- Oliveira, T. J., & Piffer, M. (2017). From Legal Southeast Amazon to the Central North: spatial transformation of the economy. *RBEUR*, 19(1) 164-178.  
DOI: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2017v19n1p164>
- Ostrom, E. (2012). Nested externalities and polycentric institutions: Must we want for global solutions to climate change before taking actions at other scales? *Economic Theory*, 49, 353-369.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00199-010-0558-6>
- Paim, R. A. (2022). Operações de Garantia da Lei e da Ordem na Amazônia Legal: combate aos ilícitos ambientais. *Coleção Meira Mattos: revista das ciências militares*, 16(56), 295-325.  
DOI: <https://doi.org/10.52781/cmm.a075>
- PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - IPCC (2021). *Mudança do Clima 2021 - A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o AR6*. Disponível em [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC\\_mudanca2.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf)
- Palinkas, L. A., Horwitz, S. M., Green, C. A., Wisdom, J. P., Duan, N., & Hoagwood, K. (2015). Purposeful Sampling for Qualitative Data Collection and Analysis in Mixed Method Implementation Research. *Adm Policy Ment Health*, 42, 533-544.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10488-013-0528-y>
- Patriota, J. N., Batista, A. C., Ganassoli, E., Santos, M. M., Coelho, M. C., & Giongo, M. (2017). Evaluation of forest fire occurrences in the State of Tocantins. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 12(3), 518-523.  
DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v12i3.4061>
- Schensul, J. J., & Lecompte, M. D. (2013). *Essential ethnographic methods: a mixed methods approach* (2 ed.). AltaMira Press.
- Spies, T. A., White, E. M., Kline, J. D., Fischer, A. P., Ager, A., Bailey, J., Bolte, J., Koch, J., Platt, E., Olsen, C. S., Jacobs, D., Shindler, B., Steen-Adams, M. M., & Hammer, R. (2014). Examining fire-prone forest landscapes as coupled human and natural systems. *Ecology & Society*, 19(3).  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06584-190309>
- Steelman, T. (2016). Wildfire governance as social-ecological problem. *Ecology & Society*, 21(4).  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08681-210403>
- Tedim, F., McCaffrey, S., Leone, V., Delogu, G. M., Castelnou, M., McGee, T. K., & Aranha, J. (2020). What can we do differently about the extreme wildfire problem: an overview. In F. Tedim, V. Leone, & M. TK, *Extreme wildfire events and disasters: root causes and new management strategies* (233-263). Cambridge: Elsevier Inc.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815721-3.00013-8>
- Thaler, G. M., Viana, C., & Toni, F. (2019). From frontier governance to governance frontier: The political geography of Brazil's Amazon transition. *World Development*, 114, 59-72.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.09.022>
- TOCANTINS (1998). Decreto nº 645, de 20 de agosto de 1998. *DOE nº 724 de 11/09/1998*.
- TOCANTINS (2007). Decreto nº 3.143, de 17 de setembro de 2007. *DOE nº 2.494 de 18/09/2007*.
- TOCANTINS (2009). *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Estado do Tocantins*. Palmas.
- TOCANTINS (2015). *Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento do Estado do Tocantins - PPCDQ (atualização 2015-2020)*. Palmas. Recuperado de: <https://www.to.gov.br/semarh/plano-de-prevencao-e-combate-aos-desmatamentos-e-incendios-florestais-do-estado-do-tocantins-ppcdif/3bop2axwcj3f>
- TOCANTINS (2020). *Relatório Final das Ações do Comitê do Fogo 2020*. Apresenta as ações e os resultados do Comitê para o ano de 2020, Palmas. Recuperado de: <https://www.to.gov.br/defesacivil/comite-do-fogo/625j0rxs4z06>
- TOCANTINS (2021). *Plano de Prevenção e Combate aos Desmatamentos e Incêndios Florestais do Tocantins - PPCDIF (2021-2025)*. Palmas. Recuperado de: <https://www.to.gov.br/semarh/plano-de-prevencao-e-combate-aos-desmatamentos-e-incendios-florestais-do-estado-do-tocantins-ppcdif/3bop2axwcj3f>
- TOCANTINS (2021a). *Plano de Ação do Comitê do Fogo 2021*. Palmas. Recuperado de: <https://www.to.gov.br/defesacivil/comite-do-fogo/625j0rxs4z06>
- TOCANTINS (2021b). *Relatório Final das Ações do Comitê do Fogo 2021*. Apresenta as ações e resultados do Comitê para o ano de 2021, Palmas. Recuperado de: <https://www.to.gov.br/defesacivil/comite-do-fogo/625j0rxs4z06>
- TOCANTINS (2022). *Plano de Ação do Comitê do Fogo 2022*. Apresenta as ações propostas do Comitê para 2022, Palmas. Recuperado de: <https://www.to.gov.br/defesacivil/comite-do-fogo/625j0rxs4z06>
- Young, O. R., King, L. A., & Schroeder, H. (2008). *Institutional and environmental change: principal findings, applications, and research frontiers*. Cambridge, Massachusetts, USA: MIT Press.





**INFLUÊNCIA DA BRISA NO RUMO E INTENSIDADE DO VENTO LOCAL - CONTRIBUIÇÃO OU RISCO NO POTENCIAL EÓLICO:  
ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DE AVEIRO\***

219

**INFLUENCE OF THE BREEZE ON THE LOCAL WIND - CONTRIBUTION OR RISK IN RELATION TO THE WIND POTENTIAL:  
CASE STUDY IN THE REGION OF AVEIRO**

Mário Talaia

Universidade de Aveiro, CIDTFF (Portugal)  
Centro de Investigação Didática e Tecnologia na Formação de Formadores, Departamento de Física  
 0000-0003-4311-6209 [mart@ua.pt](mailto:mart@ua.pt)

### RESUMO

As alterações climáticas estão a condicionar o aquecimento global do planeta Terra e uma das consequências é a falência de ecossistemas que, por sua vez, alteram o clima e os tipos de circulação atmosférica registadas e previstas pelas cartas de meteorologia. Este trabalho usa dados meteorológicos registados numa estação meteorológica automática, durante um ano, para conhecer o potencial eólico num local da costa litoral junto ao mar. Os dados permitem conhecer, para intervalos de velocidade do vento, a frequência absoluta, em horas, que condiciona a escolha de um aerogerador. Determinou-se a velocidade zonal, para cada dia, com o objetivo de conhecer as características vetoriais do vento real e do vento geostrófico. Os resultados obtidos mostram, inequivocamente, que a brisa marítima tem influência no potencial eólico previsto para o local. A determinação da velocidade meridional sugere o início da nortada e o seu aumento em intensidade. Este trabalho mostra que o vento associado à formação da brisa marítima depende do Tipo de Circulação Atmosférica. A brisa marítima pode, nalguns casos, destruir o sentido do vento real, passando o anemômetro e catavento a registarem o somatório dos vetores do vento a partir da brisa e do vento geostrófico. Uma ilustração, é apresentada para esquematizar a formação da brisa.

**Palavras-chave:** Alterações climáticas, tipo de brisa, aproximação geostrófica, cartas meteorológicas, registo automático e registo por observação.

### ABSTRACT

Climate change is contributing to the global warming of the planet Earth. One of the consequences is the collapse of ecosystems, thereby altering the climate of a region, which in turn alters the climate and the types of atmospheric circulation recorded and predicted by meteorological maps. This work uses the meteorological data recorded in an automatic meteorological station for a year, to find out the wind potential in a coastal region next to the sea. The data provides information on the absolute frequency, in hours, for wind speed intervals, which influences the choice of wind turbine. The zonal velocity was determined for each day in order to understand the vector characteristics of the actual wind and the geostrophic wind. The results unequivocally show that the sea breeze has an influence on the wind potential predicted for the region under study. The determination of the meridional velocity suggests the beginning of a north wind and its increase in intensity. This work shows that the wind associated with the formation of sea breezes depends on the type of atmospheric circulation. Sea breezes can, in some cases, distort the actual wind direction by causing the anemometer and wind vane to record the sum of the wind vectors from the breeze and geostrophic wind. An illustration, without being in scale, is presented to show how breezes form.

**Keywords:** Climate change, type of breeze, geostrophic approach, weather charts, automatic or recording and observational recording.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 17-07-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 14-02-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

As alterações climáticas estão a condicionar o aquecimento global do planeta Terra. Para a previsão do estado do tempo atmosférico estão a ser usados modelos que são alimentados por registos de parâmetros meteorológicos realizados em estações meteorológicas, por radiossondagens, por plataformas marítimas, por satélites, entre outras.

As alterações climáticas referem-se a uma alteração no clima de uma região, e apresentam consequências, como por exemplo, na extinção de várias espécies vivas, fusão de glaciares, aumento de gizes com efeito de estufa, aumento do nível médio das águas do mar, riscos de inundação de costa litoral, deslocamento de pessoas de zonas de risco, consequências, estas, que se apresentam como problemas na economia, na sociedade e na política pela dificuldade de adoção de estratégias capazes de minorar os riscos associados (IPCC, 2009; IPCC, 2018; IPCC, 2019; IPCC, 2023a; IPCC, 2013b; IPCC, 2023c).

O desenvolvimento socioeconómico das últimas décadas caracterizou-se por um forte crescimento do consumo de energia produzida essencialmente a partir de combustíveis fósseis. Hoje, as fontes renováveis de energia são uma temática a valorizar. Estamos a viver um momento de mudança devido à necessidade de responder ao desafio criado pelas alterações climáticas e pela necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis. É da responsabilidade de cada ser humano proteger e minimizar a sua pegada energética.

Na perspetiva da energia consumida é assumido que as fontes renováveis de energia são um alicerce que deve ser considerado.

Neste estudo dá-se atenção ao potencial eólico de um local. Como fonte gratuita de energia, as características do vento podem ser usadas para a escolha de um aerogerador. É sabido que as estações meteorológicas automáticas registam as características do vento a 10 metros de altura e, estes valores, através de leis físicas, podem ser projetados para a altitude que é colocado o eixo de rotação de um aerogerador. Portugal publicou, pelo Ministério da Economia e da Inovação (2007), uma obra como alicerce na tomada de decisões referentes as opções para a utilização de fontes de energia renováveis.

Este estudo mostra como o potencial eólico pode ser condicionado quando há influência de brisa. O local considerado neste estudo é a zona litoral do distrito de Aveiro e a análise da velocidade do vento zonal e vento meridional é interpretada para a variação do potencial eólico. É, também, estudada a hora da entrada na costa litoral da brisa marítima e o agravamento da nortada (NW) e apresentado um modelo ilustrativo da formação da brisa marítima num tipo de circulação de ventos de Este para Oeste.

## Fundamentos teóricos

O vento é uma matéria-prima gratuita que pode ser usada para a produção de energia usando aerogeradores. O movimento das pás do aerogerador, devido à ação do vento, transfere energia mecânica sobre forma de energia elétrica. Esta contribuição permite avaliar o potencial eólico que define a potência por unidade de área criada pela ação do vento.

A expressão geral para o potencial eólico teórico (em Watt), que é varrido pelas pás do aerogerador, é

$$P = (1/2)\rho Av^3 \quad (1)$$

onde  $\rho$  representa a massa volúmica do ar a uma dada temperatura do ar ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), A representa a área ( $\text{m}^2$ ) que as pás do aerogerador descrevem em movimento, ou seja, a área varrida por ação do vento e  $v$  representa a velocidade do vento ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Holton, 2004).

O valor de  $v$  introduzido na expressão (1) é função da altitude em que é colocado o eixo horizontal de rotação do aerogerador. Na realidade, este eixo não está colocado na horizontal pois deve apresentar uma ligeira inclinação angular de modo a evitar que as pás, no seu movimento, possam colidir com a coluna vertical do aerogerador.

Para a altura do eixo de rotação do aerogerador usou-se, neste estudo, a lei da potência ou perfil potencial, dada por

$$v(z)/v(z_1) = (z/z_1)^\alpha \quad (2)$$

em que  $z_1$  representa uma altura de referência à qual é medida a intensidade do vento  $v(z_1)$ . O expoente  $\alpha$  depende da rugosidade da superfície terrestre e da estabilidade atmosférica. A literatura da especialidade mostra que o valor tipicamente aceite é de cerca de 0,15 para ventos marítimos ou zonas localizadas na costa marítima (Hsu *et al.*, 1994; Schwartz e Elliott, 2006; Wood, 2011; Rehman *et al.*, 2013).

Contudo, nem todo o potencial eólico é retirado pelos aerogeradores. Os valores registados mostram que, de acordo com o limite de Betz, o potencial máximo que um aerogerador consegue retirar do vento é de 59,3% (Burton *et al.*, 2011). Na prática, o valor da velocidade do vento que fornece potência ao aerogerador é dado pela diferença entre as velocidades de entrada e saída, em que 100% corresponde à ausência de vento na retaguarda do aerogerador (situação ideal). A expressão (3) mostra que, para o máximo de energia que pode ser retirada do vento através de qualquer tipo de aerogerador corresponde a uma diminuição no valor da potência teórica em 59% (Jones, 1950), ou seja, o coeficiente de potência é definido pelo cociente entre a potência extraída pela turbina do vento e a energia disponível do vento.

A expressão (1) deve, então, ser corrigida através da introdução de um fator adimensional chamado de coeficiente de potência,  $C_p$ , que é avaliado através da performance do aerogerador, resultando em

$$P_e = (1/2)C_p \rho A v^3 \quad (3)$$

As curvas de potência são baseadas em medições na área varrida pelas pás, com baixa turbulência e com o vento a chegar perpendicularmente à área varrida pela turbina eólica. Normalmente, a curva de potência de um aerogerador é calculada por meio de medições de campo, com um anemômetro colocado na torre e perto da turbina eólica. Não deve ser colocado na própria turbina ou demasiado perto da turbina, pois esta situação pode potenciar turbulência e, consequentemente, originar erros na aquisição de parâmetros meteorológicos.

A distribuição estatística da velocidade do vento é primordial para determinar o potencial energético devido a ação do vento no local, bem como o seu desempenho em sistemas de conversão de energia, do ponto de vista estrutural e ambiental (Henessey, 1977). O período mínimo de recolha de informação meteorológica para a escolha de um aerogerador deve ser um ano civil, sendo o ideal dispor de cinco anos de dados meteorológicos. Para um conhecimento adequado do histograma das velocidades do vento registadas numa região seria conveniente que, antes da instalação de aerogeradores, fossem usadas torres com uma altitude de 100 metros acima do solo e com vários níveis de aquisição de parâmetros meteorológicos para se interpretar cabalmente o perfil do vento em altitude e a estabilidade da atmosfera. O conhecimento do perfil do vento em altitude é importante para se adotar a melhor eficiência energética para o eixo de rotação do aerogerador e para se conhecer, para a região em estudo, o valor do parâmetro  $\alpha$  para a lei de potência que é função da rugosidade do solo e da estabilidade da atmosfera.

Um modelo estatístico baseado na função de distribuição de frequências de Weibull pode ser aplicado para se prever a velocidade do vento (Gupta, 1986). A distribuição de Weibull, muito utilizada pelo sector eólico, possibilita a previsão da produção futura de energia elétrica, e é dada por

$$p(v) = (k/C)[(v/C)^{k-1}]e^{[-v/C]^k} \quad (4)$$

onde  $k$  representa o parâmetro de forma de Weibull,  $C$  o parâmetro de escala de Weibull e  $v$  a velocidade do vento. Os parâmetros  $C$  e  $k$  são determinados para o histograma de velocidades do local e para intervalos de velocidade de  $1\text{ms}^{-1}$  função do número de horas registados ao longo do ano. Nestes termos, os valores para  $C$  e  $k$  dependem da orografia e do histograma de velocidades do local.

O parâmetro de escala  $C$  ( $\text{ms}^{-1}$ ) indica um padrão para a velocidade do vento e a posição da curva que se regista no local de estudo. O parâmetro de forma  $k$  (adimensional) indica o grau de concentração da distribuição, ou seja, indica se as velocidades do vento tendem a estar próximas ou concentradas num determinado valor. Nestes termos, se a distribuição registar um valor elevado de  $k$ , será uma distribuição muito concentrada num dado valor e favorece o potencial eólico na escolha do aerogerador.

A distribuição de Weibull para a velocidade do vento, com dois parâmetros, pode ser expressa pela densidade de probabilidade (Justus e Mikael, 1976; Justus *et al.*, 1978),

$$p(v)dv = (k/C)[(v/C)^{k-1}]e^{[-v/C]^k}dv \quad (5)$$

A função de probabilidade acumulada é dada por

$$P_i(v \leq v_i) = 1 - e^{[-v_i/C]^k} \quad (6)$$

Os parâmetros  $C$  e  $k$  determinam-se a partir da expressão (6) quando transformada na forma linear  $y_i = a + bx_i$  (Justus *et al.*, 1978), ou seja

$$\ln[-\ln(1-p_i)] = -k\ln C + k\ln v_i \quad (7)$$

em que na expressão:

$$y_i = \ln[-\ln(1-p_i)], x_i = \ln v_i, a = -k\ln C \text{ e } b = k$$

Através da aplicação do método dos desvios mínimos quadrados ao conjunto de dados  $(x_i, y_i)$  determinam-se os valores de  $k$  e  $C$ , para o local de estudo. Estes valores são particulares a cada local e determinados a partir do histograma de velocidades. Neste estudo consideraram-se intervalos de velocidade de  $1\text{ms}^{-1}$ . O grau de ajuste das séries (por aplicação do modelo de Weibull) pode ser investigado através do erro residual (Justus e Mikael, 1976; Justus *et al.*, 1978) calculado por

$$E^2 = \sum_i^n [P_{i(\text{obs})}(v \leq v_i) - P_{i(\text{cal})}(v \leq v_i)]^2 \quad (8)$$

onde  $P_{i(\text{obs})}$  é a probabilidade acumulada observada e  $P_{i(\text{cal})}$  a probabilidade acumulada calculada através do modelo de Weibull.

A distribuição de Weibull pode variar tanto na forma como no valor médio, mas na prática a distribuição de Weibull é uma excelente aproximação à distribuição real (Li e Li, 2005).

Existem outros métodos que podem ser aplicados para avaliar a distribuição de ventos. A distribuição de Rayleigh, e a distribuição Beta e a distribuição Log-Normal são soluções alternativas. Normalmente, cabe ao projetista avaliar a oportunidade da escolha.

A correta quantificação do potencial eólico disponível para fins energéticos em locais de topografia complexa apresenta diversas dificuldades. A modelação do

escoamento atmosférico em terrenos de elevada complexidade traz, efetivamente, várias complicações. Os modelos incorporados, utilizados comercialmente, são forçados a recorrer a algumas simplificações. A linearização das equações de movimento deixa de parte fenómenos como o deslocamento ou a recirculação, fenómenos estes que são tanto mais comuns quanto maior for a complexidade orográfica.

Com base na informação das cartas meteorológicas (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>) é possível determinar as características do vento numa determinada área.

O vento junto ao solo é originado devido às diferenças de pressão que aí se registam. O desequilíbrio das pressões faz com que o ar se desloque das altas para as baixas pressões (Holton, 2004) não se perdendo de vista o efeito da força de Coriolis. Num centro depressionário, o ar circula de fora para o interior e provoca convergência, enquanto no anticiclone o ar circula do interior para fora provocando divergência. Nestes termos, tem-se convergência de massa para uma circulação ciclónica e tem-se divergência de massa para uma circulação anticyclónica, a qual por continuidade de massa se requer movimento vertical ascendente e descendente, respetivamente. Nesta perspectiva é possível considerar uma aproximação denominada de aproximação geostrófica que é válida para escalas sinóticas nas latitudes extratropicais. Conforme mostraram Trigo e DaCamara (2000) é determinante, para o estudo de uma região, conhecer, ao longo do ano, os diferentes tipos de circulação atmosférica.

Para estudar a intensidade ou módulo do vento geostrófico pode admitir-se, com boa aproximação, que localmente a massa volúmica e o parâmetro de Coriolis (Talaia e Fernandes, 2009) pouco variam. Então, o módulo da velocidade geostrófica será dado por,

(9)

$$V_g \approx (1/\rho f)(\Delta p / \Delta n)$$

em que  $f$  representa o parâmetro de Coriolis, que na latitude de Portugal, pode ser assumido ser  $10^{-4} s^{-1}$ ,  $\rho$  representa a massa volúmica da massa de ar e assumida ser  $1,2 \text{ kg/m}^3$ ,  $\Delta n$  representa o afastamento ou a distância entre duas isobáras consecutivas que correspondem à variação da pressão  $\Delta p$ . A interpretação física da expressão (9) mostra que a intensidade do vento geostrófico é inversamente proporcional ao afastamento das isobáricas.

Na interpretação física da brisa (Steele et al., 2015; Rafiq et al., 2020; Xia et al., 2021) são considerados as capacidades térmicas da areia e da água do mar, o albedo da superfície, a mudança de fase (de água líquida que molha a areia no processo de evaporação de líquido

para o estado de vapor de água), a radiação solar direta na área de estudo, onde são usadas as expressões:

$$Q = mc\Delta T \quad (\text{caso de um solo considerado seco})$$

$$Q = mL \quad (\text{caso de um solo considerado húmido})$$

em que  $Q$  representa a energia,  $m$  a massa da substância,  $c$  a capacidade térmica da substância,  $\Delta T$  a diferença de temperatura e  $L$  a variação da entalpia ou calor de transformação. No caso de um solo considerado húmido, a influência da água presente no solo favorece a mudança de fase da água determinando uma menor temperatura do solo face à mesma potência solar para a mesma área, de solo considerado seco. Na prática, enquanto o solo estiver húmido há uma fração de energia proveniente do Sol (radiação solar) que será consumida para o processo da mudança de fase.

### Metodologia

Os parâmetros meteorológicos foram registados de hora em hora, durante um ano civil, na estação meteorológica automática da Universidade de Aveiro. De 8760 dados previstos apenas foram considerados 8218 devido a falhas de registo dos sensores, o que é considerado de normal.

Usou-se uma folha de Excel para fazer a estatística da coleção de dados, depois de se filtrarem dados sem significado físico ou ausência de aquisição pelo sensor (instrumento de medida).

Os dados foram projetados para a altitude do eixo de rotação do aerogerador [aplicação da expressão (2)] e construiu-se o histograma para intervalos de velocidades em função do número de horas, assim como um gráfico para visualização, face à média da velocidade do vento anual, dos desvios positivos e negativos dos meses que sugerem maior potencial eólico.

Foi, também, construída, para o ano civil, a rosa dos ventos para conhecer o rumo dominante do vento.

Para o local, e para o histograma dos intervalos da velocidade do vento função do número de horas, selecionou-se, via catálogo do fabricante, um aerogerador. Para a altitude considerada, foram consultados valores de coeficiente de potência e potência do aerogerador.

Determinou-se, para cada intervalo de velocidades de vento, a energia que é prevista para as características do aerogerador selecionado.

Aplicou-se um modelo estatístico - denominado método dos desvios mínimos quadráticos - para determinar os parâmetros da distribuição de Weibull que permitiram fazer a previsão da energia do aerogerador [aplicação das expressões (4) à (8)].

Determinaram-se, também, a energia teórica, a energia pela limitação de Betz e a energia pela performance do aerogerador selecionado [aplicação das expressões (1) e (3)].

Comparou-se a energia acumulada registada pelo aerogerador, durante o ano civil, através das expressões físicas e da distribuição de Weibull.

Avaliou-se a influência da brisa local face ao vento registado nos instrumentos de medida (anemômetro e catavento) e a previsão do vento geostrófico pela aplicação das cartas meteorológicas [aplicação da expressão (9)].

Foram considerados para a análise do vento a orientação zonal e meridional, a influência da brisa terrestre e da brisa marítima, assim como a nortada (ou seja, vento de N/NW).

Apresentou-se um modelo, em imagem e sem escala, que tenta retratar o que acontece com o registo, no sensor, do vento na torre da estação meteorológica automática aos 10m de altitude, para um exemplo do tipo de circulação da atmosfera, avaliado em carta meteorológica, de ventos de Este para Oeste.

### Resultados obtidos e sua análise

Para o ano civil considerado, neste estudo, os dados registados na estação meteorológica automática permitiram construir o histograma da frequência absoluta do número de horas em função dos intervalos da intensidade da velocidade e o desvio para cada mês face a média da intensidade do vento anual (fig. 1). A média da velocidade do vento local de 4,45m/s e para uma altitude de 90m, é inferior ao valor indicado para uma altitude de 50m acima do solo de 6m/s a 7m/s (Troen e Petersen, 1989; <http://www.windatlas.dk/Europe/landmap.html>). Uma amostragem realizada, a outros anos civis, sugere que estes autores sobrevalorizaram o potencial eólico na costa litoral de Aveiro.

É possível observar a rosa dos ventos para o conjunto de dados registado (fig. 2). Inequivocamente, a observação da figura mostra que a predominância do vento é NW (320°) o que favorece a interpretação da existência da nortada no local e da formação da brisa marítima devido à diferença entre as capacidades térmicas da água e do solo, para a mesma energia por unidade de área, proveniente do Sol.

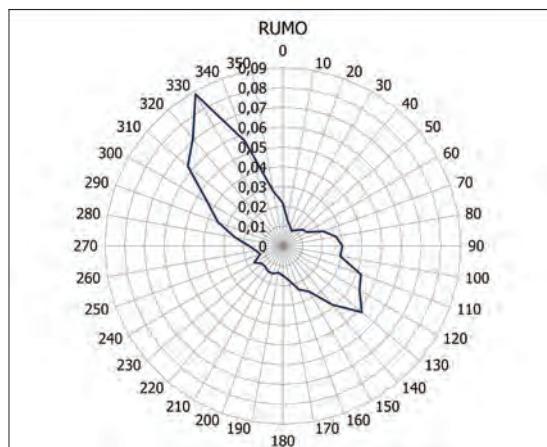


Fig. 2 - Rosa dos ventos.

Fig. 2 - Wind rose.

A observação da imagem no lado esquerdo (fig. 1), permite fazer a seleção do aerogerador face às suas características, nomeadamente o fator de potência e a potência do aerogerador (fig. 3).

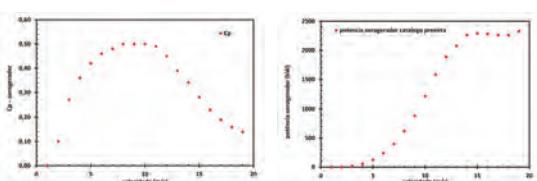


Fig. 3 - Características do aerogerador (dados do construtor).

Fig. 3 - Characteristics of the wind turbine (constructor data).

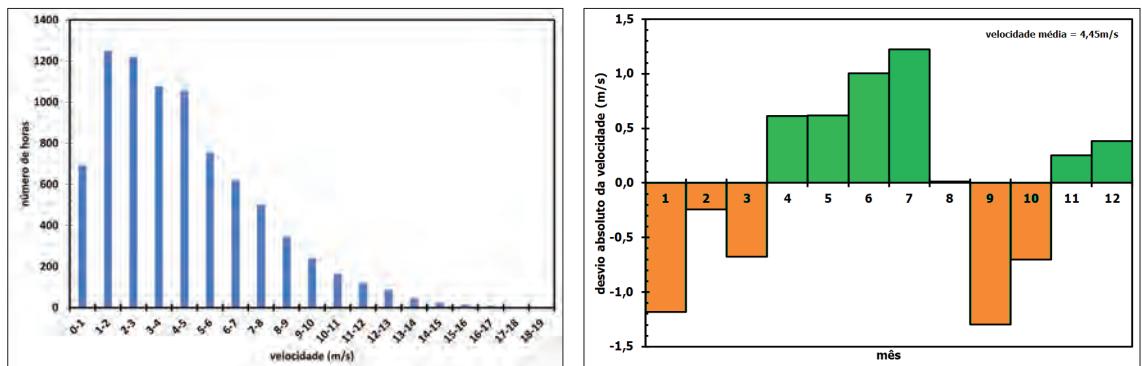


Fig. 1 - Dados registrados da intensidade da velocidade do vento (histograma (esq.) e desvio absoluto (dir.)).

Fig. 1 - Recorded wind speed intensity data (left, histogram: right, absolute deviation).

A partir dos dados indicados no histograma e nos dados indicados, em catálogo de fornecedor de aerogeradores (fig. 1 e fig. 3) construiu-se o histograma da energia prevista pelo aerogerador função dos intervalos de velocidade assumidos (fig. 4). A ordenada mostra a energia prevista do aerogerador para as intensidades do vento do local.

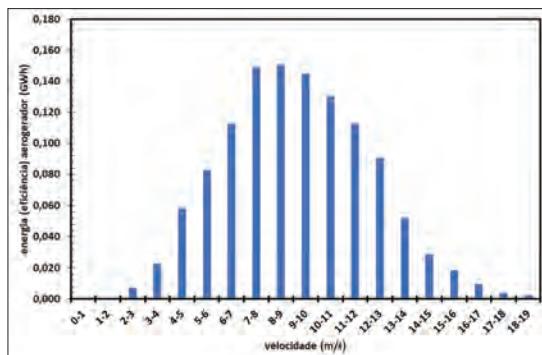


Fig. 4 - Energia prevista para o aerogerador escolhido.

Fig. 4 - Expected energy for the chosen wind turbine.

É importante interpretar os resultados indicados (fig. 1 e fig. 4). Para valores baixos (com alta frequência absoluta de horas registadas) e valores altos (com pequena frequência absoluta de horas registadas) para a intensidade do vento é prevista uma energia acumulada baixa como se indica (fig. 4). Conclui-se que o intervalo de velocidades no intervalo de 6m/s a 12m/s favorece os maiores valores para a energia prevista para o aerogerador. A consulta de catálogos dos fabricantes de aerogeradores mostra que a melhor eficiência depende da distribuição das velocidades do local e do coeficiente de potência do aerogerador. Nestes termos, esta indicação sugere que o melhor local para um potencial eólico com a máxima eficiência da escolha de um aerogerador é aquele que o histograma regista um número de horas muito concentrado entre cerca de 8m/s a 11m/s. Por exemplo, alta frequência absoluta do número de horas para baixos valores da velocidade do vento implicam a geração de pouca energia. O mesmo raciocínio pode ser feito para altas velocidades que pecam por registarem um baixo número de horas.

Determinou-se, para o aerogerador, a energia prevista que se obtém a partir do formulário teórico (considerando todo o vento que chega à área varrida pelas pás), a energia baseada na limitação de Betz e a energia baseada nas características do aerogerador (fig. 5).

A previsão do potencial eólico para o local foi prevista por aplicação da distribuição estatística de Weibull (fig. 6). A imagem superior mostra, para cada intervalo de velocidades, a previsão da energia prevista pelo uso dos fundamentos teóricos para o aerogerador e a previsão da energia pela distribuição de Weibull

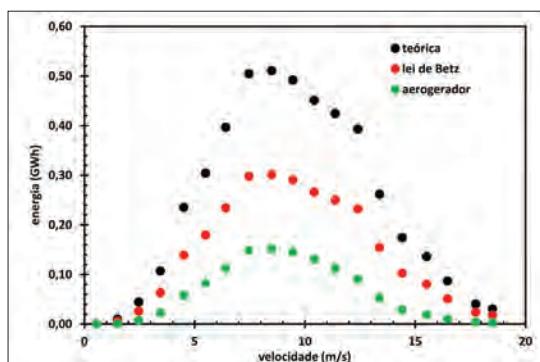


Fig. 5 - Energia teórica, lei de Betz e aerogerador.

Fig. 5 - Theoretical energy, Betz's law, and wind turbine.

para o mesmo aerogerador. A imagem inferior mostra a energia acumulada para o local. De referir que a distribuição de Weibull, neste caso de estudo, produz uma sobrevalorização da previsão do potencial eólico.

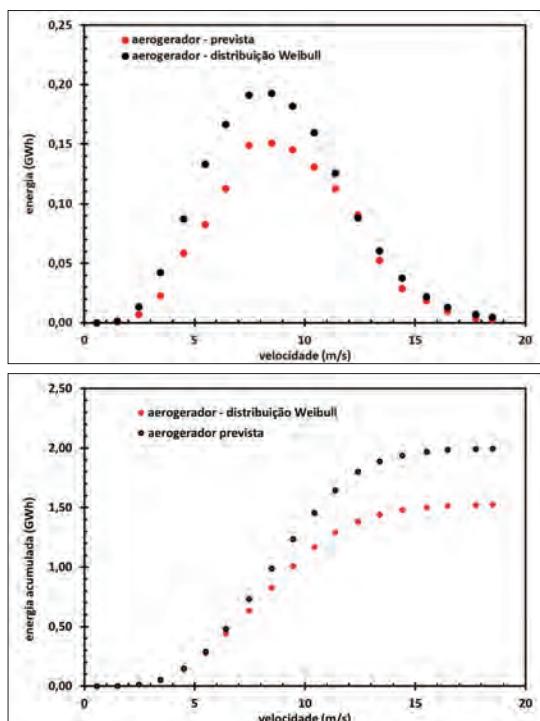


Fig. 6 - Previsão da energia para aerogerador: fundamentos teóricos e distribuição de Weibull.

Fig. 6 - Energy prediction for wind turbines (upper): theoretical and Weibull distribution (lower).

Para o mesmo local investigou-se a influência de brisa no valor registrado para a intensidade e rumo do vento pelo anemômetro e catavento, da estação meteorológica automática, face à informação indicada em cartas meteorológicas de superfície usando as linhas de pressão (isobáricas) contíguas (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>). Dadas as características do

local, zona costeira litoral, construiu-se uma ilustração para a interpretação do vento registado no anemómetro e catavento, devido ao desigual aquecimento da água do oceano e do solo, valorizando a presença das brisas terrestre e marítima (fig. 7). A ilustração mostra um caso típico de circulação da atmosfera em que a carta meteorológica prevista sugere um vento geostrófico de Este para Oeste.

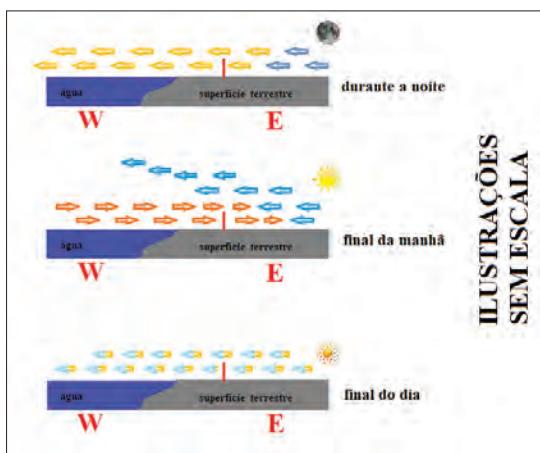


Fig. 7 - Ilustração da formação de brisa marítima - exemplo.

*Fig. 7 - Illustration of the formation of maritime sea breeze - example.*

São mostradas três situações (que não estão em escala). A imagem superior - durante a noite, mostra que o vento sopra de E para W o que indica que se trata da brisa terrestre potenciada pelo aquecimento devido à radiação solar direta, ou seja, devido à grande diferença das capacidades térmicas da água e do solo. A água funciona como um reservatório de calor, demora muito tempo a aumentar a temperatura, mas o mesmo é válido face à diminuição da temperatura. Durante a noite espera-se que a temperatura da água seja superior à temperatura do solo e se acontecer há condições atmosféricas para a formação da brisa terrestre. O ar adjacente sobre a superfície livre da água torna-se mais leve e ao ascender (cria um centro de baixa pressão) obriga a que seja gerado o movimento do ar que é mais denso na camada adjacente do solo a deslocar-se para o mar. A imagem central - final da manhã, mostra a formação da brisa marítima. Para a mesma potência da radiação do Sol o solo com baixa capacidade térmica aumenta significativamente de temperatura face à água do mar que devido a sua elevada capacidade térmica aumenta ligeiramente a sua temperatura. Nesta situação o ar adjacente ao solo torna-se muito menos denso e ao criar um centro de baixa pressão obriga o ar adjacente à superfície livre de água a se movimentar para terra. A situação anterior, da imagem superior, é desfeita e será tanto mais evidente quanto maior for o intervalo de temperaturas entre o mar e o solo. O mastro com sensores para registo automático de dados

meteorológicos é indicado pela linha vertical vermelha. Nestes termos a “luta” entre vetores da velocidade do vento que se origina de W para E face ao vento que estava presente de E para W, indicando sinais contrários, fazem os sensores lerem a resultante da soma de vetores e, neste caso, haverá uma inversão de valor em sinal, ou seja de W para E. A imagem inferior - final do dia, mostra que à noite a ausência de radiação solar direta favorece, novamente, a formação da brisa terrestre, se houver condições atmosféricas para tal. De notar que a brisa terrestre gera um movimento da massa de ar muito inferior à uma brisa marítima, devido ao intervalo de temperaturas que se registam (Pardo *et al.*, 2009).

No local de estudo, sendo o vento predominante de NW, assumiu-se determinar a velocidade zonal e a velocidade meridional para cada dia do ano, para interpretar porque durante as tardes, durante a maior parte do ano, há ventos de W para E e no verão, muitas vezes, geram desconforto nas tardes de praia. Há situações que o vento é significativo, gerando uma velocidade de corte na interface areia e ar em movimento, em que areias de menor calibre são facilmente movimentadas favorecendo a formação de nuvem de areia. Se a velocidade zonal favorece a compreensão da formação da brisa marítima e a hora de entrada na costa litoral, a velocidade meridional favorece a compreensão da existência da nortada, mais significativa durante as tardes.

Escolheram-se alguns dias para mostrar como o vento local depende das características geográficas e orográficas. As nuances do relevo da região é um elo forte a ter em consideração. Para cada dia consideraram-se, em coluna, três informações, a imagem superior mostra as linhas para velocidades registadas e determinadas, ou seja, a linha a vermelho a velocidade zonal, a linha a azul a velocidade meridional e a linha a negro a velocidade registada no anemômetro. A imagem central mostra a variação do rumo do vento durante o dia e imagem inferior mostra a carta meteorológica para a situação sinótica para a região em estudo. A seta a roxo sobre a região de Aveiro mostra as características do vento (intensidade por aplicação da aproximação geostrófica, a direção e o sentido).

Apresentam-se os resultados dos dias 27 de março e 17 de abril (fig. 8).

Para o dia 27 de março é possível concluir que o vento que sopra, de acordo com as linhas isobáricas, é de origem NE, o que equivale afirmar que a componente zonal será negativa durante o dia. Se observarmos a imagem superior a velocidade zonal durante o dia muda de sinal o que indica que há formação de uma brisa marítima. A nortada é registada entre as 14h30 e às 20h00 e é confirmada pela mudança do rumo do vento de cerca de 80° (E) para cerca de 320° (NW).

Para o dia 17 de abril a velocidade zonal tem sinal contrário ao previsto na carta meteorológica (imagem inferior) até as 11h00. Depois a velocidade zonal mantém o sinal previsto pela aproximação geostrófica, dado que os registos mostram que o vento tem origem a W (cerca de  $270^\circ$ ). A velocidade meridional está de acordo com a previsão e sugere ausência de nortada.

Resultados para os dias 18 de maio e 15 de julho (fig. 9)

Para o dia 18 de maio é possível concluir que o vento que sopra, de acordo com a carta meteorológica é de origem NW, o que equivale afirmar que a componente zonal será positiva durante o dia. Se observarmos a imagem superior a velocidade zonal durante o dia muda de sinal o que indica que há formação de uma brisa

marítima, pelo menos a partir das 10h00, instante que muda de sentido. A nortada é registada a partir das 10h00 e confirmada pela mudança do rumo do vento para cerca  $280^\circ$  (W). A nortada é bem significativa a partir das 14h00.

Para o dia 15 de julho a velocidade zonal tem sinal de acordo com a carta meteorológica (imagem inferior) até as 10h00. Depois a velocidade zonal muda de sinal e esta situação só é possível pela presença de brisa marítima que favorece vento intenso (de W para E). A velocidade meridional está de acordo com a previsão e indica a nortada durante o dia com aumento da intensidade do vento que regista um rumo de cerca de  $280^\circ$  (W). Este dia mostra, de forma inequívoca, como a brisa influencia o potencial eólico.

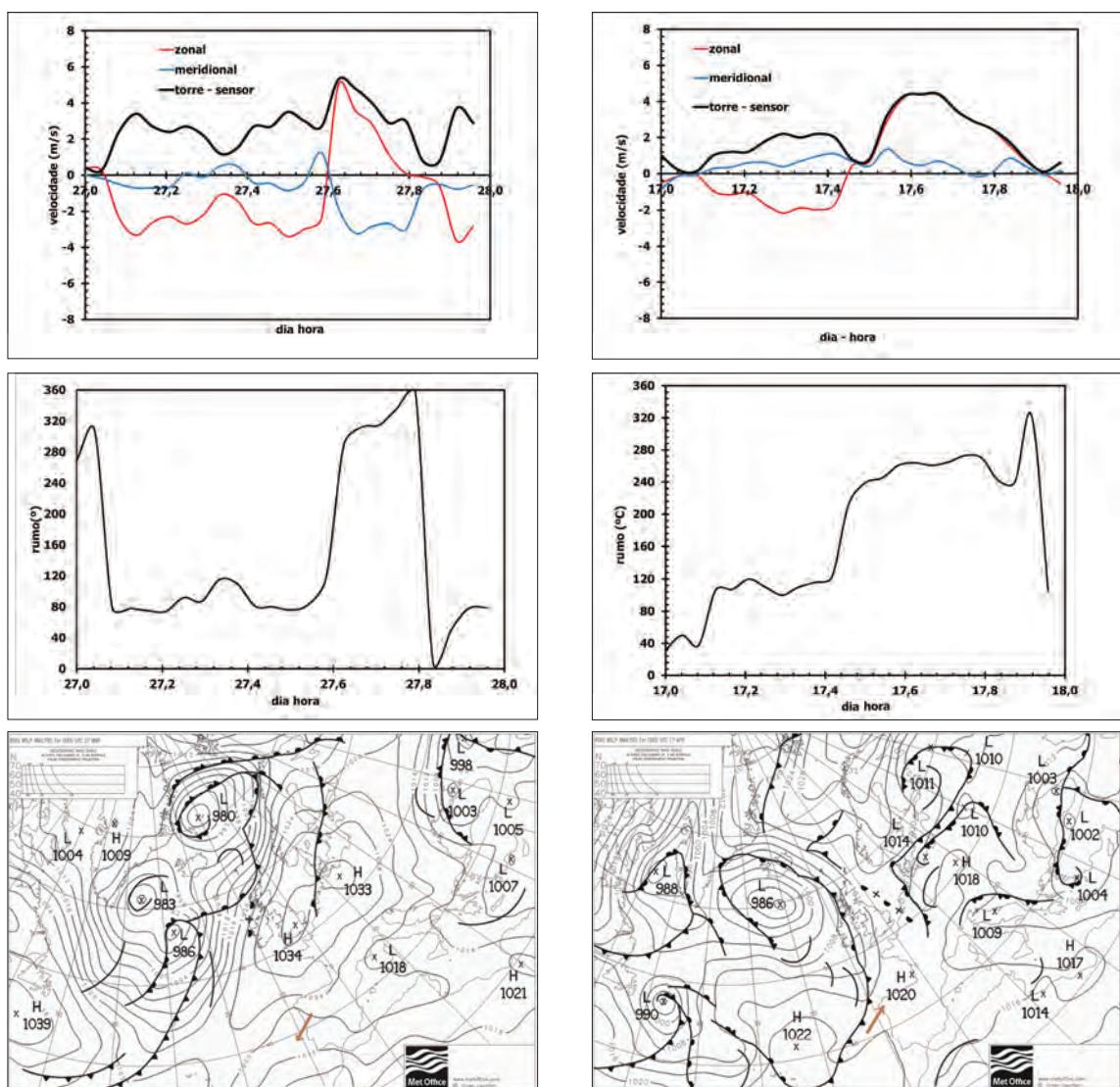


Fig. 8 - Comportamento da velocidade do vento, registada e prevista, dias 27 de março e 17 de abril.

Fig. 8 - Wind speed behaviour, recorded and forecast, 27 March 27 and 17 April 17.

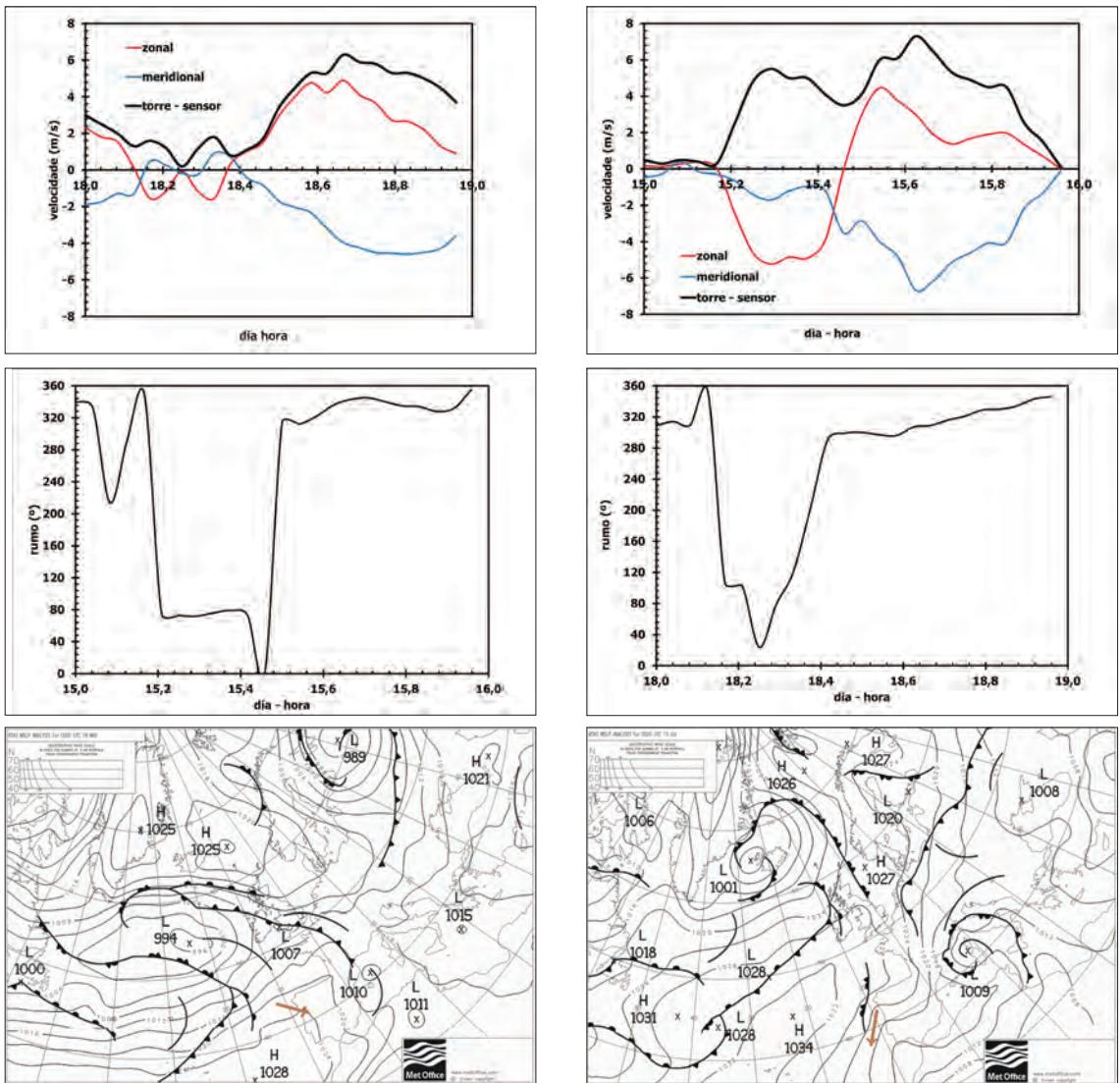


Fig. 9 - Comportamento da velocidade do vento, registada e prevista, dias 18 de maio e 15 de julho.

Fig. 9 - Wind speed behaviour, recorded and forecast, on 18 May and 15 July.

Resultados para os dias 23 de julho e 7 de agosto (fig. 10)

Para o dia 23 de julho é possível concluir que o vento que sopra, de acordo com as linhas isobáricas, é de origem NW, o que equivale afirmar que a componente zonal é positiva durante o dia (de W para E). Se observarmos a imagem superior a velocidade zonal durante o dia regista o mesmo sinal, o que indica que a brisa marítima formada vai contribuir para o aumento da intensidade do vento, através da soma vetorial. A nortada é registada a partir das 10h00 e é confirmada pelo rumo do vento de cerca de 280°.

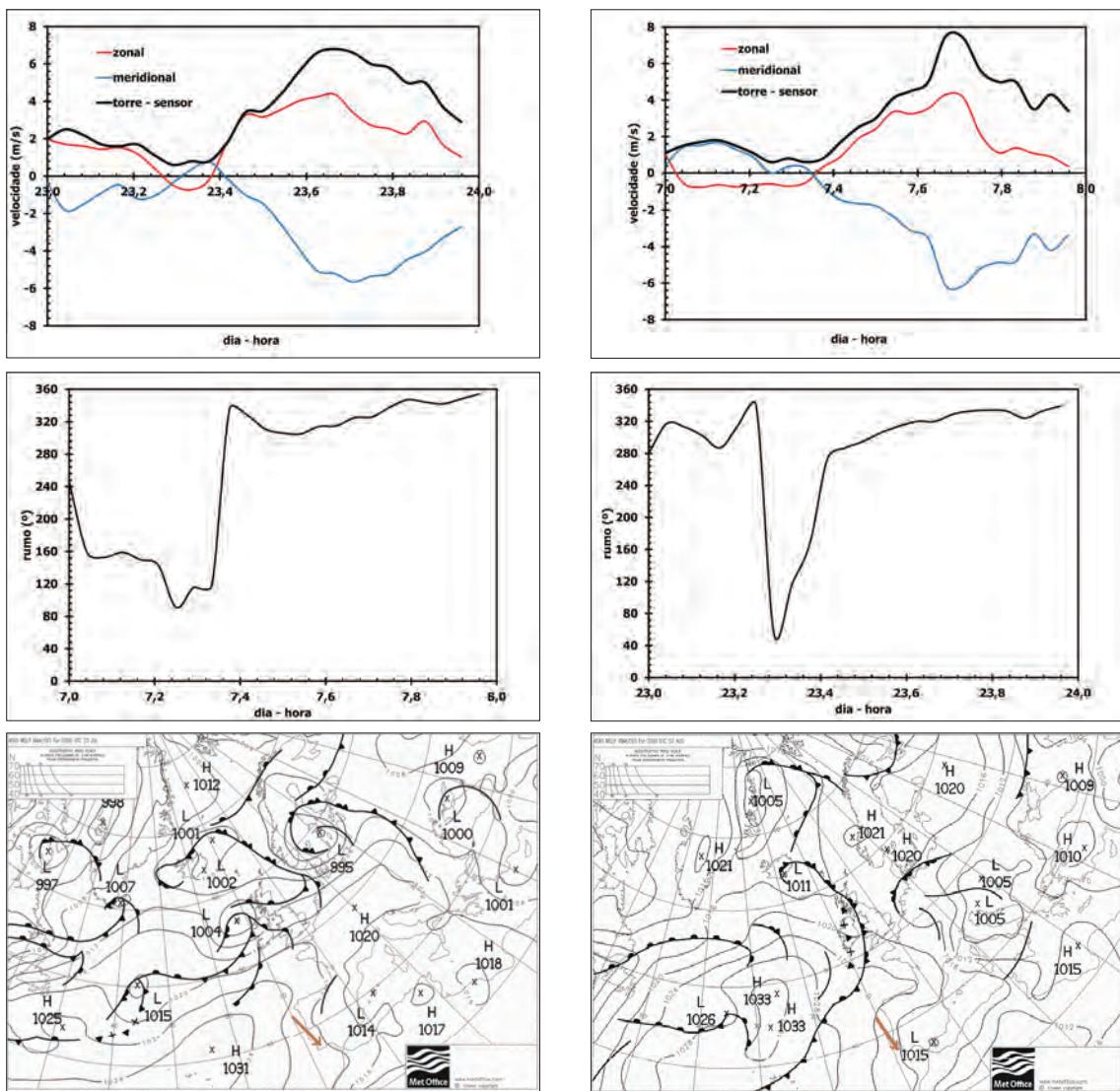
Para o dia 7 de agosto pode-se assumir que a velocidade zonal tem o mesmo sinal durante o dia, mas a partir das 10h00 aumenta de intensidade o que mostra a contribuição da brisa marítima. A velocidade meridional

está de acordo com a previsão e aumenta após as 10h00 até atingir um máximo cerca das 15h00.

#### Considerações finais

Este trabalho sugere um fio condutor que pode se seguido para a avaliação do potencial eólico de um local, a partir de uma coleção de dados meteorológicos de um ano civil. Uma distribuição estatística foi considerada para o local de modo a conhecer a energia acumulada a partir do aerogerador selecionado face à energia retirada do aerogerador.

Mostrou-se que o rumo e a intensidade do vento registados nos sensores da estação meteorológica automática podem ser diferentes aos indicados nas cartas meteorológicas e para o mesmo local.



**Fig.10 - Comportamento da velocidade do vento, registada e prevista, dias 23 de julho e 7 de agosto.**

**Fig. 10 - Wind speed behaviour, recorded and forecast, 23 July and 7 August.**

Concluiu-se que os resultados obtidos mostram, inequivocamente, que a brisa marítima tem influência no potencial eólico previsto para o local e que a velocidade meridional sugere o início da nortada.

A hora da entrada, na costa, da brisa marítima (de W para E) é mostrada pela troca de sinal do vento que o anemómetro e catavento registam. A hora de entrada da brisa marítima (devido à soma dos vetores do vento geostrófico previsto e do vento real registado no anemómetro) mostram, inequivocamente, a influência que o mar e o solo, através das suas capacidades térmicas, influenciam centros de baixa pressão para a mesma radiação solar numa mesma área de interseção.

O estudo mostra que o vento associado à brisa marítima depende do Tipo de Circulação Atmosférica. A brisa marítima pode, nalguns casos, por exemplo para um

vento geostrófico de E para W, destruir o seu sentido passando o anemómetro e catavento a ler de W para E.

Sugere-se que antes da instalação de um aerogerador num local, que sejam considerados dados registados para um período de 5 anos, usando vários níveis de informação com sensores num mastro com 100m de altitude. A vantagem será conhecer a estabilidade da atmosfera no local e a influência do relevo na determinação da rugosidade do terreno.

#### Agradecimentos

O autor agradece a um revisor que pela sua sabedoria prática enriqueceu a linguagem do artigo tornando-o mais transparente e de fácil aplicação. O autor agradece também o subsídio de financiamento, para estar

presente na conferência, por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UIDB/00194/2020 (CIDTFF).

### Referências bibliográficas

- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D. e Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook*, John Wiley and Sons, Ltd.
- Gupta, B.K. (1986). Weibull parameters for annual and monthly wind speed distributions for five locations in India. *Solar Energy*, 37(6), 469-671.
- Henessey, J.P. (1977). Some aspects of wind power statistics. *Journal Applied Meteorology*, 16(2), 119-128.
- Holton, J.R. (2004). *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Volume 88 in the International Geophysics Series. Edited by Renata Dmowska and James R. Holton. Elsevier Academic Press.
- Hsu, S.A., Meindl, E.A. e Gilhouse, D.B. (1994). Determining the power-law wind-profile exponent under near-neutral stability conditions at sea. *Journal Applied Meteorology*, 33, 757-765.
- IPCC (2009). *Fourth Assessment Report (AR4) The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- IPCC (2018). *Summary for Policymakers*. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3-24.
- DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- IPCC (2019). *Sumário para Formuladores de Políticas - aquecimento global*. Publicado pelo IPCC em 2018. Versão em português publicada pelo MCTIC <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>, julho, Brasil.
- IPCC (2023a). *Summary for Policymakers*. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 36 p.
- IPCC (2023b). *Climate Change 2023 Synthesis Report, Summary for Policymakers*. Edited by Hoesung Lee e José Romero. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf)
- IPCC (2023c). *Longer Report IPCC AR6 SYR. SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)*, Longer Report. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf)
- Jones, B. (1950). *Elements of Aerodynamics*. John Wiley and Sons, Ltd. New York, USA, pp. 73-158.
- Justus, C.G., Hargraves, W.R. e Mikael, A. (1978). Methods for estimating wind speed frequency distributions. *Journal Applied Meteorology*, 17(3), 350-353.
- Justus, C.G. e Mikail, A. (1976). Height variation of wind speed and wind distribution. *Geophys. Res. Letter*, 3, 261-264.
- Li, M. e Li, X. (2005). MEP-type distribution function: a better alternative to Weibull function for wind speed distributions. *Renewable Energy*, 30, 1221-1240.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO (2007). *Energias Renováveis em Portugal*, 60 p.
- Pardo, L.H., Díaz, A.E.H. e Crasco, A.R (2009). *La Brisa de Mar como mecanismo de disparo de la Convección Profunda*. In Proceedings V Congreso Cubano de Meteorología, CDROM, Habana, Cuba.
- Rafiq, S., Pattiaratchi, C. e Janekovi, I. (2020). Dynamics of the Land-Sea Breeze System and the Surface Current Response in South-West Australia. *Journal Marine Science Engineering*, 8, 931, 1-28
- Rehman, C., Luai, M., Al-Hadhrami, Mahbub Alam e Meyer, J.P. (2013). Empirical correlation between hub height and local wind shear exponent for different sizes of wind turbines. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 4(12), 45-51.
- Schwartz, M. e Elliott, D. (2006). *Wind shear characteristics at central plains tall towers* (No. NREL/CP-500-40019). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States).
- Steele, C.J., Dorling, S.R., Glasowa, R. e Bacon; J. (2015). Modelling sea-breeze climatologies and interactions on coasts in the southern North Sea: implications for offshore wind energy. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141, 1821-1835.

Talaia, M. e Fernandes, R. (2009). Diagnóstico de vento de uma região usando uma carta meteorológica de superfície. *Territorium - Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança*, 16, ISSN: 0872-8941, Coimbra, 63-69.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_16\\_6](https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_6)

Trigo, R.M. e DaCamara, C.C. (2000). Circulation Weather Types and Their Influence on the Precipitation Regime in Portugal. *International Journal of Climatology*, 20, 1559-1581.

- Troen e Petersen, E.L. (1989). *European Wind Atlas*. Published for the Commission of the European Communities by Risø National Laboratory.
- Xia, G., Draxl, C., Optis, M. e Redfern, S. (2021). Detecting and Characterizing Sea Breezes Over the U.S. Northeast Coast with Implication for Offshore Wind Energy. *Wind Energy Science*, 1-23.
- Wood, D. (2011). *Small wind turbines*. In Advances in wind energy conversion technology (pp. 195-211). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.



## CAPTAÇÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO PELA CAATINGA, EM REGIÕES SEMIÁRIDAS DO NORDESTE DO BRASIL\*

231

CAPTURE OF CARBON DIOXIDE BY THE CAATINGA, IN SEMIARID REGIONS OF NORTHEAST BRASIL

Célia Campos Braga

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)  
Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
 0000-0001-6383-3112 [celia.braga@ufcg.edu.br](mailtocelia.braga@ufcg.edu.br)

Karlla Karem Silva de Lima

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia em Recursos Naturais (Brasil)  
 0000-0001-7157-7155 [carlacaren@hotmail.com](mailto:carlacaren@hotmail.com)

Madson Tavares Silva

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)  
Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
 0000-0003-1823-2742 [madson.tavares@professor.ufcg.edu.br](mailto:madson.tavares@professor.ufcg.edu.br)

Antônia Silânia de Andrade

Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Núcleo de Desertificação (Brasil)  
 0000-0001-9333-8251 [antonia.andrade@pesquisa.insa.gov.br](mailto:antonia.andrade@pesquisa.insa.gov.br)

### RESUMO

A vegetação é uma das grandes responsáveis pela absorção do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) do planeta, o qual é utilizado no processo de fotossíntese. Uma das variáveis utilizadas para quantificar o  $\text{CO}_2$  que um ecossistema absorve é a Produtividade Primária Bruta (GPP), estimada através de sensoriamento remoto e/ou por meio de dados medidos em torres micrometeorológicas. Neste estudo, quantificou-se e analisou-se a captura de  $\text{CO}_2$  absorvido pela vegetação caatinga, para duas microrregiões do semiárido paraibano-Brasil (Campina Grande, A1 e Sumé, A2), utilizando dados remotos do sensor MODIS/Terra e de torre micrometeorológica, no período de 2013 a 2017. A GPP foi estimada pelo método de Monteith (1972) e produto MOD17A2H, assim como obtida pelo método da correlação de vórtices turbulentos com medições na torre micrometeorológica instalada na área A1 de Caatinga preservada. Os resultados encontrados mostraram que a relação entre GPP<sub>ec</sub> (produtividade primária bruta medida pelo método de Eddy covariance) e GPP<sub>est</sub> (produtividade primária bruta) apresentaram  $r=0,79$  e entre GPP<sub>ec</sub> e GPP<sub>Mod</sub> (produtividade primária bruta estimada pelo produto MOD17A2H)  $r=0,66$  para o  $\alpha=0,05$  respectivamente. Ressalta-se ainda, que o parâmetro que mais influenciou na GPP foi a precipitação, pois em condições climáticas desfavoráveis, a caatinga capta baixas quantidades de  $\text{CO}_2$ , ou seja, fornecendo mais  $\text{CO}_2$  para a atmosfera, indicando a importância de sua conservação.

**Palavras-chave:** Produtividade primária bruta, dióxido de carbono, sensoriamento remoto.

### ABSTRACT

Vegetation is largely responsible for the absorption of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) from the planet, which is used in the process of photosynthesis. One of the variables used to quantify the  $\text{CO}_2$  that an ecosystem absorbs is Gross Primary Productivity (GPP), which is estimated through remote sensing and/or data measured in micrometeorological towers. In this study, the capture of  $\text{CO}_2$  absorbed by the caatinga vegetation was quantified and analyzed for two microregions of the semiarid region of Paraíba, Brazil (Campina Grande, A1, and Sumé, A2), using remote data from the MODIS/Terra sensor and a micrometeorological tower from 2013 to 2017. GPP was estimated using the Monteith method (1972) and the MOD17A2 product, as well as also obtained by the turbulent eddies correlation method with measurements taken at the micrometeorological tower installed in the A1 area of preserved Caatinga. The results showed that the relationship between GPP<sub>ec</sub> (gross primary productivity measured by the Eddy covariance method) and GPP<sub>est</sub> (gross primary productivity) presented was  $r=0.79$  and between GPP<sub>ec</sub> and GPP<sub>Mod</sub> (gross primary productivity estimated by the MOD17A2H product) was  $r=0.66$  for  $\alpha=0.05$  respectively. It is also worth noting that the parameter that most influenced GPP was precipitation, since in unfavourable climatic conditions, the caatinga captures low amounts of  $\text{CO}_2$ , that is, providing it supplies more  $\text{CO}_2$  to the atmosphere, indicating the importance of its conservation.

**Keywords:** Gross primary productivity, carbon dioxide, remote sensing.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 28-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 12-11-2024.

Este artigo é parte integrante da Revista Territorium, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Obioma Caatinga encontra-se bastante alterado, resultado da extração e/ou substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens. O desmatamento e as queimadas ainda são práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária que, além de destruir a cobertura vegetal, prejudica a manutenção de populações da fauna silvestre, a qualidade da água e o equilíbrio do clima e do solo. Segundo os MapBiomas (2023), esse bioma teve 6,8% do percentual de áreas desmatadas no território nacional do Brasil em 2022, o que totaliza 140.637 ha e 18,4% dos alertas. Aproximadamente 80% dos ecossistemas originais já foram antropizados [Instituto Brasileiro de Floresta -IBF (acesso em 13/06/2021)], 31,1 Mha, sendo que destes 25,59% aconteceu nos últimos 37 anos (MapBiomas, 2022).

A preservação da Caatinga é de suma importância para manutenção de outros biomas, já que o ciclo biológico é um dos componentes que auxiliam na manutenção e existência dos demais. Este bioma apresenta características específicas com grande biodiversidade e alto endemismo, com elevada adaptação das plantas às características do semiárido, sendo considerado pelo Ministério do Meio Ambiente como um dos grandes biomas brasileiros, com 734.000 km<sup>2</sup> (Andrade-Lima, 1981, 1989; Silva, 2015; Silva et al., 2018). Segundo Oliveira et al. (2019) a Caatinga tem atualmente apenas 166 Unidades de Conservação cadastradas - UCs, perfazendo um total de 63.677 km<sup>2</sup>. Dentre os estados do Nordeste que possuem mais áreas de Caatinga estão Bahia, Piauí e Ceará, destacando-se o Piauí que reserva cerca de 10% do seu território com Caatinga conservada. Já o Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe e Alagoas possuem menos de 1% de suas áreas de Caatinga em estágio de conservação. A Paraíba tem boa representação da Caatinga, pois suas plantas têm um metabolismo que apresenta grande biodiversidade e capacidade adaptativa as características fisioclimáticas, que é resistente à diversidade climática do semiárido (SENAR, 2015; Silva et al., 2018). Segundo o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) o estado da Paraíba é o mais afetado pela degradação extrema, ou seja, “desertificação”, apresentando ainda a região do Cariri, 59,2% da vegetação degradada (Chaves et al., 2015; Oliveira et al., 2021).

Estudos realizados em regiões no nordeste da China por Xie et al. (2020) mostraram que o declínio no saldo de radiação e precipitação impactam negativamente as tendências na evapotranspiração. Isto foi também detectado em regiões semiáridas do Nordeste do Brasil, os quais mostraram que variabilidade na absorção do CO<sub>2</sub> pela vegetação e, em especial, na Caatinga está fortemente associada aos fatores climáticos que controlam a sazonalidade das chuvas (Souza et al. 2015; Silva et al., 2018; Mendes et al. 2020).

Quantificar as trocas sazonais e anuais da vegetação, assim como as condições climáticas dos ecossistemas, principalmente a Caatinga, como sumidouro ou fonte de CO<sub>2</sub>, é de grande importância para avaliar o sequestro de CO<sub>2</sub> e a Produtividade Primária Bruta (GPP) (Mendes et al., 2020). A GPP pode ser obtida pela relação entre a eficiência de uso da luz () e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (RFAA), a qual pode ser estimada a partir de índices de vegetação (Rodrigues, 2018; Silva, 2019).

Nas últimas décadas os níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico vêm crescendo cada vez mais e esse aumento está relacionada principalmente à queima de combustíveis fosseis e o desmatamento provocado pelo fogo, dentre outros (Chien et al., 2018; IPCC, 2023). A variabilidade interanual da absorção do CO<sub>2</sub> por sumidouros terrestres, está associado as mudanças do uso da terra e fatores meteorológicos. A alta variabilidade temporal e espacial do balanço do CO<sub>2</sub>, efeitos dos aerossóis no fluxo do CO<sub>2</sub> entre a vegetação e atmosfera, e as consequentes trocas de energia, tem sido uma preocupação geral da comunidade científica mundial (Chien et al., 2018; Silva et al., 2018; Xie et al. 2020; Braghieri et al., 2020; IPCC, 2023). A nível regional, medições de CO<sub>2</sub> sobre diferentes tipos de vegetação tem sido desenvolvido por vários pesquisadores, a exemplo dos trabalhos realizados na região Amazônica brasileira (Gomes et al. 2019; Oliveira et al. 2021). Para o Cerrado e a Caatinga semiáridas do Nordeste brasileiro, pode-se destacar os estudos realizados por Morais et al. (2017), Silva et al. (2018) e Mendes et al. (2020). Oliveira et al. (2021) investigaram os efeitos da degradação da Caatinga sobre as trocas de água e carbono no semiárido brasileiro. Os autores concluíram que os diferentes tipos de degradação podem reduzir a capacidade do bioma para absorver o CO<sub>2</sub> modificando o microclima regional.

Neste contexto e considerando a necessidade de compreender e precisar melhor o comportamento da caatinga na captura dos GEE, o propósito deste estudo foi avaliar e determinar a GPP com o uso de imagens MODIS com ponderação do elemento água derivada do balanço de energia e aferir a qualidade dos resultados com medições de torre micrometeorológica instaladas em áreas de caatinga na região de Campina Grande e Sumé no estado da Paraíba.

## Materiais e Métodos

### Área de estudo

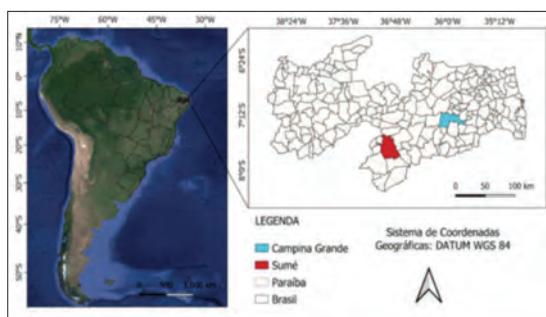
As áreas de estudo estão localizadas no Semiárido paraibano, cobertas por vegetação Caatinga, em estágio de preservação. A Caatinga cobre originalmente mais de 800.000 km<sup>2</sup> (IBGE, 2024) que caracteriza-se como uma região de muitas variações ambientais, propiciando a sua

vegetação, uma diversidade em suas características, com grande adaptabilidade. É formada por plantas xerófilicas, como cactos suculentos, árvores crassuláceas com estratos arbustivos adaptados às condições de extrema seca, e espécies de porte baixo e médio (Sánchez *et al.*, 2018) com folhas pequenas, que agem como protetoras contra o calor e desidratação, de grande biodiversidade. A Área 1 (A1) é composta de caatinga conservada, localizada no Instituto Nacional do Semiárido (INSA) ( $7^{\circ}16'47.76''S$ ,  $35^{\circ}58'29.21''W$ ), nos arredores da cidade de Campina Grande-PB, no Agreste paraibano com altitude de 546 m, numa área de transição entre a Zona da Mata e Sertão, temperaturas médias anual de  $23.5^{\circ}C$ , máxima  $28.8^{\circ}C$  e mínima  $20.2^{\circ}C$ , respectivamente (INMET, 2018). O clima é considerado tropical com estação seca, umidade relativa máxima, mínima e média situada em torno de 97,8%, 47,8% e 77%, respectivamente. Precipitação média anual aproximadamente de 800 mm (AESÁ, 2018). Área de 593,026 km<sup>2</sup>, com população estimada de 407.472 habitantes (IBGE, 2017).

A Área 2 (A2), localizada no município de Sumé-Cariri paraibano, dentro da área de Caatinga preservada no campus da Universidade Federal de Campina da Grande -UFCG-PB ( $7^{\circ}39'38.8''S$ ,  $36^{\circ}53'42.4''W$ ). Possui altitude 538 m, temperatura média anual é de  $26^{\circ}C$ , com a mínima inferior a  $20^{\circ}C$  e umidade relativa do ar não ultrapassando 75% (Barbosa, 2007), precipitação média

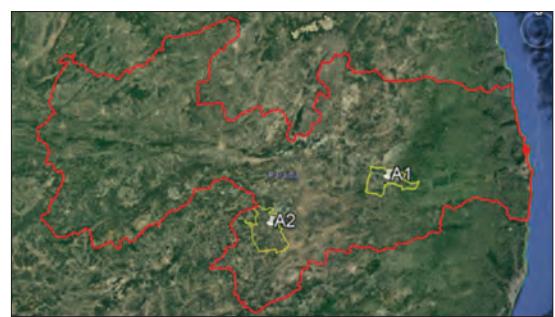
anual 588 mm. Área equivalente a 838,07 km<sup>2</sup> com população de 16.864 habitantes (IBGE, 2018). Na fig.1 e fig. 2 destacam-se as áreas 1 (A1) e 2 (A2) no estado da Paraíba-PB.

### Dados



**Fig. 1 - Mapa da América do sul destacando as áreas de estudo:  
Área 1 Campina Grande e Área 2 Sumé  
(Fonte dos dados: shapefile da AESA).**

**Fig. 1 - Map of South America highlighting the study areas:  
Area 1 Campina Grande and Area 2 Sumé  
(Data source: AESA shapefile).**



**Fig. 2 - Localização detalhada do estado da Paraíba: Área 1 (A1)  
Campina Grande e Área 2 (A2) Sumé  
(Fonte dos dados: shapefile da AESA).**

**Fig. 2 - Detailed location of the state of Paraíba: Area 1 (A1)  
Campina Grande and Area 2 (A2) Sumé  
(Data source: AESA shapefile).**

**TABELA I - Determinação dos produtos do sensor MODIS/Terra utilizados.**

**TABLE I - Determination of MODIS/Terra sensor products used.**

PRODUTOS UTILIZADOS NO COMPUTO DA PPB				
Produto MODIS/Terra	Descrição	Resolução Temporal	Resolução espacial	Unidades
MOD09GA	Reflectância de superfície (bandas 1 a 7)	Diária	1 km e 500 m	Adimensional
MOD11A1	Temperatura da superfície terrestre e Emissividade	Diária	1 km	Kelvin [K]
MOD17A2H	PPB e Fotossíntese	8 dias	1 km	Kg C/m <sup>2</sup>

eficiência de uso da luz, devido a indisponibilidade de torre micrometeorológica que meça dados de fluxo. Calculou-se ainda o NDVI diário através do produto de reflectância MOD09GA. Na determinação da temperatura da superfície utilizou-se o produto MOD11A1. Todos os produtos descritos são obtidos na plataforma REVERB/NASA (<http://reverb.echo.nasa.gov/>). O processamento das imagens foi feito com o ERDAS Imagine versão 9.1 e os mapas temáticos foram elaborados com o softwear QGis 2.18.19. Enfim estimou-se a GPP<sub>est</sub> pela combinação do modelo de estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação proposto por Monteith (1972) com o modelo de estimativa da eficiência de uso da luz de Field *et al.* (1995), em que o fator água foi representado pela fração evaporativa, derivada do balanço de energia, conforme proposto por Bastiaanssen e Ali (2003).

#### Produtividade Primária Bruta - GPP

A GPP<sub>est</sub> foi obtida pela combinação do modelo de estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação proposto por Monteith (1972) com o modelo de estimativa da eficiência de uso da luz de Field *et al.* (1995), em que o fator água foi representado pela fração evaporativa, derivada do balanço de energia, conforme proposto por Bastiaanssen e Ali (2003), ou seja:

$$\text{GPP}_{\text{est}} = \text{RFAA} \times \text{LUE} (\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1})$$

onde RFAA ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) é a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação e LUE ( $\text{g C MJ}^{-1}$ ) é a eficiência do uso da luz pela vegetação. A RFAA foi obtida em função do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa - RFA, expressa pela equação proposta por Daughtry *et al.* (1995):

$$\text{RFAA} = \text{RFA} \times (-0,161 + 1,257 \times \text{NDVI}) (\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1})$$

$$\text{NDVI} = \frac{\text{R}_{\rho_2} - \text{R}_{\rho_1}}{\text{R}_{\rho_2} + \text{R}_{\rho_1}}$$

$R_{\rho_2}$ : Reflectância da banda correspondente ao infravermelho próximo;

$R_{\rho_1}$ : Reflectância da banda correspondente ao vermelho

Por sua vez, a RFA compreende a radiação na faixa espectral de 400 e 700 nm, e pode ser obtida por medições ou estimada em função da radiação solar global diária (Silva *et al.*, 2013; Custódio *et al.*, 2021), segundo:

$$\text{RFA} = 0,48 \times \text{R}_{\text{s24h}} (\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1})$$

Para a determinação da eficiência do uso da luz utilizou-se a equação de Field *et al.* (1995), modificado por Bastiaanssen e Ali (2003), expressa por:

$$\text{LUE} = \epsilon' \times \text{T1} \times \text{T2} \times \text{FE} (\text{gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1})$$

onde  $\epsilon'$  é a eficiência máxima de uso da luz pela vegetação (igual a 1,8  $\text{gC MJ}^{-1}$ ).

Segundo Ibrahim (2006), T1 e T2 são as contribuições da temperatura na eficiência de uso da luz pelas plantas, FE é a fração evaporativa. De acordo com Roerink *et al.* (2000), a FE para cada pixel da imagem de satélite foi extraída através da representação gráfica dos pixels da imagem da temperatura da superfície ( $T_{\text{sup}}$ ) e albedo da superfície ( $\alpha_s$ ). A equação proposta pelos autores utilizou o algoritmo S-SEBI para determinar os fluxos de calor sensível e latente (Sobrino *et al.*, 2005; Allen *et al.*, 2007) e, por conseguinte, a FE. Os valores do albedo, necessários para obter-se a FE, foram obtidos com base no MOD09GA e modelo proposto por Tasumi *et al.* (2008), enquanto os dados da  $T_{\text{sup}}$  foram extraídos do produto MOD11A1.

#### Método Eddy Covariance para estimativa da GPP

O método Eddy Covariance é denominado de correlação de vórtices turbulentos - EC. As medições foram realizadas em torres micrometeorológicas instaladas na Área 1 de caatinga conservada, localizada nas proximidades de Campina Grande-PB (fot. 1). Esse método propicia as estimativas do fluxo de carbono através de trocas turbulentas entre a superfície e a atmosfera, o que possibilita estimar a GPP ( $\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) diária, com base na Produtividade Primária Líquida - NPP ( $\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) e respiração do ecossistema -  $R_e$  ( $\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ), a qual pode ser estimada pela média dos valores do fluxo de carbono noturno, a cada meia hora, integrados posteriormente para um dia. Os valores da torre, originalmente obtidos em  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , foram convertidos para a unidade  $\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  (Rodrigues, 2018).



Fot. 1 - Torre micrometeorológica instalada na Caatinga - Área 1, no Instituto Nacional do Semiárido (INSA) ( $7^{\circ}16'47.76"S$ ,  $35^{\circ}58'29.21"W$ ), Campina Grande-PB  
(Fotografia Célia Campos, tirada 30/04/2022).

Fot. 1 - Micrometeorological tower installed in the Caatinga - Area 1, at the National Semi-Arid Institute (INSA) ( $7^{\circ}16'47.76"S$ ,  $35^{\circ}58'29.21"W$ ), Campina Grande-PB  
(Photography by Célia Campos, taken on 30/04/2022).

A NPP representa o sequestro de carbono atmosférico, o qual sempre supera a respiração do ecossistema (Silva et al., 2013; Senar, 2015; Silva et al., 2018; Oliveira et al., 2021). A GPPec é dada por:

$$\text{GPPec} = \text{NPP} + \text{Re} (\text{gCm}^{-2}\text{dia}^{-1})$$

Em seguida avaliou-se a consistência dos dados da GPP estimados pelo produto MOD17A2H /Terra ( $\text{GPP}_{\text{mod}}$ ) e Monteith (1972) ( $\text{GPP}_{\text{est}}$ ) com os medidos de  $\text{GPP}_{\text{ec}}$  na Torre micrometeorologia instalada na Área 1 no INSA em Campina Grande -PB. Para isso utilizou-se as seguintes métricas estatísticas: Erro Relativo Médio - ERM, Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), coeficiente de correlação ( $r$ ) dada pelas seguintes expressões (Wilks, 2006).

$$\text{ERM} = \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{n}$$

$$\text{EPAM} = \frac{\sum_{i=1}^n |EP_i|}{n}$$

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n-1} (x_i - y_i)^2}{n}}$$

x:  $\text{GPP}_{\text{est}}$  estimados MODIS/Monteith 72

y: GPPec medido

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}}$$

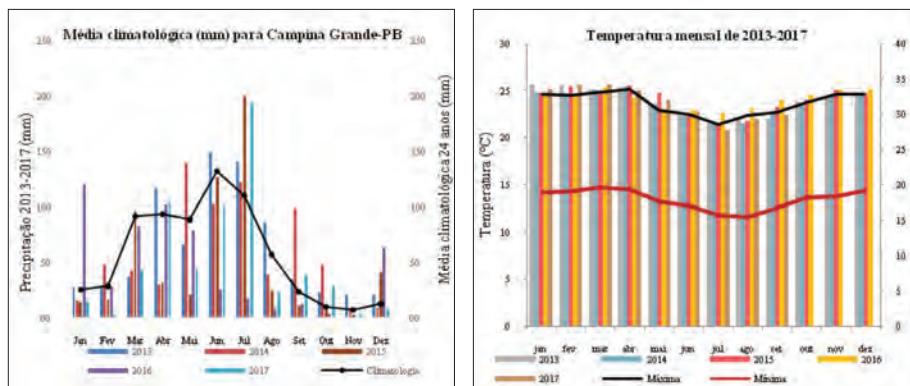
## Resultados e Discussão

Nesta seção são apresentados e descritos os resultados estimados da GPP a partir da metodologia proposta por Monteith (1972), produto MOD17A2H/Terra e os medidos pelo método Eddy Covariance (EC) obtidos da torre micrometeorológica instalada na Área 1(INSA), localizada na região semiárida do estado da Paraíba-NEB (fig. 2). Salienta-se que essa região é caracterizada por apresentar alta variabilidade espaço temporal da precipitação e

elevada taxa de evaporação, com bioma predominante Caatinga em suas diversas variedades, desde vegetação esparsa a densa (Morais et al., 2017; Silva, 2019; Oliveira et al., 2021). Considerando a importância do bioma para a biodiversidade e equilíbrio ambiental, buscou-se investigar o comportamento da caatinga e sua vulnerabilidade diante das condições climáticas, provocadas pela escassez de chuvas e os longos períodos de estiagem, que assolam as regiões semiáridas.

A fig. 3a apresenta o histograma dos totais mensais da precipitação de 2013 a 2017 e média mensal climatológica para o período de 24 anos. Já a fig. 3b ilustra as temperaturas médias mensais do ar, máximas e mínimas em Campina Grande-PB 2013 a 2017. Os totais mensais da precipitação destes anos, superaram a média mensal climatológica (curva preta), principalmente em 2013-2014, com valores mais elevados de maio a julho. Pode-se observar que a temperatura média oscilou entre 21,0°C e 25,0°C, com mínimas em julho da ordem de 15,0°C e máximas de janeiro a abril (de 32,5°C a 33,5°C).

As fig. 4a e b representam os histogramas de temperaturas e precipitação para Sumé (A2), respectivamente. Na fig. 4a consta os totais médios mensais de 2013-2015 e a média climatológica da precipitação no período de 24 anos, com máxima no mês de março-abril e mínima em setembro e, total médio anual de 514 mm. Nos anos de 2013 a 2015, observa-se que os valores mensais da precipitação são inferiores aos totais médios mensais climatológicos na maior parte do ano, exceto em 2014 em que a precipitação está acima da média em quase todos os meses. Neste ano, ocorreu chuva acima de 200 mm em março e abril conforme ilustrado na fig 4a. Na fig. 4b consta as médias mensais das temperaturas do ar, máximas e mínimas de 2013-2015. A temperatura média é aproximadamente 25°C, com máxima da ordem de 27°C e mínima 22°C, respectivamente nos anos estudados.



**Fig. 3 - Totais mensais de precipitação de 2013 a 2017 e média climatológica da precipitação no período de 24 anos (a) e Médias mensais, máximas e mínimas de temperatura do ar para os anos de 2013 a 2017 de Campina Grande (b) (Fonte: AESA, 2018).**

**Fig. 3 - Monthly precipitation totals from 2013 to 2017 and climatological average precipitation over the 24-year period (a) and; Monthly averages, maximum and minimum air temperatures for the years 2013 to 2017 in Campina Grande (b) (Source: AESA, 2018).**

Com base nos dados, podemos observar que o clima da região 1 e 2 (A1 e A2) são distintos, apesar de pertencerem a mesma região semiárida. Sendo assim, as características edafoclimáticas da vegetação tendem a variar, devido à variabilidade das altas temperaturas, como já era esperado, corroborando com vários estudos realizados no semiárido nordestino (Silva, 2019; Oliveira et al., 2021).

### Produtividade Primária Bruta -GPP

A seguir são demonstrados e discutidos os resultados da  $GPP_{est}$  determinados a partir de 39 imagens do MODIS-Terra na Área 1 e 29 para Área 2 dos produtos MOD09GA e MOD11A2, conforme proposta, com ponderação do fator água pela Fração Evaporativa- FE, obtida segundo Roerink et al. (2000). Bastiaanssen e Ali (2003) e Silva et al. (2015) também fizeram uso da FE ao determinarem a GPP para o Egito e Brasil, respectivamente. Os resultados obtidos foram comparados com as medições realizadas em torre micrometeorológica instalada no interior da área de estudo denominada nesta pesquisa de  $GPP_{ec}$ . Também os resultados da GPP foram comparados aos extraídos do produto MOD17A2 representados por  $GPP_{mod}$ . Os valores da GPP medidos na torre micrometeorológica ( $GPP_{med}$ ), estimados com dados do MODIS ( $GPP_{est}$ ) e com o produto MOD17A2H para as duas áreas estão dispostos nas TABELAS II e III.

A partir da metodologia empregada para avaliação da  $GPP_{est}$  pode-se observar que a Área 1 apresentou média de  $8,61 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , com valores máximos e mínimos de  $23,58$  e  $2,63 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , respectivamente. O ano de 2017 foi o que apresentou maior média com  $12,35 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , propiciado pelas maiores chuvas e, menor média de  $6,93 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em 2015. Os resultados superam os encontrados por Moraes et al. (2017) para área de Caatinga em Petrolina-PE nos anos de 2011 e 2012 usando

imagens do MODIS. O erro médio absoluto e percentual entre os valores medidos na torre micrometeorológica e estimados pelo MODIS/Terra foram  $3,63 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  e  $31,6\%$ , respectivamente e  $REQM = 4,57 \text{ gCm}^{-2}$  e entre os valores medidos na torre e MOD17A2H foram  $7,47 \text{ gCm}^{-2}$  e  $62,15\%$  respectivamente,  $REQM = 8,58 \text{ gCm}^{-2}$  (TABELA II). As fig. 5a, 5b e 5c ilustram o diagrama de dispersão e a relação funcional entre os valores estimados pelo método proposto  $GPP_{est}$  e medidos na torre  $GPP_{ec}$ , assim como,  $GPP_{est}$  e obtidos pelo produto  $GPP_{mod}$  (MOD17A2H). A fig. 5a ilustra a relação funcional para a Área 1 (Campina Grande) entre  $GPP_{ec} \times GPP_{est}$  a qual explicou  $63\%$  da variância total dos dados ( $r= 0,79$ ) para nível de significância de  $\alpha=0,05$ . A  $GPP_{mod}$  explicou  $43,9\%$  da variância total ( $r= 0,66$ ).

Para a Área 2 (Sumé), a GPP foi estimada apenas pela metodologia proposta por Monteith (1972) e validado através do produto MOD17A2H, porque não se dispunha de torre micrometeorológica na região. A  $GPP_{est}$  média nesta área foi  $4,77 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , com maior média de  $9,13 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em 2014. O erro médio absoluto foi de  $2,47 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e percentual de  $90,2\%$ , com erro padrão de  $REQM = 3,67 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  (TABELA III). A fig. 5c, ilustra o diagrama de dispersão e curva de regressão linear entre os valores estimados por Monteith (1972) e os do produto MOD17A2H. A relação funcional entre os dados estimados  $GPP_{est}$  e produto  $GPP_{mod}$  explicaram  $75\%$  da variância total dos dados e  $r = 0,88$  para nível de significância de  $\alpha=0,05$ . Esses resultados corroboraram com Mendes et al. (2020) que investigaram duas áreas de caatinga no semiárido paraibano e mostraram que a caatinga funciona como sumidouro de  $\text{CO}_2$ , absorvendo uma média de  $50\%$  a  $34\%$  das duas áreas de estudo, respectivamente. A variabilidade acentuada da GPP em ambas as áreas no período de estudo pode estar relacionada às características fisiológicas da vegetação, cobertura, solo, etc. À medida que esta se encontra em condições

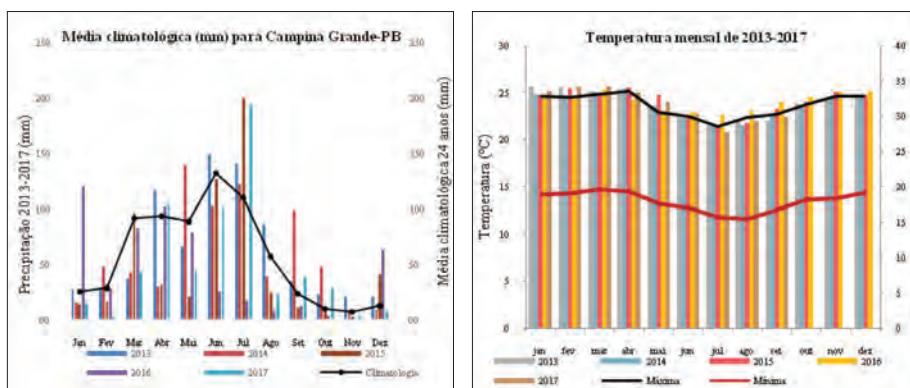


Fig. 4 - Totais mensais de precipitação para o período de 2013 a 2015 e média climatológica da precipitação no período de 24 anos (a); Médias mensais de temperatura do ar para a cidade de Sumé-PB (b) (Fonte: AESA, 2018).

Fig. 4 - Monthly precipitation totals for the period from 2013 to 2015 and 24-year climatological average (a); Monthly air temperature averages for the city of Sumé-PB (b) (Source: AESA, 2018).

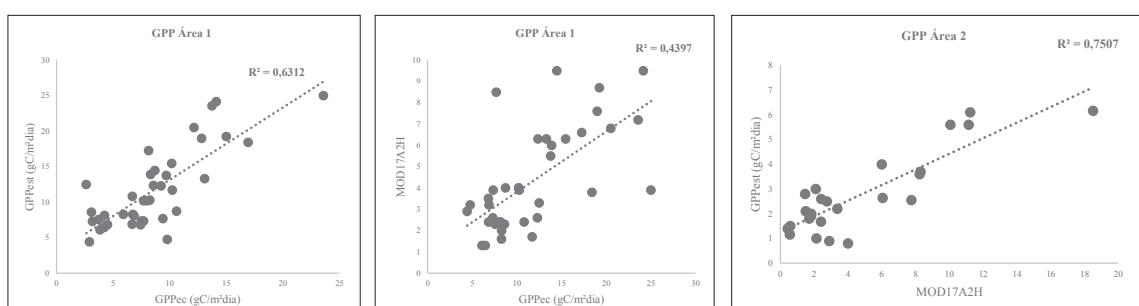
desfavoráveis, seja de temperatura ou disponibilidade hídrica, a mesma reduz sua função fotossintetizante economizando energia. Essa redução ocorre através da liberação de sua folhagem. Característica própria de muitas espécies vegetais de regiões tropicais, em particular da caatinga, por sua vez, responsável por sua capacidade adaptativa a condições extremas.

Os resultados encontrados demonstraram que os parâmetros de maior influência na GPP foram a precipitação e temperatura, pois no período estudado, a caatinga teve maior emissão do que captação de carbono, possivelmente ocasionado pelo tipo de metabolismo existente na caatinga que se adapta as características adversas do semiárido, armazenando água e reduzindo seu gasto energético através da perda de folhas para que possa sobreviver por longos períodos de estiagem, ou com baixa precipitação (SENAR, 2015; Silva *et al.*, 2018). Ainda verificou-se que a GPP é diretamente proporcional a chuva, pois a medida que a precipitação aumenta/diminui a GPP tem a mesma resposta (fig. 6a e 6b). Assim, se torna evidente a influência da chuva na captação do CO<sub>2</sub> o que já era esperado, devido a seu processo metabólico, responsável pela absorção do carbono na fotossíntese. Os resultados mostraram que a vegetação caatinga tem tempo de resposta às chuvas de um mês, corroborando com os dados encontrados por Santos (2015) que em seu trabalho sobre fluxos de CO<sub>2</sub> também identificou que a caatinga apresenta resposta ao

estímulo da chuva. O mesmo foi encontrado em estudos realizados por Braga (2000) e Costa (2017) para a região nordeste do Brasil.

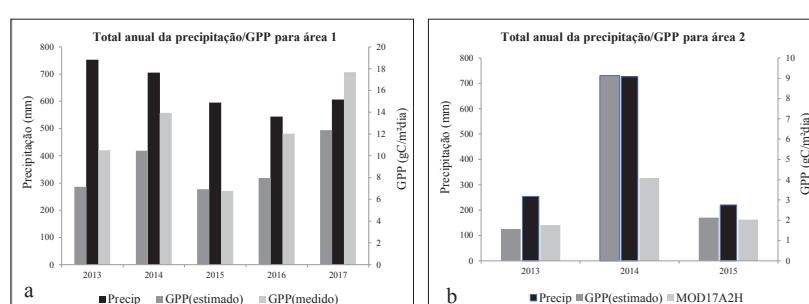
O índice de vegetação NDVI é uma das variáveis utilizadas na determinação da RFAA no cálculo da GPP. Ele mede o vigor da planta, o NDVI varia entre -1 e 1 depende do tipo de cobertura de cada região (Latorre *et al.*, 2003). Assim ele é um indicador da qualidade ambiental e da capacidade de absorção de biomassa, sendo esta ocasionada pelo processo de fotossíntese, responsável pela absorção do CO<sub>2</sub>, medido através da GPP. Para os anos estudados, os maiores valores em média de NDVI ocorreram em 2014, na Área 1 de 0,65 e na Área 2 de 0,48. Os máximos e mínimos no período foram encontrados na Área 1, oscilando entre 0,35 e 0,82 e na Área 2 de 0,17 a 0,68, respectivamente. Pelo exposto a Área 1 apresentou maior vigor da vegetação, consequentemente maior captação de carbono. Isso se explica porque na Área 1 choveu mais que na Área 2.

Isso reflete-se na perda das folhas com a escassez de água, além disso deve-se considerar o estágio de conservação das mesmas. A Área 1 parece ser mais cuidada no que diz respeito as ações antrópicas do que a Área 2, embora ambas sejam áreas em processo de conservação, entretanto essa informação ainda deve ser comprovada a partir de estudos de uso e ocupação das áreas, entre outros.



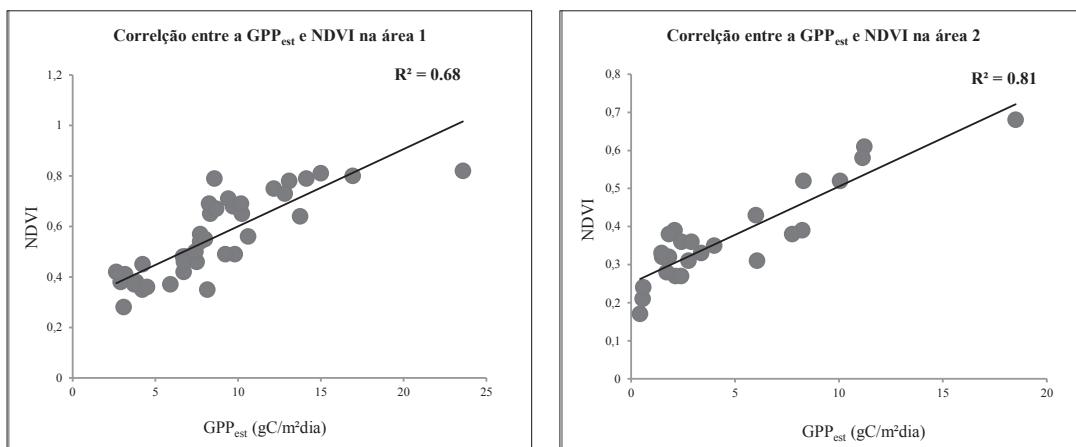
**Fig. 5 - Relação funcional entre: a) GPP<sub>ec</sub> (gCm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) e GPP<sub>est</sub> (gCm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>); b) GPP<sub>est</sub> (gCm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) e GPP<sub>mod</sub> (gCm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) Área 1 e c) GPP<sub>est</sub> (gCm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) e GPP<sub>mod</sub> (gCm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>).**

**Fig. 5 - Functional relationship between: a) GPP<sub>ec</sub> (gCm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>) and GPP<sub>est</sub> (gCm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>); b) GPP<sub>est</sub> (gCm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>) and GPP<sub>mod</sub> (gCm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>) Area 1 and c) GPP<sub>est</sub> (gCm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>) and GPP<sub>mod</sub>(gCm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>).**



**Fig. 6 - Relação da Produtividade Primária Bruta com a precipitação para o período de estudo na Área 1(a) e Área 2(b).**

**Fig. 6 - Gross Primary Productivity relationship with precipitation for the study period in Area 1(a) and Area 2(b).**



**Fig. 7-** Relação funcional entre: a)  $GPP_{est}$  x NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) Área 1 e b)  $GPP_{est}$  ( $gCm^{-2}dia^{-1}$ ) x NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) Área 2 no período de estudo.

**Fig. 7 -** Functional relationship between: a)  $GPP_{est}$  x NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Area 1; and b)  $GPP_{est}$  ( $gCm^{-2}day^{-1}$ ) x NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Area 2 in the study period.

A relação entre  $GPP_{est}$  x NDVI na Área 1 explica 68% da variância total dos dados da  $GPP_{est}$  e NDVI e na Área 2 explica 81% da variância total da  $GPP_{est}$  e NDVI (fig. 7). Esses resultados concordam com os encontrados por Felix (2013) para área de caatinga no Semiárido Pernambucano para os anos de 1985 e 2009, demonstrando assim, que o NDVI pode ser usado como indicador da absorção do  $CO_2$  de uma determinada região.

### Conclusão

A partir da metodologia empregada por Monteith (1972), do produto MODIS-Terra e método Eddy Covariance - EC instalado na torre micrometeorológica do INSA para a determinação do fluxo de carbono, em áreas de Caatinga preservada na região semiárida do Nordeste do Brasil, conclui-se que:

Nas condições climáticas desfavoráveis do semiárido, a caatinga capta baixos teores de  $CO_2$ , fornecendo  $CO_2$  para a atmosfera. Mostrando o quanto importante é preservar essa vegetação, para que se tenha uma maior absorção do  $CO_2$  mesmo se tratando de regiões mais secas.

Dante dos resultados observa-se que existe grande influência das variáveis climáticas, precipitação e temperatura. Pois quando a temperatura da superfície se encontra mais elevada, o sistema metabólico da caatinga é prejudicado, desequilibrando o ecossistema.

A preservação do bioma Caatinga é de extrema importância, pois mesmo em condições adversas, ela contribui para a redução dos gases de efeito estufa, participando do equilíbrio climatológico da região, assim como do planeta. Além disto, pode-se perceber a heterogeneidade desta vegetação e seu poder de sobrevivência nas condições semiárida.

### Referências bibliográficas

- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (2018). Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>
- Andrade-Lima, D. (1981). The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica*, 149-163.
- Andrade-Lima, D. (1989). *Plantas da Caatinga*. Rio de Janeiro, 243 p.
- Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.133, n.4, 380-394.  
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380))
- Barbosa, M. R. V., Lima, I. B., Lima, J. R. Cunha, J. P. Agra, M. F. T. W. W. (2007). *Vegetação e flora no Cariri paraibano*. Ed. EDUEPB. Campina Grande, 120 p.
- Bastiaanssen, W. G. M., Ali, S. (2003). A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 94, 321-340.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00034-8)
- Braga, C. C. (2000). *Inter-Relações entre Padrões de Índice de Vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) . Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande. 124 p.
- Braghieri, R. K., Yamasoe, M. A., Do Rosário, N. M. E., Rocha, H. R., Nogueira, J. S., Araújo, A. C. (2020). Characterization of the radiative impact of aerosols on  $CO_2$  and energy fluxes in the Amazon deforestation arch using artificial neural networks. *Atmospheric*

- Chemistry and Physics*, v. 20, n.6, 3439-3458.  
DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-20-3439-2020>
- Chaves, I. D., Francisco, P. R. M., Lima, E. R. V., Chaves, L. H. G. (2015). Modelagem e mapeamento da degradação da Caatinga. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 1, 183-195.
- Chien, H., Zhonga, Y-Z., Yangb, K-H., Chenga, H-Y. (2018). Diurnal variability of CO<sub>2</sub> flux at coastal zone of Taiwan based on eddy covariance observation. *Continental Shelf Research*, v. 162, 27-38.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.04.006>
- Costa, W. L. B. (2017). *Resposta de índices de vegetação às precipitações em regiões do estado da Bahia (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 80 p.
- Custódio, L. L. M., Silva, B. B. Da., Santos, C. A. C. Dos. (2021). Relationship between photosynthetically active radiation and global radiation in Petrolina and Brasília, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, n.9, 612-619.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n9p612-619>
- Daughtry, C.S.T., McMurtrey III, J. E., Chappelle, E. W., Dulaney, W. P., Irons, J. R., Satterwhite, M. B. (1995). Potential for discriminating crop residues from soil by reflectance and fluorescence. *Agronomy Journal*, v.87, n. 2, 165-171.  
DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700020005x>
- Felix, M. V. B. (2013). *Variabilidade espaço temporal do estoque de carbono e índice de vegetação em uma área de caatinga por meio de sensoriamento remoto (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 57 p.
- Field, C. B., Randerson, J. T., Malmstrom, C. M. (1995). Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, v.51, n. 1, 74-88.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00066-V](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00066-V)
- Gomes, L. C., Faria, R. M., Souza, E., Veloso, G. V., Shaefer, C. E. G. R., Fernandes Filho, E. I. (2019). Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. *Geoderma*, v.340, n.º 15, 337-350.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.007>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2017). Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2024). Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>
- Ibrahim, A. B. (2006). *An Analysis of Spatial and Temporal Variation of Net Primary Productivity over Peninsular Malaysia Using Satellite Data (PhD. Thesis)*. University Technologi Malaysia, Johor, Malaysia.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2018). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf)
- Latorre, M. L., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E., Carvalho Júnior, O. A. (2003). Sensor MODIS: características gerais e aplicações. *Espaço e Geografia*, v.6, n.1.  
DOI: <https://doi.org/10.26512/2236-56562003e39720>
- MAPBIOMAS (2022). *Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da terra na Caatinga - Coleção 7*, acessado em 09 jul de 2024. Disponível em: [https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/MapBiomas\\_Caatinga\\_2022\\_10.10.pdf](https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/MapBiomas_Caatinga_2022_10.10.pdf)
- MAPBIOMAS (2023). *Relatório Anual de Desmatamento 2022* -São Paulo - MapBiomas, 2023 - 125 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>
- Mendes, K. R., Campos, S., Da Silva, L. L., Mutti, P. R., Ferreira, R. R., Medeiros, S. S., Perez-Marin, A. M., Marques, T. V., Ramos, T. M., Vieira, M. M. DE L., Oliveira, C. P., Gonçalves, W. A., Costa, G. B., Antonino, A. C. D., Menezes, R. S. C., Bezerra, B. G., E Silva, C. M. S. (2020). Seasonal variation in net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of a Brazilian seasonally dry tropical forest. *Nature Research Intelligence*, v. 10. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66415-w>
- Monteith, J. L. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *The Journal of Applied Ecology*, v.9, 747-766, 1972. DOI: <https://doi.org/10.2307/2401901>
- Morais, Y. C. B., Araújo, M. S. B., Moura, M. S. B., Galvâncio, J. D., Miranda, R. Q. (2017). Análise do sequestro de carbono em áreas de Caatinga do Semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, 14 p.  
DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786324007>
- Moura, Y. M., Galvão, I. S., Hilker, T., Wu, J., Saleska, S., Amaral, C. H., Nelson, B. W., Lopes, A. p., Wiedeman, K. K., Prohaska, N., Oliveira, R. C., Machado, C. B., Aragão, L. E. O. C. (2017). Spectral analysis of amazon canopy phenology during the dry season using a tower hyperspectral camera and Modis observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v.131, 52-64.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.006>
- Oliveira, M. L., Santos, C. A.C., Oliveira, G., Perez-Marin, A. M., Santos C. A.G. (2021). Effects of human-

- induced land degradation on water and carbon fluxes in two different Brazilian dryland soil covers. *Science of The Total Environment*, v. 792.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148458>
- Oliveira, C. D. L., Silva, A. P.A., Moura, P. A. G. (2019). Distribuição e importância das unidades de conservação no domínio Caatinga. v.42, n.1.
- DOI: [https://doi.org/10.11137/2019\\_1\\_425\\_429](https://doi.org/10.11137/2019_1_425_429)
- Rodrigues, C. C. F. (2018). *Produtividade Primária Bruta para áreas de cana-de-açúcar e cerrado na Bacia Hidrográfica do Mogi-Guaçu - SP (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal de Campina Grande. 73 p.
- Roerink, G. J., SU, Z., Menenti, M. (2000). A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. *Physics and Chemistry of the Earth* (B), v. 25, 147-157.
- DOI: [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(99\)00128-8](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(99)00128-8)
- Sánchez, A. S., Almeida, M. B., Torres, E. A., Kalid, R. A., Cohim, E., Gasparatos, A. (2018). Alternative Biodiesel Feedstock Systems in the Semi-Arid Region of Brazil: Implications for Ecosystem Services. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.81.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.080>
- Santos, F. A. C. (2015). *Estimativa dos fluxos de CO<sub>2</sub> e evapotranspiração em áreas de caatinga em recuperação e degradada no estado da Paraíba (Tese de Doutorado)*. Universidade Federal de Campina Grande, 125 p.
- SENAR - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (2015). Técnicas de produção vegetal. Brasília, 150 p.
- Silva, B. B., Galvâncio, J. D., Montenegro, S. M. G. L., Machado, C. C. C., Oliveira, L. M. O., Moura, M. S. B. (2013). Determinação por sensoriamento remoto da Produtividade Primária Bruta do perímetro irrigado São Gonçalo-PB. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 1.
- DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000100006>
- Silva, K. K. (2015). *Comportamento fenomenológico de Mimosa ophthalmocentra Mart. Ex Benth. Em uma área de Caatinga no semiárido paraibano, Brasil (Trabalho de Conclusão de Curso-TCC)*. Curso de Engenharia de Biossistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé - Paraíba - Brasil, 57f. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/5546>
- Silva, K. K. (2019). *Avaliação da produtividade primária bruta da caatinga do semiárido paraibano (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal da Campina Grande.
- Silva, M. J. G., Querino, C. A. S., Santos Neto, L. A., Machado, N. G., Militão, J. S., Biudes, M. S. (2018). Efeito da ocupação do solo sobre o clima de Porto Velho, Rondônia, Brasil. *Ra'Ega*, v.43, 232-251.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.48753>
- Souza, B. I., Artigas, R. C., Lima, E. R. V. (2015). Caatinga e desertificação. *Mercator*, v. 14, n. 1, 131-150.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.4215/RM2015.1401.0009>
- Sobrino, J. A., Gómez, M., Jiménezmuñoz, J. C., Olioso, A., Chehbouni, G. (2005). A simple algorithm to estimate evapotranspiration from DAIS data: Application to the DAISEX Campaigns. *Journal of Hydrology*, v.315,117-125.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.027>
- Tasumi, M., Allen, R. G., Trezza, R. (2008). At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.13, 51-63.
- DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:2\(51\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(51))
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. ed. London, Academic Press, 649 p.
- Xie, S., Mo, X., Liu, S. (2020). Contributions of climate change, elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and human activities to ET and GPP trends in the Three-North Region of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 295, n.15, 1-14.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108183>

## Anexos

TABELA II - Dados diários da PPB ( $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) para caatinga na área 1 estimado pela metodologia sugerida ( $\text{PPB}_{\text{est}}$ ), MOD17A2H, torre micrometeorológica ( $\text{PPB}_{\text{med}}$ ).

TABLE II - Daily PPB data ( $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) for caatinga in area 1 estimated by the suggested methodology ( $\text{PPB}_{\text{est}}$ ), MOD17A2H, micrometeorological tower ( $\text{PPB}_{\text{med}}$ ).

ÁREA 1									
DATA	DOA	PPBet $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	PPBmed $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	EA $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	EP (%)	(MOD17A2H) $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	PPBmed $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	EA $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	EP (%)
26/02/2013	57	3,18	7,3	4,12	56,43	2,6	7,3	4,7	64,38
15/04/2013	105	7,5	7,34	0,16	2,17	2,5	7,34	4,84	65,94
06/05/2013	126	8,14	17,27	9,13	52,86	6,6	17,27	10,67	61,78
22/05/2013	142	13,09	13,3	0,21	1,57	6,3	13,3	7,0	52,63
28/08/2013	240	9,69	13,77	4,08	29,62	5,5	13,77	8,27	60,06
22/10/2013	295	4,21	6,44	2,23	34,62	1,3	6,44	5,14	79,81
04/12/2013	338	4,23	8,15	3,92	48,09	2,4	8,15	5,75	70,55
03/03/2014	62	10,6	8,73	1,87	21,42	4	8,73	4,73	54,18
20/04/2014	110	6,85	8,12	1,27	15,64	2,4	8,12	5,72	70,44
20/05/2014	140	8,57	12,36	3,79	30,66	6,3	12,36	6,06	49,03
16/06/2014	167	15	19,24	4,24	22,03	8,7	19,24	10,54	54,8
02/07/2014	183	13,74	23,58	9,84	41,73	7,2	23,58	16,38	69,47
02/09/2014	245	10,23	11,71	1,48	12,63	1,7	11,71	10,01	85,5
25/09/2014	268	8,31	13,9	5,59	40,21	6	13,9	7,9	56,83
17/01/2015	17	2,9	4,42	1,52	34,38	2,9	4,42	1,52	34,4
27/01/2015	27	3,84	6,09	2,25	36,94	1,3	6,09	4,79	78,7
01/04/2015	91	6,68	6,88	0,2	2,90	3,2	6,88	3,68	53,5
21/04/2015	111	7,43	6,8	0,63	9,26	3,5	6,8	3,3	48,53
30/04/2015	120	9,79	4,76	5,03	105,67	3,2	4,76	1,56	32,8
05/05/2015	125	7,7	7,34	0,36	4,90	3,9	7,34	3,44	46,87
13/06/2015	164	9,4	7,68	1,72	22,39	8,5	7,68	0,82	10,68
28/09/2015	271	7,7	10,21	2,51	24,58	4	10,21	6,21	60,82
12/02/2016	43	23,58	25,02	1,44	5,75	3,9	25,02	21,12	84,41
17/06/2016	169	12,15	20,52	8,37	40,78	6,8	20,52	13,72	66,86
24/06/2016	176	10,18	15,46	5,28	34,15	6,3	15,46	9,16	59,3
29/06/2016	181	8,25	10,28	2,03	19,74	3,9	10,28	6,38	62,1
30/06/2016	182	8	10,2	2,2	21,56	4	10,2	6,2	60,9
26/07/2016	208	6,7	10,81	4,11	38,02	2,4	10,81	8,41	77,8
13/08/2016	226	6,73	8,28	1,55	18,71	1,6	8,28	6,68	80,7
19/09/2016	263	2,63	12,5	9,87	78,96	3,3	12,5	9,2	73,6
24/11/2016	329	5,9	8,29	2,39	28,82	2	8,29	6,29	75,87
01/12/2016	336	3,09	8,6	5,51	64,06	2,3	8,6	6,3	73,26
03/12/2016	338	3,73	7,55	3,82	50,59	2,3	7,55	5,25	69,54
08/12/2016	343	4,5	6,83	2,33	34,11	2,4	6,83	4,43	64,86
21/04/2017	111	9,23	12,3	3,07	24,95	2,6	12,3	9,7	78,86
12/05/2017	132	16,93	18,41	1,48	8,03	3,8	18,41	14,61	79,36
14/05/2017	134	8,68	14,47	5,79	40,01	9,5	14,47	4,97	34,4
05/08/2017	217	14,12	24,15	10,03	41,53	9,5	24,15	14,65	60,7
12/08/2017	224	12,81	19	6,19	32,57	7,6	19	11,4	60
<b>MÉDIA</b>		<b>8,61</b>	<b>11,74</b>	<b>3,63</b>	<b>31,6</b>	<b>4,31</b>	<b>11,74</b>	<b>7,47</b>	<b>62,15</b>
<b>REQM</b>		<b>4,57</b>				<b>8,58</b>			

TABELA III - Dados diários da PPB ( $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) para caatinga na Área 2 estimado pela metodologia sugerida (PPB<sub>estimated</sub>), MOD17A2H.  
 TABLE III - Daily PPB data ( $\text{gC m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ) for caatinga in Area 2 estimated by the suggested methodology (PPB<sub>estimated</sub>), MOD17A2H.

242

ÁREA 2					
DATA	Ordem do dia	PPBest $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	MOD17A2H $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	EA $\text{gC m}^{-2}\text{dia}^{-1}$	EP (%)
26/02/2013	57	2,14	1	1,14	114
15/04/2013	105	1,83	2	0,17	8,5
06/05/2013	126	2,1	3	0,9	30
22/05/2013	142	1,5	2,1	0,6	28,57
28/08/2013	240	<b>2,41</b>	1,68	0,73	43,45
22/10/2013	295	<b>0,43</b>	1,4	0,97	69,29
04/12/2013	338	0,56	1,16	0,6	51,72
03/03/2014	62	4	0,8	3,2	400,00
20/04/2014	110	8,3	3,7	4,6	124,32
20/05/2014	140	<b>18,5</b>	6,17	12,33	199,84
16/06/2014	167	11,23	6,11	5,12	83,80
30/06/2014	181	11,14	5,6	5,54	98,93
02/07/2014	183	10,06	5,6	4,46	79,64
01/08/2014	213	6	4	2	50,00
19/08/2014	231	8,24	3,6	4,64	128,89
02/09/2014	245	7,75	2,55	5,2	203,92
25/09/2014	268	6,06	2,64	3,42	129,55
17/01/2015	17	<b>1,71</b>	1,8	0,09	5,00
27/01/2015	27	<b>3,38</b>	2,2	1,18	53,64
01/04/2015	91	2,76	2,5	0,26	10,40
21/04/2015	111	2,42	2,6	0,18	6,92
30/04/2015	120	1,82	1,9	0,08	4,21
05/05/2015	125	1,47	2,8	1,33	47,50
13/06/2015	164	2,9	0,9	2	222,22
28/09/2015	271	<b>0,59</b>	1,5	0,91	60,67
<b>MÉDIA</b>		<b>4,77</b>	2,77	<b>2,47</b>	<b>90,2</b>
<b>REQM</b>				<b>3,67</b>	



**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE PROVISÃO NA ZONA DE AMORTECIMENTO DO PARQUE ESTADUAL  
MATA DO PAU-FERRO, AREIA - PB, BRASIL: MAPEAMENTO E CONFLITOS ENTRE OFERTA E DEMANDA\***

243

**PROVISIONING ECOSYSTEM SERVICES IN THE BUFFER ZONE OF THE  
MATA DO PAU-FERRO STATE PARK, AREIA - PB, BRAZIL: MAPPING AND CONFLICTS BETWEEN SUPPLY AND DEMAND**

Jean Oliveira Campos

Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa (Brasil)

Departamento de Geociências

 0000-0002-2874-754X [jean.oliveira@academico.ufpb.br](mailto:jean.oliveira@academico.ufpb.br)

Eduardo Rodrigues Viana de Lima

Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa (Brasil)

Departamento de Geociências

 0000-0003-1116-9090 [eduvianalima@gmail.com](mailto:eduvianalima@gmail.com)

Diógenes Felix da Silva Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal (Brasil)

Departamento de Geografia

 0000-0002-4210-7805 [diogenes.costa@ufrn.br](mailto:diogenes.costa@ufrn.br)

## RESUMO

As florestas naturais fornecem produtos para as populações situadas em seu entorno em todo o mundo. No Brasil, a Zona de Amortecimento do Parque Estadual Mata do Pau-Ferro apresenta uma importante área prestadora de serviços ecossistêmicos, porém, tem enfrentado conflitos entre oferta e demanda. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo mapear os serviços ecossistêmicos de provisão prestados pelos ecossistemas florestais da zona e identificar os conflitos que ocorrem. Para o mapeamento dos serviços e identificação dos conflitos, foi adotado o método da matriz, possibilitando o cruzamento entre dados de oferta e demanda. Enquanto resultados, verificou-se que as capacidades de oferta variam entre alta e não relevante, ao passo que a demanda varia entre alta e baixa. Observou-se conflito entre oferta e demanda em pelo menos três dos serviços: nutrição a partir de plantas e animais selvagens, e energia a partir de plantas selvagens. Verifica-se que, a agropecuária desenvolvida na região antes da criação da Unidade de Conservação levou à redução dos fragmentos e aumento da demanda por parte da população.

**Palavras-chave:** Mata Atlântica, Parque Estadual, serviços ecossistêmicos, conflitos.

## ABSTRACT

Natural forests provide products to populations around them all over the world. In Brazil, the Buffer Zone of the Mata do Pau-Ferro State Park is an important area that offers ecosystem services, but it has faced conflicts between supply and demand. Given this, the present work aimed to map the provisioning ecosystem services provided by the forest ecosystems of the zone and identify the conflicts that occur. For the mapping of services and identification of conflicts, the matrix method was adopted, enabling the cross-referencing of supply and demand data. The results showed that supply capacity varies from high to not relevant, while demand varies between high and low. Conflict between supply and demand was observed in at least three services: nutrition from wild plants and animals, and energy from wild plants. It is clear that the agriculture and livestock farming that developed in the region before the creation of the Conservation Unit led to a reduction in fragments and an increase in demand from the population.

**Keywords:** Atlantic Forest, State Park, ecosystem services, conflicts.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 29-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 13-02-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Os ecossistemas fornecem contribuições ao ser humano desde o seu surgimento na Terra, os chamados Serviços Ecossistêmicos (SEs). Com a expansão dos grupos humanos pelos continentes e o progressivo aumento da população, os ecossistemas passaram a ser intensamente explorados, em uma demanda crescente, que tem resultado na redução da oferta de serviços ecossistêmicos nas paisagens (Dworczyk e Burkhard, 2021; IPBES, 2019).

Os Serviços Ecossistêmicos são entendidos como os benefícios que as sociedades obtêm através da dinâmica dos ecossistemas (Costanza, 2020; Costanza et al., 1997, 2017; Daily, 1997). Os mesmos são classificados por meio de variados sistemas, dentre os quais, destaca-se a *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES), que distribui os serviços em três seções: regulação e manutenção, provisão e cultural (Czucz et al., 2020; Haines-Young; Potschin, 2018). O potencial de oferta de SEs se manifesta de forma variada na paisagem, particularmente em razão do estado de conservação dos ecossistemas e demanda por esses, uma vez que os padrões de distribuição da biodiversidade são influenciados pelas formas de usos e cobertura da terra e estrutura da paisagem. As florestas encontram-se entre os ecossistemas mais afetados, haja vista que constituem importante fonte de recursos naturais para as sociedades.

As florestas tropicais estão entre os ecossistemas de maior biodiversidade do planeta (MEA, 2005). Estas cobrem 31% da área continental do globo e metade dessa área distribui-se por cinco países, Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China, o que coloca esses países em evidência no tocante às políticas de proteção e manejo das áreas florestais, uma vez que tais áreas desempenham importantes funções ambientais e contribuem para o bem-estar humano (Costanza et al., 1997; FAO, 2020; Miura et al., 2015).

Os serviços de provisão das florestas incluem produtos florestais madeireiros como lenha e madeira para construção civil, e não madeireiros, a exemplo de fibras, folhas, frutos e raízes, acessados, principalmente por meio da coleta. Incluem também produtos de origem animal, tais como carne e ovos, que por sua parte, são obtidos por meio da caça (Gonçalves et al., 2021; Pastur et al., 2018). A maior parte dessas florestas encontra-se em domínio público, sob diversas categorias de áreas protegidas que permitem apenas uso indireto dos recursos naturais (FAO, 2020). Assim, apenas comunidades tradicionais, legalmente, têm suas atividades relacionadas a essas massas florestais a essas massas florestais, das quais obtêm (Ndayizeye et al., 2020; Palomo et al., 2013). Por outro lado, as porções florestais localizadas em propriedades privadas, mesmo

se apresentando em menores dimensões, fornecem produtos diretamente aos seus proprietários.

Os serviços ecossistêmicos de provisão referem-se aos produtos obtidos diretamente dos ecossistemas, que atuam na promoção do bem-estar humano, tais como alimentos, água, fibras e extratos (Lei Nº 14.119, de 13 de Janeiro de 2021, 2021; Groot et al., 2002; MEA, 2005; Zhai et al., 2021). Nos ecossistemas florestais, os produtos podem ser de origem vegetal, como frutas, cascas, raízes, resinas, óleos, madeira e lenha, e também de origem animal, a exemplo de carne, mel e ovos (Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012, 2012; FAO, 2020; Haines-Young e Potschin, 2013). Esses produtos são requisitados em diferentes quantidades e seus fluxos são influenciados pela distância entre as áreas de oferta e demanda, o que por sua vez, possibilita o emprego de diferentes representações cartográficas com fins de gestão e conservação dos ecossistemas.

No contexto dos serviços ecossistêmicos, os mapas configuram-se como produtos fundamentais, pois auxiliam na formulação de políticas voltadas à conservação e manutenção da oferta de serviços, ou mesmo recuperação de áreas degradadas, no intuito de recompor funções ecosistêmicas (Ala-Hulkko et al., 2019; Kruse e Petz, 2017). Ao mesmo tempo, também permitem localizar áreas fornecedoras, consumidores e conflitos entre as partes interessadas (Balvanera et al., 2001; Kandziora et al., 2013).

No Brasil, o Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, localizado no município de Areia, no estado da Paraíba, encontra-se situado em área de Mata Atlântica e em sua Zona de Amortecimento encontram-se assentadas diversas comunidades rurais que se utilizam dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelo ecossistema florestal, no entanto, ainda são escassos dados sobre oferta e demanda pelos produtos florestais neste espaço territorial (Campos et al., 2023; Marques et al., 2019; Santos et al., 2020). Dito isso, o presente trabalho teve como objetivos: mapear os serviços ecossistêmicos de provisão prestados pelos ecossistemas florestais da zona e identificar os conflitos entre oferta e demanda que ocorrem na Zona de Amortecimento do Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, no estado da Paraíba, Brasil.

## Área de estudo

O PE Mata do Pau-Ferro e sua Zona de Amortecimento estão situados no município de Areia, no estado da Paraíba, e constituem os espaços de investigação do presente estudo. O município está localizado no referido estado (fig. 1), assentado na borda úmida do Planalto da Borborema, em condição de Brejo de Altitude, o que possibilita a manutenção da formação florestal da Mata Atlântica (Arruda et al., 2022; Campos et al., 2023; Medeiros e Cestaro, 2019).

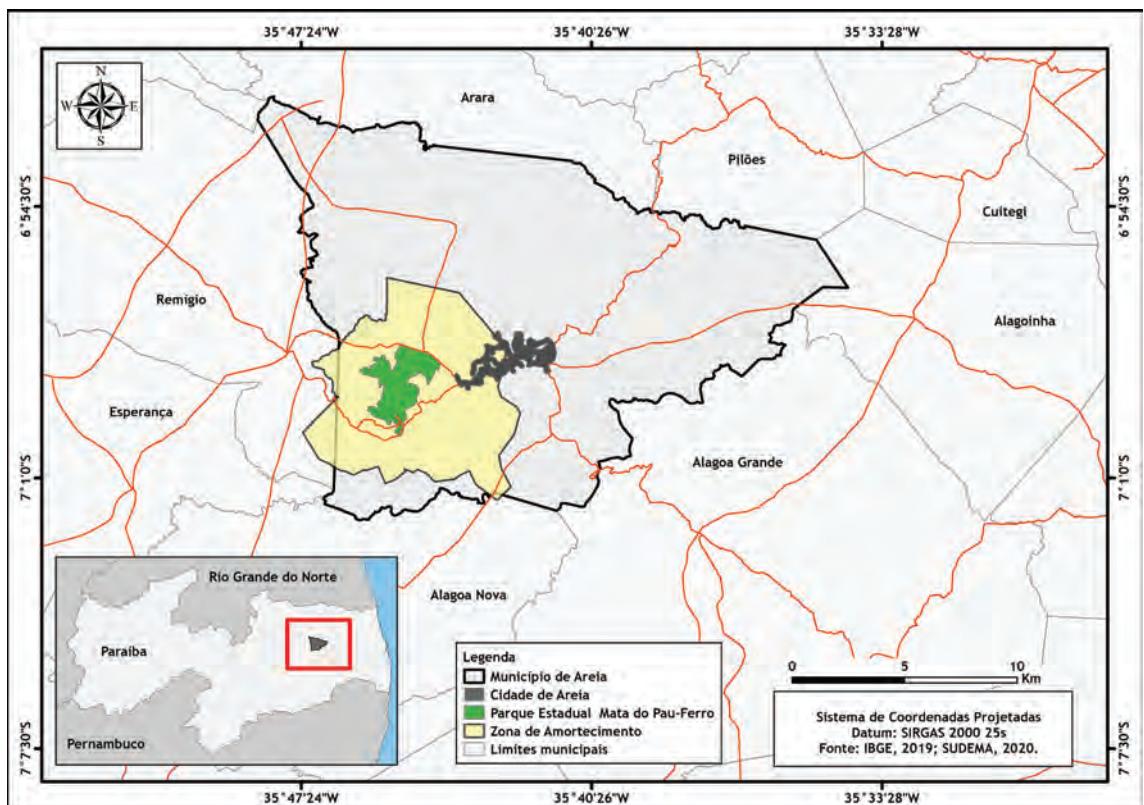


Fig. 1 - Localização da Zona de Amortecimento do Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, na Paraíba/BR.

Fig. 1 - Location of the Buffer Zone of the Mata do Pau-Ferro State Park, in Paraíba/BR.

Sua Zona de Amortecimento compreende uma área de 5.404,11 ha, se estendendo até os municípios de Remígio e Alagoa Nova, e comportando diversas comunidades rurais em seu interior, onde se desenvolvem diversas atividades, como agricultura e pecuária (Santos *et al.*, 2020). O território que compõe Unidade de Conservação resulta da desapropriação de engenhos e pequenas propriedades, por parte do Governo do Estado da Paraíba, na década de 1930, para a construção da barragem Vaca Brava e proteção da sua rede de drenagem (Leite *et al.*, 2014; Lima e Campos, 2022).

## Materiais

A listagem dos materiais e instrumentos utilizados, juntamente com os procedimentos metodológicos adotados é apresentada nas seções abaixo. Nas etapas desenvolvidas, foram utilizados os seguintes instrumentos e materiais:

- Polígono dos fragmentos florestais do PE Mata do Pau-Ferro e da Zona de Amortecimento obtidos em etapa anterior;
- Base cartográfica da Paraíba no formato *shapefile* adquiridas gratuitamente no Portal de Mapas do IBGE;
- Polígono no formato *shapefile* da Unidade de Conservação Parque Estadual Mata do

Pau-Ferro e de sua Zona de Amortecimento disponibilizado pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA); Questionário aprovado pelo Conselho de Ética da Universidade Federal da Paraíba para pesquisa com seres humanos;

- Softwares ArcGIS 10.2® e Microsoft Office Excel®.

## Procedimentos metodológicos

Para o mapeamento dos serviços ecossistêmicos de provisão foram adotados os procedimentos referentes ao método da matriz (Burkhard *et al.*, 2009). Assim, executou-se os procedimentos abaixo:

1. *Aquisição dos polígonos dos fragmentos florestais:* nesta etapa utilizaram-se os polígonos dos fragmentos florestais do PE Mata do Pau-Ferro e da Zona de Amortecimento elaborado em etapa anterior no presente estudo;
2. *Elaboração de questionário:* os serviços ecossistêmicos de provisão selecionados e classificados previamente foram listados da seguinte forma:
  - Nutrição a partir de plantas selvagens: compreende os produtos de origem vegetal obtidos a partir de plantas selvagens e utilizado na alimentação humana;

- Nutrição a partir de animais selvagens: compreende os produtos de origem animal obtidos a partir de animais selvagens e utilizados na alimentação humana;
  - Energia a partir de plantas selvagens: compreende os produtos de origem vegetal obtidos a partir de plantas selvagens e utilizados nas atividades humanas como fonte de energia;
  - Fibras e materiais a partir de plantas selvagens: compreende os produtos de origem vegetal obtidos a partir de plantas selvagens e utilizados na construção civil ou mesmo em fins medicinais;
  - A listagem, por sua vez, foi utilizada para a elaboração de um questionário semiestruturado contendo perguntas para caracterizar o público, identificar o nível de oferta e demanda pelos dos serviços ecossistêmicos, listar os produtos utilizados pelos moradores e as espécies animais e vegetais aos quais estão relacionados e vincular os fragmentos florestais à oferta e demanda.
3. *Aplicação dos questionários:* após a aprovação do projeto, que possui o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) nº 42989721.2.0000.5188, foram realizados os trabalhos de campo para a aplicação dos instrumentos de coleta de dados. Na impossibilidade de aplicar questionários em todas as comunidades da Zona de Amortecimento, a área de aplicação foi restringida para 1 km no entorno do PE Mata do Pau-Ferro, dado que possuem maior relação com a área protegida do que as áreas situadas em até 3 km. Assim, entre os meses de junho e julho de 2021, foram aplicados 110 questionários em 9 comunidades, e a aplicação foi realizada de forma aleatória, não sendo definido um número mínimo ou máximo de aplicações para cada comunidade. Durante a aplicação foi utilizada uma imagem de satélite da área de estudo em cor verdadeira, impressa em *banner* (60 cm x 80 cm), na qual os fragmentos florestais foram destacados por classe de tamanho através de contornos com cores diferentes. Dessa forma, no momento da aplicação os moradores puderam indicar manualmente a qual ou quais classes de tamanho estão relacionadas às ofertas mencionadas nos questionários respondidos;
4. *Elaboração da matriz de serviços ecossistêmicos:* para produção da matriz dos serviços ecossistêmicos foi feito uso das informações de oferta e classe de tamanho a qual está vinculada, que por sua vez, foram recolhidas por meio dos questionários. A oferta foi determinada a partir da mediana das citações obtidas para as capacidades de oferta, posto que é uma das medidas mais indicadas para o trabalho com dados ordinais e mapeamento de serviços ecossistêmicos (Jamieson, 2004; Kopperoinen et

*al.*, 2017; Miot, 2020; MMA, 2018). As capacidades de oferta, por sua parte, se apresentam da seguinte forma: (0) oferta não relevante, (1) capacidade de oferta muito baixa, (2) capacidade de oferta baixa, (3) capacidade de oferta média, (4) capacidade de oferta alta e (5) capacidade de oferta muito alta.

A definição das classes de tamanho dos fragmentos florestais a que estão associadas as capacidades de oferta, por outro lado, obedeceu à quantidade de citações. Nesses termos, a classe de tamanho mais citada foi associada à maior capacidade de oferta, em sequência, as classes menos citadas também foram vinculadas às menores capacidades de oferta. Por fim, a demanda para cada serviço foi estimada de modo similar à oferta, isto é, com o uso da mediana. Foi obtida uma demanda única para cada serviço abordado, utilizando as seguintes classes: (0) demanda não relevante, (1) demanda muito baixa, (2) demanda baixa, (3) demanda média, (4) demanda alta, e (5) demanda muito alta. Todos os procedimentos foram realizados no *Excel*;

5. *Listagem das espécies animais e vegetais:* para a listagem das espécies animais e vegetais relacionadas aos produtos, os nomes populares obtidos por meio dos questionários, juntamente com características descritas pelos moradores foram utilizados como forma de identificar os nomes científicos das espécies. Assim, foram realizadas buscas nas listas de espécies atualizadas nas fontes a seguir: Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO), Sociedade Brasileira de Mastozoologia (SMBz), Sociedade Brasileira de Herpetologia (SBH), Flora e Funga do Brasil, Inventário Florestal Nacional: Paraíba e Plano de Manejo do PE Mata do Pau-Ferro (E. F. Abreu *et al.*, 2021; Costa e Bérnuls, 2018; Pacheco *et al.*, 2021; REFLORA, 2021; Santos *et al.*, 2020; Segalla *et al.*, 2021; SFB, 2019). Além disso, o Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr) permitiu verificar os mapas de ocorrência das espécies e também os registros para o Brejo Paraibano, oportunizando maior precisão nas informações (SiBBr, 2021);
6. *Mapeamento das comunidades de moradores:* com as coordenadas geográficas coletadas nos questionários foi possível estimar a localização relativa das comunidades no entorno do PE Mata do Pau-Ferro, assim através do ArcGIS procedeu-se com o mapeamento das mesmas. As nomenclaturas adotadas correspondem aos nomes citados pelos moradores, também mencionados na literatura consultada;
7. *Mapeamento dos serviços ecossistêmicos:* com uso ArcGIS e tomando por base os polígonos dos fragmentos florestais do PE Mata do Pau-Ferro e da Zona de Amortecimento, bem como a matriz elaborada, foi

possível espacializar as capacidades de oferta dos serviços ecossistêmicos considerados. A nomenclatura das capacidades, assim como o esquema de cores seguiram a proposta de Burkhard *et al.* (2009) para o mapeamento de serviços ecossistêmicos;

8. *Tabulação de áreas:* a partir do mapeamento realizado, os dados foram tabulados com o uso do *Excel*, e então foram extraídos os percentuais cobertos pelas capacidades de oferta dos serviços ecossistêmicos, possibilitando, dessa forma, identificar a abrangência das mesmas. Um resumo do percurso metodológico é apresentado na fig. 2. O detalhamento dos dados coletados através dos questionários, dos mapeamentos e das tabulações é apresentado nas seções a seguir.

## Resultados

No total, foram aplicados questionários com 110 participantes, distribuídos em 9 comunidades locais, situadas na Zona de Amortecimento do PE Mata do Pau-Ferro (fig. 3). Por ordem decrescente, a comunidade Gruta de Cobra concentra a maior parte dos questionários aplicados, registrando um percentual de 19,1%, enquanto o Assentamento Emanuel Joaquim detém o segundo maior percentual, com 17,3%, Chã do Jardim, Engenho Bujarí e Macacos, por sua vez, expõem 14,5%, 13,6% e 10%, respectivamente. Em conjunto, as comunidades citadas respondem por 74,5% das aplicações. As demais localidades, por outro lado, exibem percentuais abaixo de 10%, resultado do menor número de aplicações realizadas nesses espaços, são elas: Tapuio, Jardim, Pau-Ferro e Flores.

Como as comunidades-alvo foram selecionadas conforme a maior proximidade com o PE Mata do Pau-Ferro, existem aquelas que não foram consideradas no presente estudo. As comunidades não possuem limites definidos entre si, em razão disso, os moradores estabelecem início e fim das mesmas tomando como referência suas propriedades de terra, cercas e estradas (fig. 3). Além disso, em algumas comunidades foram verificadas divergências de nomes, a exemplo da comunidade Tapuio, onde moradores também apontaram Água Doce como sendo um dos nomes locais, nesse caso manteve-se o nome mais citado.



Fig. 3 - Distribuição das comunidades no entorno do PE Mata do Pau-Ferro.

Fig. 3 - Distribution of communities around the Mata do Pau-Ferro State Park.

As localidades com maiores percentuais apresentaram as melhores condições para aplicação: maior número de residências juntas e moradores dispostos a participar.

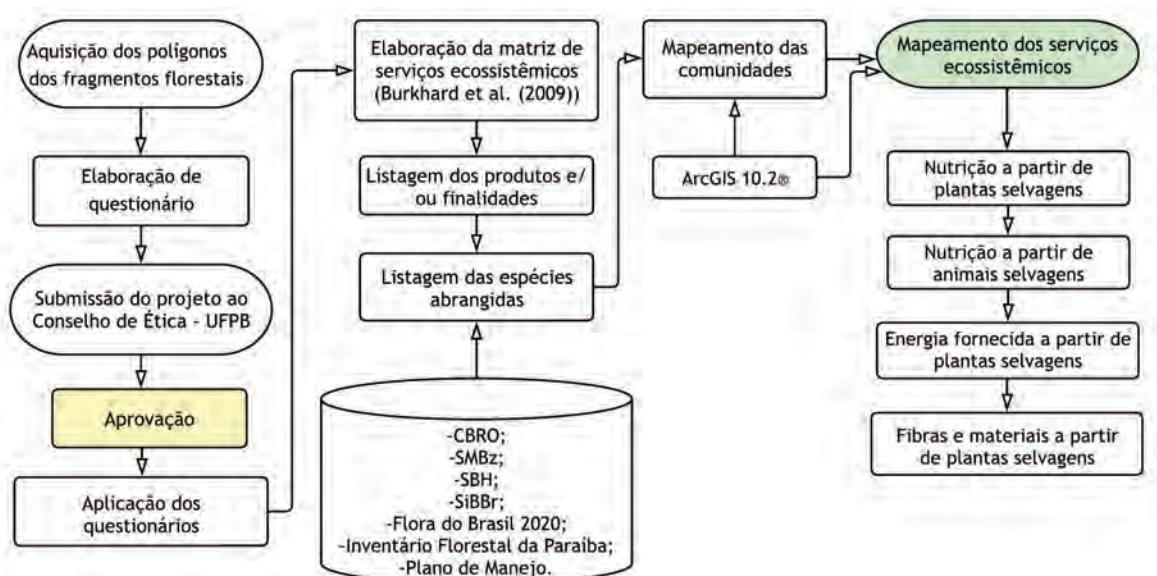


Fig. 2 - Etapas desenvolvidas no mapeamento dos serviços ecossistêmicos de provisão.

Fig. 2 - Steps developed in mapping the ecosystem provisioning services.

No que diz respeito à distribuição dos participantes por sexo, 53,73% são do sexo masculino e 47,27% feminino.

Em termos de faixa etária, a maior parte do público participante insere-se em 55 anos ou mais, tendo em conta o percentual de 32%. O segundo maior percentual foi registrado para a classe de 45 a 55 anos, que abrange 29%, evidenciando que 61% dos respondentes possuem idade acima de 45 anos. Em ordem descrente dos percentuais aparecem as classes de 35 a 45 anos, 25 a 35 anos, e 18 a 25 anos, sendo a última a menos representativa.

Em termos de escolaridade, 6% dos participantes não possuem nenhum grau de instrução escolar, 64% apresentou ensino fundamental incompleto, enquanto apenas 9% chegou a completar. Segundo, 14% possui o ensino médio completo, ao passo que, 4% não chegou a se formar. Por fim, no ensino superior temos a seguinte conjuntura: 2% são graduados, e 1% ainda está cursando. O principal grau de escolaridade verificado entre os participantes refere-se ao ensino fundamental incompleto. Dado que o ensino fundamental, no Brasil, diz respeito às séries escolares que vão do 1º ao 9º ano, o grau observado aponta interrupção da trajetória escolar em determinada série nesse intervalo de tempo.

Por último, os dados coletados também mostram que a maior parcela dos participantes desenvolve atividades ligadas à agricultura, conforme é apontado pelo percentual de 97,27%. Esse contexto possibilita conhecimento empírico sobre a dinâmica dos ecossistemas, sobretudo em relação aos serviços ecossistêmicos. As outras profissões encontradas referem-se a guia de turismo, professor (a) e técnico (a) agrícola, e representam, cada uma delas, 0,97% do público considerado.

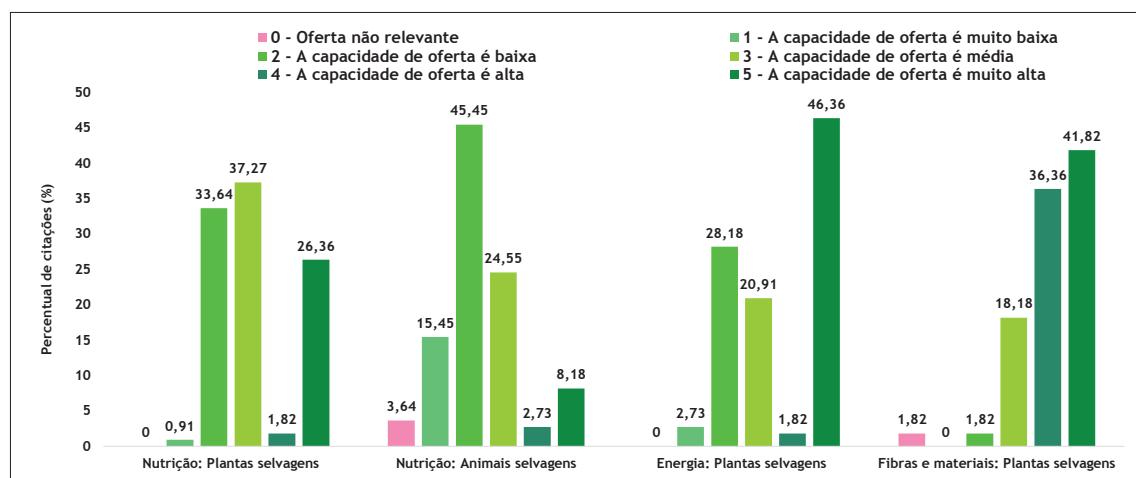
Os participantes que apresentaram profissão diferente de agricultor (a), desenvolvem suas atividades na cidade de Areia e residem na área rural. A partir das informações

exibidas, verifica-se que o público é diversificado, particularmente, em relação à comunidade residente, idade e grau de escolaridade. Tal contexto oportuniza variações nas respostas obtidas, retratando com maior efetividade a realidade investigada.

#### Serviços ecossistêmicos e capacidade de oferta

A capacidade de oferta dos serviços ecossistêmicos foi estimada com base na mediana das citações. Os percentuais das citações obtidas para as capacidades de oferta em cada um dos serviços ecossistêmicos são apresentados na fig. 4. Embora existam divergências, é possível verificar que em três dos quatro serviços abordados o consenso se pronuncia acima de 40%. Para nutrição, a partir de plantas selvagens, a capacidade de oferta média se mostra predominante, registrando 37,27% das citações, enquanto no serviço de nutrição a partir de animais selvagens a capacidade de oferta tornou-se mais evidente, expondo percentual de 45,45%.

A capacidade de oferta muito alta, por sua vez, se mostrou a mais expressiva para os serviços de energia, fibras e materiais, compreendendo 46,36% e 41,82%, respectivamente. Dessa forma, é possível observar que esses se situam entre os principais serviços de provisão com maior oferta, prestados pela vegetação florestal nativa. Dado que a mediana é utilizada como base para definir a oferta, as capacidades de oferta mais citadas não coincidem com as capacidades de oferta finais. Os serviços de nutrição e energia a partir de plantas selvagens apresentaram mediana de 3, mostrando uma capacidade de oferta média como principal classe de oferta. Antrição a partir de animais selvagens apresentou o valor 2 como mediana, indicando capacidade baixa, à medida que, o valor mediano 4 foi encontrado para o serviço de fibras e materiais a partir de plantas selvagens, apontando uma capacidade de oferta alta.



**Fig. 4 - Percentual das citações obtidas para a capacidade de oferta em cada serviço.**

**Fig. 4 - Percentage of mentions obtained for the supply capacity in each service.**

As classes de tamanho dos fragmentos florestais a que estão associadas às capacidades de oferta, foram definidas tomando como critério o maior número de citações. Assim, verificou-se que os fragmentos florestais grandes estão associados às maiores ofertas dos serviços em questão (fig. 5). Adicionalmente, no conjunto de informações coletadas foram registradas respostas que não apontaram a existência de oferta de serviços ecossistêmicos, por isso, também não indicaram classes de tamanho, do mesmo modo, ocorreram respostas que apontaram mais de uma classe de tamanho.

Em se tratando do serviço de nutrição a partir de plantas selvagens, todos os participantes afirmaram utilizar os produtos, além disso, 9 citaram duas classes de tamanho, gerando 119 citações, das quais 69,75% foram para o tamanho grande. Em sequência, na nutrição a partir de animais selvagens, 4 dos 110 participantes indicaram que não existe oferta do serviço, enquanto 4 marcaram duas classes, resultando em 110 citações, a classe de tamanho grande, por sua vez, apresentou percentual de 82,73%.

Seguindo, no âmbito do serviço de energia a partir de plantas selvagens, todos os participantes indicaram a existência do serviço, além disso, 10 citaram duas classes, somando 120 citações, sendo 80,83% destas para a classe de tamanho grande. Por último, no serviço de

fibras e materiais a partir de plantas selvagens, dos 110 participantes, apenas 2 afirmaram não reconhecer a existência do serviço, ao mesmo tempo, 9 relacionaram a oferta do mesmo com duas classes de tamanho, registrando 117 citações. Semelhante ao registrado nos demais serviços, a classe de fragmentos grandes se mostrou a mais expressiva, abrangendo o percentual de 69,23%.

A vinculação entre os fragmentos florestais e os serviços ecossistêmicos permitiu verificar como as classes de tamanho estão diretamente ligadas às ofertas dos serviços, além de fornecer as informações necessárias para o mapeamento. O tamanho dos fragmentos, os serviços e as capacidades de oferta são apresentados no TABELA I, onde também é possível constatar que os fragmentos grandes possuem o maior somatório, isto é, detêm as maiores capacidades para ofertar serviços.

O segundo maior somatório é observado para os fragmentos médios, que somam o valor 8, simultaneamente o menor somatório é evidenciado para os fragmentos pequenos, com valor 4. A nutrição a partir de animais selvagens é o único serviço que não apresentou oferta nos fragmentos pequenos, a classe também expõe capacidades baixas e muito baixas nos demais serviços, o que exerceu influência no somatório dos serviços.

TABELA I - Matriz dos serviços ecossistêmicos de provisão.

TABLE I - Matrix of ecosystem provisioning services.

	Serviços de Provisão Σ	NUTRIÇÃO: Plantas selvagens	NUTRIÇÃO: Animais selvagens	ENERGIA: Plantas selvagens	FIBRAS E MATERIAIS: Plantas selvagens
Fragmentos grandes	12	3	2	3	4
Fragmentos médios	8	2	1	2	3
Fragmentos pequenos	4	1	0	1	2

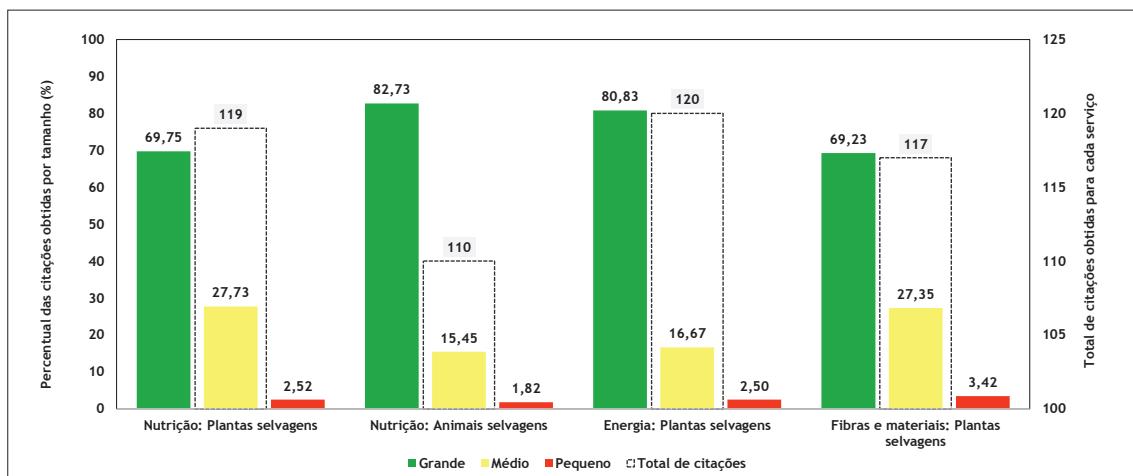
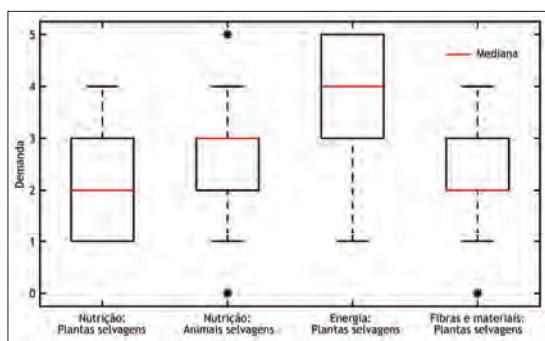


Fig. 5 - Percentual de citações obtidas por classe de tamanho dos fragmentos florestais.

Fig. 5 - Percentage of mentions obtained by class of forest fragment size.

### Relação entre oferta e demanda

A demanda refere-se à requisição de determinado serviço ecossistêmico por parte dos moradores das comunidades locais, e semelhante à capacidade de oferta foi estimada tomando por base a mediana das citações obtidas. A fig. 6 contém a representação das demandas registradas para os serviços ecossistêmicos em foco. Para a nutrição a partir de plantas selvagens, foi verificada uma demanda baixa, assim como no serviço de fibras e materiais a partir de plantas selvagens. Por outro lado, demandas maiores foram observadas nos demais serviços, na nutrição a partir de animais selvagens, por exemplo, registrou demanda média, ao passo que em energia a partir de plantas selvagens atestou-se demanda alta.



**Fig. 6 - Demanda registrada para os serviços ecossistêmicos da Zona de Amortecimento.**

**Fig. 6 - Demand recorded for the ecosystem services of the Buffer Zone.**

A demanda manifestada é única para as três classes de tamanho. Nesses termos, a mesma recai sobre todas as capacidades de oferta verificadas no serviço. As capacidades de oferta de cada serviço, levando em conta o tamanho dos fragmentos e a demanda averiguada,

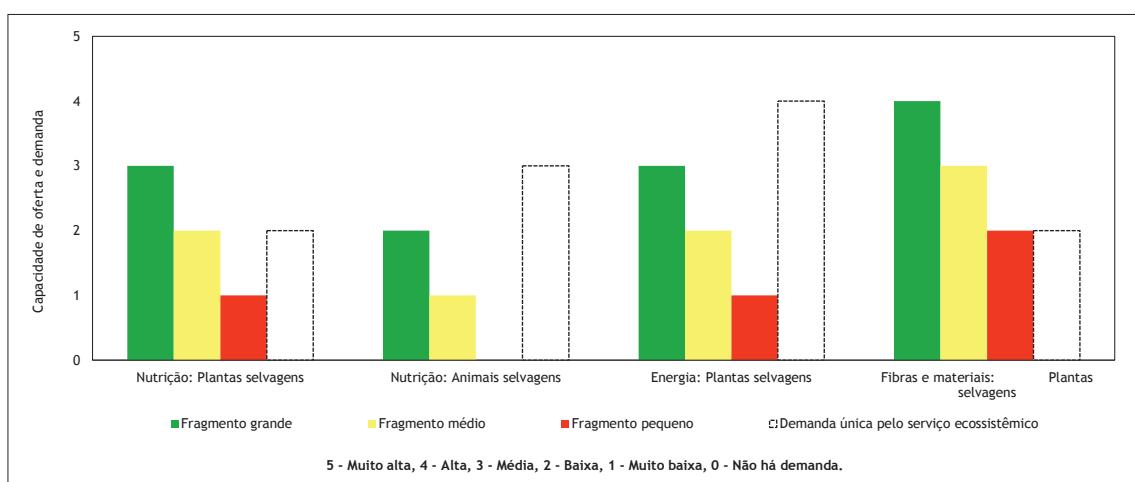
estão representados na fig. 7. A comparação entre oferta e demanda possibilita compreender em quais serviços a oferta supre a demanda, e também onde a demanda supera a oferta, pronunciando um conflito.

No serviço de nutrição a partir de plantas selvagens ocorrem as capacidades de oferta média, baixa e muito baixa, e demanda baixa. O segundo serviço, nutrição a partir de animais selvagens, enumera oferta baixa e muito baixa. Seguindo, no âmbito da energia a partir de plantas selvagens, são encontradas as ofertas média, baixa e muito baixa, ao passo que a demanda se manifesta como alta, sendo ao mesmo tempo a maior demanda registrada. Mais uma vez, ocorre uma relação de incompatibilidade entre oferta e demanda. Por outro lado, no serviço de fibras e materiais a partir de plantas selvagens não são identificadas incompatibilidades, pois a oferta vista mostra-se capaz de atender a demanda em todas as classes de tamanho. As ofertas listadas foram alta, média e baixa, na devida ordem, enquanto a demanda observada é baixa. Nesse sentido, nos fragmentos grandes e médios a oferta supera a demanda, ao passo que nos fragmentos pequenos, a relação entre oferta e demanda ocorre de forma equilibrada.

Diante do exposto, é assistido que em pelo menos três serviços ecossistêmicos, a demanda não é atendida, o que por sua vez repercute sobre os fluxos. A exceção assinalada para serviço de fibras e materiais a partir de plantas selvagens demonstra a existência de condições que atuam na manutenção da oferta, tais como o maior número de espécies fornecedoras de produtos, evitando assim, que o serviço entre em declínio.

### Serviços ecossistêmicos de nutrição a partir de plantas selvagens

No PE Mata do Pau-Ferro e em sua Zona de Amortecimento, o serviço ecossistêmico nutrição a partir de plantas selvagens refere-se ao fornecimento de produtos



**Fig. 7 - Comparativo entre oferta e demanda pelos serviços ecossistêmicos.**

**Fig. 7 - Comparison between supply and demand for ecosystem services.**

florestais não madeireiros utilizados na alimentação humana, majoritariamente frutas e raízes, obtidos por meio da coleta nos fragmentos florestais. A TABELA II mostra as espécies e os produtos consumidos juntamente com o número de citações obtidas por meio dos participantes.

Os produtos florestais listados são fornecidos através de 18 espécies, que se encontram distribuídas em 15 famílias botânicas, com maior destaque para Arecaceae e Fabaceae, por agruparem maior número de espécies (Tabela II). Os frutos evidenciam-se como os produtos mais consumidos pelas comunidades, estando relacionados a 17 espécies, enquanto raízes, aparecem ligados a apenas uma, dessa forma, os frutos respondem pela maior parte das 907 citações contabilizadas. Por outro lado, enquanto as raízes podem ser fornecidas durante todo o ano, os frutos, em sua maior parte, são ofertados em meses específicos do referido período.

As plantas selvagens fornecedoras dos produtos podem tanto ser encontradas nos fragmentos florestais presentes na Zona de Amortecimento, como ao redor das residências, em vista que as comunidades buscam manter as espécies frutíferas à curta distância, no intuito de melhor aproveitar o fornecimento dos frutos.

Os maiores percentuais de citações são observados para jatobá (*H. courbaril* L.), que detém o percentual de 11,25%, pitomba (*T. esculenta* (Cambess.) Radlk.) com 10,47%, pindoba (*A. oleifera* Barb.Rodr.) e macaíba (*A. intumescens* Drude), que registram ao mesmo tempo 10,25% (Tabela II). Os números demonstram que tais espécies se encontram entre as mais populares no que concerne ao fornecimento de frutos, essa realidade pode

indicar que essas constituem as plantas frutíferas mais abundantes da área de estudo.

Em relação às espécies menos citadas, destaca-se mama-cachorro (*V. rufescens* A.Juss.), com percentual de 0,22%, camapú (*P. angulata* L.) e ameixa (*X. americana* L.), que apresentam 0,33%. O arranjo em questão denota que essas encontram-se entre as menos conhecidas pelas comunidades, ou mesmo menos consumidas. Como a estimativa da oferta obtida para o serviço, e não para os produtos individuais, é provável que a população de algumas espécies esteja em declínio, resultando em menor disponibilidade de produtos, e assim menor conhecimento por parte dos participantes.

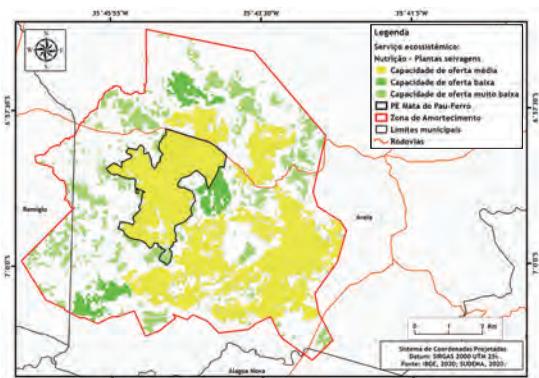
O mapeamento das capacidades de oferta do serviço ecossistêmico de nutrição a partir de plantas selvagens na Zona de Amortecimento e no PE Mata do Pau-Ferro encontra-se expressado na fig. 8. Nesta, pode ser observado que as capacidades de oferta se apresentam em um gradiente que varia entre média e muito baixa. Essa variação, por sua parte, ocorre em função das classes de tamanho dos fragmentos florestais.

A capacidade de oferta média é a mais expressiva, somando um percentual de 60,04% da Zona de Amortecimento, e 98,13% do PE Mata do Pau-Ferro (TABELA III). Em segundo lugar, encontra-se a capacidade de oferta baixa, que registra os percentuais de 10,30%, e 1,87%, respectivamente. Diferente das demais, a capacidade de oferta muito baixa é encontrada apenas na Zona de Amortecimento, onde ocupa 623,43 hectares, que representa 29,66% da mesma, área maior que a totalidade da área protegida.

TABELA II - Lista de espécies do serviço de nutrição a partir de plantas selvagens.

TABLE II - List of species used in the nutrition service from wild plants.

Espécie	Família	Nome popular	Produto	Citações	%
<i>Bomarea edulis</i> (Tussac) Herb.	Alstroemeriaceae	Cara-do-mato	Raiz	62	6,84
<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	Cajá	Fruto	89	9,81
<i>Annona montana</i> Macfad.	Annonaceae	Araticum	Fruto	7	0,77
<i>Acrocomia intumescens</i> Drude	Arecaceae	Macaíba	Fruto	93	10,25
<i>Attalea oleifera</i> Barb.Rodr.		Pindoba	Fruto	93	10,25
<i>Syagrus cearensis</i> Noblick		Coco-do-catolé	Fruto	79	8,71
<i>Bromelia karatas</i> L.	Bromeliaceae	Banana-de-raposa	Fruto	16	1,76
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Chrysobalanaceae	Oiti	Fruto	6	0,66
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae	Jatobá	Fruto	102	11,25
<i>Inga ingoides</i> (Rich.) Willd.		Ingá	Fruto	59	6,50
<i>Vitex rufescens</i> A.Juss.	Lamiaceae	Mama-cachorro	Fruto	2	0,22
<i>Psidium guineense</i> Sw.	Myrtaceae	Araçá	Fruto	81	8,93
<i>Ximenia americana</i> L.	Olacaceae	Ameixa	Fruto	3	0,33
<i>Passiflora alata</i> Curtis	Passifloraceae	Maracujá-açu	Fruto	38	4,19
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Rhamnaceae	Juá	Fruto	4	0,44
<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	Jenipapo	Fruto	75	8,27
<i>Talisia esculenta</i> (Cambess.) Radlk.	Sapindaceae	Pitomba	Fruto	95	10,47
<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	Camapú	Fruto	3	0,33
Total	15	-	2	907	100



**Fig. 8 - Espacialização da oferta do serviço de nutrição a partir de plantas selvagens.**

**Fig. 8 - Spatialization of the supply of the nutrition service based on wild plants.**

A capacidade de oferta média distribui-se majoritariamente na porção leste da Zona de Amortecimento e no PE Mata do Pau-Ferro, enquanto a oferta baixa possui três manchas que se situam a norte, sul e leste. As manchas de oferta muito baixa, embora ocupem o menor percentual, encontram-se posicionadas em toda a área, em virtude disso, certamente constituem a capacidade de oferta mais próxima das residências dos moradores.

**TABELA III - Áreas das capacidades de oferta do serviço de nutrição a partir de plantas selvagens.**

**TABLE III - Areas of supply capacity for the nutrition service based on wild plants.**

Oferta de plantas selvagens	Área (ha)	%
<b>Zona de Amortecimento</b>		
Capacidade de oferta média	1262,25	60,04
Capacidade de oferta baixa	216,52	10,30
Capacidade de oferta muito baixa	623,43	29,66
<b>Área total</b>	<b>2102,20</b>	<b>100</b>
<b>PE Mata do Pau-Ferro</b>		
Capacidade de oferta média	555,07	98,13
Capacidade de oferta muito baixa	10,60	1,87
<b>Área total</b>	<b>565,67</b>	<b>100</b>

#### Serviços ecossistêmicos de nutrição a partir de animais selvagens

O serviço ecossistêmico de nutrição a partir de animais selvagens diz respeito aos produtos de origem animal utilizados na alimentação humana, que são fornecidos a partir de animais selvagens que habitam os fragmentos florestais. Esses produtos geralmente são acessados através da caça e da coleta, na primeira ocorre o uso de espingardas, armadilhas manuais e cães domésticos, enquanto na segunda não há o uso de artefatos, apenas recipientes para o armazenamento. A TABELA IV lista as espécies fornecedoras de produtos animais.

**TABELA IV - Lista das espécies do serviço de nutrição a partir de animais selvagens.**

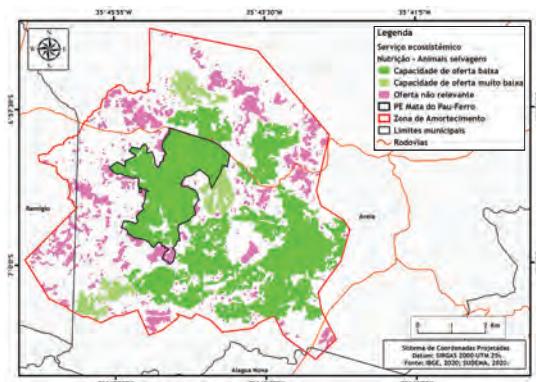
**TABLE IV - List of species used in the nutrition service based on wild animals.**

Espécie	Família	Nome popular	Produto	Citações	%
<b>Mamíferos</b>					
<i>Cerdocyon thous</i> (Linnaeus, 1766)	Canidae	Raposa	Carne	5	0,69
<i>Cavia aperea</i> Erxleben, 1777	Caviidae	Preá	Carne	73	10,12
<i>Euphractus sexcinctus</i> (Linnaeus, 1758)	Chlamyphoridae	Tatu-peba	Carne	81	11,23
<i>Cerradomys subflavus</i> (Wagner, 1842)	Cricetidae	Rato-de-cana	Carne	22	3,05
<i>Dasypus novemcinctus</i> Linnaeus, 1758	Dasypodidae	Tatu-verdeadeiro	Carne	75	10,40
<i>Didelphis albiventris</i> Lund, 1840	Didelphidae	Timbu	Carne	35	4,85
<i>Leopardus emiliae</i> (Thomas, 1914)	Felidae	Gato-maracajá	Carne	27	3,74
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (É. Geoffroy, 1803)		Gato-vermelho	Carne	10	1,39
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus, 1758)	Leporidae	Coelho-do-mato	Carne	22	3,05
<i>Eira barbara</i> (Linnaeus, 1758)	Mustelidae	Papa-mel	Carne	9	1,25
<i>Tamandua tetradactyla</i> (Linnaeus, 1758)	Myrmecophagidae	Tamanduá-mirim	Carne	29	4,02
<i>Procyon cancrivorus</i> Cuvier, 1798	Procyonidae	Guaxinim	Carne	9	1,25
<b>Répteis</b>					
<i>Iguana iguana</i> (Linnaeus, 1758)	Iguanidae	Camaleão	Carne	34	4,72
<i>Salvator merianae</i> Duméril e Bibron, 1839	Teiidae	Teju / Teiú	Carne	75	10,40
<b>Anfíbios</b>					
<i>Leptodactylus vastus</i> Lutz, 1930	Leptodactylidae	Gia	Carne	8	1,11
<b>Aves</b>					
<i>Tigrisoma lineatum</i> (Boddaert, 1783)	Ardeidae	Socó-boi	Carne	2	0,28
<i>Egretta thula</i> (Molina, 1782)		Garça	Carne	2	0,28
<i>Columbina talpacoti</i> (Temminck, 1810)	Columbidae	Rolinha-rosa	Carne	65	9,02
<i>Leptotila verreauxi</i> Bonaparte, 1855		Juruti	Carne	32	4,44
<i>Zenaida auriculata</i> (Des Murs, 1847)		Ribaça	Carne	8	1,11
<i>Ornithodoros guttata</i> (Spix, 1825)	Cracidae	Aracuã	Carne	18	2,50
<i>Dendrocygna viduata</i> (Linnaeus, 1766)	Dendrocygninae	Marreca-piadeira	Carne e ovos	11	1,53
<i>Tachybaptus dominicus</i> (Linnaeus, 1766)	Podicipedidae	Mergulhão	Carne	2	0,28
<i>Gallinula galeata</i> (Lichtenstein, 1818)	Rallidae	Galinha-d'água	Carne	14	1,94
<i>Pardirallus nigricans</i> (Vieillot, 1819)		Saracura-sanã	Carne e ovos	8	1,11
<i>Crypturellus parvirostris</i> (Wagler, 1827)	Tinamidae	Inambu-chororó	Carne	45	6,24
Total	21	-	2	721	100

Os produtos animais em tela são oriundos de 26 espécies, sendo 12 mamíferos, 2 répteis, 1 anfíbio e 11 aves, que estão distribuídas em 21 famílias, com maior destaque para Ardeidae, Columbidae, Felidae e Rallidae por apresentem mais de uma espécie (Tabela IV). A carne é obtida a partir de todas as espécies listadas, conforme sinaliza as 721 citações registradas, contudo, ovos são fornecidos por apenas duas espécies, marreca-piadeira (*D. viduata* (Linnaeus, 1766)) e saracura-sanã (*P. nigricans* (Vieillot, 1819)).

Em termos percentuais, as espécies tatu-peba (*E. sexcinctus* (Linnaeus, 1758)), tatu-verdeadeiro (*D. novemcinctus* Linnaeus, 1758), teju ou teiú (*S. merianae* Duméril e Bibron, 1839), preá (*C. aperea* Erxleben, 1777) e rolinha-rosa (*C. talpacoti* (Temminck, 1810)) respondem por mais de 50% das citações, revelando-se como as mais citadas (Tabela IV). Em contraste, garça (*E. thula* (Molina, 1782)), mergulhão (*T. dominicus* (Linnaeus, 1766)) e socó-boi (*T. lineatum* (Boddaert, 1783)) somam o percentual de 0,84%, em virtude do menor número de citações.

Os números contabilizados podem ter relação direta com a abundância de indivíduos na área, indicar as espécies fornecedoras das carnes mais consumidas ou pontuar as espécies mais facilmente acessadas por meio da caça. No que se refere à oferta do serviço ecossistêmico, foram registradas áreas de oferta baixa e oferta não relevante (fig. 9). Como os fragmentos grandes apresentaram oferta baixa, nos fragmentos pequenos manifestou-se oferta não relevante, demonstrando que a classe de tamanho se encontra comprometida em conteúdo de oferta.



**Fig. 9 - Espacialização da oferta do serviço de nutrição a partir de animais selvagens.**

**Fig. 9 - Spatialization of the supply of the nutrition service based on wild animals.**

No que diz respeito às proporções de área, a capacidade de oferta baixa, relacionada aos maiores fragmentos, totaliza 60,04% da Zona de Amortecimento e 98,13% do PE Mata do Pau-Ferro (TABELA V). Na sequência, a classe de

oferta muito baixa ocupa 10,30% da primeira área, não observada no Parque. A área de oferta não relevante, por sua vez, abrange 29,66% da Zona de Amortecimento e 1,87% da área protegida e cobre uma área total 634,03 hectares.

Analizando o mapeamento das capacidades de oferta na Zona de Amortecimento e no Parque, percebe-se que a área de oferta baixa se concentra em sua maioria na porção leste, ao passo que a capacidade de oferta muito baixa possui manchas representantes a norte, sul e leste. Por outro lado, a oferta não relevante encontra maior distribuição e simultaneamente detém o maior número de manchas em relação às demais capacidades de oferta.

**TABELA V - Áreas das capacidades de oferta do serviço de nutrição a partir de animais selvagens.**

**TABLE V - Areas of supply capacity for the nutrition service based on wild animals.**

Nutrição: Animais selvagens	Área	%
<b>Zona de Amortecimento</b>		
Capacidade de oferta baixa	1262,25	60,04
Capacidade de oferta muito baixa	216,52	10,30
Oferta não relevante	623,43	29,66
<b>Área total</b>	<b>2102,20</b>	<b>100</b>
<b>PE Mata do Pau-Ferro</b>		
A capacidade de oferta baixa	555,07	98,13
Oferta não relevante	10,60	1,87
<b>Área total</b>	<b>565,67</b>	<b>100</b>

Tendo em conta que as citações exprimem o conhecimento dos participantes, o cenário manifestado pode indicar a diminuição das populações animais nesses fragmentos, particularmente em função da maior vulnerabilidade aos efeitos de borda e também maior suscetibilidade à caça e à predação. Acrescentando-se a isso, o fator isolamento promovido pelas distâncias entre as manchas, em conjunto com as pastagens também atuam negativamente na dinâmica de populações e comunidades, contribuindo para o declínio das mesmas, uma vez impedindo a circulação e, com isso, a recomposição dos números populacionais. Dessa forma, o cenário encontrado pode resultar de uma série de perturbações ecológicas advindas das atividades humanas na paisagem considerada.

#### *Serviços ecossistêmicos de energia fornecida a partir de plantas selvagens*

Este serviço ecossistêmico envolve produtos florestais madeireiros originados da vegetação lenhosa para fornecimento de energia: lenha e carvão vegetal, ambos empregados no uso doméstico, sobretudo para o cozimento de alimentos. A lenha é extraída de espécies vegetais específicas, por meio da derrubada com uso de foices e machados, e transportada até as residências, com ou sem auxílio de carroças.

O carvão, no entanto, é produzido a partir do processo de carbonização da madeira a partir de técnicas de carvoaria, e após o produto passa a ser aplicado nas atividades domésticas. A TABELA VI apresenta os produtos florestais madeireiros obtidos a partir da vegetação florestal nativa e as referidas espécies.

O serviço envolve 26 espécies vegetais que, por sua parte, se agrupam em 16 famílias botânicas, com ênfase para Fabaceae, por apresentar o maior número de espécies (TABELA VI). Em matéria de produtos fornecidos, a lenha recebe destaque por ser extraída em todas as espécies listadas, ao contrário do carvão, ligado somente oito delas. Nesse sentido, do ponto de vista da provisão, o carvão mostra-se o produto mais vulnerável à interrupção da oferta, haja vista que o fornecimento de madeira depende de espécies específicas, que foram citadas em menor número e que podem vir a ter suas populações reduzidas em longo ou médio prazo. Os maiores percentuais foram expostos para as espécies murici (*B. sericea* DC.), sucupira (*B. virginiloides* Kunth), estraladeira (*A. puberulus* (Cambess.) Radlk.), pororoca (*C. paralicola* G. Mariz) e camunzé (*A. polyccephala* (Benth.) Killip ex Record), sendo duas relacionadas à produção de carvão (Tabela VI). A relevância notada para essas espécies indica que as mesmas estão entre as mais conhecidas pelos participantes, e mais comumente empregadas nas atividades domésticas.

Em oposição, os menores percentuais foram exibidos por juá (*Z. joazeiro* Mart.), gameleira (*F. calyptrocera* (Miq.) Miq.), jurema-branca (*P. stipulacea* (Benth.) Ducke), oiti (*L. tomentosa* (Benth.) Fritsch) e amescla

(*P. heptaphyllum* (Aubl.) Marchand), que registraram ao mesmo tempo 0,19%, referente a uma citação. Embora tenham recebido menor número de citações, essas espécies podem estar entre as mais utilizadas, considerando os diferentes grupos familiares que estão distribuídos na área de estudo, e que não foram analisados na amostragem realizada. O serviço ecossistêmico de fornecimento de energia a partir de plantas selvagens apresenta capacidades de oferta que variam de média a muito baixa, conforme a fig. 10. A maior capacidade identificada refere-se à oferta média, enquanto a menor encontrada está ligada à oferta muito baixa. Semelhante aos demais serviços, a distribuição das capacidades de oferta obedece à disposição das classes de tamanho dos fragmentos florestais.

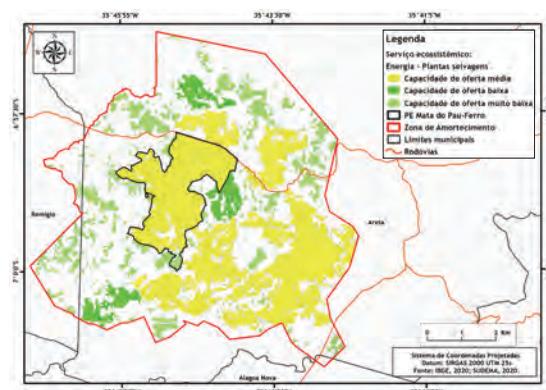


Fig.10 - Espacialização da oferta do serviço de energia a partir de plantas selvagens.

Fig. 10 - Spatialization of the supply of the energy service based on wild plants.

TABELA VI - Lista de espécies do serviço de energia a partir de plantas selvagens.

TABLE VI - List of species used in the energy service based on wild plants.

Espécie	Família	Nome Popular	Produto	Citações	%
<i>Myracrodon urundeuva</i> Allemão	Anacardiaceae	Aroeira	Lenha	4	0,75
<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.	Annonaceae	Semente de embira	Lenha	2	0,37
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al.	Araliaceae	Samabaquim	Lenha	2	0,37
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Burseraceae	Amescla	Lenha	1	0,19
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Chrysobalanaceae	Oiti	Lenha	1	0,19
<i>Clusia paralicola</i> G. Mariz	Clusiaceae	Pororoca	Lenha e carvão	54	10,09
<i>Hymenaea courbaril</i> L.		Jatobá	Lenha	35	6,54
<i>Albizia polyccephala</i> (Benth.) Killip ex Record	Fabaceae	Camunzé	Lenha	51	9,53
<i>Bowdichia virginiloides</i> Kunth		Sucupira	Lenha	79	14,77
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan		Angico	Lenha e carvão	7	1,31
<i>Piptadenia viridiflora</i> (Kunth) Benth.		Amorosa	Lenha	3	0,56
<i>Machaerium aculeatum</i> Raddi		Espinheiro-rei	Lenha	6	1,12
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke		Jurema-branca	Lenha e carvão	1	0,19
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.		Jurema-preta	Lenha e carvão	2	0,37
<i>Byrsinima sericea</i> DC.	Malpighiaceae	Murici	Lenha e carvão	84	15,70
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	Moraceae	Quiri	Lenha	49	9,16
<i>Ficus calyptrocera</i> (Miq.) Miq.		Gameleira	Lenha	1	0,19
<i>Campomanesia aromatica</i> (Aubl.) Griseb.	Myrtaceae	Guabiraba	Lenha	4	0,75
<i>Eugenia candolleana</i> DC.		Purpuna	Lenha	8	1,50
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Nyctaginaceae	João-mole	Lenha	16	2,99
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Rhamnaceae	Juá	Lenha e carvão	1	0,19
<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	Jenipapo	Lenha	3	0,56
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Rutaceae	Limãozinho	Lenha e carvão	20	3,74
<i>Talisia esculenta</i> (Cambess.) Radlk.	Sapindaceae	Pitomba	Lenha e carvão	25	4,67
<i>Alliophyllum puberulus</i> (Cambess.) Radlk.		Estraladeira	Lenha	56	10,47
<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Urticaceae	Embaúba	Lenha	20	3,74
Total		16	-	535	100

A capacidade de oferta média ocupa 60,04% da Zona de Amortecimento e 90,13% do PE Mata do Pau-Ferro, somando uma área de 1.817,3 hectares (TABELA VII). Em sequência, a capacidade de oferta baixa manifesta-se em 10,30% da Zona de Amortecimento, não sendo observada para a área do Parque. Por último, a oferta muito baixa ocorre em ambas as áreas, ocupando 29,66 e 1,87%, na devida ordem. O contexto retratado indica que a oferta nos fragmentos florestais poderá cessar no futuro caso o processo de fragmentação seja intensificado, pois mesmo para fragmentos de tamanho médio, a oferta se revelou baixa.

**TABELA VII - Áreas das capacidades de oferta do serviço de energia a partir plantas selvagens.**

**TABLE VII - Areas of supply capacity for the energy service based on wild plants.**

Energia: Plantas selvagens	Área	%
<b>Zona de Amortecimento</b>		
Capacidade de oferta média	1262,25	60,04
Capacidade de oferta baixa	216,52	10,30
Capacidade de oferta muito baixa	623,43	29,66
<b>Área total</b>	<b>2102,20</b>	<b>100</b>
<b>PE Mata do Pau-Ferro</b>		
Capacidade de oferta média	555,07	98,13
Capacidade de oferta muito baixa	10,60	1,87
<b>Área total</b>	<b>565,67</b>	<b>100</b>

A disposição espacial das capacidades de oferta do serviço ecossistêmicos se materializam da seguinte forma, a oferta média é mais expressiva na porção leste da Zona de Amortecimento e na maior parte do PE Mata do Pau-Ferro. A oferta baixa, em sua vez, distribui-se em três manchas que estão posicionadas a norte, sul e leste da primeira área, a área de oferta muito baixa, por outro lado, distribui-se em variadas direções na referida Zona. Como mencionado, em função de estarem relacionadas aos tamanhos dos fragmentos florestais, as capacidades de oferta podem ser reduzidas no futuro caso os efeitos da fragmentação continuem na área de estudo. Nesse cenário, as áreas que atualmente apresentam oferta média podem vir a exibir oferta muito baixa ou mesmo não relevante.

#### *Serviços ecossistêmicos de fibras e materiais a partir de plantas selvagens*

O serviço ecossistêmico de fibras e materiais, a partir de plantas selvagens, compreende na área de estudo, produtos florestais madeireiros e não madeireiros, utilizados em fins medicinais e também na construção civil, notadamente na produção de linhas, ripas, caibros e estacas. Para o uso medicinal, com uso de facas e enxadas são retiradas ou coletadas partes específicas das plantas, como raízes, cascas, folhas, frutos e sementes.

No âmbito da construção civil, a madeira é extraída com manuseio de machados e foices, e transportada para as residências com ou sem auxílio de carroças de tração

animal. Nas residências, são utilizadas na elaboração de cercados visando a criação de animais, e caibros e ripas, destinados à montagem de telhados. A TABELA VIII indica as espécies vegetais consideradas no serviço, separadas por aplicações ou finalidades.

No montante, foram registradas 52 espécies que se distribuem em 30 famílias, com maior visibilidade para Fabaceae, Bignoniaceae e Arecaceae, devido ao número de espécies (TABELA VIII). Em relação aos produtos, quatro são madeireiros e cinco não madeireiros, no primeiro grupo de produtos, a casca evidencia-se como produto ligado ao maior número de espécies, à medida que no segundo grupo a estaca torna-se o mais proeminente. Ademais, mesmo não estando situado entre os mais citados, os caibros constituem o produto mais comumente empregado na construção de telhados e outras estruturas ligadas às moradias (fot. 1).



**Fot. 1 - Caibros de cabootá (*Cupania impressinervia*) e praíba (*Simarouba amara*) em residência rural na Zona de Amortecimento**

(Fotografia de Jean Oliveira Campos, tirada em 06/07/2021).  
**Photo 1 - Rafters made from cabootá (*Cupania impressinervia*) and praíba (*Simarouba amara*) trees in a rural residence in the Buffer Zone (Photography by Jean Oliveira Campos, taken on 06/07/2021).**

Os produtos madeireiros se apresentam como os mais vulneráveis, posto que, sua provisão pode implicar na morte direta dos indivíduos selecionados para a retirada da madeira, o mesmo quadro pode se processar para os produtos não madeireiros, principalmente, devido à retirada das cascas e raízes, sem técnicas adequadas.

Conforme as informações expostas, jatobá (*H. courbaril* L.), cabootá (*C. impressinervia* Acev.-Rodr.), jenipapo bravo (*T. formosa* (Cham. e Schltdl.) K.Schum.), aroeiro (*M. urundeuva* Allemão) e sabiá (*M. caesalpiniifolia* Benth.) pronunciam os maiores percentuais de citação, com proeminência do primeiro que é responsável por 11,01% das citações (TABELA VIII). Em relação às plantas menos citadas, recebe destaque a favela (*C. quercifolius* Pohl), que representa 0,11% das citações, e está associada ao fornecimento de casca.

O serviço ecossistêmico de fibras e materiais a partir de plantas selvagens se sobressai dos demais serviços assistidos por declarar as mais relevantes capacidades

TABELA VIII - Lista das espécies do serviço de fibras e materiais a partir de plantas selvagens.

TABLE VIII - List of species used in the fibres and materials service based on wild plants.

Espécie	Família	Nome popular	Produto	Citações	%
<b>Uso medicinal</b>					
<i>Myracrodroon urundeuva</i> Allemão	Anacardiaceae	Aroeira	Casca	58	6,39
<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.	Annonaceae	Semente de embira	Casca	6	0,66
<i>Acromania intumescens</i> Drude	Arecaceae	Macáiba	Raiz	2	0,22
<i>Syagrus cearensis</i> Noblick		Coco-do-catolé	Raiz	13	1,43
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Bignoniaceae	Pau d' Arco roxo	Casca	3	0,33
<i>Bixa orellana</i> L.	Bixaceae	Açafrão	Fruto	2	0,22
<i>Bromelia karatas</i> L.	Bromeliaceae	Banana-de-raposa	Fruto	2	0,22
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Burseraceae	Amescla	Casca	16	1,76
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Chrysobalanaceae	Oiti	Casca e fruto	2	0,22
<i>Operculina macrocarpa</i> (L.) Urb.	Convolvulaceae	Batata-de-pulga	Raiz	3	0,33
<i>Croton echooides</i> Baill.		Canela de velho	Folha e raiz	36	3,96
<i>Cnidoscolus quercifolius</i> Pohl	Euphorbiaceae	Favela	Casca	1	0,11
<i>Cnidoscolus urens</i> (L.) Arthur		Urtiga-branca	Raiz	4	0,44
<i>Hymenaea courbaril</i> L.		Jatobá	Casca e fruto	100	11,01
<i>Albizia polycyphala</i> (Benth.) Killip ex Record	Fabaceae	Camunzé	Casca	4	0,44
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth		Sucupira	Casca e semente	28	3,08
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan		Angico	Casca	53	5,84
<i>Erythrina velutina</i> Willd.		Mulungu	Casca	2	0,22
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville		Barbatimão	Casca	3	0,33
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz		Jucá	Casca	2	0,22
<i>Eschweileria ovata</i> (Cambess.) Mart. ex Miers	Lecythidaceae	Embiriba	Casca	2	0,22
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Meliaceae	Cedro	Casca	5	0,55
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Moraceae	Tatájuba	Casca	2	0,22
<i>Dorstenia cayapá</i> Vell.		Contra-erva	Raiz e folha	2	0,22
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Myrtaceae	Pitanga	Folha e fruto	2	0,22
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Nyctaginaceae	João-mole	Casca	2	0,22
<i>Boerhavia diffusa</i> L.		Pega-pinto	Raiz e folhas	3	0,33
<i>Passiflora cincinnata</i> Mast.	Passifloraceae	Maracujá-mochila	Fruto	2	0,22
<i>Passiflora alata</i> Curtis		Maracujá-acú	Fruto	5	0,55
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Rhamnaceae	Juá	Casca	3	0,33
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. e Schltl.) K.Schum.	Rubiaceae	Jenipapo bravo	Casca	59	6,50
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.Mey.		Vassoura-de-botão	Raiz e folha	2	0,22
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. e Schult.) T.D.Penn.	Sapotaceae	Quixaba	Casca e folha	6	0,66
<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	Camapú	Fruto e folha	4	0,44
<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Urticaceae	Embaúba	Casca	9	0,99
<i>Pombalia calceolaria</i> (L.) Paula-Souza	Violaceae	Papaconha	Raiz	7	0,77
<b>Construção civil</b>					
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	Cupiuba	Caibro e estaca	55	6,06
<i>Himatanthus phagedaeicus</i> (Mart.) Woodson	Apocynaceae	Largatero	Caibro e estaca	50	5,51
<i>Acromania intumescens</i> Drude	Arecaceae	Macáiba	Ripa e estaca	43	4,74
<i>Verbesina macrophylla</i> (Cass.) S.F.Blake	Asteraceae	Camará	Caibro e estaca	2	0,22
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Bignoniaceae	Pau d' Arco roxo	Estaca	20	2,20
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose		Pau d' Arco Amarello	Estaca	5	0,55
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz e Pav.) Cham.	Boraginaceae	Frei-jorge	Estaca	20	2,20
<i>Erythroxylum pauperissimum</i> Plowman	Erythroxylaceae	Guarda-orvalho	Estaca	19	2,09
<i>Mimosa caesalpiniifolia</i> Benth.		Sabiá	Caibro e estaca	57	6,28
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Fabaceae	Madeira-nova	Estaca	4	0,44
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.		Mororó	Caibro e estaca	2	0,22
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	Lauraceae	Sombreiro	Caibro e estaca	3	0,33
<i>Ocotea glomerata</i> (Nees) Mez		Loro-preto	Caibro e estaca	33	3,63
<i>Eschweileria ovata</i> (Cambess.) Mart. ex Miers	Lecythidaceae	Embiriba	Estaca	42	4,63
<i>Cupania impressinervia</i> Acev.-Rodr.	Sapindaceae	Caboatá	Caibro, linha e estaca	76	8,37
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Simaroubaceae	Simarouba	Caibro e estaca	22	2,42
Total	30	-	9	908	100

de oferta (fig. 11). Da forma como se exibe, as classes de oferta variam de alta e baixa, demonstrando ser, entre os analisados, o serviço com maior potencial de oferta em todas as classes de tamanho dos fragmentos florestais. Essa realidade pode ocorrer em função desses produtos serem demandados em menor quantidade ou em médio a longo prazo, possibilitando recuperação das populações afetadas pela extração de produtos. Desse modo, isso oportuniza ofertas mais expressivas em relação aos demais serviços abordados.

A capacidade de oferta alta manifesta-se em 60,04% da Zona de Amortecimento e 98,13% do PE Mata do Pau-Ferro, ao passo que a oferta média ocorre somente na primeira área, compreendendo um percentual de 10,30%, em conjunto constituem a área de maior oferta (TABELA IX). A capacidade de oferta baixa, por sua

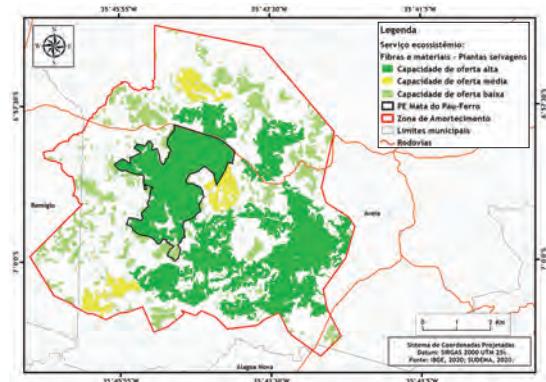


Fig. 11 - Espacialização da oferta do serviço de fibras e materiais a partir de plantas selvagens.

Fig. 11 - Spatialization of the supply of the fibers and materials service based on wild plants.

parte, tem mais expressão na Zona de Amortecimento, e menos na área protegida, somando 29,66% e 1,87%, respectivamente. Dessa forma, apesar de deter menor capacidade de oferta, corresponde à segunda maior área de oferta do serviço ecossistêmico.

**TABELA IX - Áreas das capacidades de oferta do serviço fibras e materiais a partir de plantas selvagens.**

**TABLE IX - Areas of supply capacity for the fibers and materials service based on wild plants.**

Fibras e materiais: Plantas selvagens	Área	%
<b>Zona de Amortecimento</b>		
A capacidade de oferta é alta	1262,25	60,04
A capacidade de oferta é média	216,52	10,30
A capacidade de oferta é baixa	623,43	29,66
<b>Área total</b>	<b>2102,20</b>	<b>100</b>
<b>PE Mata do Pau-Ferro</b>		
A capacidade de oferta é alta	555,07	98,13
A capacidade de oferta é baixa	10,60	1,87
<b>Área total</b>	<b>565,67</b>	<b>100</b>

Em matéria de localização, a área de oferta alta concentra-se na porção central e leste, representada pelos fragmentos grandes da Zona de Amortecimento e do PE Mata do Pau-Ferro. De outro modo, a oferta média relaciona-se com os fragmentos médios, que se encontram a norte, sul e leste, desconsiderando o Parque. A oferta baixa aparece associada à classe de fragmentos pequenos, que além de comportar maior número, tem ocorrência em toda a referida Zona, incluindo a porção sul da área protegida.

As informações apresentadas no âmbito dos serviços ecossistêmicos selecionados mostram que a maior parte dos produtos é fornecida por um conjunto de espécies específicas, o que demonstra a dependência das comunidades pelas mesmas e as coloca entre as mais importantes para a manutenção das ofertas. Ainda, os resultados indicam que ambos os serviços de nutrição, juntamente como serviço de energia, possuem procura e usos mais ressaltados, quando comparados ao serviço de fibras e materiais, permitindo que esse último serviço conserve condições de sustentar ofertas equilibradas ou acima da demanda identificada. A partir disso, depreende-se que a diminuição da demanda sobre os demais serviços listados surge como alternativa para permitir a recuperação das condições ambientais necessárias para ofertas ainda mais fortes.

## Discussão

Os serviços ecossistêmicos de provisão abordados na Zona de Amortecimento manifestaram capacidades de oferta que variam entre alta e baixa. Esse gradiente assinala que a oferta não apresenta na mesma proporção para os moradores das comunidades rurais, o que por sua vez, pode ser o resultado do nível de requisição pelos

produtos, tamanho dos fragmentos nas propriedades privadas, proximidade dos fragmentos florestais, ou mesmo das técnicas utilizadas para obter os produtos.

Acrescentando-se a isso, a atual estrutura fundiária e quadro de fragmentação exibido na Zona de Amortecimento e também no PE Mata do Pau-Ferro tem influência da intensa atividade agropecuária desenvolvida no município desde o século XIX, com destaque para a cana-de-açúcar, café, agave e a criação de gado (Arruda *et al.*, 2022; Sousa e Pereira, 2016). No período, além da exploração, a vegetação nativa foi progressivamente reduzida para aumentar as áreas produtivas. Assim, os conflitos de oferta e demanda encontrados no espaço considerado se devem, em parte, às ocupações e manejos anteriores da área.

No que diz respeito às principais capacidades de oferta declaradas no âmbito dos serviços considerados, isto é, as ofertas ligadas aos fragmentos grandes, os serviços de nutrição e de energia a partir de plantas selvagens expuseram simultaneamente a capacidade de oferta média. Por outro lado, a nutrição a partir de animais selvagens marcou a capacidade de oferta baixa, revelando a menor capacidade de oferta entre os serviços mapeados, evidenciando, assim, que o mesmo se encontra em declínio na área em foco. Essa realidade pode ser resultado de altas demandas em anos anteriores, e até mesmo devido a menores condições de renda, que por sua vez, levam os moradores a apresentarem maiores demandas pelos produtos (Ahammad *et al.*, 2019). Dessa forma, como a demanda e o nível de dependência pelos produtos florestais foram maiores no século passado, os conflitos surgem como consequência dessa dinâmica passada, que por sua vez, resulta na vulnerabilização das populações atuais.

A oferta mais pronunciada, por sua vez, foi registrada para o serviço de fibras e materiais a partir de plantas selvagens, que pontuou a capacidade de oferta alta e expôs uma demanda baixa. A ocorrência dessa oferta demonstra resultar dos usos da biodiversidade encontrados no entorno do PE Mata do Pau-Ferro, especialmente o uso medicinal, que sendo demandado em menor quantidade e em maior intervalo de tempo, permite a recomposição das populações nos fragmentos florestais e a manifestação de ofertas relevantes, como a observada no presente estudo (Ndayizeye *et al.*, 2020).

A matriz elaborada, por sua parte, mostra que não só a oferta da nutrição por animais selvagens encontra-se em redução, mas também as ofertas dos demais serviços, tal como aponta os números do somatório. Em condições adequadas, as somas dos valores encontrados para os serviços seriam vinte, porém no presente estudo o maior somatório encontrado foi doze, comunicando queda na capacidade de oferta (Nedkov e Burkhard, 2012; Syrbe e Grunewald, 2017). Adicionalmente, em razão da queda,

a demanda se mostrou incompatível com a oferta em três dos quatro serviços analisados. Nesse sentido, levando em conta que a demanda excede a oferta na maioria dos fragmentos florestais, tem-se a presença de um conflito, o que requer a mobilização de estratégias que promovam o equilíbrio de oferta e demanda, a exemplo da redução da dependência das comunidades por produtos fornecidos por espécies específicas, e direcionamento do foco da demanda para espécies mais abundantes e passíveis de cultivos pelos moradores (Ahammad et al., 2019; Shi et al., 2020).

Diante nas condições descritas, caso a demanda se mantenha em médio e longo prazo, as ofertas podem se tornar mínimas na maioria dos serviços ecossistêmicos, pois da forma como se apresentam, extrapolam a capacidade de suporte dos ecossistemas, e assim, sua continuidade pode resultar na intensificação das perturbações ecológicas, e até mesmo no comprometimento dos processos e funções ecológicas responsáveis pelos serviços (Ala-Hulkko et al., 2019; Zhai et al., 2021).

Esse quadro torna-se ainda mais agravado quando considerado que ao menos quatro das espécies citadas pelos participantes estão enquadradas como ameaçadas de extinção, a saber: pau-d'arco-roxo (*H. impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos), sucupira (*B. virginiana* Kunth), cedro (*C. fissilis* Vell.) e guarda-orvalho (*E. pauperiflora* Plowman), sendo esta última endêmica do Brejo de Altitude onde encontra-se o Parque (Santos et al., 2020; SFB, 2019). Ainda, como espécies vegetais ligadas ao fornecimento de produtos florestais para fins medicinais e construção civil na área de estudo também foram listadas nos estudos etnobotânicos de Andrade et al. (2019) e Abreu et al. (2011), ambos realizados na Mata Atlântica, no estado da Paraíba. Assim, é provável que espécies ameaçadas também estejam sendo utilizadas nesses espaços. O cenário exposto, então, alerta para a necessidade de ações voltadas à conscientização das comunidades buscando reduzir a utilização das espécies ameaçadas e conduzir as demandas para caminhos sustentáveis.

No tocante aos produtos demandados no âmbito dos serviços, frutos, carnes, cascas, estacas e lenha se mostram os mais assinalados, e também foram indicados entre os mais utilizados por comunidades locais assentadas nas proximidades de áreas protegidas e florestais em diversos estudos. Nestes, as entrevistas e questionários se mostram o principal meio de levantamento das informações, pronunciando a efetividade de sua aplicação. Paudyal et al. (2015) constataram que a madeira, lenha e frutos aparecem como os produtos mais buscados por comunidades locais na borda de florestas do Nepal, na Ásia. Em Bangladesh, no mesmo continente, Ahammad, Stacey e Sunderland (2019) observaram que a lenha teve maior ênfase nas comunidades situadas na orla de florestas. Em cenário

semelhante, Hong e Saizen (2019) evidenciaram que a lenha, frutos, carne e madeira para a construção se encontram entre as principais demandas de comunidades nos arredores do Parque Nacional de Bach Ma, no Vietnã.

As condições também se repetem para outros continentes, como na África, onde Ndayizeye et al. (2020) listaram a lenha, frutos, madeira para construção e plantas medicinais entre os produtos demandados por comunidades locais no entorno do Parque Nacional de Kibira, em Burundi. O estudo de Lhoest et al. (2019), por sua vez, apontou carne, madeira e plantas medicinais como os produtos mais utilizados por comunidades locais na Zona de Amortecimento da Reserva da Biosfera Dja, no sul de Camarões.

Na Europa, García-Nieto et al. (2013) registraram que a madeira aparece como segundo produto com maior demanda por parte das comunidades próximas a áreas florestais no sudeste da Espanha, e o mesmo resultado se processou para o estudo de Palomo et al. (2013), que expuseram a madeira entre os principais produtos providos pela Zona de Amortecimento de áreas protegidas na Espanha.

Os resultados observados corroboram a realidade encontrada na Zona de Amortecimento do PE Mata do Pau-Ferro e demonstram que comunidades locais obtêm serviços ecossistêmicos no entorno de áreas protegidas em diversas partes do mundo. Essa conjuntura reforça a importância das áreas protegidas para a subsistências de populações assentadas nos seus arredores, e ao mesmo tempo sinaliza a necessidade de investigações acerca da capacidade de suporte dos ecossistemas e meios de acesso aos produtos, dado que, os estudos também apontam que as comunidades têm suprido as demandas a partir dos ecossistemas protegidos e feito uso de espécies ameaçadas.

A manutenção do quadro pode levar ao encerramento do fornecimento dos serviços considerados em razão da extrapolação da capacidade dos ecossistemas em prestar e recuperar as condições ecológicas. Por outro lado, o manejo sustentável dos ecossistemas florestais por comunidades pode levar a níveis compatíveis de oferta e demanda, e reduzir os impactos da coleta/extracção dos produtos florestais, favorecendo também, a atenção ao limite de suporte dos ecossistemas (FAO, 2020; Hong e Saizen, 2019; Lhoest et al., 2019; Machado, 2008). O turismo sustentável pautado no uso da sociobiodiversidade surge como uma alternativa promissora para complementação da renda das comunidades, redução da demanda por produtos específicos e agregação de valor à biodiversidade, como visto em diversas áreas do Brasil (Hong e Saizen, 2019).

No que se refere às classes de oferta apontadas no presente estudo, resultados semelhantes foram encontrados por Burkhard et al. (2009, 2012) na região de

Halle-Leipzig, na Alemanha. Os autores registaram que as capacidades de oferta para serviços ecossistêmicos de provisão variam de baixa a muito alta, incluindo áreas de oferta não relevante, a variação identificada, por sua parte, se manifesta em função dos usos e coberturas da terra que se materializam na área. Porém, diferente dos estudos mencionados, na Zona de Amortecimento e na área protegida em questão, as variações se anunciam em razão dos tamanhos dos fragmentos florestais. Nesse sentido, é possível que a partir da consideração do tamanho dos fragmentos de uso e cobertura da terra, a oferta na região de Halle-Leipzig evidencie capacidades diferentes das observadas.

No Brasil, variações nas capacidades de oferta dos serviços de provisão também foram verificadas na Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo, estado do Pará, a partir do estudo de Silva, Beltrão e Morales (2021), oportunidade em que os autores atestaram que a oferta de produtos, relacionados à nutrição, fibras e materiais, varia entre baixa e muito alta, relevando capacidades de oferta semelhantes e ao mesmo tempo maiores do que as mensuradas neste estudo. Tal aspecto se deve à área superior, que ultrapassa trezentos mil hectares e à baixa demanda por recursos florestais, por parte das comunidades locais assentadas no entorno. As realidades observadas evidenciam duas alternativas principais para resolução dos conflitos, e mais ainda, para possibilitar a recomposição das funcionalidades ecossistemas. A primeira diz respeito à redução da demanda, isto é, diminuir o número de usuários dos produtos, a segunda, por outro lado, mantém a demanda atual, porém, expande a área de oferta, por meio de ações de reflorestamento em áreas desmatadas, ou realizando a aquisição de terras com fragmentos florestais com capacidades de ofertas elevadas. Em ambas as possibilidades, os ecossistemas estariam sob menor pressão de uso, enquanto a relação de equilíbrio de manter.

### **Considerações finais**

Os serviços ecossistêmicos de provisão na Zona de Amortecimento do PE Mata do Pau-Ferro são utilizados especialmente por agricultores, que residem em pelo menos nove comunidades locais assentadas nas porções marginais da área protegida. A oferta varia nos quatro serviços expostos, sendo a maior oferta detectada para fibras e materiais a partir de plantas selvagens, enquanto a menor foi registrada para a nutrição a partir de animais selvagens, os fluxos, por sua parte, se evidenciam dos fragmentos às comunidades, podendo também se direcionarem a outras localidades não percebidas.

Caso as tendências de demandas e fluxos se mantenham, os serviços de provisão se apresentam em risco de encerramento, considerando que as populações se encontram em declínio, além do mais, não são

observadas ações que busquem controlar a demanda ou promover a recomposição populacional. As maiores ofertas na área de estudo estão associadas aos maiores fragmentos, porém não sendo observado áreas de oferta muito alta. Os fragmentos menores também são detentores de importantes classes de oferta e têm seu valor ratificado quando se considera que contribuem para a conectividade funcional e estrutural.

Assim, a Zona de Amortecimento apresenta capacidade para prestação de variados serviços ecossistêmicos, e o mesmo é observado para o PE Mata do Pau-Ferro. Por tratar-se de uma área sob proteção legal, não é permitido o fluxo de serviços de provisão entre o Parque e as comunidades, no entanto, esse contexto evidencia a relevância da Unidade de Conservação na paisagem, onde atua como espaço de resguardo da biodiversidade e ao mesmo tempo funciona como área-fonte para recuperação das espécies nos fragmentos florestais adjacentes. Nesse sentido, a permeabilidade da matriz é fundamental aos serviços, assumindo que sua redução pode dificultar as trocas entre os fragmentos florestais.

Dessa forma, a fragmentação exerce influência negativa sobre os serviços observados, especialmente, devido ao aumento das distâncias, redução da área florestal e exposição dos organismos aos deletérios efeitos de borda, consolidando-se, em razão disso, como uma das principais ameaças a provisão na área de estudo. Uma outra ameaça, refere-se à demanda pelos produtos florestais, posto que essa pode estar ultrapassando a capacidade de suporte dos ecossistemas florestais, inviabilizando a recuperação dos mesmos e impossibilitando a continuidade das ofertas. Como consequência, todas ofertas de serviços específicos poderão cessar em médio e longo prazo.

Porém, um cenário promissor pode vir a ser alcançado por meio do plantio de espécies nativas por parte dos moradores das comunidades e deslocamento da demanda por carne para grupos mais abundantes, ou até mesmo encerramento da demanda. Nesse contexto, em médio e longo prazo, quando observada a recuperação das populações das espécies, estratégias de extração sustentável serviriam como base para uma relação equilibrada entre oferta e demanda, particularmente nos serviços de nutrição a partir de animais selvagens e energia a partir de plantas selvagens, que veicularam incompatibilidades exacerbadas. Novas investigações são necessárias no intuito de fornecer bases para a resolução dos conflitos que se manifestaram.

### **Referências bibliográficas**

- Abreu, D. B. de O., Oliveira Filho, R. B., Vasconcelos Neto, C. F. A., Lucena, C. M., Felix, L. P., & Lucena, R. F. P. (2011). Classificação etnobotânica por uma comunidade rural em um brejo de altitude

- no Nordeste do Brasil. *Revista BioFar*, 6(1), 55-74. <https://docplayer.com.br/11570177-Classificacao-ethnobotanica-por-uma-comunidade-rural-em-um-brejo-de-altitude-no-nordeste-do-brasil.html>
- Abreu, E. F., Casali, D., Costa-Araújo, R., Garbino, G. S. T., Libardi, G. S., Loretto, D., Loss, A. C., Marmontel, M., Moras, L. M., Nascimento, M. C., Oliveira, M. L., Pavan, S. E., & Tirelli, F. P. (2021). *Lista de Mamíferos do Brasil* (2021-2). SBMZ. DOI: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5802047>
- Ahammad, R., Stacey, N., & Sunderland, T. C. H. (2019). Use and perceived importance of forest ecosystem services in rural livelihoods of Chittagong Hill Tracts, Bangladesh. *Ecosystem Services*, 35, 87-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.11.009>
- Ala-Hulkko, T., Kotavaara, O., Alahuhta, J., & Hjort, J. (2019). Mapping supply and demand of a provisioning ecosystem service across Europe. *Ecological Indicators*, 103, 520-529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.049>
- Andrade, A. M. F., Alves, C. A. B., Souza, R. S., & Silva, S. da. (2019). Inventário etnobotânico e uso das espécies madeireiras e não madeireiras na comunidade de Ouricuri, Pilões-PB, Nordeste do Brasil. *Revista Equador (UFPI)*, 8(2), 399-421. <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9251/5416>
- Arruda, L. V., Rodrigues, L. P. M., Silva, I. C., & Souza, R. S. (2022). Configuração geoambiental e dinâmica do espaço agrário atual do Brejo Paraibano (PB), Paraíba, Brasil. *Revista Ciência Geográfica*, 26(01), 72-102. DOI: <https://doi.org/10.18817/26755122.26.01.2022.2874>
- Balvanera, P., Daily, G. C., Ehrlich, P. R., Ricketts, T. H., Bailey, S.-A., Kark, S., Kremen, C., & Pereira, H. (2001). Conserving Biodiversity and Ecosystem Services. *Science*, 291(5511), 2047-2047. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.291.5511.2047>
- Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, (2012). [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)
- Lei n.º 14.119, de 13 de janeiro de 2021, (2021). [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm)
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, 15(1), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.3097/LO.200915>
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>
- Campos, J. O., Lima, E. R. V. de, & Costa, D. F. da S. (2023). Mapeamento do serviço ecossistêmico de sequestro de carbono prestado pela cobertura florestal do Parque Estadual Mata do Pau-Ferro e sua Zona de Amortecimento, Areia, Paraíba. *Revista Geográfica Acadêmica*, 17(2), 115-135. <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/7888>
- Costa, H. C., & Bérnuls, R. S. (2018). Répteis do Brasil e suas Unidades Federativas: lista de espécies. *Revista Herpetologia Brasileira*, 7(1), 11-57. <http://public.sbherpetologia.org.br/assets/Documents/2016/10/lista-de-repteis-2018-2.pdf>
- Costanza, R. (2020). Valuing natural capital and ecosystem services toward the goals of efficiency, fairness, and sustainability. *Ecosystem Services*, 43, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101096>
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. DOI: <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Czúcz, B., Haines-Young, R., Kiss, M., Bereczki, K., Kertész, M., Vári, Á., Potschin-Young, M., & Arany, I. (2020). Ecosystem service indicators along the cascade: How do assessment and mapping studies position their indicators? *Ecological Indicators*, 118, 106729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106729>
- Daily, G. C. (1997). Introduction: What are ecosystem services? In G. C. Daily (Ed.), *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems* (pp. 1-10). Island Press.
- Dworczyk, C., & Burkhard, B. (2021). Conceptualising the demand for ecosystem services - an adapted spatial-structural approach. *One Ecosystem*, 6, 1-31. DOI: <https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e65966>
- FAO (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- García-Nieto, A. P., García-Llorente, M., Iniesta-Arandia, I., & Martín-López, B. (2013). Mapping forest ecosystem services: From providing units to beneficiaries. *Ecosystem Services*, 4, 126-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.03.003>
- Gomes da Silva, M., Beltrão, N. E. S., & Morales, G. P. (2021). Avaliação e mapeamento dos serviços

- ecossistêmicos ofertados pela Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo, Pará, Brasil. *Geosul*, 36(78), 516-536.
- DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e71192>
- Gonçalves, D. M. C., Gama, J. V. R., Corrêa, J. A. J., & Oliveira Junior, R. C. (2021). Uso de produtos florestais não madeireiros em comunidades da Flona Tapajós. *Nativa*, 9(3), 302-309.
- DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.11598>
- Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2013). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012*. University of Nottingham.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. Fabis Consulting.
- Hong, N. T., & Saizen, I. (2019). Forest Ecosystem Services and Local Communities: Towards a Possible Solution to Reduce Forest Dependence in Bach Ma National Park, Vietnam. *Human Ecology*, 47(3), 465-476.
- DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-019-00083-x>
- IPBES (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES.
- Jamieson, S. (2004). Likert scales: how to (ab)use them. *Medical Education*, 38(12), 1217-1218.
- DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2004.02012.x>
- Kandziora, M., Burkhard, B., & Müller, F. (2013). Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators—A theoretical matrix exercise. *Ecological Indicators*, 28, 54-78.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.006>
- Kopperoinen, L., Luque, S., Tenerelli, P., Julian, G., & Viinikka, A. (2017). Mapping cultural ecosystem services. In B. Burkhard & J. Maes (Eds.), *Mapping Ecosystem Services* (pp. 197-209). Pensoft Publishers.
- Kruse, M., & Petz, K. (2017). Mapping provisioning ecosystem services. In B. Burkhard & J. Maes (Eds.), *Mapping Ecosystem Services* (pp. 187-196). Pensoft Publishers.
- Leite, R. S. F., Santos, H. A., & Silva, T. C. F. (2014). Importância da implementação do plano de manejo para a conservação do Parque Estadual Mata do Pau Ferro e microrregião de Vaca Brava, PB. *Anais [...]*, 12.
- Lhoest, S., Dufrêne, M., Vermeulen, C., Oswald, J., Doucet, J. L., & Fayolle, A. (2019). Perceptions of ecosystem services provided by tropical forests to local populations in Cameroon. *Ecosystem Services*, 38, 1-11.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100956>
- Lima, V. R., & Campos, J. O. (2022). Classificação do sistema de trilhas da unidade de conservação Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba, Brasil. *Revista de Estudios Andaluces*, 43, 51-70.
- DOI: <https://doi.org/10.12795/rea.2022.i43.03>
- Machado, F. S. (2008). *Manejo de Produtos Florestais Não Madeireiros: um manual com sugestões para o manejo participativo em comunidades da Amazônia*. PESACRE e CIFOR.
- Marques, A. D. L., Costa, C. R. G., & Moura, D. C. (2019). Parque Estadual Mata do Pau Ferro (Areia - Paraíba): Zona de Amortecimento e espaços de conflitos. *Geoambiente On-Line*, 34, 1-18.
- DOI: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i34.52282>
- MEA. (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press.
- Medeiros, J. F., & Cestaro, L. A. (2019). As diferentes abordagens utilizadas para definir brejos de altitude, áreas de exceção do Nordeste brasileiro. *Sociedade e Território*, 31(2), 97-119.
- DOI: <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2019v31n2ID16096>
- Miot, H. A. (2020). Análise de dados ordinais em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro*, 19(1), 4.
- DOI: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.200185>
- Miura, S., Amacher, M., Hofer, T., San-Miguel-Ayanz, J., Ernawati, & Thackway, R. (2015). Protective functions and ecosystem services of global forests in the past quarter-century. *Forest Ecology and Management*, 352, 35-46.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.039>
- MMA (2018). *Mapeamento de serviços ecossistêmicos no território: cartilha metodológica segundo a experiência de Duque de Caxias - RJ*. MMA/TEEB.
- Ndayizeye, G., Imani, G., Nkengurutse, J., Irampagarikiye, R., Ndihokubwayo, N., Niyongabo, F., & Cuni-Sánchez, A. (2020). Ecosystem services from mountain forests: Local communities' views in Kibira National Park, Burundi. *Ecosystem Services*, 45, 1-9.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101171>
- Nedkov, S., & Burkhard, B. (2012). Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*, 21, 67-79.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.022>

- Pacheco, J. F., Silveira, L. F., Aleixo, A., Agne, C. E., Bencke, G. A., Bravo, G. A., Brito, G. R. R., Cohn-Haft, M., Maurício, G. N., Naka, L. N., Olmos, F., Posso, S. R., Lees, A. C., Figueiredo, L. F. A., Carrano, E., Guedes, R. C., Cesari, E., Franz, I., Schunck, F., & de Q. Piacentini, V. (2021). Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee—second edition. *Ornithology Research*, 29(2), 94-105.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s43388-021-00058-x>
- Palomo, I., Martín-López, B., Potschin, M., Haines-Young, R., & Montes, C. (2013). National Parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows. *Ecosystem Services*, 4, 104-116.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.09.001>
- Pastur, G. M., Perera, A. H., Peterson, U., & Iverson, L. R. (2018). Ecosystem Services from Forest Landscapes: An Overview. In A. H. Perera, U. Peterson, G. M. Pastur, & L. R. Iverson (Eds.), *Ecosystem Services from Forest Landscapes: Broadscale Considerations*, Springer, 1-10.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74515-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74515-2_10)
- Paudyal, K., Baral, H., Burkhard, B., Bhandari, S. P., & Keenan, R. J. (2015). Participatory assessment and mapping of ecosystem services in a data-poor region: Case study of community-managed forests in central Nepal. *Ecosystem Services*, 13, 81-92.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.01.007>
- REFLORA (2021). *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.  
DOI: <https://doi.org/10.47871/jbrj2021001>
- Santos, H. A., Costa, E. G., Araújo, H. F., Mendonça, J. D. L., & Silva, T. C. F. (2020). *Plano de manejo do Parque Estadual Mata do Pau-Ferro*. Editora UNIESP.
- Segalla, M., Berneck, B., Canedo, C., Caramaschi, U., Cruz, C. A. G., Garcia, P. C. A., Grant, T., Haddad, C. F. B., Lourenço, A. C., Mangia, S., Mott, T., Nascimento, L., Toledo, L. F., Werneck, F., & Langone, J. A. (2021). List of Brazilian Amphibians. *Herpetologia Brasileira*, 10(1), 121-216.  
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4716176>
- SFB (2019). *Inventário Florestal Nacional: principais resultados: Paraíba*. MAPA.
- Shi, Y., Shi, D., Zhou, L., & Fang, R. (2020). Identification of ecosystem services supply and demand areas and simulation of ecosystem service flows in Shanghai. *Ecological Indicators*, 115, 106418.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106418>
- SiBBr (2021). *Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr)*. [https://ala-hub.sibbr.gov.br/ala-hub/#tab\\_simpleSearch](https://ala-hub.sibbr.gov.br/ala-hub/#tab_simpleSearch)
- Sousa, D. S., & Pereira, W. E. (2016). Atividade agrícola do Brejo Paraibano: declínio e tendências atuais. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 6(3), 11-20. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v6i3.347>
- Syrbe, R.-U., & Grunewald, K. (2017). Ecosystem service supply and demand - the challenge to balance spatial mismatches. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 13(2), 148-161.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1407362>
- Zhai, T., Wang, J., Fang, Y., Huang, L., Liu, J., & Zhao, C. (2021). Integrating Ecosystem Services Supply, Demand and Flow in Ecological Compensation: A Case Study of Carbon Sequestration Services. *Sustainability*, 13(4), 1668.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041668>



**POST-EARTHQUAKE CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE MANAGEMENT:  
THE CASE OF THE 2023 TURKEY EARTHQUAKE\***

263

**GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PÓS-TERRAMOTO:  
UM CASO EM 2023 DE UM TERRAMOTO NA TURQUIA**

Burhan Kubilay Kaptan

University of Minho, Centre for Territory, Environment and Construction (Portugal)

Department of Civil Engineering

 0000-0001-8280-2741 [id10631@alunos.uminho.pt](mailto:id10631@alunos.uminho.pt)

Sandra Cunha

University of Minho, Centre for Territory, Environment and Construction (Portugal)

Department of Civil Engineering

 0000-0002-6384-1355 [sandracunha@civil.uminho.pt](mailto:sandracunha@civil.uminho.pt)

José Luís Barroso Aguiar

University of Minho, Centre for Territory, Environment and Construction (Portugal)

Department of Civil Engineering

 0000-0003-3954-5721 [aguiar@civil.uminho.pt](mailto:aguiar@civil.uminho.pt)

## ABSTRACT

A magnitude 7.8 earthquake impacted southern and central Turkey and northern and western Syria on 6 February 2023. The epicentre was 37 km west-northwest of Gaziantep. This was followed by a 7.7 magnitude earthquake. This quake was located 95 km north-northeast of the previous one. There was extensive destruction and tens of thousands of deaths. Construction and demolition waste (CDW) management is an essential part of disaster recovery, considering the rising frequency of natural disasters throughout the world. To mitigate risks and lighten the load on natural resources during the rebuilding phase, proper waste management is crucial. Social, economic, and environmental gains are all possible with well-planned disaster waste management. This analysis focuses on the waste created by the Turkey Earthquake of 2023 by assessing the CDW management method, analysing its shortcomings, and offering suggestions for better disaster recovery in the future.

**Keywords:** CDW, post-earthquake recovery, disaster waste management.

## RESUMO

Um terramoto de magnitude 7,8 afetou o sul e centro da Turquia, assim como o norte e oeste da Síria a 6 de fevereiro de 2023. O epicentro foi a 37 km a oeste-noroeste de Gaziantep. Este foi seguido por um terramoto de magnitude 7,7 localizado a 95 km a norte-nordeste do anterior. Verificou-se uma destruição extensa e dezenas de milhares de mortes. A gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) é uma parte essencial para a recuperação de desastres, considerando a frequência crescente de catástrofes naturais em todo o mundo. A mitigação dos riscos e o alívio da carga sobre os recursos naturais durante a fase de reconstrução, é crucial para a gestão adequada dos resíduos. Benefícios sociais, económicos e ambientais são todos possíveis com uma gestão bem planeada de resíduos provenientes de desastres. Esta análise centra-se nos resíduos gerados pelo terramoto de 2023 na Turquia, avaliando o método de gestão de RCD, suas deficiências e oferecendo sugestões para uma melhor recuperação de desastres no futuro.

**Palavras-chave:** RCD, recuperação pós-terramoto, gestão de resíduos de desastres.

\* O texto desta nota corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 15-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 31-01-2024. Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introduction

During and after the post-disaster phase, disaster waste represents a significant concern. Depending on the nature of the waste generated after a disaster, existing waste facilities and personnel are frequently overwhelmed (Brown *et al.*, 2010). This circumstance may hinder emergency services and threaten the public and ecological well-being. Therefore, both short-term and long-term reintegration could be hindered by ineffective and improper post-disaster waste management (Domingo and Luo, 2017).

Various nations have implemented diverse strategies to effectively handle and control the disposal of debris resulting from disasters. Effective and enduring waste management practices can reduce waste generation and promote the reuse, recycling, and recovery of waste. It is worth to mention that managing CDW after a disaster is inherently more challenging than regular CDW management due to its intricate nature and contamination.

Several disaster waste management (DWM) documents adopted by the nations contain recycling guidance (EPA, 2019; New Zealand Ministry of Civil Defense and Emergency, 2018; Japan Ministry of the Environment, 2018; Government of South Australia, 2018; UNOCHA, 2013; UNEP, 2012; USEPA, 2008; FEMA, 2007; UNDP, 2006; SWANA, 2005; Solid Waste Authority, 2004; State of California, 1997).

Besides the governmental organizations, various authors have categorized the consequences of a disaster-induced CDW using different methodologies. The predominant body of published research has primarily concentrated on pre-disaster endeavors, encompassing safeguarding water supply systems and formulating efficient evacuation strategies. Conversely, there has been comparatively little emphasis on post-disaster response activities, such as the management of debris and the reconstruction of infrastructure.

For example, Karunasena *et al.* (2009) classified CDW based on the sorts of materials. Fetter and Rakes [12] identified two stages of disaster-debris cleanup procedures. The initial phase commences promptly following the disaster, with the objective of removing debris obstructing evacuation routes and other crucial approaches to guarantee unimpeded access to the afflicted area. The second phase is characterized by its extended duration and encompasses the coordination and supervision of debris collection, as well as activities focused on minimizing debris volume through sorting, recycling, and proper disposal. In their study, Brown and Milke (2016) found that several factors must be evaluated to determine the feasibility of disaster waste recycling programs. These factors include the volume of

waste, the degree of waste mixing, the potential health hazards to humans and the environment, the extent of the waste area, the priorities of the community, the funding mechanisms, and the existing regulations as well as those specific to the disaster. The authors stated that an effective recycling program necessitates proficient administration, encompassing unambiguous and rigorously implemented policies (via sound contracts or regulations) and proactive pre-event preparation.

A number of researchers have devised decision-making models, guidelines, and waste management plans to efficiently and effectively handle post-earthquake disaster debris. Karunasena *et al.* (2009) highlighted five essential prerequisites that must be determined before developing efficient techniques for managing debris after a disaster. The key factors to consider include: identification of appropriate disposal sites and potential recyclable materials, accurate assessment of waste quantity, composition, and source, evaluation of local waste handling facilities' capacity, analysis of the extent of reconstruction work and potential utilization of recycled building waste, and comprehension of government and local authority structures responsible for waste management. The decision model proposed by Fetter and Rakes (2012) aims to determine the optimal locations for temporary disposal and storage reduction facilities to assist in disaster debris clean-up operations. A reverse logistic model presented by Hu and Sheu (2013) focused on minimizing economic, risk-induced and psychological costs during post-disaster debris disposal. Baycan (2004) presented details regarding the collection, segregation, recycling efforts, and disposal methods for disaster-related demolition waste in the aftermath of the Marmara earthquake.

Complex natural hazards such as earthquakes frequently involve secondary hazards such as landslides, tsunamis, and so on. Structures, facilities, and consumer durables are all turned into disaster waste because of the earthquakes' tremendous harm they inflict on people's lives and property. As stated by Domingo *et al.* (2017) and Karunasena *et al.* (2009), in the aftermath of an earthquake, CDW is 'not typical' due to its reduced recycling rates (more waste to landfill + CH<sub>4</sub> emissions) and higher hazard levels (human and environmental).

CDW makes up the bulk of waste left behind after an earthquake. Mineral waste (bricks, stones, concrete blocks, tiles, cement, concrete), steel bars, metal, wood, plastic, glass, paper and cardboard, electrical wires and cables, furnishings, whiteware and hazardous substances are the most common types of waste left behind after an earthquake. The widespread liquefaction also produces large amounts of potentially dangerous silt (Vásquez *et al.*, 2016). This CDW has a lot of recyclable components.

Articles have already been written about recycling CDW

caused by earthquakes (Skinner, 1995; Reinhart and McCleanor, 1999; Kartam *et al.*, 2004; Blengini, 2009; Kofoworola and Gheewala, 2009). CDW is recyclable and may be utilized in extant markets, as well as in applications following a disaster. Common reuses include landfill cover, slope stabilization, and concrete aggregate (Channell *et al.*, 2009); geopolymmer-based materials (Panizza *et al.*, 2020; Volpintesta *et al.*, 2023); and road base and subbase material (Zhang *et al.*, 2020).

The aim of this research is to present CDW management after the 2023 Turkey earthquake and the amount of CDW based on international disaster case studies and a broader literature view. Specifically, it aims to answer the following: (i) What is the calculated amount of total waste and CDW generated by the past earthquakes? (ii) What are the barriers for post-earthquake CDW management? (iii) What are the environmental, health and historical observations related to DWM?

#### **Damage caused and disaster waste generated by the 2023 Turkey earthquake**

The Pazarcik (Mw 7.7; focal depth: 8.6 km) and Elbistan (Mw 7.6; focal depth: 7 km) districts of Kahramanmaraş were the epicenters of two significant earthquakes that struck Turkey on February 6, 2023, at 04:17 and 13:24, respectively (AFAD, 2023 a; b). As a result of the earthquakes, more than 48 thousand people lost their lives, more than half a million buildings were damaged, communication and energy infrastructures were damaged and significant financial losses occurred. The

total number of structures in the region was roughly 2,6 million. About ninety per cent of said building stock was residential, six per cent was commercial, and three per cent was public. As of 2022, the number of homes in the 11 earthquake-affected provinces was 5,6 million, and its proportion of the total housing stock in Turkey was 14.05 per cent (fig. 1). At least 301,000 buildings either collapsed or will need to be demolished as a result of the earthquakes (ITU, 2023).

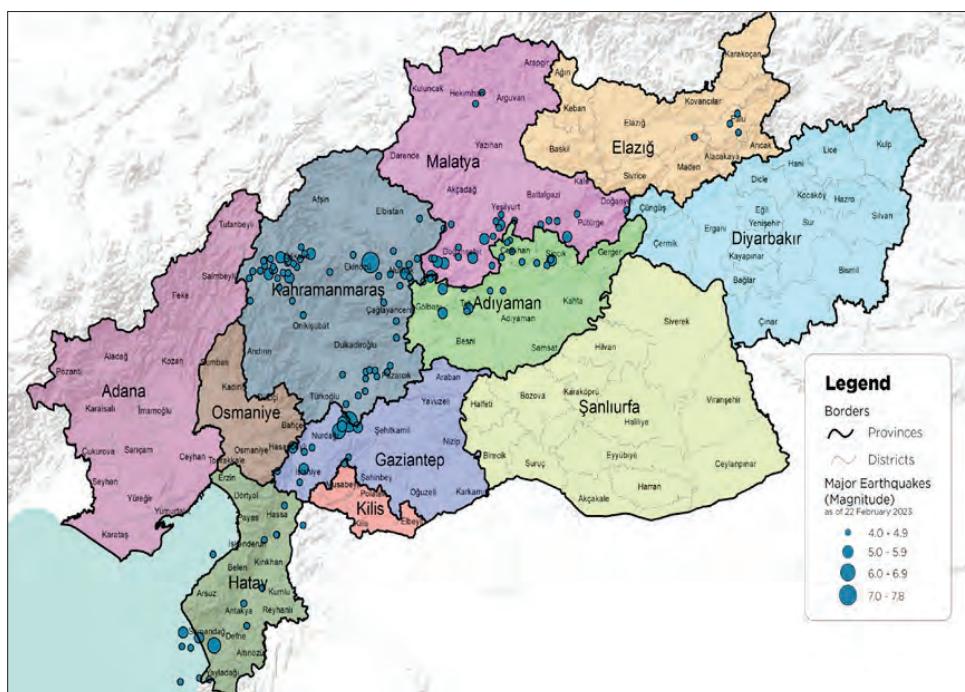
In the zone damaged by the earthquake, 86.7% of buildings and 95.4% of apartments are constructed using reinforced concrete as presented in TABLE I. The load-bearing systems of the remaining buildings are as follows: 2.4% steel, 3.5% masonry, and 3.6% prefabricated. The other category comprises loadbearing systems made of wood, a combination of materials, or those that are not clearly defined.

**TABLE I - Structural Systems of Buildings in the Earthquake-Affected Region.**

**TABELA I - Sistemas Estruturais de Edifícios na Região Afetada pelo Terremoto.**

	Reinforced concrete	Steel	Masonry	Prefabricated	Others
Buildings	86.7	2.4	3.5	3.6	3.9
Apartments	95.4	0.4	1.3	0.6	2.3

Even though there are many factors that affect the destruction of collapsed buildings (reinforced concrete structures), the most obvious ones were the age of the



**Fig. 1 - Provinces affected by the 2023 Turkey earthquake (Source: USGS, 2023).**

**Fig. 1 - Províncias afetadas pelo terramoto de 2023 na Turquia (Fonte: USGS, 2023).**

buildings, the low bearing capacity of the ground on which the foundations are placed, the quality of the materials used in the construction, the cross-section dimensions of the columns and beams and the amount of reinforcement, and the lack of structural system elements in accordance with the regulations in force.

In the provinces of Kahramanmaraş and Adıyaman, it has been seen many cases of "soft storey". In places like Hatay-Antakya and Adıyaman-Gölbaşı, it has also been seen that buildings collapsed in an angled position by sinking into the ground, or the whole building leans to one side or sinks into the partially liquefied ground (fig. 2) (ITU, 2023; TMMOB, 2023; Reliefweb, 2023).



**Fig. 2 - Examples of damaged buildings: (a) Hatay, (b) Kahramanmaraş (Source: TMMOB, 2023).**

**Fig. 2 - Exemplos de edifícios danificados: (a) Hatay, (b) Kahramanmaraş (Fonte: TMMOB, 2023).**

**TABLE II - Estimated Waste Quantities Generated by Different Earthquakes.**

**TABELA II - Quantidades Estimadas de Resíduos Gerados por Diferentes Terramotos.**

Year	Event	Estimated Waste Quantity (metric tons)	Source
1976	Friuli earthquake, Italy ( $6.5M_w$ )	0.3 million	(Faleschini <i>et al.</i> , 2017)
1994	Northridge earthquake, USA ( $6.4M_w$ )	2 million	(Lauritzen, 1998)
1995	Great Hanshin-Awaji earthquake, Japan ( $6.9M_w$ )	20 million	(Denot, 2016)
1999	Izmit earthquake, Turkey ( $7.6M_w$ )	13 million	(Baycan, 2004;)
1999	Chi-Chi earthquake, Taiwan ( $7.7M_w$ )	30 million	(Yang, 2009)
2004	Chūetsu earthquake, Japan ( $6.6M_w$ )	0.6 million	(Sakai <i>et al.</i> , 2019)
2008	Wenchuan earthquake, China ( $7.9M_w$ )	380 million	(Xiao <i>et al.</i> , 2012)
2009	L'Aquila earthquake, Italy ( $6.3M_w$ )	2 million	(Gabrielli <i>et al.</i> , 2018)
2010	Haiti earthquake ( $7.0M_w$ )	23-60 million	(Brown, 2012)
2010; 2011	Canterbury earthquakes, New Zealand (2010: $7.1M_w$ ; 2011: $6.3M_w$ )	9 million	(Brown and Milke, 2012)
2011	Great East Japan Earthquake ( $9.0-9.1M_w$ )	28 million	(Sasao, 2016)
2012	Emilia earthquake, Italy	0.6 million	(Gabrielli <i>et al.</i> , 2018)
2015	Gorkha earthquake, Nepal ( $7.8M_w$ )	19 million	(Gyawali, 2022; Abhimanyu and Raj, 2019)
2016	Kumamoto earthquake, Japan ( $7.0M_w$ and a foreshock of $6.2M_w$ )	3.16 million	(Saffarzadeh <i>et al.</i> , 2017)
2017	Puebla earthquake, Mexico ( $7.1 M_w$ )	0.35 million	(Hernández-Padilla and Anglés, 2021)
2018	Sulawesi earthquake, Indonesia ( $7.5M_w$ )	0.2 million	(Parura and Rahardyan, 2020)
2020	Zagreb earthquake, Croatia ( $5.3 M_w$ )	0.1 million	(Grbeš <i>et al.</i> , 2021)
2023	Great South Turkey earthquake ( $7.8M_w$ and a foreshock of $7.5M_w$ )	450-920 million	(Xiao <i>et al.</i> , 2023)

#### Estimated waste quantities of some of the past earthquakes

According to a preliminary damage assessment analysis by the World Bank (2023), the two very significant earthquakes that struck Türkiye on February 6 inflicted an estimated \$34.2 billion in direct physical damage, or about 4% of the country's GDP in 2021. The estimated waste volume is between 450-920 million metric tons (Xiao *et al.*, 2023). Hence, the volume of disaster waste produced by the 2023 Turkey Earthquake is greater than the volumes generated by other recent earthquakes (TABLE II).

## DWM legislation in Turkey

There are two sources that explicitly describe the management of disaster-related waste in Turkey (Elvan and Turker, 2015). The 2004 Regulation on Control of Excavation, Construction, and Demolition Waste and the 2015 Waste Management Regulation are the two regulations. According to the first regulation, it is the responsibility of the relevant municipalities to take or ensure that the necessary measures are taken so as not to negatively impact the environment and human health during the selection, construction, or operation of the landfill site for the construction and demolition wastes generated by the disaster, as well as to manage the permit processes for recycling facilities and storage areas within the municipality's borders (Ünal and Yavuz, 2023).

The same regulation assigns the highest local authority the responsibility of establishing a Crisis Center to determine the disaster's waste management principles. In accordance with the 44th article of the regulation, the amount of waste that may be generated in the event of a natural disaster, as well as the tools, equipment, and suitable areas for waste storage, are determined in advance in accordance with the principles outlined in the Excavation Soil, Construction, and Demolition Waste Control Regulation. liable for making the required provisions. In other words, the municipality or the individuals and organizations to whom the municipality has delegated its authority are responsible for the transportation and storage of debris generated as a result of natural hazards (Ministry of Environment and Urbanization of Turkey, 2015).

According to the information on page 46 of the Turkey Disaster Response Plan published by AFAD in 2022, the Disaster Debris Removal Group is responsible for debris management. This group is comprised of solution partners such as the Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change, the Ministry of Energy and Natural Resources, the Investment Monitoring and Coordination Department, local governments, NGOs, and the private sector (Unlu *et al.*, 2010; AFAD, 2022).

With the "Presidential Decree on Settlement and Construction Under the State of Emergency" published on February 24, 2023, the task of storing debris was left to the governorships. Moreover, the production and use of asbestos was prohibited in all European Union member states as of January 1, 2005, and with the passage of a law in 2010, the production, use, and sale of white asbestos were also prohibited in Turkey (AFAD, 2022).

In accordance with the aforementioned legal framework, the initial emergency response was not well-defined. It appeared that no position had been created for strategic management and coordination of the entire waste management process. No organization appeared to have

oversight of the entire waste management system, in terms of debris and waste management. Therefore, no entity was actively identifying constraints and capacity limitations, and protocols and strategies were determined ad hoc. During the initial phases of response and recovery, some planning work was performed, but it did not appear to be institutionalized.

## Environmental, health and historical considerations and observations related to DWM

Heritage sites in the earthquake region are not only significant for Turkey, but for the entire globe. Arslantepe Mound, Nemrut Mountain, Diyarbakır Walls, and Hevsel Gardens in Malatya, Adiyaman, Diyarbakır, and Şanlıurfa, which are on the UNESCO World Heritage List, and Göbeklitepe keep the multicultural and multireligious region's history alive today. In addition to World Heritage sites and monuments, the historical cities in the region, such as Antakya, which contain significant examples of Turkish civil architecture, shed light on the region's cultural, social, and economic history.

Among its historical heritage, the earthquake zone hosts more than 60 protected areas (nature conservation area, national park, nature park, wildlife development area, natural site etc.) and 35 important natural areas that stand out with international criteria in terms of living species diversity. This diversity, which extends from large wetland ecosystems to cedar, larch and oak forests and mountain steppes, also provides information about the rare species diversity of the region (Doygun, 2009; Üzümçüoğlu, 2023).

Historical artifacts destroyed or damaged by the earthquakes are Habib-i Neccar Mosque, Antakya Ulu Mosque, Church of Saints Peter and Paul, Malatya Yeni Mosque, Gaziantep Castle, Karakuş Tumulus Pylon, Diyarbakır Walls, Diyarbakır St. George Church, Historical Antakya Houses, Darb-i Sak Castle, Hazrat Ukkaş Tomb and Gaziantep İçkale Mosque (photo 1 and photo 2). There is no evidence or record that damaged or undamaged particles of these historical artefacts are kept in accordance with the regulations.

Some major observations related to environmental and health significance are listed below:

- The location where debris were dumped in Adyaman is a creek bed with a sign that reads "It is prohibited to dump debris" from the Adyaman Municipality. The water in the stream bed, where the debris was dumped, combines with the Karakaya Dam, where the drinking water for Gaziantep and Urfa is collected (TMA, 2023; TATD, 2023);
- It has been observed in Hatay Samandağı that rubble and wastes are deposited into the Mileyha Wetland, which is the migration route of birds and the breeding

ground of endemic plants, thereby endangering the diversity of living things, human health, and the existence of air and water;

- In Malatya, debris was dumped 18 kilometers from the city center in an agricultural and residential area. This region obtains its irrigation by excavating wells, and it is an agricultural region. Agricultural areas that were harmed by quarrying a few years ago now cause significant migration and/or health issues with asbestos (Korkmaz *et al.*, 2011);
- The majority of the structures devastated in the earthquake zone were constructed prior to 1999. According to the Map of Turkey Asbestos Deposits, the earthquake-affected region is among those in the country where environmental asbestos is concentrated. (TTS, 2023);
- The rubble of the earthquake-damaged structures, which may contain toxic waste, spread to settlements and areas close to temporary settlements, causing housing conditions to deteriorate and social reactions (TMA, 2023);
- As a result of the scarcity of landfills in the earthquake-stricken area, a number of environmental problems have arisen, as the debris frequently contains hazardous substances (TMA, 2023).

Landfills are the final stage in the process of DWM. In the case of the Turkey earthquake of 2023, the 'quick select

and go' method was utilized, which made the processing of the remaining waste less cost-effective, and thus it was sent to landfills. The insufficiency of waste transfer stations in the region is one of the factors for this decision. To minimize the risk to public health posed by landfills, a surcharge was not imposed at the landfill for receiving asbestos at the existing waste transfer stations (WHO, 2023; SBB, 2023).

The majority of waste can be reused or recycled, making recycling of CDW routine in a disaster (Amato *et al.*, 2019). For example, the majority of CDW can be separated, pulverized, and recycled as aggregates for concrete or road filling (Tabata *et al.*, 2017; Zhu *et al.*, 2012), and as aggregated bricks and blocks (Endoh, 2016). The research findings demonstrate that the aforementioned hierarchy was not utilized in post-disaster CDW management following the 2023 Turkey earthquake. Non-hazardous materials such as stone, bricks, tiles, aggregates, reinforced concrete, asphalt, and glass were not disposed of via land reclamation.

#### Limitations for DWM

Prior to the occurrence of the crisis, the risk in this region has not been reduced to a level where it can be effectively managed. Uncertain roles and responsibilities caused confusion among organizations and professionals involved in the process. Despite the fact that a number



**Photo 1** - Examples of damaged historical buildings: (a) Gaziantep İçkale Mosque, (b) Historical Antakya Houses, (c) Gaziantep Castle (Source: TMMOB, 2023).

**Fot. 1** - Exemplos de edifícios históricos danificados: (a) Mesquita Gaziantep İçkale, (b) Casas Históricas Antakya, (c) Castelo Gaziantep (Fonte: TMMOB, 2023).



**Photo 2** - Examples of damaged historical buildings: (a) Karakuş Tumulus Pylon, (b) Church of Saints Peter and Paul (c) (Source: TMMOB, 2023).

**Fot. 2** - Exemplos de edifícios históricos danificados: (a) Monumento Karakuş Tumulus, (b) Igreja de São Pedro e São Paulo (c) (Fonte: TMMOB, 2023).

of organizations worked diligently on waste management, the absence of communication and coordination due to a lack of repeated exercises is a major flaw in this instance.

During the process, the capacity of waste management facilities, the management of hazardous materials, and the preservation of personal property posed significant obstacles. In addition, the region's limited disposal sites caused a number of environmental issues.

Lack of policies, regulations, and acts related to DWM plans; organizational limitations with lack of labour skills and training programmes; lack of DWM interest by the government; and reluctance to implement DWM by the authorities are some of the other limitations.

## Conclusion

This paper evaluated DWM for the 2023 Turkey earthquake, considering both the environmental and the heritage-related aspects. Recent seismic feedback has highlighted the significance of DWM, highlighting the urgency with which it must be handled. Numerous strategies for dealing with disaster debris have been implemented in various nations.

Rapid waste management is essential for reopening roads and reviving the local economy, getting life back to normal as soon as possible, and minimizing any health and environmental hazards. Authorities in charge of organizing waste management in the aftermath of natural disasters need methodological and operational tools to reduce waste generation and plan for waste collection, transportation, and treatment in accordance with waste management policy objectives.

The study's findings indicate that there was no pre-existing plan for managing CDW before the earthquake occurred. As a consequence, several inefficiencies arose initially, causing a significant delay in the overall healing process. The study identified several challenges, such as inadequate waste processing capacity, conflicts in current legislation, absence of a pre-disaster waste management plan that includes the feasibility and design of recycling systems after a disaster, absence of clear power distribution among involved organizations and individuals, the bureaucratic nature of the decision-making process, lack of collaborative working practices and lack of earthquake safety procedures for heritage-related structures.

In summary, the findings suggest that the absence of a pre-existing disaster recovery plan and insufficient resources, such as waste processing facilities and legislation, hinder the efficiency of the process. These issues must be addressed in order to enhance the management of construction and demolition waste in future disasters.

## Bibliography

Abhimanyu, H., & Raj, D. K. (2019). Study of Debris Generated by the Earthquake with Special Reference to Gurkha Earthquake 2015 in Nepal. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 53(1), 182-206.

AFAD (2022). Türkiye Disaster Response Plan. Ankara [in Turkish].

AFAD (2023a). 06 February 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) MW 7.7 Elbistan (Kahramanmaraş) MW 7.6 Earthquakes Preliminary Evaluation Report [in Turkish].

AFAD (2023b). 20 February 2023 Yaladağı (Hatay) MW 6.4 Earthquakes Preliminary Evaluation Report [in Turkish].

Amato, A., Gabrielli, F., Spinozzi, F., Galluzzi, L. M., Balducci, S., & Beolchini, F. (2019). Strategies of disaster waste management after an earthquake: A sustainability assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 590-597.

Asari, M., Sakai, S. I., Yoshioka, T., Tojo, Y., Tasaki, T., Takigami, H., & Watanabe, K. (2013). Strategy for separation and treatment of disaster waste: a manual for earthquake and tsunami disaster waste management in Japan. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15, 290-299.

Baycan, F. (2004). Emergency Planning for Disaster Waste: A Proposal based on the experience of the Marmara Earthquake in Turkey. In *2004 International Conference and Student Competition on post-disaster reconstruction" Planning for reconstruction" Coventry, UK*.

Blengini, G. A. (2009). Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. *Building and Environment*, 44(2), 319-330.

Brown, C., Milke, M., Seville, E., & Giovinazzi, S. (2010). *Disaster Waste Management on the Road to Recovery: L'Aquila earthquake case study*.

Brown, C. O. (2012). Disaster Waste Management: a systems approach.

Brown, C., & Milke, M. (2016). Recycling disaster waste: Feasibility, method and effectiveness. *Resources, Conservation and Recycling*, 106, 21-32.

Brown, C., & Milke, M. (2012). Case Study Report: 2010 Canterbury and 2011 Christchurch Earthquakes-Demolition and Disaster Waste Management. *Waste Management*.

Cantegrit, L., Denot, A., Giraud, S., & Eisenlohr, L. (2014). *Prévention et gestion des déchets issus*

- de catastrophes naturelles: de l'anticipation à la gestion-Démarche opérationnelle et fiches d'application. *Techniques Sciences Méthodes*, (9), 69-79 [in French].
- Channell, M. G., Graves, M. R., Medina, V. F., Morrow, A. B., Brandon, D. L., & Nestler, C. C. (2009). Enhanced tools and techniques to support debris management in disaster response missions.
- Denot, A. (2016). Prevention and management of waste resulting from natural disasters. *Waste management* (New York, NY), 58, 1-2.
- Domingo, N., & Luo, H. A. O. (2017). Canterbury earthquake construction and demolition waste management: issues and improvement suggestions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 130-138.
- Doygun, H. (2009). Effects of urban sprawl on agricultural land: a case study of Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 158, 471-478.
- Elvan, O. D., & Turker, Y. O. (2015). Access to justice in environmental matters in Turkey: A case study from the ancient city of Allianoi. *International Journal of Law, Crime and Justice*, 43(4), 424-438.
- Endoh, M. (2016). The Treatment of the Disaster Waste by Great East Japan Earthquake in Sendai City.
- EPA (2019). Planning for Natural Disaster Debris.
- Faleschini, F., Zanini, M. A., Hofer, L., Zampieri, P., & Pellegrino, C. (2017). Sustainable management of demolition waste in post-quake recovery processes: The Italian experience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 172-182.
- FEMA (2007). Public assistance - Debris management guide 260.
- Fetter, G., & Rakes, T. (2012). Incorporating recycling into post-disaster debris disposal. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 14-22.
- Gabrielli, F., Amato, A., Balducci, S., Galluzzi, L. M., & Beolchini, F. (2018). Disaster waste management in Italy: Analysis of recent case studies. *Waste Management*, 71, 542-555.
- GOVERNMENT OF SOUTH AUSTRALIA (2018). Disaster Waste Management Guidelines State Emergency Management Plan - Part 4 DWM Capability Plan - Annex A.
- Grbeš, A., Bedeković, G., Kovačević Zelić, B., & Veinović, Ž. (2021). Emergency Management of the Construction and Demolition Waste-Challenges and Opportunities. *kriznog upravljanja*, 163.
- Gyawali, T. R. (2022). Re-use of concrete/brick debris emerged from big earthquake in recycled concrete with zero residues. *Cleaner Waste Systems*, 2, 100007.
- Hernández-Padilla, F., & Anglés, M. (2021). Earthquake Waste Management, Is It Possible in Developing Countries? Case Study: 2017 Mexico City Seism. *Sustainability*, 13(5), 2431.
- Hu, Z. H., & Sheu, J. B. (2013). Post-disaster debris reverse logistics management under psychological cost minimization. *Transportation Research Part B: Methodological*, 55, 118-141.
- İSTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY - ITU (2023). 6 February 2023 Earthquakes Preliminary Evaluation Report [in Turkish].
- JAPAN MINISTRY OF THE ENVIRONMENT (2018). Disaster Waste Management Guideline for Asia and the Pacific.
- Kartam, N., Al-Mutairi, N., Al-Ghusain, I., & Al-Humoud, J. (2004). Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. *Waste Management*, 24(10), 1049-1059.
- Karunasena, G., Amaratunga, D., Haigh, R., & Lill, I. (2009). Post disaster waste management strategies in developing countries: Case of Sri Lanka. *International Journal of Strategic Property Management*, 13(2), 171-190.
- Kofoworola, O. F., & Gheewala, S. H. (2009). Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste Management*, 29(2), 731-738.
- Korkmaz, H., Çetin, B., Ege, İ., Karatas, A., Bom, A., & Özsahin, E. (2011). Environmental effects of stone pits in Hatay (Turkey). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 19, 504-510.
- Lauritzen, E. K. (1998). Emergency construction waste management. *Safety Science*, 30(1-2), 45-53.
- McCreanor, P. T. (1999). Disaster Debris Management-Planning Tools. US Environmental Protection Agency Region IV.
- MINISTRY OF ENVIRONMENT AND URBANIZATION OF TURKEY. (2015). Waste Management Regulation.
- NEW ZEALAND MINISTRY OF CIVIL DEFENCE AND EMERGENCY. (2018). Disaster Waste Management Planning Tool Working copy.
- Panizza, M., Natali, M., Garbin, E., Ducman, V., & Tamburini, S. (2020). Optimization and mechanical-physical characterization of geopolymers with Construction and Demolition Waste (CDW) aggregates for construction products. *Construction and Building Materials*, 264, 120158.

- Parura, T. C. P., & Rahardyan, B. (2020). Evaluation of post-earthquake, tsunami, and liquefaction disaster waste management in Palu. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 148, p. 06003). EDP Sciences.
- Reinhart, D. B., & McCreanor, P. T. (1999). Disaster Debris Management - Planning Tools. EPA Region IV report.
- Reliefweb (2023). Turkey-Earthquake: Emergency Situation Report.
- Saffarzadeh, A., Shimaoka, T., Nakayama, H., Hanashima, T., Yamaguchi, K., & Manabe, K. (2017). Tasks and problems involved in the handling of disaster waste upon April 2016 Kumamoto Earthquake, Japan. *Natural Hazards*, 89, 1273-1290.
- Sakai, S., Poudel, R., Asari, M., & Kirikawa, T. (2019). Disaster waste management after the 2016 Kumamoto Earthquake: A mini-review of earthquake waste management and the Kumamoto experience. *Waste Management & Research*, 37(3), 247-260.
- Sasao, T. (2016). Cost and efficiency of disaster waste disposal: A case study of the Great East Japan Earthquake. *Waste management*, 58, 3-13.
- Skinner, J. H. (1995). Conclusions. In: *Earthquake Waste Symposium*, 12-13 June, Osaka.
- SOLID WASTE AUTHORITY (2004). 2003-2004 Annual Report: Mountains of Debris. Palm Beach County. Solid Waste Authority, Florida.
- STATE OF CALIFORNIA (1997). Integrated waste management disaster plan: guidance for local government on disaster debris management.
- STRATEGY AND BUDGET DEPARTMENT OF TURKEY - SBB (2023). 2023 Kahramanmaraş and Hatay Earthquakes Report
- SWANA (2005). *Hurricane Katrina Disaster Debris Management: Lessons Learned from State and Local Governments*, Briefing Report. Solid Waste Association of North America.
- Tabata, T., Wakabayashi, Y., Peii, T., & Saeki, T. (2017). Environmental and economic evaluation of pre-disaster waste management. *Chemical Engineering Transactions*, 61, 31-36.
- TMMOB, CHAMBER OF CIVIL ENGINEERS. (2023). 6 February 2023 Kahramanmaraş Pazarcık And Elbistan Earthquake Pre-Evaluation Report [in Turkish].
- TURKISH EMERGENCY MEDICINE ASSOCIATION - TATD (2023). Emergency Medicine Specialists Field Observation Report: 2023 Earthquakes.
- TURKISH MEDICAL ASSOCIATION - TMA (2023). First Month Report on 6 February 2023 Kahramanmaraş and 20 February 2023 Hatay Earthquake.
- TURKISH THORACIC SOCIETY - TTS (2023). Occupational Lung Diseases Study Group. "Asbestos Exposure Hazard in the Earthquake Zone" Press Release.
- Trivedi, A., Singh, A., & Chauhan, A. (2015). Analysis of key factors for waste management in humanitarian response: An interpretive structural modelling approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 527-535.
- UNDP (2006). Tsunami Recovery Waste Management Programme. In: Multi Donor Fund for Aceh and Nias. UNDP.
- UNEP (2012). Managing post-disaster debris: the Japan experience. In: United Nations Environmental Programme.
- Unlu, A., Kapucu, N., & Sahin, B. (2010). Disaster and crisis management in Turkey: a need for a unified crisis management system. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 19(2), 155-174.
- UNOCHA (2013). *Disaster Waste Management Guidelines*, Edn. 2. Geneva: Emergency Preparedness Section. Joint UNEP/OCHA Environment Unit.
- USEPA (2008). *Planning for Natural Disaster Debris*. Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Solid Waste, USEPA, Washington.
- US GEOLOGICAL SURVEY, USGS (2023). Event page of the M7.8 and M7.5 Kahramanmaraş Earthquake Sequence. <https://usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes>
- Ünal, S. B., & Yavuz, C. I. (2023). Disaster waste management after earthquakes: lessons from Turkey and Syria. *bmj*, 381.
- Üzümçüoğlu, D. (2023). Factors to Consider in the Reconstruction and Design of an Earthquake-Devastated Region: A Case Study of the Kahramanmaraş Earthquake, Türkiye. *The International Journal of Architectonic, Spatial, and Environmental Design*, 18(1), 75.
- Vásquez, A., Cárdenas, V., Robayo, R. A., & de Gutiérrez, R. M. (2016). Geopolymer based on concrete demolition waste. *Advanced Powder Technology*, 27(4), 1173-1179.
- Volpintesta, F., Ossoli, E., Reggiani, A., Stabile, P., Santulli, C., & Paris, E. (2023). Geopolymers-based application for the up-cycling utilization of construction and demolition waste from the 2016 central Italy earthquakes. *Materials Letters*, 336, 133849.
- WORLD BANK, & GLOBAL FACILITY FOR DISASTER REDUCTION AND RECOVERY (2023). Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report: February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes-Türkiye Report.

- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO (2023). Earthquake response in Türkiye and Whole of Syria.
- Xiao, J., Xie, H., & Zhang, C. (2012). Investigation on building waste and reclaim in Wenchuan earthquake disaster area. *Resources, Conservation and Recycling*, 61, 109-117.
- Xiao, J., Deng, Q., Hou, M., Shen, J., & Gencel, O. (2023). Where are demolition wastes going: reflection and analysis of the February 6, 2023 earthquake disaster in Turkey. *Low-carbon Materials and Green Construction*, 1(1), 17.
- Yang, C. P. (2009). Composition of demolition wastes from Chi-Chi earthquake-damaged structures and the properties of their inert materials. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(4), 470-481.
- Zhang, J., Ding, L., Li, F., & Peng, J. (2020). Recycled aggregates from construction and demolition wastes as alternative filling materials for highway subgrades in China. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120223.
- Zhu, J., Wu, S., Zhong, J., & Wang, D. (2012). Investigation of asphalt mixture containing demolition waste obtained from earthquake-damaged buildings. *Construction and Building Materials*, 29, 466-475.



**PERCEPÇÃO DA COMUNIDADE LITORÂNEA DO ESTADO DO PARANÁ-BRASIL  
SOBRE RISCOS AMBIENTAIS\***

273

**PERCEPTION OF THE COAST COMMUNITY ABOUT ENVIRONMENTAL RISKS IN THE STATE OF PARANÁ-BRAZIL  
ON ENVIRONMENTAL RISKS**

**Maíra Zacharias**

Universidade Estadual do Paraná, Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - CEPED/PR (Brasil)  
Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares



0009-0001-4188-3896

[maira.zacharias@estudante.unespar.edu.br](mailto:maira.zacharias@estudante.unespar.edu.br)

**Sandro Deretti**

Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR- Campus Paranaguá (Brasil)  
Programa de Pós Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares - PALI



0000-0002-8948-9484

[sandro.deretti@unespar.edu.br](mailto:sandro.deretti@unespar.edu.br)

**Estefani Pereira Gomes**

Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR- Campus Paranaguá (Brasil)  
Faculdade de Ciências Biológicas Departamento de Ciências Biológicas

[estefani.gomes.52@estudante.unespar.edu.br](mailto:estefani.gomes.52@estudante.unespar.edu.br)

**Danyelle Stringari**

Universidade Estadual do Paraná, Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - CEPED/PR (Brasil)  
Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares



0000-0002-3532-7914

[danyelle.stringari@unespar.edu.br](mailto:danyelle.stringari@unespar.edu.br)

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi estudar a percepção da população do Litoral do estado do Paraná, sobre riscos ambientais, pois esta região possui o maior remanescente da Mata Atlântica do Brasil, está sob forte influência antrópica, e historicamente já sofreu eventos climáticos extremos. Foi aplicado um questionário em uma amostra composta por 395 pessoas moradoras da região, englobando o perfil socioeconômico, a percepção sobre riscos ambientais e os traços de personalidade dos respondentes. A principal contribuição do estudo é demonstrar que a percepção dos riscos é de nível moderado, significativo e positivo com 4 dimensões da escala de traços de personalidade sendo elas: extroversão, conscientiosidade, amabilidade e abertura. O trabalho fornece insights valiosos para compreender como os fatores psicológicos podem influenciar a avaliação subjetiva de situações de risco ambiental.

**Palavras-chave:** Zona costeira, vulnerabilidade, desastres.

## ABSTRACT

The objective of this research was to study the perception of the population in the coastal area of the state of Paraná regarding environmental risks. This region is of importance since it has the largest remnant of the Brazilian Atlantic Forest, is under strong anthropogenic influence, and has historically suffered extreme climatic events. A questionnaire was administered to a sample comprising 395 residents of the region, encompassing the socio-economic profile, perception of environmental risks, and personality traits of the respondents. The primary contribution of the study is to demonstrate that risk perception is moderate, significant, and positively associated across four dimensions of the personality traits scale: extroversion, conscientiousness, agreeableness, and openness. The work provides valuable insights into understanding how psychological factors can influence the subjective assessment of environmental risk situations.

**Keywords:** Coastal zone, vulnerability, disasters.

\* O texto desta nota foi submetido em 28-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 02-08-2024.

Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

O arcabouço legal ambiental e climático no âmbito internacional e sua relação com a esfera nacional, remonta à Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, através da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, em inglês), cujo seus desdobramentos então em vigor desde 1992. A UNFCCC realiza anualmente uma Conferência das Partes (COP, em inglês), para que os países signatários possam avançar na implementação de compromissos climáticos. Incluindo os marcos internacionais e os desdobramentos nacionais da pauta de clima, em linha cronológica, temos respectivamente os internacionais e nacionais incluídos. Em 1992, chamada de Eco-92, que deu origem à Convenção- Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC); Em 1997, houve o Protocolo de Kyoto, para países desenvolvimentos reduzirem emissões; Em 2012 (Rio+20), na Conferência das Nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável, foi discutido a renovação com o compromisso global a respeito do tema sobre sustentabilidade; Em 2015, no acordo de Paris, houve o tratado internacional com o objetivo de limitar o aumento de temperatura global em até 1,5°C até 2100, como também, a criação dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), sendo proposto pela ONU, uma nova agenda de desenvolvimento sustentável para os próximos 15 anos, na Agenda 2030, composta pelos 17 ODS; Em 2016, houve o envio da Intended Nationally Determined Contribution (NDC) Brasileira para UNFCCC, após a ratificação do acordo de Paris, o compromisso se tornou vigente; Em 2020, a submissão da Primeira atualização NDC Brasileira à UNFCCC; Em 2022, a submissão da segunda atualização Brasileira da NDC; Em 2023, a Global Stocktake de UNFCCC para avaliar a implementação do acordo de Paris. (Santos, 2023).

No Brasil, o estado do Paraná apresenta uma pequena faixa litorânea, com 7 municípios, que é banhada pelo Oceano Atlântico Sul. Segundo dados do IBGE 2022, o Estado tem uma área territorial de 199.298,981km<sup>2</sup>, e seu índice de desenvolvimento humano, com os dados de até 2021, é de 0,769. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma medida resumida do desempenho médio em dimensões-chave do desenvolvimento humano: uma vida longa e saudável, conhecimento e um padrão de vida digno. O IDH é a média geométrica dos índices normalizados para cada uma das três dimensões, sendo o mais próximo de 0 o pior IDH, e o mais próximo a 1 o maior IDH (Human Development Index, 2019). A extensão do litoral paranaense é de 107 km de forma retilínea (Bigarella, 1978) e situa-se na região oriental do Estado pela Serra do Mar constituindo a planície costeira (Przybyski e Monteiro-Filho, 2001). Embora pequena, a região é extremamente importante para a conservação dos ecossistemas, pois apresenta um dos últimos remanescentes de Mata Atlântica do Brasil. Por outro lado, a região inclui uma intensa ação antrópica

decorrente das atividades portuárias e seus subserviços ao seu entorno, aumentando significativamente a vulnerabilidade aos riscos e aos desastres na região. No litoral paranaense encontram-se os municípios Guarapeçaba, Antonina, Morretes, Paranaguá, Matinhos, Guaratuba e Pontal do Paraná, sendo ao todo, os sete municípios da área de estudo.

Os dados históricos de ocorrência de desastres envolvendo situações climáticas nos 7 municípios do litoral do Paraná, fornecidos pela Coordenadoria da Defesa Civil do Paraná, são expressivos e apontam, até setembro de 2023, um total de 571 ocorrências, 160 óbitos e 353.799 pessoas afetadas em eventos como tempestades, inundações, enxurradas, alagamentos, estiagem, deslizamentos, entre outros, totalizando um prejuízo econômico de cerca de U\$86 milhões. Já no território brasileiro como um todo, em 2023, 1.161 eventos de desastres climáticos foram identificados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), entidade de pesquisa vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Dentro desse conjunto, 716 ocorrências estavam relacionadas a eventos hidrológicos, como transbordamentos de rios, enquanto outras 445 tiveram origem geológica, como deslizamentos de terra. Eventos desses que podem estar associados, principalmente, a sua localização mais próxima ao litoral, área com altos índices de precipitação (CEPED/UFSC, 2013).

Um evento marcante na região do litoral do Paraná ocorreu em 11 de março de 2011, com fortes chuvas na região e elevada precipitação em um único dia (236 mm), persistindo com altos índices nos dias subsequentes, sendo denominado de “Águas de Março” (Paz et al., 2024). Essas chuvas deflagraram um processo que causou grande destruição e impacto à infraestrutura privada e pública, demandando um esforço muito grande e a utilização de recursos humanos e materiais, por parte das organizações municipais, estaduais e federais de Defesa Civil e órgãos de apoio (Pinheiro e Pedroso, 2016). Segundo a Coordenadoria da Defesa Civil do Paraná as inundações e deslizamentos do “Águas de Março” nos municípios de Antonina, Morretes, Guaratuba e Paranaguá, resultaram em três óbitos, 2.499 pessoas desabrigadas e 10.761 pessoas desalojadas. Casas, áreas rurais, pontes e estradas que dão acesso aos municípios e aos Portos de Paranaguá e Antonina, o maior porto graneleiro da América Latina, foram destruídas, ocasionando um prejuízo estimado de U\$120 milhões neste único evento, conforme avaliação de perdas e danos demonstrada pela metodologia Damage and Loss Assessment - DaLA (Pinheiro e Pedroso, 2016).

A partir de dados preliminares voltados para as mudanças climáticas no Estado do Paraná, foi apontado que os municípios de Guaratuba, Morretes e Paranaguá estão sujeitos a altos índices de vulnerabilidade à

exposição costeira, já em Antonina e Guarqueçaba as vulnerabilidades se mostraram altas na sensibilidade socioeconômica e demográfica de suas populações, ainda em Guarqueçaba, foi acentuado que é o município mais vulnerável do litoral paranaense, no sentido das capacidades de adaptação de organizações e instituições, para respostas às mudanças climáticas (Fiocruz, Fundo Clima e MMA, 2017). Essas análises são importantes pois os índices de desenvolvimento nem sempre refletem a verdadeira realidade, a vulnerabilidade climática está muito relacionada a distribuição de renda e outros contrastes socioambientais entre os municípios. Somando essa fragilidade nos indicadores de desenvolvimento humano nos municípios costeiros do Paraná, são encontrados altos índices de vulnerabilidade às mudanças climáticas (Schneider, 2020).

O objetivo geral deste estudo foi analisar a percepção da população do Litoral do Paraná sobre riscos ambientais, com vistas para auxiliar na busca de dados primários que possam dar subsídios para as ações de conscientização dos municípios. Em decorrência deste objetivo, assumimos que a percepção dos riscos, e eventualmente a construção da resiliência da população litorânea, leva a conscientização em relação aos riscos que correm por estarem em áreas de potenciais desastres relacionados ao ambiente e ao clima. Assim, podem repensar moradias, procurando priorizar sua qualidade de vida e a sustentabilidade do meio ambiente já que, normalmente, as populações litorâneas do Paraná ocupam áreas remanescentes da Mata Atlântica, ou estão bem próximas a ela.

## **Revisão da Literatura**

### *Configurações dos Riscos Ambientais*

Segundo Casagrande (2017), todos os riscos possuem um adjetivo qualitativo no que pertence a sua característica, tais como os riscos naturais, tecnológicos, sociais e ambientais. A emergência da tipificação de risco ambiental foi sistematizada pelo economista Talbot Page em seu estudo sobre substâncias químicas “A Generic View of Toxic Chemicals and Similar Risks” de 1978 (Page, 1978), no qual define risco ambiental como “[...] um grau de ameaça potencial ao meio ambiente combinado com a probabilidade de eventos que causem ou levem à degradação do meio ambiente e a gravidade dessa degradação”. Ainda nesse estudo, o autor descreve “[...] uma nova classe de riscos estava surgindo e ganhando grande importância nas últimas décadas com características ainda não bem definidas”. Talbot tratou de diferenciar os antigos casos de poluição com os chamados riscos ambientais, segundo ele, ligados à incerteza dos seus efeitos e à ignorância dos seus mecanismos. Casos de poluição tradicional já eram

conhecidos pela ciência, assim como os seus efeitos sobre o homem e ao meio ambiente, como por exemplo a poluição atmosférica. O autor cita ainda quatro características dos riscos ambientais: ignorância quanto ao seu mecanismo, potencial para custos imensuráveis, custo e benefícios relativos (pesticidas, energia nuclear, etc.), e a difícil determinação da probabilidade de sua ocorrência devido à subjetividade de seus mecanismos (Gillroy, 2002).

### *Caracterização dos Riscos em Ambientes Urbanos*

Beer e Smail-Zadeh (2003), concluem que existem dois grandes grupos de riscos ambientais: o primeiro é sobre riscos ao meio ambiente como resultado das atividades antrópicas, já o segundo grupo é o risco para as pessoas como resultado de perigos naturais como por exemplo os riscos geofísicos (terremotos, vulcões, tsunamis, etc.).

A classificação dos riscos ambientais segundo Jain e Singh (2003), é baseada na sua origem. Como por exemplo, os riscos do tipo “fabricado” no qual se refere a situações em que a sociedade tem pouca experiência de enfrentamento, citando como exemplo, as mudanças climáticas. Por outro lado, entendem que os riscos naturais (enchentes, secas, etc.) seriam riscos do tipo “externo”. E cada vez menos os riscos são genuinamente “externos” devido à influência antrópica, ou seja, eles são cada vez menos naturais.

Em cidades, as enchentes dos rios e inundações normalmente são causadas pelas demasiadas chuvas e pela alta demanda de escoamento superficial, já que nesses ambientes urbanos, há impermeabilização do solo, e a água é escoada em sistemas de drenagem até os corpos hídricos (Tuccil, 2012; Tuccil, 2008). Com isso, períodos de maior vazão, potencializam ainda mais a ocupação desses leitos e planícies, podendo ocasionar nas populações que residem nessas regiões, problemas frequentes de inundações e eventuais desastres. Características como aglomerados urbanos com muita impermeabilização do solo e alta densidade populacional, fazem com que as inundações urbanas não aconteçam somente em grandes cidades, mas também em cidades de médio tamanho ou até mesmo pequenas (Farias e Mendonça, 2022).

### *Consequentes Vulnerabilidades*

Segundo Mendonça (2004), o processo de urbanização atingiu, no final do século XX e início do XXI, índices bastante elevados, resultando que na atualidade a população do planeta é, majoritariamente, urbana. Esta condição engendra uma série de novos e complexos problemas para a compreensão e gestão do espaço e da sociedade urbanos, sendo que aqueles de ordem socioambiental se encontram destacados no contexto

das cidades, particularmente daquelas de países em condições socioeconômicas de alta complexidade, como é o caso do Brasil.

O resultante dessas interações entre os fatores que caracterizam os riscos, muitas vezes, é a exposição das populações à vulnerabilidade diante dos fatores (Goudard e Mendonça, 2022). Esses processos estão relacionados a um fenômeno natural cujos danos em potencial são intensificados pelas dinâmicas humanas, sendo intrínsecos à sociedade, que acaba sendo impactada de maneiras diversificadas de acordo com a vulnerabilidade exposta (Pelling, 2003; Brito e Almeida, 2023).

Confalonieri (2015) indica que a vulnerabilidade pode ser definida como o “[...] produto da exposição física a um perigo natural e da capacidade humana para se preparar para e recuperar-se dos impactos negativos dos desastres”. Porém, a vulnerabilidade urbana envolve, assim como os riscos urbanos, uma gama de implicações sociais, econômicas, tecnológicas, culturais, ambientais e políticas que estão diretamente vinculadas à condição de pobreza de representativa parcela da sociedade moderna.

Conforme o guia operacional sobre direitos humanos e desastres naturais, elaborado pelo IASC (Inter-Agency Standing Committee, 2008) os desastres naturais são entendidos como consequências de eventos decorrentes de perigos naturais que ultrapassam a capacidade local de resposta e afetam seriamente o desenvolvimento econômico e social de uma região, gerando perdas humanas, materiais, econômicas e/ou ambientais, e excedendo a habilidade dos afetados de fazer frente à elas por seus próprios meios. Este conceito se coaduna ao adotado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2007) em seu documento intitulado “*Meio ambiente e riscos de desastres: perspectivas emergentes*”, que entende por desastre “uma série perturbação no funcionamento de uma comunidade ou sociedade causando geralmente perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais que excedem a capacidade das comunidades ou sociedades afetadas para enfrentá-la usando seus próprios recursos. Um desastre é uma função do processo de risco. Ele resulta da combinação de perigos, condições de vulnerabilidade e capacidade ou meios insuficientes para reduzir as consequências negativas potenciais do risco” (PNUMA, 2007, p. 6).

Iwama (2014), ao caracterizar e analisar as situações de risco e vulnerabilidade na zona costeira de São Paulo, observou alguns aspectos em comum: pessoas afetadas por perigos/riscos de escorregamento e inundação vivem diariamente os problemas ‘antigos’: falta de infraestrutura de saneamento, habitações inadequadas e acesso limitado aos serviços de saúde. Essas pessoas ou grupos sociais estão presentes em quase toda a extensão da zona costeira paulista, especialmente aqueles que

vivem em áreas de encostas de alta declividade ou nas proximidades de rios (os potenciais riscos de inundação) ou em áreas periféricas das cidades ou dos centros urbanos. Essa situação (risco extensivo) é muitas vezes relacionada a uma combinação de fatores, incluindo declínio nos serviços de regulamentação prestados pelos ecossistemas, manejo inadequado da água, uso dos solos, migração rural-urbana, crescimento urbano não planejado, expansão dos assentamentos informais em áreas de planície de inundações e sub investimentos em infraestrutura de drenagem (UNISDR, 2009).

### *Percepção das Comunidades*

Dake (1992) afirma que a maioria dos estudos sobre a percepção e a comunicação dos riscos enfatiza primeiramente os danos que podem acontecer. A maioria deles ignora o contexto cultural em que tais riscos são elaborados e discutidos, e o ambiente no qual o risco e a percepção do risco ocorrem. O autor revela que quando as pessoas percebem o risco e se preocupam com ele, é a cultura que fornecerá o sentido social construído sobre a natureza do evento. Os sistemas de crenças são construídos e internalizados pelas pessoas, dessa forma, passando a fazer parte integral de sua visão de mundo e irá influenciar a interpretação dos eventos que irão ocorrer.

Segundo Coêlho (2007), a percepção do perigo está relacionada aos desastres e é influenciada por um grupo dos fatores inter relacionados que incluem experiências passadas, atitudes atuais em relação ao evento, personalidade e valores, juntos com as expectativas futuras. Um fator importante é a experiência passada com o evento. Os desastres, os quais as pessoas não estão familiarizadas, têm o potencial de causar comprometimento psicológico maior. A experiência prévia com o evento, em nível individual ou coletivo, pode criar as sub-culturas dos desastres que ajudam a mitigar os efeitos do estresse relacionados ao desastre (Bolin, 1989; Miletí, Drabek e Haas, 1975; Norris e Murrell, 1988). As subculturas dos desastres incluem ajustamentos reais ou potenciais, social, psicológico e/ou físico que são usados por residentes destas áreas em um esforço para lidar com os desastres que aconteceram ou que a tradição indica que poderão acontecer no futuro (Moore, 1964). Hannigan e Kueneman (1978), elaboraram este conceito e incluíram elementos culturais tais como as normas, os valores e as crenças, que influenciam uma subcultura de um desastre específico.

De acordo com o estudo de Iwama (2014), sobre a percepção de riscos e vulnerabilidade na zona costeira de São Paulo, a noção de risco se baseia em interpretações causais dos acontecimentos. Em outras palavras, existe ambivalência na interpretação das respostas sobre a adaptação às mudanças climáticas, ja que, tal estudo indicou que a maioria atribui o risco a partir do

comportamento do vizinho, havendo uma negação do indivíduo sobre o risco em que está colocado para si e suas causas são multifatoriais: religiosas, econômicas, culturais até a incerteza dos fenômenos climáticos e do mapeamento de áreas riscos. E na prática, ocorre a falsa percepção de que há baixa frequência de grandes catástrofes como escorregamentos de terra e inundações. Sendo assim, o risco é interpretado de acordo com os acontecimentos - sociais e ambientais -, mostrando que parte dos entrevistados permanece em suas moradias ante o risco, porque o risco 'é do outro'; em última instância, o risco é contingente - pode ser que aconteça ou não. Entretanto, também foi observado nas respostas de percepção de risco que as mudanças climáticas estão acontecendo e que a própria população tem responsabilidade para reduzir os possíveis impactos advindos dessas mudanças (Iwama, 2014).

Schneider (2020) realizou uma pesquisa empírica no Litoral do Paraná e nela foi possível observar preocupantes transformações na dinâmica de percepção do risco climático na região e, por extensão, possivelmente no Brasil. Diante das entrevistas realizadas e das visões e perfis sociodemográficos identificados, verificou-se que muitos atores sociais reconhecem o risco e se mostram dispostos a aprender mais e a agir sobre sua condição de vulnerabilidade. Porém, o oportunismo de atores mais privilegiados, a naturalização das injustiças e o conformismo dos vulneráveis favorecem a inércia da população e deixam margem para a implantação de discursos ideológicos de negação do risco, que legitimam a irresponsabilidade organizada pelo poder político e econômico. Ao não ter acesso amplo ao conhecimento sobre sua vulnerabilidade, os atores sociais não pressionam politicamente o Estado para que este garanta seu direito à segurança e à vida, legitimando a omissão.

Desde 2012, com a implementação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), Lei 12.608/2012, o Brasil passou a contar com uma estratégia nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres e de Redução de Riscos de Desastres (RRD) que contempla a integração de esforços institucionais, científicos e técnicos. Tal iniciativa derivou da adesão brasileira aos esforços globais para a RRD, a diminuição das vulnerabilidades e o aumento da resiliência das nações e comunidades, quando se tornou signatário do Marco de Ação de Hyogo (2005-2015) e do Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres (2015-2030), assumindo o compromisso de atingir as prioridades e metas estabelecidas para este ciclo.

#### *Relação entre percepção de riscos e os traços de personalidade*

A compreensão da percepção de riscos ambientais tem se tornado um foco central nos estudos contemporâneos, dada a crescente urgência de enfrentar os desafios

ambientais globais. Nesse contexto, a teoria dos traços de personalidade emerge como um arcabouço conceitual relevante para explorar as variações individuais na percepção e resposta a esses riscos (Petal, 2008).

De acordo com Passos e Laros (2015), a teoria dos traços de personalidade postula que os indivíduos exibem características estáveis e distintas que influenciam consistentemente seus pensamentos, sentimentos e comportamentos em diversas situações. Dentro deste quadro teórico, destacam-se cinco traços de personalidade amplamente estudados: extroversão, neuroticismo, amabilidade, escrupulosidade e abertura à experiência (John, Naumann e Soto, 2008).

Em relação à percepção de riscos ambientais, estudos sugerem que indivíduos com altos níveis de neuroticismo tendem a perceber esses riscos de forma mais intensa e preocupante (Mundim-masini, 2017). O neuroticismo está associado a uma propensão maior para a ansiedade e preocupação, o que pode aumentar a sensibilidade às ameaças ambientais (Petal, 2008). Por outro lado, Petal (2008) também afirma que a extroversão pode influenciar uma menor percepção de riscos ambientais, uma vez que indivíduos extrovertidos tendem a buscar sensações e experiências positivas, minimizando preocupações com potenciais ameaças. Além disso, a relação entre traços de personalidade e percepção das mudanças climáticas também é relevante. Indivíduos com alta pontuação em abertura à experiência podem estar mais inclinados a reconhecer e aceitar a realidade das mudanças climáticas, dada sua disposição para a reflexão e apreciação de ideias novas e complexas (Petal 2008; Mundim-masini, 2017).

A teoria dos traços de personalidade oferece uma estrutura útil para compreender as diferenças individuais na percepção de riscos ambientais. Ao considerar os traços de personalidade como variáveis influentes, os pesquisadores podem avançar na compreensão das atitudes e comportamentos relacionados à proteção ambiental e mitigação das mudanças climáticas, fornecendo insights valiosos para intervenções e políticas eficazes.

#### **Metodologia**

Para obter a percepção sobre riscos ambientais a partir da visão da população do litoral paranaense, foi utilizado um questionário pré-estabelecido por Iwama (2014), contendo questões fechadas respondidas em escala intervalar do tipo Likert de 5 pontos (5: concordo totalmente; 4: concordo parcialmente; 3: nem concordo, nem discordo; 2: discordo parcialmente; 1: discordo totalmente).

Para a composição da escala de Traços de Personalidade foi utilizado o modelo dos Cinco Grandes Fatores (Passos e Laros, 2015). Sendo ele estruturado com os fatores de Neuroticismo, Extroversão, Abertura para experiências,

Conscienciosidade e Amabilidade. Porém, com o objetivo de agregar somente um adjetivo, não utilizando assim propriamente dito, o modelo do diferencial semântico. Por conter apenas um adjetivo para cada traço, foi adotado esta escala com 5 níveis de mensuração e cada nível associando a uma intensidade semântica como: concordo totalmente; concordo; nem concordo e nem discordo; discordo; e discordo totalmente. O estudo da personalidade, ao todo, foi construído a partir de perspectivas teóricas diversas (Barenbaum e Winter, 1999). Porém a perspectiva dos cinco grandes fatores, vem se destacando pela sua consensualidade (John, Naumann e Soto, 2008). Sendo muito utilizado, como base teórica para as construções dos instrumentos, apresentando também aprofundamentos nas discussões sobre os traços de personalidade e a sua interlocução com outras premissas (Bäckman e Carlstedt, 2010; Jenkins-Guarnieri, Wright e Johnson, 2013).

Após todo processo de construção e análise do questionário, foi realizado um teste de validação do instrumento. Antes da aplicação do questionário ao grupo amostral, foi efetuada uma validação semântica do mesmo com o propósito de evitar que uma mesma pergunta tenha mais de uma interpretação. Isto porque, caso os respondentes entendam de forma diferente o significado de determinada pergunta, a interpretação desta na análise factorial faz-se prejudicada (Cunha e Silva, 2009).

Após a concepção do questionário e a definição do grupo e número amostral, a pesquisa foi submetida ao processo de aceitação do Comitê de Ética, coordenado pela Plataforma Brasil (2022). Este processo é obrigatório para a linha de pesquisa envolvendo seres humanos. Nesta etapa foi elaborado e incluído o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, documento que elucida aos participantes da pesquisa todos os dados do estudo, como: dados dos pesquisadores, tema principal da pesquisa, riscos e benefícios à saúde, tendo sua aprovação no protocolo número: 63500922.0.0000.9247.

O questionário final foi constituído de questões fechadas, num total de quarenta e duas perguntas, com opções de múltipla escolha, sendo dividido em três módulos: I- Perfil Socioeconômico (11 questões) e, II- Percepção sobre as riscos ambientais (11 questões); e III- Traços de personalidade (20 questões). O questionário foi aplicado por meio do método de conveniência ou acessibilidade, que consiste em determinar uma amostra da população, baseado na acessibilidade para com esses indivíduos selecionados (Farias, Soares e César, 2008; Bruni, 2011; Loesch, 2012). Desta forma, os respondentes foram abordados por meio da internet, utilizando a plataforma Google Forms pelo período de 3 meses (novembro de 2022 e janeiro de 2023). A divulgação do questionário ocorreu por meio de e-mails, redes sociais, por aplicativo

multiplataforma de mensagem instantânea e via jornal impresso. Os dados coletados foram analisados no software Jamovi (2022), onde foram empregadas técnicas de estatística descritiva (valores de média e frequência de respostas), testes de confiabilidade (Alfa de Cronbach) das escalas de percepção de riscos e problemas ambientais e testes de correlação entre as variáveis.

Para calcular o tamanho da amostra, foi utilizada a ferramenta do Survey Monkey (2022), com grau de confiança de 95% e margem de erro de 5 pontos para a quantidade total de habitantes do Litoral do Paraná (302.544), segundo IBGE (2021). Para uma população de 302.544 habitantes, o tamanho da amostra do tipo não probabilística é de, no mínimo, 384 respondentes ao questionário aplicado. Ao final do período de coleta de dados, obteve-se um total de 408 questionários respondidos. Deste total, 13 questionários foram descartados por não terem sido completamente respondidos. Sendo assim, os dados foram analisados a partir das respostas contidas em 395 questionários válidos para o estudo.

## Apresentação dos resultados

### *Percepção dos riscos*

Quando se trata do local de moradia dos entrevistados, 76% eram residentes de Paranaguá, 14,18% de Pontal do Paraná, 10,38% de Matinhos e Guariqueçaba com o mesmo percentual, 8,61% de Morretes, 8,10% de Guaratuba e 7,69% de Antonina. Ao analisar o gênero dos participantes, mais da metade (62,03%) eram mulheres, 36,46% eram homens, 1,01% identificaram-se como não binário, 0,25% como transgênero e 0,25% não quiseram responder. Ao serem questionados sobre a idade, 40,51% das pessoas tinham entre 18 e 30 anos, já aqueles entre 31 à 40 anos eram 25,32% dos indivíduos. 23,54% das pessoas tinham entre 41 e 60 anos e 10,63% com idade superior a 60 anos.

Quando indagados sobre: “Você já ouviu falar de mudanças climáticas e ambientais?”, 92% dos entrevistados afirmaram que conheciam o assunto Mudanças Climáticas e apenas 8% pessoas o desconheciam.

A grande maioria dos entrevistados (73,67%) considera que as mudanças climáticas estão acontecendo ‘rapidamente’ e 11,65% consideram que estão ocorrendo em ritmo ‘devagar’. Apenas 5,06% pessoas consideram que as mudanças climáticas não estão acontecendo e 9,62% não souberam responder.

Para 43,04% dos entrevistados as atividades humanas são a causa das mudanças climáticas, enquanto 33,67% consideram que são causas naturais e atividades humanas conjuntamente, e 6,84% consideram que as mudanças climáticas acontecem por causas naturais.

Aproximadamente 8,61% disseram ser indiferentes às causas dessas mudanças, ou seja, não acham que as atividades humanas causam mudanças climáticas e 7,85% não souberam responder.

Quando os entrevistados são questionados sobre o que os impediria de mudar de lugar de moradia para outro mais seguro diante da percepção de algum risco ambiental, 49,37% das pessoas atribuíram como muito importante não ter dinheiro para comprar outro imóvel, enquanto 37,47% responderam como pouco importante para sua estratégia de adaptação. Já o aluguel mais alto em outros locais impediria 45,06% dos entrevistados a se mudarem para um lugar mais seguro, enquanto para 39,75% das pessoas, esse fator não seria um impedimento de se mudar. Ao analisar as questões sobre adequação aos riscos, a tendência das respostas aponta para as pessoas permanecerem no lugar onde vivem, pois 42,03% dos entrevistados responderam que gostam de viver no local e 35,44% afirmaram que deixariam nas mãos de Deus.

Os entrevistados, quando perguntados sobre a quem pediram ajuda em caso de perigo, apontaram a defesa civil com a maioria das respostas (58,73%), a família com 54,43% das respostas e a prefeitura com 51,90% das respostas indicando como muito importante. Já as Igrejas e Associações e vizinhos apareceram como menos importantes com 49,62% e 34,43% respostas respectivamente.

Em relação ao tomar conhecimento sobre os riscos climáticos, claramente a internet com 72,41% das respostas e a televisão com 64,81% das respostas são os meios de comunicação mais utilizados pelos entrevistados para receber informações sobre os riscos relacionados às mudanças climáticas. O rádio, as audiências públicas e o jornal aparecem com pouca diferença entre a preferência dos respondentes com: 28,61, 26,33%, 25,82% das respostas respectivamente.

As instituições citadas pelos entrevistados, em ordem decrescente, como muito importante para se responsabilizar pela redução de perigos/riscos foram: a prefeitura com 72,91% das respostas, seguidas do governo estadual com 72,66% das respostas e toda a população mundial com 66,84% das respostas. As ONGs e universidades têm pouca importância como responsáveis para evitar os riscos, com 46,58% e 38,99% das respostas, respectivamente.

#### *Estatísticas descritivas*

A seguir, são apresentadas as estatísticas descritivas para as variáveis que compõem as relações estudadas na presente pesquisa (veja QUADRO I anexado ao final do texto). Todas as variáveis foram respondidas pelos 395 participantes da pesquisa, assim como os respectivos números mínimo (1) e máximo (5); que por sua vez representam as extremidades das escalas de resposta,

foram indicados em todos os itens. Todas as médias oscilaram entre 3,12, valor mínimo observado no indicador “7) Percepção de risco de deslizamento;” e 3,92, que por sua vez representa o valor máximo observado cujo indicador correspondente é “12) Gentil” que compõe a escala de traços de personalidade. Em relação ao desvio-padrão, a oscilação está entre 0,924, valor mínimo observado no indicador “12) Alegre” que compõem a escala de traços de personalidade; e 1,600, que representa o valor máximo observado cujo indicador correspondente é “7) Percepção de risco de erosão”. Tendo em vista que as escalas utilizadas no presente estudo foram traduzidas e/ou adaptadas, procedeu-se a análise fatorial exploratória (AFE) para verificar se as estruturas fatoriais resultantes são as mesmas dos estudos originais onde tais escalas foram empregadas. A matriz de fatores foi extraída pelo método de Máxima Verossimilhança e rotacionada pelo método Varimax. Dois indicadores do construto traços de personalidade, sendo 1 deles pertencente à dimensão neuroticismo (estável) e outro pertencente à dimensão abertura (rígido), apresentaram baixas cargas fatoriais e foram removidos. Após a remoção destes indicadores, a matriz de fatores foi novamente calculada, mantendo-se os mesmos parâmetros de extração e rotação, o que resultou em cargas fatoriais de cada item do instrumento de mensuração superiores a 0,5.

Conforme o QUADRO II, em relação à medida da variância, observa-se que a dimensão amabilidade da escala de traços de personalidade (valor próprio 3,82 +0,10) possui o maior resultado entre as dimensões, com 14,57%. Já a menor variância foi observada na dimensão neuroticismo, também da escala de traços de personalidade (valor próprio 8,27 +0,12), com 8,27%. Considerando as 6 dimensões, a variância total acumulada é de 65,36%. Em geral, conforme se observa no QUADRO II, os intervalos de confiança calculados são estreitos (+-0,10, nas escalas conscienciosidade e amabilidade; e +-0,16, na escala de percepção de riscos ambientais). Isso indica que os resultados são confiáveis e que as médias amostrais podem ser consideradas representativas das médias populacionais para as dimensões estudadas. No entanto, é importante lembrar que os intervalos de confiança refletem a variabilidade natural dos dados amostrais e que resultados diferentes podem ser obtidos com diferentes amostras, sobretudo em amostragens não probabilísticas. Por fim, procedeu-se a estimativa do coeficiente Alfa de Cronbach com auxílio do pacote estatístico Jamovi. Ainda conforme o QUADRO II, o menor valor estimado para tal coeficiente foi igual a 0,847 (na dimensão “abertura” da escala de traços de personalidade); e o maior valor foi igual a 0,909 (na dimensão “extroversão” da escala de traços de personalidade). Estes valores indicam uma boa consistência interna do instrumento de pesquisa, a qual

deve ser superior a 0,70 para garantir a continuidade das análises das relações entre os constructos estudados (Hair et al., 2019).

O QUADRO III apresenta as correlações parciais de Pearson encontradas entre as variáveis utilizadas no estudo. O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) é uma forma de medir o grau de associação linear entre duas variáveis quantitativas, atributo ou característica destas associações (QUADRO III). A mensuração pode ser em relação à direção (positiva ou negativa) e a intensidade (fraca, moderada ou forte). Cabe destacar que o objetivo do estudo se restringiu à análise das correlações existentes apenas entre os fatores das diferentes variáveis, ou seja, não há interesse

em analisar relações entre os fatores de uma mesma variável como, por exemplo, entre dois tipos de traços de personalidade ou entre duas percepções de risco.

Verifica-se que todas as 5 dimensões da escala de traços de personalidade apresentam correlações positivas e significativas com a percepção de riscos ambientais.

Em relação à percepção de riscos ambientais, todas as correlações são positivas e significativas com as dimensões da escala de traços de personalidade, mas a dimensão conscienciosidade é a única que apresentou nível moderado ( $r=0.315$ ;  $p<0,001$ ), sendo as demais correlações de nível fraco.

QUADRO II - Resultados da análise factorial.

TABLE II - Factor analysis results.

Itens	Carga fatorial	Escala/dimensão	Valor próprio (intervalo de confiança)	Desvio padrão	Alpha de Cronbach	Variância explicada
7) Risco-inundações	0.839					
7) Risco-deslizamentos	0.771					
7) Risco-ressacas do mar	0.898	Percepção de riscos ambientais	3.31 (+0.16)	1.41	0.904	11.56%
7) Risco-elevação nível do mar	0.879					
7) Riscos-erosões	0.857					
12) extrovertido	0.788					
12) comunicativo	0.858	Traço de personalidade / extroversão	3.72 (+0.11)	0.947	0.909	11.31%
12) alegre	0.777					
12) sociável	0.772					
12) motivado	0.777	Traço de personalidade / conscienciosidade				
12) persistente	0.860					
12) eficiente	0.817					
12) obstinado	0.738					
12) simpático	0.761					
12) gentil	0.850	Traço de personalidade / amabilidade	3.82 (+0.10)	0.900	0.902	14.57%
12) amigável	0.895					
12) amoroso	0.713					
12) nervoso	0.766					
12) impaciente	0.844	Traço de personalidade / neuroticismo	3.30 (+0.12)	1.05	0.867	8.27%
12) ansioso	0.640					
*12) estável	-----					
12) criativo	0.665					
12) dedicado	0.767	Traço de personalidade / abertura	3.74 (+0.10)	0.923	0.847	10.31%
12) autentico	0.730					
*12) rígido	-----					

Fonte dos dados: estudo 2023 / Data source: study 2023.

QUADRO III - Matriz de correlação de Pearson.

TABLE III - Pearson correlation matrix.

		7.1	12.1)	12.2)	12.3)	12.4)	12.5)
7.1 Riscos	R de Pearson	—					
	p-valor	—					
12.1) Extroversão	R de Pearson	0.236	—				
	p-valor	<.001	—				
12.2) Conscenciosidade	R de Pearson	0.315	0.737	—			
	p-valor	<.001	<.001	—			
12.3) Amabilidade	R de Pearson	0.251	0.764	0.744	—		
	p-valor	<.001	<.001	<.001	—		
12.4) Neuroticismo	R de Pearson	0.177	0.323	0.426	0.381	—	
	p-valor	<.001	<.001	<.001	<.001	—	
12.5) Abertura	R de Pearson	0.211	0.655	0.696	0.687	0.530	—
	p-valor	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	—

## Discussão

Giddens em 2010 já sugeria que as ações para evitar ou reduzir os efeitos das mudanças climáticas deveriam ser mais urgentes à medida que os impactos associados aos eventos climáticos extremos se tornassem mais visíveis e frequentes. Segundo o IPCC (2023) as opções de adaptação que são viáveis e eficazes hoje se tornarão restritas e menos eficazes diante das mudanças climáticas e dos riscos ambientais. Com isso as perdas e danos irão aumentar e sistemas humanos e naturais adicionais atingirão limites de adaptação. A má adaptação pode ser evitada por planejamento e implementação de ações flexíveis, multissetoriais, inclusivas e de longo prazo, com benefícios para muitos setores e sistemas (Brito e Almeida, 2023).

O Paraná vem sendo atingido por eventos decorrentes da mudança climática há muitos anos, segundo Okawati (2016), no ano de 1975 uma geada negra atingiu a região, fazendo a produção de café, que era umas das principais fontes de economia do estado na época, caísse para menos de 1% mudando drasticamente o perfil econômico do Paraná. Em 2011 o estado voltou a sofrer com os eventos climáticos, dessa vez, chuvas de grande intensidade e quais deflagraram processos de escorregamento, corridas de massa e inundação atingiram quatro dos setes municípios do Litoral Paranaense, no evento “Águas de Março”.

Com vistas ao cumprimento dos Marcos, nos municípios do Paraná, o Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED/PR), que é o órgão de assessoramento da Coordenadoria da Defesa Civil do Paraná (Lei Estadual 19.848/2019), promoveu o programa *Making Cities Resilient* (MCR) da United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), como forma de fortalecer a capacidade de gestão de riscos dos municípios. O Centro de Pesquisa estabeleceu uma rede de 23 instituições do setor público e privado em nível estadual, federal e internacional, denominado REDESASTRE (Decreto Estadual nº 12.445/2014), sendo a primeira rede temática oficialmente estabelecida no Brasil para promover a cooperação e intercâmbio científico e tecnológico para a promoção da resiliência e a redução do risco de desastres nos municípios do Paraná (Pinheiro et al., 2019).

Em novembro de 2022 a Agência Nacional de Notícias do estado do Paraná, divulgou que Antonina, Guaratuba, Paranaguá e Guaraqueçaba foram atingidas por um expressivo volume de chuva. No total, choveu 900 mm a mais do que a média histórica daquele mês, na soma de todas essas cidades. Com esses eventos foram registrados alagamentos, e muitos moradores ficaram desalojados, ocorrendo também, deslizamento de terra e encostas e queda de barreiras. Todos esses eventos podem estar relacionados a grande porcentagem de respostas positivas sobre o conhecimento das MC.

McCright, Marquart-Pyatt, Shwom, Brechin e Allen (2016), observaram que a maior escolaridade e alfabetização são indicativos “neutros” ou “mistos” de visões climáticas, uma vez que há alfabetizados que encontram nos argumentos ceticistas subsídios para a negação do risco climático. Porém, aquelas pessoas com menor escolaridade, mas que possuem modos de vida conectados à natureza, conseguem perceber alterações no ambiente e relacioná-las a informações que recebem eventualmente sobre MC, demonstrando compreensão mais abrangente do risco climático em suas vidas. Sendo assim, confirma-se o observado na literatura: mesmo que a percepção de que há consenso científico e a compreensão sobre as causas antropogênicas das MC estejam relacionadas a visões pró-clima, outros fatores psicossociais, também possuem influência nas visões mistas ou anticlima. Por outro lado, a confiança de que a ciência e a tecnologia são capazes de resolver o risco climático, pode indicar menor preocupação em relação ao assunto.

O Marco de Ação de Sendai (UNISDR, 2015), que é o principal documento de estratégias de ação de redução de risco de desastres (RRD), destaca a importância do conhecimento, da educação, da capacidade e da resiliência a desastres. Segundo Petal (2008), a educação para redução de riscos e desastres (ERRD) possibilita entender as ações e inações humanas que levam ao desastre, além disso, estimula as mudanças no comportamento individual e comunitário, motivando a defesa e o aumento das expectativas das políticas sociais de RRD. Mendonça e Freitas (2021), apresentaram uma metodologia de curso de EERRD que auxiliou na criação da visão de que a educação para redução de riscos e de desastres deve possibilitar espaço de discussão de como e por que os desastres podem ter impactos diferenciados. Foi observado também que a teoria destacada por Petal (2008), citada anteriormente, foi confirmada através dos conhecimentos obtidos através do curso pelos participantes.

A orientação sexual e a idade não são variáveis determinantes no conhecimento sobre o risco climático, segundo a literatura, porém ser mulher e ser jovem aparecem como indicativas de maior preocupação (McCright et al., 2016), além de serem fatores sociais significativos para moldar a vulnerabilidade, uma vez que afetam diversas dimensões do bem-estar humano, tais como saúde, segurança, segurança alimentar e possibilidades de deslocamento (Otto et al. 2017). Neste aspecto, também no Litoral do Paraná, mulheres e jovens entrevistados revelaram maior noção sobre a gravidade dos impactos da MC.

A pergunta: “quem será afetado pelas mudanças ambientais?” foi formulada buscando analisar a ‘escala’ ou a abrangência do efeito ou impactos das mudanças climáticas sobre os entrevistados. Esses resultados ajudam a pensar que existe uma noção global do perigo

ou da ameaça que as mudanças climáticas representam e, por outro lado, menor preocupação com o local, já que poucos se referem a sua própria região, família ou a si próprios. Na verdade, muitos incluíram a ‘região’ e ‘você e sua família’ no grupo de ‘todos’ afetados, podendo também indicar que a noção do perigo e risco está sobre o outro (que está longe ou fora), sob um viés otimista de que ‘não serei afetado pelo risco’.

Segundo Iwana (2014) em campanhas de campo no litoral de São Paulo foi frequente ouvir dos entrevistados que, se tivessem condições financeiras, já teriam se mudado de sua atual residência, por outro lado, há aqueles que optam por permanecer no local pelo vínculo afetivo ao lugar, ou porque não consideram um risco tão grave, aceitando assim, viver no local e dispostas a enfrentar o perigo quando alguém de fora vem avisá-las. Nesse estudo, foi possível observar também, que o perfil socioeconômico e a religião da população em áreas de riscos influenciam a percepção de riscos às mudanças climáticas e ambientais e o tempo de residência no lugar e a proximidade aos familiares contribuem para uma maior capacidade das pessoas para se adaptarem a uma situação ou iminência de um perigo/desastre.

Pode-se verificar que, embora as questões climáticas ainda estejam presentes na grande mídia, as mídias interativas tendem a sobrepujar a mídia tradicional, se tornando a arena principal também para este tipo de debate (Pearce, Brown, Nerlich e Koteyko, 2015). Schneider (2020) realizou uma pesquisa empírica no Litoral do Paraná e verificou que são os canais de TV aberta (80%) e as redes sociais (47%) que são os meios mais utilizados para saber sobre MC, comprovando que no Paraná mesmo que a TV aberta continue sendo a fonte principal de informações e notícias, é possível observar a tendência de avanço das mídias sociais e dos aplicativos de troca de mensagens, conforme verificado por pesquisa recente realizada no Brasil pela Câmara dos Deputados e pelo Senado, em dezembro de 2019, na qual 79% dos brasileiros afirma que notícias recebidas em grupos do aplicativo WhatsApp são sua principal fonte de informação, seguida de redes sociais e em detrimento de mídias tradicionais, como TV e rádio.

Através desses resultados pode-se considerar que existe um envolvimento da população quando ela está exposta ao risco, isso pode ser demonstrado por meio das respostas onde os entrevistados responsabilizam-se para evitar ou reduzir os problemas causados pelas MC. Por outro lado, à atribuição de pouca importância para as universidades como responsáveis por contribuir na redução desses riscos, os resultados sugerem que, pelo menos para a maioria da população, as pesquisas acadêmicas não fazem um diálogo participativo e mais próximo de seus sítios de estudos, não aparecendo como destaque nas respostas dos entrevistados. Di-

Giulio, Figueiredo, Ferreira, Macnagthen, Mañay e Anjos (2013), em um estudo sobre governança do risco na região do litoral norte paulista, com base em métodos participativos (grupos focais e workshop interativo), apontam para dificuldades de diálogo principalmente entre pesquisadores e técnicos, além da ausência de informação sobre os resultados de pesquisas para a comunidade em geral.

Schneider (2020) em sua pesquisa sobre percepção de vulnerabilidade no Litoral do Paraná, observou que os moradores do Litoral demonstram preocupação em relação à sua exposição aos riscos biofísicos da MC, embora tenha ficado evidente nas entrevistas que alguns atores consultados têm outras preocupações socioambientais mais imediatas e visíveis, conforme citado espontaneamente pelos entrevistados. Os dados encontrados corroboram com a tendência encontrada em outras pesquisas relativa a uma certa homogeneidade entre os brasileiros sobre os aspectos da vida percebidos como mais vulneráveis ao clima, notadamente saúde e escassez de água e alimentos. Esta sensação constante e generalizada de insegurança em áreas fundamentais da vida seria o sentimento comum da sociedade de risco, que pode gerar adesão a crenças e comportamentos nocivos, negação da realidade, impotência, conformismo e paralisação diante de situações que excedem a capacidade da pessoa ou da comunidade para lidar com os problemas.

As teorias modernas da Psicologia Cognitiva e da Neurociência, demonstram que há duas substâncias maneiras em que os seres humanos assimilam os riscos. Uma delas é o sistema analítico, com a utilização de algoritmos, cálculos de probabilidade, lógica formal e a avaliação de risco, que costuma ser tardia e exige o controle do consciente. O outro é o sistema experencial, que é intuitivo, ágil, automático, e não exige muita acessibilidade à consciência. Esse sistema, por exemplo, na teoria, permitiu que os seres humanos sobrevivessem durante o período da evolução. Porém, ainda atualmente, se mostra como uma resposta ao risco, mais natural e comum, já que se assegura em imagens e associações relacionadas com as vivências, emoções e afetos. Com isso, o risco se apresenta como um sentimento que indica se é seguro determinadas situações, como andar em ambientes escuros ou consumir alimentos com cheiros diferentes aos habituais (Slovic, Finucane, Peters e Macgregor, 2004). Entretanto, a percepção passa pela consciência em um sistema analítico de compreensão dos riscos, já que somente com a percepção se torna possível a realização de uma avaliação por parâmetros lógicos formais. Há também a tomada de decisão, em assentir ou não com um determinado comportamento potencial, pois se não houver essa percepção de risco, o comportamento pode não ser analisado como arriscado, e como consequência,

nenhuma necessidade de avaliar os riscos. Com isso, o raciocínio lógico só se torna realizável quando há informações referentes ao risco como intensidades, potência, e amplitudes, e só é possível ter essas informações, percebendo o risco. Depois, a escolha de se adotar ou não um comportamento é feito, reforçando que a relação entre percepção e comportamento de risco é fundamental para que a análise racional do risco aconteça. Um exemplo dessas sucessões, pode se aplicar em uma oportunidade de traição, com uma pessoa que é casada, e pode identificar o risco atrelado a este ato, usando a lógica, raciocínio e decidir pelos vieses, se deve escolher esse comportamento (Mundim-Masini, 2017).

O traço de personalidade traduz uma diversa predisposição do indivíduo em responder, de uma maneira estipulada. Em cada um dos cinco traços, pessoas que apresentavam certas predominâncias, possuíam inclinações específicas, para maior ou menor probabilidade de algum comportamento de risco. Essa propensão para comportamento de risco mediada pela personalidade, pode ocasionar declínios nas estimativas lógicas e conscientes, afirmando por meio delas, o argumento de que ocorre uma análise efetiva do risco. Resumidamente, a personalidade pode auxiliar e influenciar a resposta diante do risco (Mundim-Masini, 2017).

Verificou-se neste estudo que em todas as cinco dimensões da escala de traços de personalidade, houve correlações positivas e significativas com a percepção de riscos ambientais. Especificamente, a dimensão conscienciosidade é a única que apresentou nível moderado, e as outras dimensões da escala de traços de personalidade, resultaram em correlações fracas. Com isso, podemos dizer, de maneira singela, que a dimensão conscienciosidade se destacou entre as demais dimensões da escala de personalidade. Provavelmente por conta de que pessoas com esse traço, tendem a possuir maior percepção dos riscos e utilizaram do sistema analítico para a compreensão dos mesmos, os assimilando em respostas e os expressando nas alternativas. Já o neuroticismo é a única dentre as dimensões dos traços de personalidade, onde tanto a percepção de problemas ambientais, quanto a percepção de riscos ambientais resultaram em uma correlação fraca, podendo assim se supor, que pessoas com esse traço de personalidade, costumam se basear mais em experiências e vivências, e possuem a tendência a não reconhecer de imediato, os riscos nas quais podem estar expostos, utilizando-se de um sistema experencial para tomada de decisão.

Segundo Almeida (2021), a avaliação do risco pode diferenciar-se da mitigação do risco e da gestão de crises pela utilização de metodologias e de conhecimentos multidisciplinares que se pretendem aplicar de um modo relativamente neutro. A gestão do risco (em sentido restrito) e das crises têm um cariz mais

operacional envolvendo atividades e técnicas específicas sujeitas a decisões que têm em conta diversos condicionamentos, recursos e valores sociais e políticos. Há duas razões para se pretender considerar a avaliação do risco como uma ciência: a primeira é a necessidade de ter mais credibilidade perante a opinião pública e os decisores políticos; a segunda é uma compreensível procura de reconhecimento através de um estudo acadêmico diferente.

### Conclusão

As correlações apresentadas neste trabalho destacam a relação entre a percepção de riscos ambientais e certos traços de personalidade. Por exemplo, a correlação de nível moderado e positiva com os traços de conscienciosidade e amabilidade sugere que pessoas mais cuidadosas e empáticas tendem a perceber os riscos ambientais de forma mais proeminente. Além disso, embora as correlações com os traços de extroversão, neuroticismo e abertura sejam um pouco mais fracas, elas ainda indicam uma ligação significativa entre esses traços de personalidade e a percepção de riscos ambientais. Isso pode ser explicado pelo fato de que pessoas extrovertidas podem ser mais sensíveis às mudanças ambientais que afetam interações sociais, enquanto pessoas com traços de neuroticismo podem ser mais propensas a se preocupar com ameaças ambientais. Por outro lado, pessoas mais abertas tendem a buscar experiências novas e podem estar mais conscientes dos desafios ambientais emergentes. No entanto, é importante ressaltar que as correlações não estabelecem uma relação causal direta e outros fatores, como experiências de vida, educação e contexto cultural, também podem influenciar a percepção de riscos ambientais e os traços de personalidade.

Ao analisar a percepção da comunidade do Litoral paranaense sobre riscos ambientais, pode-se observar que há conhecimento sobre o assunto, possivelmente pelos vários eventos climáticos que a população vem vivenciando a cada ano. Vale ressaltar a necessidade de se utilização dos espaços de diálogo para a articulação entre a pesquisa técnico-científica e os governos e tomadores de decisão. Essa articulação deve se direcionar para uma participação mais ativa dos governos na avaliação dos problemas relacionados aos desastres naturais e, por outro lado, para uma interface na qual pesquisas científicas possam de fato contribuir para os gestores em suas tomadas de decisão. Além disso, incentivar a população a praticar a precaução diante de fatores de risco, divulgar suas ideias e abrir caminhos são de extrema importância para o tema chegar para ainda mais pessoas. Aproveitar a nova realidade comunicacional, como foi verificado nas redes sociais um dos caminhos mais utilizados para saber informações

sobre situações de riscos ambientais, então estudos futuros são necessários para analisar a dinâmica de comunicação sobre os eventos climáticos entre grupos sociais que utilizam os aplicativos e redes sociais para se informar.

Para que tais ações se viabilizem realmente e tenham resultados eficazes materializados na sociedade, são imperativos o foco e a concentração de esforços para uma maior aproximação e envolvimento do meio acadêmico e instituições de pesquisa com a realidade local das cidades em relação, precipuamente, às vulnerabilidades e exposição aos riscos de desastres, como contribuição para a RRD. A responsabilidade em produzir conhecimento científico aplicado e extensivo às necessidades e à realidade da sociedade nem sempre, ou eventualmente, é assumida pela comunidade científica, a despeito da previsibilidade legal e da reconhecida importância.

Diante dos avanços no conhecimento obtidos, é possível vislumbrar possibilidades para futuros estudos que articulem riscos regionais, percepções sobre o risco, comunicação sobre ciência e respostas do público às mensagens sobre mudanças climáticas. Entrevistas com servidores municipais para verificar o conhecimento daqueles que trabalham com o assunto, analisar projetos relacionados ao planejamento sustentável e à adaptação às MC da região para poder gerar políticas públicas eficientes e duráveis. Realizar conversas e entrevistas específicas com agricultores, povos indígenas e pequenos produtores para entender as dificuldades de enfrentamento dos riscos ambientais, são os próximos passos a serem realizados nesse estudo. Por fim, sugere-se, ainda, que novos estudos contemplam amostras estratificadas e proporcionais entre os grupos de traços de personalidade, visando a execução de testes de comparação de médias para percepção de risco entre grupos de mulheres e homens e de distintas faixas etárias, como jovens, adultos e idosos, uma vez que tais grupos podem apresentar percepções distintas.

## Referências bibliográficas

- Almeida, A. (2021). A ciência da avaliação do risco: evidenciação de limites epistemológicos inevitáveis. *Revista Territorium - Revista Internacional de Riscos*, 28(II): A Ciência e a Redução do Risco. Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, ISSN: 0872-8941, Coimbra, 135-144.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-2\\_10](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_10)
- Alvarez, C., Stape, J., Sentelhas, P., Gonçalves, J., & Sparovek, G. (2013). Köppen's Climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.  
DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Bäckman, C., & Carlstedt, B. (2010). A construct validation of a professional focused personality questionnaire (PQ) versus the FFPI and the SIMP. *European journal of Psychological Assessment*, 26(2), 136-142.  
DOI: <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000019>
- Barenbaum, N., & Winter, D. (2010). History of modern personality theory and research. *Handbook of personality: Theory and research*, 2, 3-27.
- Beer, T., & Ismail-Zadeh, A. (2003). *Risk science and sustainability: science for reduction of risk and sustainable development of society*. Kluwer Academic, Netherlands: NATO Science Series.
- Bigarelha, J. J. (1978). *Serra do mar e a porção oriental do estado do Paraná. Um problema de segurança ambiental nacional*. ADEA, Governo do Paraná, Secretaria do Estado do Planejamento, Curitiba, 248 p.
- Bolin, R. Natural disasters. In Gist, R., & Lubin, B. (Eds.). (1989). *Psychological aspects of disaster*, 61-85.
- Brito, A.G.M., & Almeida, (2023). L.Q.Socio-environmental Vulnerability to Drought in the Seridó Potiguar, Brazil: Building Indicators. *Sociedade e Natureza*, v.35, 1-17.  
DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67826x>
- Bruni, A. (2011). *Estatística aplicada à gestão empresarial* (3a ed.). São Paulo, SP: Atlas.
- Casagrande, A. (2017). *Urbanização e Gestão do Risco de Erosão de Solos no Estado do Paraná*. 1. ed. Saarbrücken, Germany: OmniScriptum AraPers GmbH (Novas Edições Acadêmicas), 160 p.
- CENTRO ESTADUAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES - CEGERD (2022). O Centro de Gerenciamento de Riscos e Desastres atendeu 581 ocorrências em 2022 [Portal de Notícias]. Recuperado de <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Centro-de-Gerenciamento-de-Riscos-e-Desastres-atendeu-581-ocorrencias-em-2022>
- Coêlho, A. (2007). Percepção de risco no contexto da seca: um estudo exploratório. *Psicología para América Latina*, (10). Recuperado de: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-350X2007000200012](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-350X2007000200012)
- Confalonieri, U. (2015). Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no brasil. *Terra livre*, 1(20), 193-204. Recuperado de: <https://publicacoes.agb.org.br/index.php/terralivre/article/view/185>
- Cunha, A., & Silva, D. (2009). Construção e validação de um questionário de atitudes frente às relações cts. *Vienpec*, p. 9.
- Dake, K. (1992). Myths of nature: culture and social construction of risk. *Journal of social issues*, 48(4), 21-37.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1992.tb01943.x>

- Dauphiné, A. (2001). Risques et catastrophes. *Armand Colin*, 46(127), 106-107.  
DOI: <https://doi.org/10.7202/023025ar>
- Di Giulio, G., Figueiredo, B., Ferreira, L., Macnaghten, P., Mañay, N., & Anjos, J. (2013). Participative risk communication as an important tool in medical geology studies. *Journal of geochemical exploration*, 131, 37-44.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.06.005>
- Dubois-Maury, J., & Chaline, C. (2002) Les risques urbains. *Armand Colin*, 48(133), 92-93.  
DOI: <https://doi.org/10.7202/009765ar>
- Escada, A. B., Andrade, D. C. (2023). (Des)Caminhos do setor elétrico no Brasil e a mudança global do clima. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, v. 36, 43-61.
- Esteves, C. (2015). Vulnerabilidade socioambiental na área de ocupação contínua do litoral do Paraná. *Ra'ega*, 34, 214-245.
- Farias, A., Soares, J., & César, C. (2008) *Introdução à estatística*. (2a ed). Rio de Janeiro, Brasil: ltc.
- Farias, A., & Mendonça, F. (2022). Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. *Sociedade & Natureza*, 34(1), 1-18.  
DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63717>
- Fiocruz., Fundo Clima., & MMA. (2017). *Manual do sistema de vulnerabilidade climática (sisvuclima)*. Brasil: MMA.
- Fiocruz., Fundo Clima., & MMA. (2017). *Resultados dos índices de vulnerabilidade dos municípios costeiros gerados pela plataforma sisvuclima para o estado do paraná*. Brasil: Fiocruz.
- Giddens, A. (2010). *A política da mudança climática*. Rio de Janeiro, Brasil: Zahar.
- Gillroy, J (2002) Justice & nature: Kantian philosophy, environmental policy, & the law. Georgetown University press, Washington, 443 p.
- Goudard, G., & Mendonça, F. (2022). Riscos hidrometeorológicos híbridos na bacia do alto Hannigan, J. (2006). *Environmental Sociology*. Routledge, 21(4), 503-505.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Análise de Dados Multivariados. Bookman Editora
- Hannigan, J., & Kueneman, R. (1978). Anticipating flood emergencies: A case study of a Canadian disaster subculture. In Quarantelli E. (Eds.). *Disasters: Theory and research*. London, Reino Unido: Sage.
- Holifield, R. (2007). *Spaces of risk, spaces of difference: Environmental justice and science in indian country*.
- University of Minnesota, United States of America. Iguaçu-Paraná. *Confins: Revista Franco-Brasileira de Geografia*, (54).  
DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.44833>
- INTER-AGENCY STANDING COMMITTEE - IASC (2008) *Human Rights and Natural Disasters: operational guidelines and field manual on human rights protection in situations of natural disasters*. Massachusetts Avenue: Brookings-Bern Project on Internal Displacement.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2021) *Censos de estimativas de população enviadas ao TCU: tabelas de estimativas para 1º de julho de 2021*. Brasil: IBGE.
- Iwama, A. (2014). *Riscos e vulnerabilidades às Mudanças climáticas e Ambientais: Análise multiescalar na zona costeira de São Paulo-Brasil* (Tese de Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Jain, S., & Singh, V. (2003). *Water resources systems planning and management*. Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Jenkins-Guarnieri, M., Wright, S., & Johnson, B. (2013). The interrelationships among attachment style, personality traits, interpersonal competency, and Facebook use. *Psychology of popular media culture*, 2(2), 117-131.  
DOI: <https://doi.org/10.1037/a0030946>
- John, O., Naumann, L., & Soto, C. (2008) Paradigm shift to the integrative big-five trait taxonomy: history, measurement, and conceptual issues. In Jonh, O., Robins R., & Pervin, L (Eds.). *Handbook of personality: Theory and research* (3a ed.). New York, NY: Guilford press.
- Loesch, C. (2012). *Probabilidade e Estatística*. Rio de janeiro, Brasil: ltc.
- Mccright, A., Marquart-Pyatt, S., Shwom, R., Brechin, S., & Allen, S. (2016). Ideology, Capitalism, and Climate: explaining public views about climate change in the United states. *Energy research & social science*, 21, 180-189.
- Mendonça, F. (2004). Riscos, Vulnerabilidade e Abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 10(10), 139-148.
- Mendonça, F. (2004). Sistema ambiental Urbano (S.A.U): Uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In Mendonça, F. (Eds.). (2004). *Impactos socioambientais urbanos*. Curitiba: Editora UFPR.
- Mendonça, F. (2010). *Sistema ambiental urbano (S.A.U): Uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade* (209-218). Curitiba: Editora UFPR.

- Mendonça, F. (2011). Riscos, Vulnerabilidades e resiliencia socioambientais urbanas: Inovações na análise geográfica. Universidade Federal do Paraná, 7(1), 111-118.  
DOI: <https://doi.org/10.5418/RA2011.0701.0010>
- Mendonça, F. (2014). *Riscos Climáticos, Vulnerabilidades e Resiliencia Associados*. Brasil: Paco Editorial.
- Mendonça, M., & Freitas, A. (2021). Uma experiência de concepção de jogos pedagógicos para redução de riscos de desastres. *Vértices*, 23(1), 299-314.  
DOI: <https://doi.org/10.19180/1809-2667>
- Mileti, D., Drabek, T., & Haas, E. (1975). *Human systems in extreme environments*. Boulder, Estados Unidos: University of Colorado.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (2012). *Anuário brasileiro de desastres naturais*. Brasília: Centro nacional de gerenciamento de riscos e desastres (Cenad).
- Moore, H. (1964). *And the wind blew*. Austin, TX: Hogg Foundation for Mental Health.
- Mundim-masini, A. (2017). *Personalidade e Risco*. Clube de Autores (managed), 132 p.
- Norris, F., & Murrell, S. (1988). Prior experience as a moderator of disaster impact on Anxiety symptoms in older adults. *American Journal of Community Psychology*, 16(5), 665-683.
- Okawati, C. (2016). "Geadá Negra" de 1975 e o fim da monocultura do café no Norte do Paraná na memória coletiva dos londrinenses. *Governo do Estado, Secretaria da Educação*, 1, 5-23.
- Otto, I., Reckien, D., Reyer, C., Marcus, R., Masson, V., Jones, L. ... Serdeczny O. (2017). Social vulnerability to climate change: A review of concepts and evidence. *Regional Environmental Change*, 17, 1651-1662.
- Page, T. (1978) A generic view of toxic chemicals and similar risks. *Ecology law quarterly*, 7(2), 207-244.
- Passos, M., & Laros, J. (2015) Construção de uma escala reduzida de cinco grandes fatores de personalidade. *Avaliação psicológica*, 14 (1), 115-123.
- Paz, O. L. de S. da, Silva , E. do N., & Paula, E. V. de. (2024). Evolução da paisagem e adaptação do território: o caso da planície do rio jacareí após o evento extremo "água de março" de 2011. *Revista Eletrônica Da Associação Dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas* , 1(38), 11-43.  
DOI: <https://doi.org/10.55028/agb-tl.v1i38.18576>
- Pearce, W., Brown, B., Nerlich, B., & Koteyko, N. (2015). Communicating climate change: conduits, content, and consensus. *Wiley interdisciplinary reviews-climate change*, 6(6), 613-626.
- Petal, M. (2008). Education in disaster risk reduction Education. In Shaw, R., & Krishnamurthy, R. *Disaster Management: Global Challenges and Local Solutions* (Eds.). Hyderabad, India: University Press. Robins, R., Pervin, L. (Eds). *Handbook of personality: theory and research* (3a ed). New York, NY: Guilford press.
- Pelling, M. (2003) *The vulnerability of cities: Natural disaster and social resilience*. Reino Unido: Earthscan.
- Picou, S., & Gill, D. (2000). The Exxon Valdez disaster as a localized environmental catastrophe: dissimilarities to risk society theory. In: Cohen, M. (2000). *Risk in the modern age: Social theory, Science and Environmental decision Making*. New York, NY: Martin 's press.
- Pinheiro, E. G., & Pedroso, F. F. F. (2016). Construindo um Estado Resiliente: o modelo paranaense para a gestão do risco de desastres. Brasil: Editora Funespar.
- Pinheiro, E. G., Cova, G; Frates Simiano, L., Noli da Fonseca, M., & Stringari. D. (2019). Redesastre: A Contribution from Paraná to the Management of Disaster Risk in Brazil. *GAR19 Contributing Paper, UNISDR*.
- PLATAFORMA BRASIL (2022). *Portal Do Governo Brasileiro*. Governo Federal: Ministério da Saúde.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE - PNUMA (2007). *Environment and disaster risk: emerging*.
- Przybylski, C. B. & Monteiro-Filho, E. L. A. (2001). *Interação entre pescadores e mamíferos marinhos no litoral do Estado do Paraná- Brasil*. Biotemas 14(2), 141-156.
- Santos. P. (2023). *Legislação e Mudanças Climáticas*. Instituto ClimaInfo com o Instrumento de Parceria da União Europeia com o Ministério Federal Alemão para o Meio Ambiente. Recuperado de: [https://www.climainfo.org.br/wp-content/uploads/2022/07/Apostila\\_Legislacao-e-Mudancas-Climaticas.pdf](https://www.climainfo.org.br/wp-content/uploads/2022/07/Apostila_Legislacao-e-Mudancas-Climaticas.pdf)
- Software Jamovi (2022). Jamovi Stats Open Now, exe and version: 2.4.2 [Blog]. Recuperado de <https://www.jamovi.org/download.html>
- Survey Monkey (2022). Calculadora de tamanho de amostra [Blog]. Recuperado de <https://pt.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>
- Schneider, A. (2020). *Visões sobre o risco climático no litoral do Paraná (Tese do Doutorado)*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- Slovic, P., Finucane, M., Peters, E., & MacGregor. D. (2004). Risk as Analysis and risk as feelings: Some thoughts about Affect, Reason, Risk, and Rationality. *Risk analysis*, 24(2), 311-322.
- Tuccil, C. (2008). Águas urbanas: Estudos Avançados. Instituto de Estudos Avançados. *Universidade de São Paulo*, 22(63), 97-112.

Tuccil, C. (2012) *Gestão da drenagem urbana*. Distrito Federal: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION - UNISDR (2015). *Marco de Sendai para a redução do risco de desastres*. Japão: UNDRR.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION - UNISDR (2015). *Global assessment report on disaster risk reduction: making development sustainable, the future of disaster risk management*. Suíça: Analysis.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA E CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (2013). *Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012, volume amazonas* (Rev. 2. ed ampl.). Florianópolis: CEPED/UFSC.

Veyret, Y. (2007) *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo, Brasil: Contexto.

## ANEXO

QUADRO I - Estatísticas descritivas

TABLE I - Descriptive statistics

Itens	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
7) Risco-inundações	3.52	4	1.498	1	5
7) Risco-deslizamentos	3.12	3	1.595	1	5
7) Risco-ressacas do mar	3.34	3	1.542	1	5
7) Risco-elevação nível do mar	3.42	4	1.551	1	5
7) Riscos-erosões	3.13	3	1.600	1	5
12) extrovertido	3.57	4	1.197	1	5
12) comunicativo	3.71	4	1.098	1	5
12) alegre	3.82	4	0.924	1	5
12) sociável	3.75	4	1.039	1	5
12) motivado	3.83	4	1.011	1	5
12) persistente	3.86	4	0.986	1	5
12) eficiente	3.87	4	0.928	1	5
12) obstinado	3.69	4	0.986	1	5
12) simpático	3.72	4	1.119	1	5
12) gentil	3.92	4	0.962	1	5
12) amigável	3.89	4	0.947	1	5
12) amoroso	3.74	4	1.014	1	5
12) nervoso	3.23	3	1.210	1	5
12) impaciente	3.21	3	1.128	1	5
12) ansioso	3.46	4	1.211	1	5
12) estável	3.53	4	1.040	1	5

Fonte dos dados: estudo 2023 / Data source: study 2023.





**DA NORA DE ALCATRUZES NO CAMPO, PARA UM HIDRANTE DE RECURSO NA CIDADE\***

289

**FROM THE SAQIYA IN THE COUNTRYSIDE, TO A RESOURCE HYDRANT IN THE CITY**

Susana Serrão

Universidade de Lisboa, CIAUD - Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design (Portugal)  
Faculdade de Arquitetura

 0009-0001-8157-6508 [susanajulia@edu.ulisboa.pt](mailto:susanajulia@edu.ulisboa.pt)

Paulo Almeida

Universidade de Lisboa, CIAUD - Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design (Portugal)  
Faculdade de Arquitetura

 0000-0001-5649-0246 [pmalmeida@fa.ulisboa.pt](mailto:pmalmeida@fa.ulisboa.pt)

### RESUMO

A Nora de Alcatruzes, elevadora de água em poços de captação movida por animais, encontra-se em desuso. Por outro lado, em bairros históricos citadinos, nomeadamente Alfama, águas de nascentes foram outrora aproveitadas em Chafarizes e Alcaçarias. Somente no final do século XX surgiram Companhias de Águas Estatais com objetivo de gerir a água, e, no início do século XXI, pelas preocupações com consequências da atividade humana no Planeta, as Nações Unidas geraram o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, que em Portugal se traduziu no Plano Nacional Energia e Clima 2030. Os recursos hídricos encontram-se em estado preocupante, debatido em conferências da Organização das Nações Unidas, em 2023 e 2024. Todos os esforços controlados para os preservar e aproveitar, equivalem a valias para a Humanidade. Em bairros como Alfama, a interligação entre a tecnologia e a sabedoria ancestral no acesso à água subterrânea, poderia ser alternativa de recurso hídrico, principalmente no combate a incêndios, minimizando assim, riscos consequentes de insuficiência da rede pública, no momento de uma ocorrência.

**Palavras-chave:** Nora de Alcatruzes, bairros históricos, água, incêndio.

### ABSTRACT

The Saqiya, a water-raising device powered by animals, has fallen into disuse. But in the city's historic neighbourhoods, Alfama in particular, spring water was once used in fountains and leather factories. It was only at the end of the 20th century that State Water Companies emerged with the purpose of managing water and then, at the beginning of the 21st century, concerns about the consequences of human activity on the planet led the United Nations to create the Roadmap for Carbon Neutrality 2050. In Portugal this was translated into the National Energy and Climate Plan 2030. Water resources are in a worrying state, as discussed at United Nations conferences in 2023 and 2024. All controlled efforts to preserve and take advantage of them are valuable to humanity. In neighbourhoods like Alfama, the interconnection between technology and ancestral wisdom in accessing groundwater could be an alternative water resource, especially for firefighting. This would reduce the risks resulting from the inadequacy of the public network when an incident occurs.

**Keywords:** Saqiya, historic neighbourhoods, water, fire.

\* O texto desta nota foi submetido em 09-04-2024, sujeito a revisão por pares a 09-04-2024 e aceite para publicação em 01-08-2024.

Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Em 2023 e 2024 ocorreram duas conferências com a temática principal sobre a água, organizadas pela ONU - Organização das Nações Unidas, das quais foram publicados relatórios correspondentes. Destaque-se a preocupação de que “[...] atualmente, cerca de metade da população mundial passa por uma situação grave de escassez de água durante, pelo menos, parte do ano [...]” (Connor, R., 2024, p.2).

Para justificar a hipótese de retornar ao uso do poço de captação de água, como um ancestral, simples e inteligente recurso hídrico a que se lhe deva tirar proveito em resposta ao estado crítico e evolutivo do parco abastecimento de água para combate a incêndios, nomeadamente em contextos urbanos especiais como são os bairros históricos, seria necessário, primeiro que tudo, refletir sobre este sistema com origem numa agricultura de minifúndios.

Assim, inicia-se o artigo com o conceito e a finalidade das Noras de Alcatruzes em Portugal, completando o estudo com o descriptivo das partes constituintes deste tipo de engenho. Por outro lado, a preocupação desta escrita prende-se com a forte e crescente probabilidade de virmos a sentir dificuldades no acesso a água, no caso particular deste estudo, em relação ao combate a incêndios nos Bairros Históricos.

E, tendo como foco o Bairro de Alfama, foi necessário também investigar sobre o passado daquele núcleo urbano existente e extraír o proveito que se tirava das águas de domínio público hídrico, pelos espaços dedicados às Alcaçarias, Banhos Públicos e Chafarizes, sinónimo de riqueza hidromineral local, preocupação esta abordada no ponto seguinte. Outros dois momentos seguem-se com abordagem à necessidade de entender de que forma o Estado Português tem vindo a gerir os seus próprios recursos hídricos ao longo do tempo, através de empresas da sua tutela e de sua delegação de competências, avançando-se depois para as preocupações sobre incêndios descritas no Plano de Mitigação e Emergência.

Por fim, no quarto momento, anterior à conclusão, regista-se uma hipótese intencional como contributo para um possível recurso de hidrantes ou marcos de incêndio, face aos existentes ou não existentes, a integrar na rede pública de água para combate a incêndios nas áreas urbanas mais irregulares correspondentes a Bairros Históricos, como é exemplo o Bairro de Alfama, de forma preventiva, redundante, perante possíveis cenários de escassez ou inexistência de água para combate ao fogo.

Para a construção da hipótese observaram-se várias Noras e seus poços em campos na Aldeia da Sanguinheira. Seguidamente, procedeu-se à testagem de extração de

água de um deles, por intermédio de motor elétrico, a fim de comprovar, em contexto real, a sua eficácia em termos de caudal e pressão. Este ensaio, permitiu-nos visualizar o potencial que este tipo de engenho poderia ter para combate a incêndios, como no caso de abastecimento de hidrantes.

### A água subterrânea e as Noras de Alcatruzes dos poços para regadio em campos na Aldeia da Sanguinheira

Em Portugal pratica-se agricultura de sequeiro e de regadio, desde o início da povoação do território. Para a técnica do regadio, há a necessidade lógica de recorrer à captação e distribuição de água às diversas espécies. Longe vão os tempos em que a atividade da agricultura, em Portugal, era a essência da economia popular. A rega portuguesa artesanal resumia-se essencialmente à iniciativa particular, aproveitando pequenas nascentes ou poços, e algumas vezes rios. Os métodos de rega, usados em Portugal foram diversos. Uns extinguiram-se, outros persistem à evolução tecnológica planetária.

*“Quando havia desnível entre os pontos de água e o local a regar, o processo mais usual levava a direcioná-la com abertura de regos feitos à enxada ou sacho até que ela chegasse ao campo desejado. Na falta desse desnível recorria-se então a instrumentos para elevar a água aos terrenos cultivados [...]”* (Correia e Maximino, 2018, p.206)

A primitiva rega artesanal dividia-se em dois tipos: a rega de abundância e a rega de carência. O objetivo de uma rega de carência enquadrava-se na rega de hortas, campos e pomares durante o período de Verão, e executava-se através de aparelhos que, por meios mecânicos, utilizavam os elementos vento ou água. Os aparelhos que necessitavam do recurso à água, como força motriz, eram os mais usuais. E, para o acionamento dessa força motriz, houvera até há poucos anos, o emprego da força de tração por intermédio de animais de porte. Nas parcelas de minifúndios e instaladas em profundos poços escavados manualmente, as Noras de Alcatruzes, que inicialmente eram constituídas por peças em madeira, foram sendo, pouco a pouco, substituídas por Noras constituídas por peças metálicas, também de Alcatruzes, e subdividiam-se em Noras de eixo curto baixo (fot.1), Noras de eixo comprido baixo e Noras de eixo comprido alto.

As Noras de eixo curto, teriam como finalidade elevar a água de poços. Este tipo de Nora de eixo curto aparece também, em Itália e em Espanha, sendo que “[...] em alguns pontos do País, as noras de ferro apareceram já no século XIX e o seu progresso foi constante até há pouco tempo [...] As noras metálicas, de eixo curto e roda aguadeira, equivalem às que mais abundavam no País” (Dias e Galhano, 1986).



Fot. 1 - Nora de Alcatruzes de eixo curto - Aldeia de Sanguinheira - Mação (Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

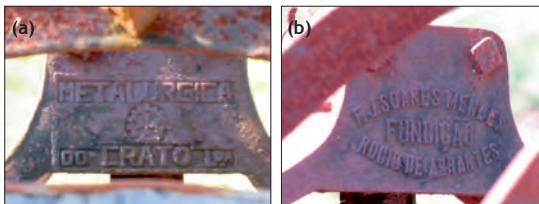
*Photo 1 - Saqiya - Sanguinheira Village with a short axis shaft - Mação (Photography by Susana Serrão taken on 2023).*



Fot. 3 - Roda aguadeira  
(Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 3 - Water wheel  
(Photography by Susana Serrão taken on 2023).*

Ao percorrer a Beira Baixa, encontram-se Noras cravadas com “Metalúrgica do Crato” e “Fundição Rocio de Abrantes”, cada uma com design diferenciado e apropriado à forma do Poço onde foram inseridas (fot.2a e fot.2b).



Fot. 2 - Exemplos de Noras: Metalúrgica do Crato (a); Fundição de Abrantes (b) (Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 2 - Examples of norias: Crato Metallurgy (a) Abrantes Foundry (b) (Photography by Susana Serrão taken on 2023).*



Fot. 4 - Rodas dentadas  
(Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 4 - Gear wheels  
(Photography by Susana Serrão taken on 2023).*

No trajeto efetuado pela Beira Baixa, dedicou-se tempo especificamente à aldeia da Sanguinheira, na freguesia do Carvoeiro, concelho de Mação, na convergência entre os Distritos de Castelo Branco, Portalegre e Santarém, onde, pontualmente, resistem ao tempo em campos agrícolas, alguns poços com Noras de Alcatruzes de eixo curto baixo, onde outrora se extraiu água dos aquíferos locais para rega.

O sistema construtivo concluiu-se idêntico entre todas as Noras observadas. Umas apresentavam-se ainda com todos os seus elementos metálicos, outras perderam já parte deles, sobretudo as peças de maior fragilidade material como as correntes e os próprios Alcatruzes.

Constituíam-se então estas Noras de eixo curto baixo, por uma roda aguadeira (fot. 3) que girava por uma roda dentada (fot. 4) em torno de um eixo horizontal, engrenada por sua vez, numa outra roda dentada fixa ao eixo vertical e mais robusto da Nora.

Desse eixo vertical, equilibravam-se duas grandes barras que dele saíam na horizontal, perfazendo um ângulo de 90º entre ambas, e em que a mais alta e a que correspondia à barra motriz, continha um contrapeso do lado oposto para equilíbrio do engenho. Os sistemas de engrenagens compõem-se por três barras horizontais ligadas ao um eixo vertical. Uma das barras possui um contrapeso numa das suas extremidades na parte reta e na outra extremidade que em arco desce até à altura aproximada de onde lhe era engatado o cangalho (fot. 5).

O cangalho correspondia a uma pequena barra horizontal com uma argola em cada uma das pontas onde se lhe atavam as cintas que se estendiam até ao burnil, peça esta que se traduzia numa espécie de coleira. Numa segunda grande barra horizontal que, a determinada distância do eixo vertical, se vergava para baixo, havia na sua ponta baixa, também uma argola (fot. 6), de maior diâmetro que as do cangalho, na qual cintas se



Fot. 5 - Cangalho - barra de amarração traseira ao animal  
(Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 5 - Yoke - rear lashing bar to for tying the animal.  
(Photography by Susana Serrão taken on 2023).*



Fot. 6 - Argola de amarração dianteira ao animal  
(Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

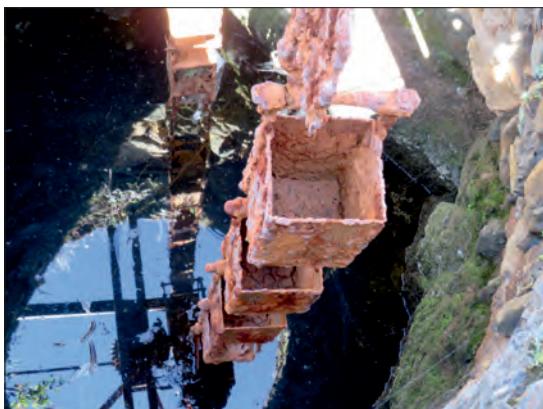
*Photo 6 - Front lashing ring to for tying the animal  
(Photography by Susana Serrão taken on 2023).*

lhe atavam e esticavam até fazer contorno à cabeça do animal, que movendo-se à volta do poço, contribuía para a rotação das engrenagens.

À roda aguadeira que girava através do sistema de rodas dentadas e de eixos movidos pela força do animal, encastrava-se uma cadeia de alcatruzes interligados entre si que desciam vazios até imergirem no nível da água. Esses alcatruzes assumiam a forma de um paralelepípedo com uma das faces aberta e na face oposta que correspondia ao fundo do alcátruz ou “balde”, havia um pequeno orifício por onde a água poderia drenar quando a Nora estivesse em repouso. A interligação entre alcatruzes correspondia a um engate tipo dobradiça através de duas barras soldadas ou rebitadas ao alcátruz e que se abraçavam a um veio horizontal, de forma folgada a permitir-lhes rotação e encaixe entre as abas da roda aguadeira (fot. 7). De forma progressiva, cada alcátruz que entrava no plano de água do aquífero,

enchia-se e subia na mesma corrente até jorrar a água que transportava, para o interior de uma calha (fot. 8). Esta calha em forma de levada, conduzia essa água até um orifício de argamassa ou pedra, em forma de漏斗, e que por sua vez a encaminhava em regos ou levadas até atingir os locais de plantação.

Das cerca de cinquenta Noras de Alcatruzes observadas ao longo dos campos da Aldeia da Sanguinheira, nenhuma se encontra em funcionamento através deste engenho. Das peças metálicas que as constituíam, numas faltavam-lhes a cadeia de alcatruzes, noutras as argolas, cangalhos e contrapesos. E outras estão camufladas por vegetação invasiva. No entanto, em todos os poços observados de perto na Aldeia da Sanguinheira, encontrou-se água no seu interior (fot. 9). Os engenhos das Noras de Alcatruzes eram fixos ao capeamento dos muros de alvenaria que se erguiam acima do solo, que ao mesmo tempo serviam de guarda-corpos (fot. 10)



Fot. 7 - Cadeia de alcatruzes  
(Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 7 - Chain of buckets  
(Photography by Susana Serrão taken on 2023).*



Fot. 8 - Calha de água  
(Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 8 - Water channel  
(Photography by Susana Serrão taken on 2023).*



Fot. 9 - Interior do poço freático (Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 9 - Inside the well with constant water from the water table (Photography by Susana Serrão taken on 2023).*

A estrutura interior do poço de forma cilíndrica construída com paredes de alvenaria aparelhada seca, desde o nível de escavação mais profundo, até ao capeamento do guarda-corpos. A profundidade de cada poço varia consoante a cota a que foi intersetado o aquífero superficial no local da escavação, correspondendo ao nível freático do mesmo. Em média desde o nível de solo exterior até à cota mais alta do nível de enchimento de água, media-se entre dois e meio a três metros, situando-se o volume de água em média, entre os três a cinco metros de altura, por um diâmetro aproximado de dois metros, o que equivaleria um total entre 9 a 15m<sup>3</sup> de água em reserva. Raros terão sidos os poços que tivessem sido inativados, ou seja, que fosse tamponado o acesso ao aquífero nesse ponto, o que nos permite, enquanto curiosos observadores, ainda hoje, os poder registar. Dos poucos agricultores que ainda se dedicam àquele sector na Aldeia, a água que se lhes extraem, sobe até à superfície através de eletrobombas ou bombas a diesel externas e é encaminhada até aos locais de rega, por um conjunto de lanços de mangueiras, ajustados à dimensão da parcela.

#### Água das nascentes utilizada nas Alcaçarias e Chafarizes da Cidade, no Bairro Histórico de Alfama

Consultando literatura sobre águas subterrâneas no Bairro Histórico de Alfama, encontram-se registos de que, na localização do atual Bairro, fazia-se proveito, durante largos séculos, de águas que afloravam à superfície em pontos nos quais construíram-se Chafarizes de acesso direto popular àquele recurso, ou ainda, conduzidas até espaços denominados de Alcaçarias, locais onde se procediam ao curtimento de peles de animais e onde o emprego da água era fundamental.

Registos encontram-se que descrevem que as águas subterrâneas de Alfama, que apresentavam determinadas



Fot. 10 - Guarda-corpos em alvenaria de pedra, como prolongamento interior do Poço (Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 10 - Stone masonry guard rails, as an interior extension of the well (Photography by Susana Serrão taken on 2023).*

características físico-químicas e temperaturas que poderiam ultrapassar os 20°C e que o seu caudal seria elevado, levando a que, no final do século XIX, a Entidade Inspeção das Águas que as tivesse classificado como águas mineromedicinais, tendo sido utilizadas em balneários termais. Outras utilidades deram-se a estas águas, chegando até, “[...] inclusive, sido a fonte de abastecimento dos navios dos descobrimentos” - (Ramalho e Lourenço, 2006, p.1)

Além do abastecimento de navios, dos curtumes das peles e lavagens de lãs de animais, estas águas, em Alfama, saciaram a sede do povo que se amontoava esperando pela vez, junto a cada Chafariz local. Com elas lavaram-se roupas em espaços transformados em lavadouros públicos, que depois coravam ao sol. Houvera, também, sua exploração em modo de balneários públicos.

Infelizmente estes recursos, aproveitados para vários fins, naquele Bairro Histórico, foram sendo progressivamente abandonados até os anos 80, já no século XX, sendo que “[...] atualmente as nascentes encontram-se seladas e canalizadas para o Rio Tejo por condutas cuja localização exata se perdeu nos tempos” (Ramalho e Lourenço, 2006, p.1)

A necessidade de reflexão em melhor tirar proveito das águas subterrâneas, é fundamental pelos preocupantes valores registados publicados de que “[...] a água subterrânea corresponderá a uma percentagem entre os 97 e os 98% de toda a água doce líquida disponível no Planeta, ou seja, excluindo as massas polares e os glaciares, mas incluindo todos os grandes lagos e rios de água doce do Planeta [...]” (Chambel, 2018, p.1).

São as águas subterrâneas e nascentes ou seus excedentes que alimentam o caudal de ribeiros, rios, lagos e afins, essenciais sobretudo nos períodos secos, mesmo que nessas épocas representem menores volumes do que em

tempo das chuvas. E das encostas do bairro histórico de Alfama, hoje, as mesmas não estão a ser aproveitadas, avolumando o caudal do rio Tejo, a que se juntam as perdas de água potável.

Para o reaproveitamento dos recursos hídricos em Alfama, a exemplo como forma de hidrante de recurso para combate a incêndios, haverá que serem debatidas e planeadas políticas de gestão integrada, pelas entidades tutelares deste tipo de recursos, por forma a “[...] assegurar a gestão integrada das origens de água superficiais e subterrâneas promovendo a complementaridade hidrológica entre aqueles recursos, articulando com os instrumentos de ordenamento do território e do domínio hídrico [...]”, considerando-se que “[...] tendo em conta a complementaridade hidrológica entre as águas superficiais e subterrâneas deve a sua gestão integrada contemplar a utilização da água subterrânea numa perspectiva da regulação dos recursos hídricos optimizando no espaço e no tempo as potencialidades hídricas de cada sistema aquífero de acordo com a procura prevista” (Ribeiro, 2009, p.407).

Por uma gestão integrada o caso do bairro de Alfama, havendo o mesmo sofrido alterações num passado recente, sobretudo ao nível de infraestruturas públicas, deveriam proceder-se a estudos sobre “[...] as reservas subterrâneas, as profundidades, as vulnerabilidades, entre outros aspectos, apoiando-se em instrumentos técnicos e legais, e adotando-se modelos adequados de gestão [...]” configurando-se como “[...] elementos necessários para o conhecimento e o uso sustentável das estratégicas águas subterrâneas”. (Filho et al., 2011, p. 54)

Do resultado desses estudos, do tipo hidrogeológicos e que viriam a valorizar uma riqueza natural subaproveitada, a propor, a exemplo, no Bairro de Alfama, seria possível prever “[...] o custo financeiro relativo para a sua obtenção (em padrões adequados para os diversos fins a que se destina)” (Filho et al., 2011, p. 54).

#### **A gestão da água após era das Noras do Campo e das Alcaçarias, Chafarizes, Lavadouros e Banhos da Cidade**

O abandono das Noras no campo pelo progressivo despovoamento do interior e diminuição acentuada de exploração de minifúndios, e, por outro lado, a extinção das Alcaçarias, a selagem da maioria dos Chafarizes, Banhos e Lavadouros, na cidade de Lisboa na segunda metade do século XX, têm em comum, o desproveito dos recursos hídricos locais.

Na Cidade entre 1868 até 1974, havia sido a CAL-Companhia das Águas de Lisboa, quem praticou a gestão da água em Lisboa, sucedendo-lhe a EPAL-Empresa Pública das Águas de Lisboa, até 1993, ano em que a AdP- Águas de Portugal, passa a detê-la na íntegra, com o seu nascimento, como empresa Estatal.

Nos anos 90 do século passado, foram registadas falhas de água frequentes nas torneiras das habitações e no regadio dos campos, em diversas localizações portuguesas incluindo ilhas, e, em que essa escassa água acessível “[...] vinha imbebível, em especial no Verão [...]” tendo sido amplamente conhecida a “[...] a imagem dos autotanques dos bombeiros a distribuir água potável às populações, um ícone da época [...]” (Águas de Portugal, s.d., p.16).

Nesses anos antes da viragem do século, “[...] o nível da captação, as origens de água então afetas ao abastecimento não tinham capacidade para armazenar, nos anos húmidos, a quantidade de água necessária para fazer face a sequências de anos secos, conduzindo à falta de água nalgumas épocas do ano. A grande dispersão de origens de água, algumas de muito pequena produção, como poços e furos, traduzia-se também numa grande vulnerabilidade da qualidade da água captada” (Águas de Portugal, s.d., 31).

Por outro lado, nas zonas do país com maior carga turística, ocorrem também problemas na qualidade da água de abastecimento, devido à sobre-exploração dos aquíferos e contaminação salina, “[...] problemas sentidos em diversas zonas da orla costeira Algarvia, sobretudo em períodos de seca [...]”. (Ribeiro, 2009, p.383).

Em 2005, através da publicação da Lei da Água, transpõe-se para Portugal, a Diretiva Europeia Quadro da Água nº2000/60/CE, onde se estabelecem as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. Esta Lei veio impulsionar o grupo AdP-Águas de Portugal a proceder, quer à construção de novas infraestruturas hídricas, quer atender a obras de beneficiação das infraestruturas existentes, e com as preocupações descritas de que “[...] Num período de grandes transformações à escala global derivadas dos efeitos combinados do crescimento da população urbana, dos impactes das alterações climáticas nos recursos hídricos, das consequências da crise financeira global, da crise energética, do aumento da degradação da qualidade da água e da destruição dos ecossistemas ribeirinhos, os desafios na gestão da água intensificam-se e tornam-se mais complexos”. (Águas de Portugal, s.d., p.67).

As declarações de seca extrema que temos vindo a vivenciar nestes últimos anos, fazem sobressair a importância e a responsabilidade na gestão do recurso água que, embora seja um bem renovável, não é ilimitado. E deve ser uma preocupação não apenas sazonal das estações quentes, mas sim, durante todo o ano.

A Agência Portuguesa do Ambiente - APA tem vindo a trabalhar na prevenção e gestão dos recursos hídricos contemplados na Lei da água e no Regime Jurídico das utilizações dos Recursos Hídricos, obrigando ao procedimento de licenciamento e, por conseguinte,

pagamento de taxas, nomeadamente para a solicitação de licença para pesquisa e captação de água, onde se incluem, a exemplo, as águas subterrâneas e superficiais destinadas ao consumo humano e rega.

Para além de regular o licenciamento, utilização e fiscalização, passou-se a planejar a gestão da água desde uma escala maior em termos de abrangência geográfica, até a planos sectoriais ou pontuais para resolverem-se determinados problemas relacionados com os recursos hídricos. E numa lógica socio participativa, em modo de contribuição sugestiva, é permitida a participação de “[...] quaisquer particulares, utilizadores dos recursos hídricos e suas associações, podem intervir no planeamento das águas e, especificamente, nos procedimentos de elaboração, execução e alteração dos seus instrumentos [...]” (Lei nº58/2005, Artigo 25º-e).

Além dos diversos tipos de planeamentos hídricos e sua consequente gestão, até agora realizados, é sempre necessária sua reavaliação e inovação, pelo que se encontram abertos à atualização.

Também se procedeu ao estabelecimento de medidas para proteção e valorização da água que necessita de ser captada do subsolo. Desses medidas fazem parte a definição de áreas “[...] limítrofes ou contíguas a captações de água, que devem ter uma utilização condicionada, de forma a salvaguardar a qualidade dos recursos hídricos [...]” (Lei nº58/2005, Artigo 37º, ponto 1).

Contudo, apesar dos problemas atuais e progressivos, relacionados com a seca, versus agricultura, e mesmo havendo já inúmeras formas de planeamento e gestão, a preocupação continua, e haverá que reforçar esforços de modo a atender que, a salvaguarda da água como um bem essencial à existência de vida humana, e animal, “[...] deve ser prioritariamente assegurada a disponibilidade da água para o abastecimento público e, em seguida, para as actividades vitais dos sectores agro-pecuário e industrial” (Lei nº58/2005, Artigo 41º, ponto 4).

#### **O Plano de Mitigação e Resiliência em Portugal e a necessidade de práticas hídricas mais eficientes**

De há poucos anos a esta parte, várias Nações, incluindo Portugal, uniram-se de forma a refletirem nos efeitos negativos que a ação humana tem vindo a fazer ao Planeta, repercutindo-se na progressiva ameaça de redução, e até mesmo extinção, de recursos naturais e de efeitos devastos na qualidade do ar e da própria Natureza.

Assim, em 2016, na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, estabeleceu-se o compromisso de alcançar a neutralidade carbónica. Objetivo esse a atingir até 2050.

Três anos após essa Conferência, tornou-se pública, a 1 de julho, a Resolução do Conselho de Ministros que

aprovou o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). Essa Resolução visa o estabelecimento, pelos Estados-Membros, de metas, objetivos e respetivas políticas e medidas em matéria de redução de emissões de gases com efeito de estufa, incorporação de energias de fontes renováveis, “[...] eficiência energética, segurança energética, mercado interno e investigação, inovação e competitividade, bem como uma abordagem clara para o alcance dos mesmos [...]” (Resolução do Conselho de Ministros 107/2019, p.3216).

A partir dessa Resolução, Portugal trabalhou e fez publicar o “Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030), plano esse que se traduziu no primeiro de um novo ciclo de políticas integradas de energia e clima.

Para o tema deste presente artigo, foi objetivo verificar de que forma o PNEC contemplou a temática dos recursos hídricos no nosso território, assim como a dos incêndios.

Sobre a agricultura e a água, no PNEC 2030 é descrito ser objetivo “[...] promover a eficiência energética e hídrica”, pela adoção de práticas agrícolas e florestais mais eficientes [...]” (Resolução do Conselho de Ministros 53/2020, ponto 6.4.1).

Quanto ao problema dos incêndios florestais, é pretendido “[...] aumentar a resiliência da paisagem aos incêndios rurais e reduzir a sua incidência [...]”, e é promovido o “[...] diminuir os riscos (bióticos e abióticos) e capacitar a componente de gestão de fogos rurais” (Resolução do Conselho de Ministros 53/2020, ponto 6.5.2, p.114).

Passando da propriedade rústica para a urbana, os objetivos descrevem-se nesta Resolução, sobretudo na intenção da redução da intensidade carbónica nos edifícios e no seu conjunto.

*“Reducir a intensidade carbónica dos edifícios, consumir energia de forma mais eficiente, promover uma maior eletrificação do setor, substituir combustíveis fósseis por fontes de energia renovável, promover o uso de materiais de baixo carbono, promover mudanças de comportamento e aumentar a economia da partilha, apostando sobretudo na reabilitação com vista a uma maior eficiência energética e hídrica e aumento do conforto térmico, contribuindo para reduzir a pobreza energética”* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, ponto 1.3., p.67)

De modo a contribuir para a redução das emissões de gases com efeito de estufa - GEE, essencialmente pelo dióxido de carbono, metano e derivados de carbonetos, assim como promover a redução de resíduos de construção, estabeleceu-se como objetivo, a reabilitação urbana, em detrimento da nova construção.

Na necessidade de se proceder a novas construções, as mesmas devem vir a ser realizadas com técnicas que

resultem em edificado sustentável, promovendo-se a “[...] incorporação de matérias-primas secundárias em componentes para a construção, arquitetura bioclimática, casas passivas e a arquitetura modular, multifuncional e dinâmica” (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, ponto 1.3.2, p.67).

Para além dos sistemas construtivos que devam ser sustentáveis, os materiais a aplicar devem corresponder ao mesmo conceito, privilegiando-se a reutilização e a reciclagem.

Ao mesmo tempo, descreve o Plano como objetivo a alcançar relacionado com a melhoria da eficiência energética e hídrica das construções, assim como o objetivo de reduzir as necessidades de energia e a intenção de promover o aproveitamento de fontes de energia renováveis, a alcançar até 2030.

Na prossecução dos objetivos a atingir para o edificado, este Plano incentiva à regeneração e revitalização dos centros urbanos, tendo em conta critérios de sustentabilidade e a eficiência energética e hídrica dos sistemas urbanos de água e saneamento.

Por forma a assegurar a melhoria da gestão do consumo de energia nas áreas urbanizadas, deve proceder-se à otimização e a resiliência dos serviços de água, e ainda, segundo o que se transcreve:

*“Aumentar a resiliência dos sistemas de abastecimento público de água, através da melhoria do desempenho dos mesmos, em particular no que respeita à redução das perdas de água; [...] Aumentar a resiliência dos sistemas de drenagem de águas pluviais, através da eliminação de infiltrações indevidas, do amortecimento de caudais em períodos de precipitação intensa e do reaproveitamento de águas pluviais. Diminuir a energia consumida nos serviços de águas, através da melhoria da eficiência energética e hídrica [...]”* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, ponto 2.3.2, p.79).

A intenção de melhoria de gestão do consumo de energia, também deve ser aplicada nas áreas onde se exercem atividades agrícolas, de forma a proporcionar-se a eficiência energética e hídrica. Estes objetivos poderão vir a ser alcançados através da “[...] aquisição e utilização de ferramentas de gestão, da instalação e utilização de tecnologias mais eficientes (ex.: otimização de motores, sistemas de bombagem [...], incluindo equipamentos de precisão (ex.: regadio eficiente) e através do apoio às boas práticas de regadio (ex.: monitorização, utilização do balanço hídrico na decisão sobre a rega, inspeção e aferição da eficácia das instalações de rega [...]” (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, ponto 6.4.1, p.113).

Encontra-se claro o objetivo na pretensão, no que diz respeito às áreas florestais, em reduzir “[...] o número de

*incêndios, a área ardida e as emissões provocadas pelos incêndios e reduzir a área afetada e as emissões provocadas [...]”* por componentes vivos do ecossistema (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, ponto 6.6, p.115).

Proceder à diminuição dos riscos de ocorrência de incêndios nas florestas, poderá ser possível “[...] por via da implementação da rede primária de faixas de gestão de combustível, [...] e rede secundária de faixas de gestão de combustível, entre outras medidas previstas no Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais [...]” (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, ponto 6.6.1, p.115).

Pretende-se, também, com esta Resolução, no que diz respeito ao risco de fogos florestais, promover à criação de uma força de Sapadores Bombeiros a ainda contribuir para o Planeamento ativo, de contigência e de Controlo dos Incêndios florestais.

O Roteiro de Neutralidade Carbónica (RNC2050), da Conferência das Nações unidas, aprovado na Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, para o sucesso dos seus objetivos, identifica a necessidade de garantir-se apoio financeiro, uma vez que esta transição desejável de neutralidade carbónica envolverá a necessidade de diversos investimentos.

Em Portugal, o Plano Nacional Energia e Clima 2030 refere que o Plano Nacional de Investimento (PNI) 2030 contempla mais de 60 % do investimento em áreas que contribuem para estes objetivos. Existem atualmente fundos nacionais com a missão de apoiar o sector público e privado em relação à descarbonização da economia e a transição energética.

**Equacione-se a possibilidade de retorno ao uso do poço de captação como um hidrante de recurso no combate a incêndios na Cidade**

O Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) que constituiu o primeiro de um novo ciclo de políticas integradas de energia e clima, a partir da Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, que aprova o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050), de facto, contém uma série de metas a atingir, nomeadamente em relação aos recursos hídricos. Em Portugal, em algumas aldeias isoladas do interior, assim como em bairros urbanos antigos, continuam a registarem-se momentos de escassez de água para regadio, para consumo humano e para combate a incêndios. Desde há 30 anos que o Estado, através do Grupo Águas de Portugal e da APA, tem vindo a investir na gestão dos recursos hídricos, no entanto consequências do Antropoceno que têm vindo a contribuir negativamente para o nosso Planeta, desconhecendo-se a amplitude dos seus estragos, conduzem a que a gestão da água seja e continue a ser uma preocupação em constante adaptação.

Enquanto a escassez ou inexistência de água para consumo humano e para regadio, ainda são toleráveis por horas ou dias, o facto é que essa escassez ou a sua inexistência, com a finalidade de combate a incêndios não pode ser tolerável, nem mesmo por segundos. Ou seja, em poucos segundos após a deflagração de um fogo, um incêndio pode destruir património classificado ou não classificado, privado ou público, mas, mais grave, pode passar a condicionar a saúde ou até mesmo tornar-se fatal, em relação a pessoas e animais, uma vez que um dos contrangimentos que podem influenciar a propagação o incêndio, está normalmente associado à falta ou escassez de água para o seu combate. E, ao ler-se o PNEC 2030, assimila-se nos seus parágrafos, a necessidade de apoio para o combate a incêndios florestais, contudo nas metas descritas nesse Plano Nacional Energia e Clima 2030, esqueceu-se o apoio necessário, e dedicado às várias frentes de ação, em relação ao combate a incêndios urbanos.

Consciencialize-se de que água não é um recurso ilimitado, quer nas áreas florestais e agrícolas, quer nas urbanas, e que o homem, no Antropoceno, tem vindo a reduzir e até mesmo destruir recursos naturais, que avançamos tecnologicamente demasiado depressa sem refletir nas consequências, que se desprezaram sabedorias e sistemas de sobrevivência artesanais, que enquanto interesses económicos se sobreponem aos humanos, não será possível reverter ao necessário equilíbrio do ecossistema.

No caso concreto e crítico da escassez, deficiência, ou inexistência de abastecimento água, para combate a incêndios urbanos, sobretudo em Bairros históricos, onde as redes de distribuição pública e os sistemas privados sofrem destes problemas, se se procedesse à utilização das águas subterrâneas como um recurso de emergência, para emprego no combate a incêndios, estaríamos a minimizar o risco de inoperacionalidade e ineficácia na operacionalidade de extinção. Assim a hipótese, com o objetivo de conseguir-se atingir todas as edificações locais, passaria, por estudos hidrogeológicos e pelo cálculo financeiro de cada operação de reaproveitamento de poços locais de captação (fot. 11), de reaproveitamento de pontos de nascentes igualmente seladas, assim como de projeção e execução viavelmente estudada, de furos artesianos em locais estratégicos.

A água nestes poços seria captada através de sistemas de bombagem (fot.12), de preferência através de energia sustentável, como são exemplos os painéis fotovoltaicos, complementados por armazenamento de energia, ou extraída, por pressão em profundidade, até à superfície de forma natural através dos furos artesianos. O encaminhamento da água captada, até ao local onde se deflagrasse o incêndio, seria efetuado por intermédio de mangueiras acopladas com agulheta a montante do último lança.



Fot. 11 - Motor elétrico para sucção da água do poço artesanal  
(Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 11 - Electric motor to abstract for taking water from a well. Photography by Susana Serrão taken on 2023.*



Fot. 12 - Encaminhamento da água até ao local a atingir, por mangueiras acopladas  
(Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 12 - Water being conveyed to the target location to be reached, using coupled hoses  
(Photography by Susana Serrão taken on 2023).*

Para o projeto e execução da captação de água haveria que prever, por um lado, um espaço de arrumação das mangueiras e agulheta, do grupo de bombagem, por outro, a existência de válvulas de seccionamento e interruptores de acionamento, assim como um sistema de proteção contra intrusão para o interior do poço e contra vandalismo do sistema de energia. Apesar da captação de água do tipo poço ter sido abandonada no campo com o sistema de Noras de Alcatruzes, movidas por animais, o facto é que, na sua maioria, não foram selados.

Assim, a água ainda é presença quotidiana no interior desses poços, o que tem levado a que, alguns dos agricultores minifundiários que se encontram a regressar ao regadio das suas plantações de subsistência, tenham vindo assim a contribuir para os manter ativos, assegurando-se-lhes a captação da água por via de bombagem a motor, maioritariamente por bombas

exteriores alimentadas a diesel que as transportam até ao local, no momento a que pretendem proceder à rega.

E, no campo, nas épocas do ano com temperaturas elevadas e consequentes incêndios rurais, os proprietários desses poços, mesmo que com idade avançada, demonstram-se capazes de agir e recorrem à água subterrânea captando-a dos poços das suas parcelas e arrefecem a temperatura dos materiais exteriores das suas casas, assim como a refrescam a periferia composta por matagal que possa existir no contorno de suas propriedades, protegendo-se assim das consequências dos incêndios, pelo menos quando ainda são controláveis (fot. 13 e fot. 14).

Demonstraram-se resultados reais em espaço rural correspondentes ao aproveitamento na contemporaneidade deste recurso hídrico. Tal sucesso seria também possível em ambiente citadino. A aplicação deste tipo de construção artesanal com origem ancestral, na atualidade, teria de reger-se por cumprimentos legais. Pela Lei da Água, estes poços, a implantar em áreas de domínio público, seriam considerados legalmente de uso e fruição comum, não havendo necessidade a um título de propriedade para seu uso.

De qualquer modo, o seu acesso deveria ser regrado e limitado apenas para combate a incêndios, atendendo a que “[...] a utilização de recursos hídricos mediante infra-estrutura hidráulica deve ser autorizada sempre que constitua uma utilização sustentável e contribua para a requalificação e valorização desses recursos ou para a minimização de efeitos de situações extremas sobre pessoas e bens” (Lei n.º 58/2005, Artigo 74º).

A ser possível a implementação de uma redundância de combate a incêndios nos Bairros históricos, através de captação de água subterrânea como meio de primeira intervenção anterior à chegada de equipas de Bombeiros, deveria atender-se ao seu controlo regular e proceder-se à identificação periódica, através de ensaios de caudal, com a aferição da quantidade de água subterrânea disponível no local e do nível de rebaixamento “[...]



Fot. 13 - Água extraída por motor elétrico, em mangueira com diâmetro 32mm a 30 metros do poço (Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 13 - Water extracted by electric motor, in a 32mm diameter hose 30 metres from the well (Photography by Susana Serrão taken on 2023).*

*através de um equilíbrio sustentável entre os valores de extração e os rebaixamentos produzidos [...] não devendo as extrações ultrapassar, por razões ecológicas, os 80 a 90% dos valores de recarga anual do aquífero” (Chambel, 2017, p.152).*

Para a execução ou reaproveitamento de poços, furos de captação na cidade e reaproveitamento de nascentes, nomeadamente nos Bairros Históricos, como o caso do Bairro de Alfama, o financiamento para realização de estudos hidrogeológicos, assim como os valores referentes à execução da captação de água subterrânea, incluindo equipamentos, controlo, manutenção e formação, deveriam ficar a cargo, em primeiro lugar, do Estado Português através do seu Ministério competente, ou a cargo dos Municípios, Regiões ou Freguesias, consoante a tutela do domínio público, em prossecução do interesse público pela “[...] a segurança de pessoas e bens, a garantia de água para abastecimento público das populações e para actividades sócio-económicas [...]” (Lei 58-2005, Artigo 75º, ponto 3).

Por fim, o tipo de manutenção da sustentabilidade das águas subterrâneas nas quais os poços de captação a propor para os Bairros, teriam que ser alvo, deveria seguir várias considerações a verificar-se com a regularidade necessária, sobretudo no que diz respeito ao controle da qualidade dessa água a captar e à sua proteção contra possíveis contaminações de subsolo sobretudo por irregularidades em redes de saneamento no Bairro, assim como por atos negligentes, resultantes de eventuais de derrames locais, ou nas proximidades, de líquidos ou depósito de materiais sólidos, contaminados.

## Conclusão

Entenda-se que “[...] melhorar a cooperação na gestão hídrica requer o fortalecimento da base do conhecimento, de forma a reconhecer práticas ancestrais valiosas, bem como novas tecnologias, e a aprimorar os sistemas regulatórios e de incentivos” (Connor, R., 2024, p.8).



Fot. 14 - Demonstração de aumento manual de pressão, mangueira de 30 m e com diâmetro 32 mm (Fotografia de Susana Serrão, tirada em 2023).

*Photo 14 - Demonstration of manual pressure boost, 30m hose with a diameter of 32mm (Photography by Susana Serrão taken on 2023).*

A utilização da água subterrânea na agricultura, através dos poços e seus engenhos de Noras de Alcatruzes, teve e pontualmente continua a ter uma sustentável vantagem pela garantia do abastecimento em água a partir de uma origem local, e, em caso de necessidade urgente, nomeadamente em períodos de seca ou em aproximação de fogos florestais, ter vindo a garantir esse recurso para prevenção e combate aos incêndios rurais.

*“Embora a demanda urbana por água deva aumentar 80% até 2050, a alocação de água da agricultura para os centros urbanos se tornou uma estratégia comum para atender às necessidades de água doce nas cidades em crescimento”* (Connor e Milletto, 2023, p.4).

O aproveitamento de águas subterrâneas no campo, corresponde também “[...] à vantagem em garantir o abastecimento a um custo relativamente baixo, quando comparado com captações de origem superficial [...]” (Chambel, 2017, p.151)

A salvaguarda das espécies agrícolas e florestais, têm sido prioridade no campo. A salvaguarda da vida das pessoas, deve obrigatoriamente corresponder a prioridade total, no campo e na cidade. Na cidade, sobretudo em áreas de malha mais irregular, tal como o são, os Bairros históricos, assim como nas aldeias mais isoladas, a escassez de água continua a ser ainda motivo de queixa e evidência.

As redes de abastecimento de água de incêndios nestas áreas, ou não existem, em alguns casos, ou por outro lado, encontram-se sem manutenção ou mesmo inoperantes. Nestes Bairros, a probabilidade de constrangimento e insucesso para combate a incêndios através de hidrantes locais, por Bocas ou Marcos de incêndio, em condições não conformes, é muito grande. Os atos negligentes na contemporaneidade surgem inesperadamente e cada vez em maior proporção. Um corte geral de água pública, por razões de negligência ou catástrofe não pode de modo algum vir a ser descartado que possa acontecer.

Então, se por investigação se comprove disponibilidade local de um aquífero cujo seu proveito, por um lado, não venha a comprometer o seu equilíbrio, e, por outro, não venha a prejudicar as estruturas construídas locais, questione-se porque não retornarmos às águas subterrâneas e delas tirarmos proveito de um conceito com origem ancestral como um recurso hídrico, para as áreas citadinas morfológicamente mais irregulares e propensas a escassez de água, como o caso do Bairro de Alfama ou outros espaços congêneres, em caso de emergência para extinção de incêndios urbanos?

Por outro lado, constatou-se que existem instrumentos políticos com objetivos em “descarbonizar o Planeta” e zelar pelos recursos naturais, nomeadamente com preocupações com a água e os incêndios florestais,

num espaço de tempo até 2050. Em Portugal iniciou-se um Plano com linhas de orientação até 2030 com esse fim, no entanto, os incêndios urbanos não foram motivo de metas, intensões de investimento, ou seja, de preocupação. O que significa que haveria que repensar tais linhas de orientação.

Com certeza que intervir em núcleos urbanos consolidados históricos na correção da rede de abastecimento de água para o combate a incêndios, em termos dos coletores e seus equipamentos ou até mesmo na implementação de novos troços, assim como a concretização de poços de captação como segura redundância essa rede, representaria um custo elevado, provavelmente não enquadrável nos cabimentos das Autarquias Locais, pelo menos a curto prazo. No entanto apele-se a um reforço financeiro para tal.

Apele-se à reflexão comunitária, e que se memorize e reivindique a importância de que a salvaguarda da vida das pessoas deva ser a prioridade governativa, quer no campo quer na cidade.

E que se pondere, por exemplo, a hipótese de providenciarem-se alternativas redundantes, pela segurança, como um simples retornar ao sistema de uso de poços de captação de água, de forma regrada, estudada e vistoriada, a localizar estrategicamente.

Porque, incêndios furtuos, causados por atos negligentes, por não conformidades com regras de segurança, por razões socio financeiras ou ainda por atos infortunados, nas nossas cidades portuguesas e, em pior cenário, nos nossos Bairros Históricos, continuam a ser notícia a perda de vidas humanas e destruição de bens patrimoniais, mesmo que de forma pouco valorizada ou depressa esquecida pela sociedade, devam ser motivo para não adiar soluções, que de forma proativa, poderiam vir a minimizar tais consequências.

## Referências bibliográficas

ÁGUAS DE PORTUGAL (s.d.). [Waters of Portugal]. Editor By the Book. ISBN: 978-989-8614-07-0. Consultado a 06-03-2024. URL: [https://www.adp.pt/pt/media/publicacoes/downloads/pub\\_pdf17\\_pt.pdf](https://www.adp.pt/pt/media/publicacoes/downloads/pub_pdf17_pt.pdf)

AUTORIDADE PORTUGUESA DO AMBIENTE - APA (2021). *Utilização dos Recursos Hídricos*. www.apambiente.pt Consultado a 06-03-2024. URL: <https://apambiente.pt/agua/utilizacao-de-recursos-hidricos>

Chambel, A. (2017). As águas subterrâneas e a agricultura [capítulo 6 de livro] *Hidrologia Agrícola*. [Agricultural hydrology]. 2ª edição. Escola de Ciéncia e Tecnologia da Universidade de Évora e Instituto de Ciéncias Agrárias e Ambientais Mediterrânicas. ISBN-978-989-8550-40-8. URL: [https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/22180/1/Livro\\_Hidrologia\\_Agricola.pdf](https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/22180/1/Livro_Hidrologia_Agricola.pdf)

- Chambel, A. (2018). *Águas Subterrâneas: a importância de um recurso escondido*. [Groundwater: the importance of a hidden resource]. Instituto de Ciências da Terra - ICT. Repositório Universidade de Évora. URL: <https://www.rdpc.uevora.pt/handle/10174/25019>
- Connor, R. (2024). Água para a prosperidade e a paz. [Water for prosperity and peace]. UN-Water, WWAP, UNESCO 2024. URL: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388950\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388950_por)
- Connor, R., Miletto, M. (2023). Parcerias e cooperação para a água. [Partnerships and cooperation for water]. URL: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657_por)
- Correia, M., Maximino, P. (2018). Para além dos objetos: uma recolha de património etnográfico no Baixo Sabor. [Beyond objects: a collection of ethnographic heritage from "Baixo sabor" region]. *Revista Memória Rural*, n°1. URL: <https://museudamemoriarural.pt/wp-content/uploads/2019/05/para-al%C3%A9m-dos-objetos.pdf>
- Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de maio. (2007). Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Regime de utilização dos recursos hídricos. Diário da República, 1.ª série, n.º 105. URL: <https://files.dre.pt/1s/2007/05/10502/00240049.pdf>
- Dias, J., Galhano, F., (1986). *Aparelhos de elevar a Água de rega - contribuição para o estudo do regadio em Portugal*. [Devices for lifting water - a contribution to the study of irrigation in Portugal]. Editora Etnográfica Press.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.4000/books.etnograficapress.6108>
- Filho, J. L. A., Barbosa, M. C., Azevedo, S. G. e, Carvalho, A. M. de (2011). O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e directrizes para a sua gestão sustentável. [The role of groundwater as a strategic water reserve and guidelines for its sustainable management]. *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 32, N° 2, 53-61. ISSN 0870-1741.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.5894/rh32n2-5>
- Lei n.º 58/2005 de 29 de dezembro. (2005). Assembleia da República. Lei da água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. Diário da República, 1.ª série, nº249. URL: <https://files.dre.pt/1s/2005/12/249a00/72807310.pdf>
- Ramalho, E. C., Lourenço, M.C., (2006). *As águas de Alfama - como património hidrogeológico de Lisboa*. [The waters of Alfama - Lisbon's hydrogeological heritage]. [HPGM - Comunicações em Atas e encontros científicos nacionais], Repositório Laboratório Nacional de Energia e Geologia. URL: <https://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/427>
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019. (2019). Aprova o Roteiro para a Neutralidade carbónica 2050. Diário da República, 1.ª série, 1 de julho de 2019. URL: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/107-2019-122777644>
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020. (2020). Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030). Diário da República, 1.ª série, 10 de julho de 2020. URL: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>
- Ribeiro, L., (2009). Águas subterrâneas. [capítulo 11 de livro]. *Ecosistemas e bem-estar em Portugal*. [Ecosystems and well-being in Portugal]. CVRM - Centro de Geossistemas, Instituto Superior Técnico. URL: [https://ecossistemas.org/ficheiros/livro/Capitulo\\_11.pdf](https://ecossistemas.org/ficheiros/livro/Capitulo_11.pdf)

## NOTA DE ABERTURA

Adélia Nunes .....	3
--------------------	---

<b>PARTE I - Catástrofes naturais, previsão, estratégias e gestão pós-evento .....</b>	<b>9</b>
--	----------

<i>PART I - Natural disasters, forecasting, strategies and post-event management .....</i>	<i>9</i>
--	----------

302

## ARTIGOS / Articles

<b>Ana Malheiro, Paulo Amaral, Filipe Marques e Aulédia Câmara</b>
--

O contributo da ação antrópica na exposição aos perigos naturais no arquipélago dos Açores .....	11
--	----

<b>Filipe Sanches, Ineida Carvalho e António Vieira</b>
---

Movimentos em massa na localidade de Veneza, concelho de São Domingos - Cabo Verde .....	23
--	----

<b>Paulo Amaral, Ana Malheiro, Luís Teixeira, Filipe Marques e Letícia Moniz</b>
--

Análise de estabilidade e determinação de faixas de risco e de proteção em arribas e taludes no arquipélago dos Açores .....	33
--	----

<b>Antônia Silânia de Andrade, Célia Campos Braga, Welinagila Grangeiro de Sousa e Madson Tavares Silva</b>
---

Determinação de eventos secos e chuvosos em regiões do nordeste brasileiro-brasil, usando o índice de precipitação normalizada .....	45
--	----

<b>Santana Lívia de Lima, Madson Tavares Silva, Célia Campos Braga, Mariana da Silva Siqueira e Welinagila Grangeiro de Sousa</b>
---

Análise e classificação da seca no estado do Rio Grande do Norte-Brasil .....	57
---	----

<b>Daiane Cardoso, Lívia Louza e Denilson Teixeira</b>
--

Uso do solo e a ocorrência de eventos hidrológicos na cidade de Goiânia - Goiás .....	69
---	----

<b>Carolina Galhardo, Ana Paula M. do Amaral Cunha, Regina Célia dos Santos Alvalá e Adriano Mota Ferreira</b>
--

Risco de desastres hidrometeorológicos e cidades médias: um estudo de caso no município de Pouso Alegre .....	81
---	----

<b>André Barbosa Ribeiro Ferreira, Andréa Aparecida Zacharias, Francielle da Silva Cardozo e Bráulio Magalhães Fonseca</b>
--

Analysis of the tendency towards urban flash floods based on morphometry and land use: a case study in the city of São João del-Rei, Minas Gerais (Brazil) .....	97
--	----

<b>Óscar Timóteo e José Romão</b>
-----------------------------------

Avaliação das estratégias de primeira intervenção na catástrofe associada ao ciclone Idai, em março de 2019 (Moçambique) .....	105
--	-----

<b>Rodrigo Rudge Ramos Ribeiro</b>
------------------------------------

Uma análise comparativa da percepção do tema de desastre natural no Brasil e Portugal por intermédio de ferramentas <i>big data</i> .....	119
---	-----

<b>PART II - Problemas ambientais e sua gestão .....</b>	<b>127</b>
<b>PART II - Environmental problems and their management .....</b>	<b>127</b>

**ARTIGOS / Articles**

303

<b>Francisco Junior Nascimento da Silva e Fernanda Pereira Gouveia</b> Análise da estrutura de resposta ao cenário de rompimento de barragem de Tucuruí no contexto dos planos de contingência dos municípios da Zona de Autossalvamento (ZAS) .....	129
<b>Henrique Cau e Patrício Langa</b> Vulnerabilidade social e duplo constrangimento dos agricultores familiares no contexto das alterações climáticas em Moçambique .....	147
<b>Miguel Ángel López-Sandoval y Ramón García-Marín</b> Identificación y análisis de los patrones temporales y espaciales de los incendios forestales causados por rayos en la región de Murcia (sureste de España): periodo 2000-2020 .....	159
<b>Paulo Queiroz Trinta, Diego Donato Fonseca, Marco Antonio Basques Sobrinho, Leandro de Souza Camargo e Luciene Pimentel da Silva</b> Análise de ocorrências de incêndios florestais a partir dos mapeamentos de focos de calor e de suas áreas mais suscetíveis .....	179
<b>Carla Rolo Antunes, Henrique César Ribeiro, Maria de Belém Costa Freitas, Miguel Domingos Teixeira e Maria do Rosário Partidário</b> Caracterização biofísica e socioeconómica do concelho de Monchique: avaliação do risco de incêndio .....	193
<b>Erisvaldo de Oliveira Alves, Waldecy Rodrigues e Nilton Marques de Oliveira</b> Transformação da governança do fogo no Tocantins, Brasil: visão emergente na região de Cerrado da Amazônia Legal ...	205
<b>Mário Talaia</b> Influência da brisa no rumo e intensidade do vento local - contribuição ou risco no potencial eólico: Estudo de caso na região de Aveiro) .....	219
<b>Célia Campos Braga, Karlla Karem Silva de Lima, Madson Tavares Silva e Antônia Silânia de Andrade</b> Captação do dióxido de carbono pela Caatinga, em regiões semiáridas do nordeste do Brasil .....	231
<b>Jean Oliveira Campos, Eduardo Rodrigues Viana de Lima e Diógenes Felix da Silva Costa</b> Serviços ecossistêmicos de provisão na zona de amortecimento do parque estadual mata do Pau-Ferro, Areia - PB, Brasil: mapeamento e conflitos entre oferta e demanda .....	243

**NOTAS / Notes**

<b>Burhan Kubilay Kaptanır, Sandra Cunha e José Luís Barroso Aguiar</b> Post-earthquake construction and demolition waste management: a case of the 2023 turkey earthquake .....	263
<b>Maíra Zacharias, Sandro Deretti, Estefani Pereira Gomes e Danyelle Stringari</b> Percepção da comunidade litorânea do estado do Paraná-Brasil sobre riscos ambientais .....	273
<b>Susana Serrão e Paulo Almeida</b> Da Nora de Alcatruzes no campo, para um hidrante de recurso na cidade .....	289





**RISCOS**  
ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA  
DE RISCOS, PREVENÇÃO  
E SEGURANÇA

1 2 9 0



I | U IMPRENSA DA  
UNIVERSIDADE  
DE COIMBRA  
COIMBRA UNIVERSITY PRESS