

territorium • 33(I)

REVISTA INTERNACIONAL DE RISCOS | INTERNATIONAL JOURNAL OF RISKS

SOLOS AFETADOS POR INCÊNDIOS: EFEITOS DEGRADATIVOS E SOLUÇÕES PARA A SUA REABILITAÇÃO

Coordenadores:

António Vieira

Bruno Martins



Imprensa da Universidade de Coimbra

Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

2026

territorium 33 (I)

Solos afetados por incêndios: efeitos degradativos e
soluções para a sua reabilitação

*Soils affected by forest fires: degrading effects and
solutions for their rehabilitation*

Janeiro - Junho
2026

FICHA TÉCNICA

Proprietário / Proprietor
RISCOS^o - 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

Fotografia da capa / Cover photo
Broto crescendo
Sprout growing
Fotografia / Photo: Image by Ngo Minh Tuan from Pixabay

Edição / Edition
RISCOS^o - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança
IUC^o - Imprensa da Universidade de Coimbra

Paginação / Formatting and Layout
Mestre Fernando Félix

Resumos e legendas, revisão em inglês / Abstracts and captions, English review
Raquel Jones

Distribuição e Assinaturas / Distribution and Subscriptions:

Venda (vente; 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:
FIG Indústrias Gráficas, S.A.
Rua Adriano Lucas n.º 161, 3020-430 Coimbra

Periodicidade / Periodicity
Semestral / Biannual

Tiragem / Print run
550 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://territorium.riscos.pt/>
<https://digitalis.uc.pt/en/revista?id=107789&sec=5>
<http://impactum-journals.uc.pt/index.php/territorium>

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 | ReviewerCredits

Apoios:
Sponsors:



NOTA DE ABERTURA

Este primeiro número de 2026 da revista *Territorium* é dedicado ao tema “Solos afetados por incêndios: efeitos degradativos e soluções para a sua reabilitação”. Da sua estrutura constam cinco artigos científicos, duas notas, duas notícias e uma revisão de livro. Faz, ainda, parte deste número um trabalho que corresponde a entrevistas a ilustres investigadores portugueses, sobre a temática dos incêndios.

O primeiro artigo é da autoria de Tayse Lima de Brito Guimarães, Thamires Oliveira do Bomfim, Rafael Oliveira Franca Rocha, Édico de Oliveira Gomes e Rosângela Leal Santos e debruça-se sobre as “Queimadas na Caatinga: uma análise das áreas afetadas na Bahia (1993-2023)”. Com efeito, as características climáticas do bioma e a apropriação que o ser humano dele tem feito constituem fatores determinantes para compreensão da sua evolução e sua degradação. Com este trabalho, os autores pretenderam examinar os incêndios ocorridos na Caatinga da Bahia, relacionando-os com o uso e ocupação do solo entre os anos de 1993 e 2023, utilizando como informação de base a constante na plataforma Mapbiomas.

Segue-se o texto intitulado “Effects of wildfires on soil identification and mechanical properties”, que tem como autores Luis Araújo Santos, António Correia, Paulo Coelho e Teresa Fragoso. Através deste estudo, os autores analisaram taludes afetados por deslizamentos em áreas afetadas pelo incêndio florestal de 2017 em Oliveira do Hospital, procurando compreender como as alterações microscópicas no solo influenciam propriedades físicas, mecânicas e hidrológicas fundamentais.

O terceiro texto, dedicado à “Monitorização pós-fogo e recuperação de áreas ardidas: os projetos React More e Post-fire Fam”, é da autoria de Rui Pinto, Ana Sá e Susana Fonseca. Tratando a temática bastante pertinente do período após incêndios, este trabalho traz-nos novos dados, ainda preliminares, baseados em projetos de investigação que analisam, por um lado formas de gestão que pretendem tornar a floresta mais resiliente aos incêndios e, por outro, avaliar a severidade do fogo, com metodologias de campo e deteção remota, no sentido de apoiar a tomada de decisões.

A “Distribuição espacial do sistema público de hidrantes em Natal/RN: riscos tecnológicos e vulnerabilidades híbridas” é o título do quarto artigo que se publica neste número da *Territorium*, da autoria de Jhonathan Lima de Souza, José Marandola, Ana Caroline Damasceno Souza de Sá, Aline Pascoalino e Vinnícius Vale Dionízio França Vinny, que pretendeu avaliar a distribuição espacial do sistema público de hidrantes em Natal, capital do estado

INTRODUCTORY NOTE

This first issue of 2026 of the *Territorium* journal is dedicated to the theme “Soils affected by fires: degrading effects and solutions for their rehabilitation”. Its structure includes five scientific articles, two notes, two news items, and a book review. This issue also features interviews with distinguished Portuguese researchers on the topic of fires.

The first article, authored by Tayse Lima de Brito Guimarães, Thamires Oliveira do Bomfim, Rafael Oliveira Franca Rocha, Édico de Oliveira Gomes, and Rosângela Leal Santos, focuses on “Wildfires in the Caatinga: an analysis of affected areas in Bahia (1993-2023)”. Indeed, the biome's climatic characteristics and human appropriation of it are determining factors in understanding its evolution and degradation. With this work, the authors aimed to examine the fires that occurred in the Caatinga of Bahia, relating them to land use and occupation between 1993 and 2023, using data from the Mapbiomas platform as a baseline.

The following text is entitled “Effects of wildfires on soil identification and mechanical properties”, authored by Luis Araújo Santos, António Correia, Paulo Coelho, and Teresa Fragoso. Through this study, the authors analyzed slopes affected by landslides in areas impacted by the 2017 wildfire in Oliveira do Hospital, seeking to understand how microscopic changes in the soil influence fundamental physical, mechanical, and hydrological properties.

The third text, dedicated to “Post-fire monitoring and recovery of burnt areas: the React More and Post-fire Fam projects”, is authored by Rui Pinto, Ana Sá, and Susana Fonseca. Addressing the highly relevant topic of the period after wildfires, this work presents new, albeit preliminary, data based on research projects that analyze, on the one hand, management methods aimed at making the forest more resilient to wildfires and, on the other hand, assess fire severity using field methodologies and remote sensing, in order to support decision-making.

The fourth article published in this issue of *Territorium*, authored by Jhonathan Lima de Souza, José Marandola, Ana Caroline Damasceno Souza de Sá, Aline Pascoalino, and Vinnícius Vale Dionízio França Vinny, is titled “Spatial distribution of the public hydrant system in Natal/RN: technological risks and hybrid vulnerabilities”. Its aim is to evaluate the spatial distribution of the public hydrant system in Natal, the capital of the state of Rio

do Rio Grande do Norte, Brasil, entendendo-os como ferramentas de resposta a incêndios.

Por último, o artigo “De resíduo a recurso: uma estratégia para valorizar a biomassa da invasora *acacia longifolia*”, da autoria de Joana G. Jesus, Helena Trindade, Cristina Máguas e Florian Ulm, ainda que não abordando diretamente a problemática dos solos e dos incêndios, trata uma questão intimamente ligada a estes aspetos, que é a gestão da biomassa em áreas florestais e o seu potencial na recuperação de ecossistemas afetados por incêndios florestais.

Seguem-se duas notas relacionadas com as questões do risco de incêndio florestal: em primeiro lugar, da autoria de Mário Talaia, “Índice de sensação térmica como indicador de previsão de risco de incêndio: estudo de caso”; em segundo lugar, “Creación de una app para situar y localizar zonas con riesgo de incendios forestales”, da autoria de Laura García-España Soriano, Juan Jose Lull, Cristina Lull Noguera, Maria Desamparados Soriano e Josep Llinares.

Na secção entrevistas é publicado um texto, da autoria de Miguel Carmo, Frederico Ágoas, José Miguel Ferreira e Inês Gomes, que resulta da síntese de três entrevistas a três ilustres investigadores, nomeadamente Raquel Soeiro de Brito, João Filipe Bugalho e João Castro Caldas, sobre o papel do fogo segundo as diferentes perspetivas e formações dos entrevistados.

As duas notícias presentes neste número, ambas da autoria de Romero Bandeira, referem-se a duas publicações relacionadas com Medicina de Catástrofe e correspondem a traduções de uma obra de referência, que em Portugal é editada pela RISCOS, nomeadamente “Vademecum de Medicina de Catástrofe e Situações Sanitárias Excepcionais (SSE)”, uma sobre os “Postos Médicos Avançados” e outra acerca da “Triagem de Medicina de Catástrofe”.

O último texto corresponde a uma resenha de um livro. Com o título “Morro da Concha, o tesouro e o monstro: histórias populares da Barra do Jucu (Vila Velha, ES)”, os autores fazem uma breve apresentação da obra, realçando a sua importância, especialmente ao nível da interação entre a academia e a população local.

Assim, ainda que os trabalhos incluídos neste número não sejam todos exclusivamente dedicados ao tema central, pela leitura do índice geral percebe-se claramente a relevância do tema central escolhido.

Esperamos que este novo número da *Territorium*, que congrega contributos de elevada qualidade, seja de grande utilidade para decisores públicos, investigadores, professores, estudantes, mas também comunidades locais e restante público, interessados nas questões relacionadas com os problemas associados aos incêndios florestais e aos contributos que a academia tem procurado para mitigar os seus efeitos, nomeadamente nos solos.

Grande do Norte, Brazil, understanding them as tools for responding to fires.

Finally, the article “From waste to resource: a strategy to value the biomass of the invasive *acacia longifolia*”, authored by Joana G. Jesus, Helena Trindade, Cristina Máguas and Florian Ulm, although not directly addressing the problem of soils and fires, deals with an issue closely linked to these aspects, which is the management of biomass in forest areas and its potential in the recovery of ecosystems affected by forest fires.

Follows two notes related to the issue of forest fire risk: firstly, by Mário Talaia, “Thermal sensation index as an indicator for fire risk prediction: case study”; secondly, “Creation of an app to identify and locate areas at risk of forest fires”, by Laura García-España Soriano, Juan Jose Lull, Cristina Lull Noguera, Maria Desamparados Soriano and Josep Llinares.

In the interviews section, a text is published, authored by Miguel Carmo, Frederico Ágoas, José Miguel Ferreira and Inês Gomes, which results from the synthesis of three interviews with three distinguished researchers, namely Raquel Soeiro de Brito, João Filipe Bugalho and João Castro Caldas, on the role of fire according to the different perspectives and backgrounds of the interviewees.

The two news items in this issue, both authored by Romero Bandeira, refer to two publications related to Disaster Medicine and correspond to translations of a reference work, published in Portugal by RISCOS, namely “Vademecum of Disaster Medicine and Exceptional Health Situations (SSE)”, one about “Advanced Medical Posts” and the other about “Disaster Medicine Triage”.

The last text is a book review. Titled “Morro da Concha, the treasure and the monster: popular stories from Barra do Jucu (Vila Velha, ES)”, the authors provide a brief introduction to the work, highlighting its importance, especially in terms of the interaction between academia and the local population.

Thus, although not all of the works included in this issue are exclusively dedicated to the central theme, the relevance of the chosen central theme is clearly evident from reading the general index.

We hope that this new issue of *Territorium*, which brings together high-quality contributions, will be of great use to public decision-makers, researchers, professors, students, but also local communities and the rest of the public interested in issues related to the problems associated with forest fires and the contributions that academia has sought to mitigate their effects, particularly on soils.



RISCOS

territorium 33 (I), 2026, 5-15

journal homepage: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/>

DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_33-1_1

Artigo científico / Scientific article



QUEIMADAS NA CAATINGA: UMA ANÁLISE DAS ÁREAS AFETADAS NA BAHIA (1993-2023)*

WILDFIRES IN THE CAATINGA: AN ANALYSIS OF AFFECTED AREAS IN BAHIA (1993-2023)

5

Tayse Lima de Brito Guimarães

Universidade Estadual de Feira de Santana (Brasil)

Departamento de Tecnologia

ORCID 0009-0007-0787-7592 tlguimaraes@uefs.br

Thamires Oliveira do Bomfim

Universidade Estadual de Feira de Santana (Brasil)

PPGM - Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

ORCID 0000-0002-8944-1288 thamiresodobomfim@gmail.com

Rafael Oliveira Franca Rocha

Universidade Estadual de Feira de Santana, GEODATIN (Brasil)

ORCID 0000-0001-5874-3024 rafaelrocha@geodatin.com

Édico de Oliveira Gomes

Universidade Estadual de Feira de Santana (Brasil)

PPGM - Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

ORCID 0009-0003-8076-0551 gomesedico@gmail.com

Rosângela Leal Santos

Universidade Estadual de Feira de Santana (Brasil)

Departamento de Tecnologia

ORCID 0000-0002-9165-2148 rosaleal@uefs.br

RESUMO

A Caatinga é um bioma típico do Brasil que está inserido em região semiárida, caracterizada por um clima quente e seco. A presença humana, através da agricultura e da pecuária, tem provocado danos ambientais significativos, resultando na degradação do solo e na perda de vegetação nativa. O uso do fogo nessas atividades associados às épocas de secas intensificam as queimadas descontroladas, agravando ainda mais a destruição no bioma. Assim, o objetivo deste estudo é examinar os incêndios ocorridos na Caatinga da Bahia, relacionando-os com o uso e ocupação do solo entre os anos de 1993 e 2023. Para isso, foi utilizada a plataforma Mapbiomas para a coleta e análise dos dados. Embora tenha sido observada uma tendência de diminuição das queimadas, picos em determinados anos revelam a pressão das atividades humanas, mostrando que o número de queimadas tem aumentado ao se observar o total acumulado no período, principalmente nas proximidades da fronteira agrícola com o desenvolvimento de agricultura em larga escala.

Palavras-chave: Caatinga, queimadas, Bahia, Mapbiomas.

ABSTRACT

The Caatinga is a typical Brazilian biome located in a semi-arid region, characterized by a hot and dry climate. Human activity, in the form of agriculture and livestock farming, has caused significant environmental damage, leading to soil degradation and the loss of native vegetation. The use of fire in these activities, combined with periods of intense drought, exacerbates uncontrolled wildfires, further worsening the destruction within the biome. Thus, the objective of this study is to examine the fires occurring in the Caatinga of Bahia, relating them to land use and land occupation between 1993 and 2023. For this purpose, the Mapbiomas platform was employed for data collection and analysis. While a decreasing trend in fires has been observed, peaks in specific years reveal the pressure of human activity. Moreover, an analysis of the cumulative total of fires over the designated period reveals that there has been an increase in the number of wildfires, particularly near the agricultural frontier, with the expansion of large-scale agriculture.

Keywords: Caatinga, burned, Bahia, Mapbiomas.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada ao III Seminário da Rede Incêndios-Solo, tendo sido submetido em 27-03-2025, sujeito a revisão por pares a 24-04-2025 e aceite para publicação em 05-09-2025. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

A Caatinga é um bioma tipicamente brasileiro e o segundo maior do país. Ele abrange oito estados do nordeste e do norte do estado de Minas Gerais. No estado da Bahia, a Caatinga ocupa 54% da área, abrangendo 258 municípios, distribuídos em 388.274 km² (Inema, 2011). Esse bioma é caracterizado por um clima quente e seco, onde os animais e a vegetação são completamente adaptados a esses fatores. No entanto, devido à morfologia da região, as paisagens possuem uma imensa variedade, contendo áreas mais úmidas, chamadas de brejos (Rodal *et al.*, 2005).

Conhecida como “Mata Branca”, a *Caatinga* tem seu nome originado do tupi, língua dos povos originários que viveram e ainda vivem nessa região do Brasil. A denominação faz referência à aparência da vegetação durante a estação seca, quando as árvores e arbustos perdem suas folhas, deixando à vista apenas os troncos claros e brilhantes, que dominam a paisagem árida. No entanto, durante o período chuvoso, o cenário se transforma com a presença de folhagens verdes e exuberantes (ver fot. 1 e 2). Essas variações sazonais conferem ao bioma *Caatinga* uma vulnerabilidade natural tanto à ocorrência de secas quanto à propagação de incêndios.

Conforme dados do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema, 2011), vivem em torno de 6 milhões de pessoas na Caatinga baiana, sendo que parte desta população pratica a agricultura familiar com criação de caprinos e bovinos. As atividades produtivas como agricultura, pecuária e mineração fizeram parte do processo de ocupação da Caatinga, em que em tempo pretérito o cultivo de algodão, a utilização do fogo para limpar o terreno para novos cultivos e a devastação da vegetação para a colheita de lenha, bem como o avanço da criação de gado, levou ao esgotamento do solo em inúmeros locais (Evangelista, 2010).



Fot. 1 - Caatinga no período chuvoso

(Fonte: <https://www.bahianoticias.com.br/municipios/noticia/27328-oito-das-dez-cidades-mais-afetadas-por-retracao-da-Caatinga-sao-baianas>).

Photo 1 - Caatinga in the rainy season

(Source: <https://www.bahianoticias.com.br/municipios/noticia/27328-oito-das-dez-cidades-mais-afetadas-por-retracao-da-Caatinga-sao-baianas>).

Com o passar dos anos a agricultura em larga escala com a utilização também de pivôs centrais (Pivôs centrais são sistemas circulares de irrigação usados na agricultura intensiva, associados à expansão do agronegócio.) foi sendo desenvolvida próximo a região de fronteira com o cerrado. O aumento da produção dessas atividades ocasiona maior degradação desse ambiente, culminando em um processo de devastação, fazendo com que este bioma se tornasse um dos mais desmatados do país, restando apenas 60% de sua vegetação nativa em 2024 (Agência Brasil, 2024).

Segundo o Projeto Mapbiomas (2024), o estado da Bahia aparece nos dados nacionais como o estado que mais desmatou a Caatinga em 2023, um aumento de 34% em relação a 2022. Além das atividades já consolidadas na região, a Caatinga agora enfrenta o desmatamento pela pressão dos empreendimentos da energia solar e eólica, conforme o Relatório Anual de Desmatamento do Brasil (Projeto Mapbiomas, 2024).

O processo de desenvolvimento dessas atividades produtivas na Caatinga, também trouxe a formação de áreas de desertificação em vários pontos no bioma, registrando áreas áridas no norte da Bahia (Cemaden; Inpe, 2023). Ainda segundo os dados apresentados, a perda de vegetação primária totalizou 15 milhões de hectares (26,36 %) no período de 1985 a 2020.

Ademais aos fatores ligados ao desmatamento e desertificação, a utilização do fogo como prática para a limpeza de pasto e preparo para a plantação é largamente utilizada na região rural, além da queima de lixo pela população. Nessas atividades, principalmente em período seco, o fogo pode perder o controle ocasionando incêndios de maior proporção, acarretando danos ao bioma já castigado.

Os incêndios florestais são um fenômeno recorrente em ecossistemas semiáridos, com impactos significativos



Fot. 2 - Caatinga no período seco

(Fonte: <https://www.bahiajornal.com.br/noticia/4568/Caatinga-baiana-e-destaque-no-apoio-municipal-a-agroecologia-no-nordest>).

Photo 2 - Caatinga in the dry season

(Source: <https://www.bahiajornal.com.br/noticia/4568/Caatinga-baiana-e-destaque-no-apoio-municipal-a-agroecologia-no-nordest>).

sobre a biodiversidade, os recursos hídricos e os modos de vida das populações locais (Almeida *et al.*, 2020). Na Caatinga, a ocorrência de incêndios tem-se tornado mais frequente e intensa nas últimas décadas, impulsionada por fatores naturais, como secas prolongadas, e antrópicos, como o desmatamento, queimadas agrícolas e mudanças no uso da terra (Santos *et al.*, 2022). De acordo com Jesus *et al.* (2020), a utilização do fogo para o manejo de diversas culturas tende a aumentar a ocorrência de incêndios em diversos biomas brasileiros, ocasionando diversos prejuízos ecológicos, econômicos e paisagísticos.

A Bahia, que abriga a maior extensão da Caatinga no Brasil, tem registrado um aumento expressivo no número de focos de calor, especialmente em períodos de estiagem severa. Dados recentes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) indicam que a Bahia está entre os estados com maior incidência de focos de incêndio na Caatinga, representando uma ameaça crítica para a vegetação nativa e a estabilidade dos ecossistemas semiáridos (Inpe, 2023).

Conforme Silva *et al.* (2023) em estudo publicado na revista *Ciência Florestal*, avaliando a ocorrência média de incêndios na Caatinga brasileira no período de 2001 a 2018, verificou que o estado da Bahia (1491,89 ocorrências) aparece em segundo lugar, atrás somente do Piauí com 3592,5 ocorrências médias de fogo.

Os incêndios na Caatinga diferem de outros biomas brasileiros devido às características da vegetação, composta por espécies xeromórficas adaptadas à escassez hídrica. A combustibilidade da vegetação seca durante a estação seca favorece a propagação rápida do fogo, agravando a degradação ambiental e contribuindo para processos de desertificação (Leal *et al.*, 2018). Além disso, os incêndios afetam a dinâmica do carbono, alterando os ciclos biogeoquímicos do solo e impactando a recuperação da vegetação a longo prazo (Silva *et al.*, 2021).

Logo, a Caatinga que está na região semiárida, pode apresentar maior quantidade de focos de incêndios, já que em regiões semiáridas, a escassez e irregularidades de chuvas, ventos fortes, intensa radiação solar e elevado potencial de evapotranspiração acarreta a propensão desses focos (Golla, 2021; Yadav e Lal, 2018).

Conforme relatório da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024), o estado da Bahia apresentou agravamento das condições de seca entre os últimos meses de 2024 e fevereiro de 2025, reiterando a recorrência desse fenômeno climático no Nordeste e seus impactos diretos sobre a Caatinga. Embora o bioma seja ecologicamente adaptado ao clima semiárido – valendo-se de estratégias morfológicas e fisiológicas que conferem tolerância à escassez hídrica – eventos de seca mais prolongados e intensos podem ultrapassar sua capacidade de resiliência, comprometendo processos

ecológicos essenciais, como a regeneração da vegetação e a manutenção da biodiversidade.

Tais condições extremas também potencializam a ocorrência de incêndios. Segundo Matos (2023), os focos de incêndios tendem a aumentar em períodos mais secos, quando a combinação de altas temperaturas e déficit hídrico torna a biomassa combustível mais suscetível à ignição, agravando ainda mais a degradação vegetal. A perspectiva de recordes sucessivos de temperatura, como o registrado em 2024, sinaliza a possibilidade de ampliação desses focos no futuro próximo. Dessa forma, as alterações climáticas podem expandir a área de impacto, além de elevar a frequência, a intensidade e a severidade de eventos de seca e incêndios, prejudicando serviços ecossistêmicos fundamentais ao bemestar humano (Lecinadiáz *et al.*, 2021).

A escassez de estudos específicos sobre a dinâmica dos incêndios florestais no semiárido nordestino brasileiro, reforça a necessidade de pesquisas que avaliem padrões espaciais e temporais dos focos de incêndio na Caatinga baiana. Compreender os fatores determinantes desses incêndios e suas consequências é essencial para subsidiar políticas públicas voltadas à prevenção e ao manejo sustentável do fogo. Além disso, a integração de dados de sensoriamento remoto e modelagem preditiva pode oferecer uma abordagem inovadora para monitorar e mitigar os impactos dos incêndios na região (Gonzaga Masullo, 2018).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar as ocorrências de incêndios na Caatinga baiana relacionando com o uso e ocupação do solo entre 1993 e 2023. Dessa forma, este estudo busca contribuir para o avanço do conhecimento sobre a ocorrência e os impactos dos incêndios na Caatinga baiana, fornecendo medidas para estratégias de gestão ambiental e conservação deste bioma único e vulnerável.

Material e Métodos

Área de Estudo

A área de estudo está localizada no estado da Bahia-Brasil, inserida no bioma Caatinga, uma ecorregião semiárida exclusiva do Brasil, que se estende por aproximadamente 844.453 km², cobrindo cerca de 11% do território nacional (MMA, 2020). Na Bahia a Caatinga (fig. 1) se estende por mais da metade do território (54%) e seu processo de ocupação é de séculos atrás, que utilizou atividades produtivas que degradam esse espaço único no Brasil, trazendo consequências devastadoras para o bioma que continua passando por um extenso processo de alteração e deterioração ambiental provocado pelo uso insustentável de seus recursos naturais, sendo a região natural menos protegida no Brasil (Silva, 2005).

A região é caracterizada por um conjunto de espaços que possuem balanço hídrico negativo, resultante das precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2800 horas/ano, temperaturas médias anuais de 23° a 27° C, evaporação de 2.000 mm/ano, além de umidade relativa do ar média em torno de 50% (Moura *et al.*, 2007). Essas particularidades trazem ao bioma um alto nível de endemismo, consequência da adaptação a um clima mais severo, sendo considerada por Alves (2007) um bioma extremamente frágil.

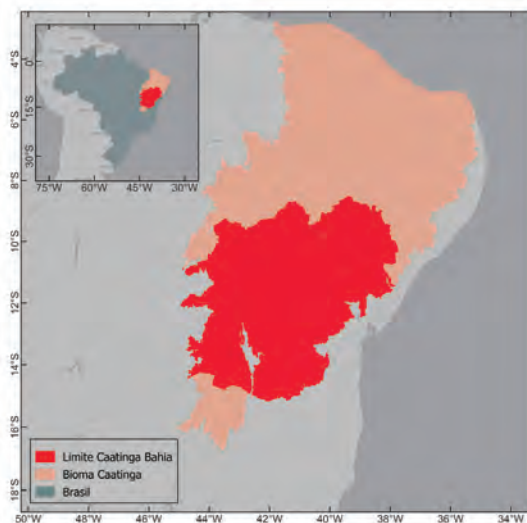


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Fig. 1 - Location map of the study area.

A Caatinga engloba associações vegetais diferenciadas e formações fisionômicas e florísticas típicas de outros biomas, em razão da sua localização azonal (Evangelista, 2010). A Caatinga é caracterizada por uma vegetação xerófila que possui adaptação a ambientes secos, com escassez de água. Suas plantas tendem a perder as folhas no período de estiagem para diminuir a perda de água, possuem espinhos e raízes longas que facilitam a busca por nutrientes. Por estar inserida no semiárido, este bioma apresenta diferentes zonas fisiográficas, onde os índices de aridez apresentam uma grande variação (fot. 1). A região semiárida é caracterizada por seu índice de aridez, calculado a partir da relação entre o potencial hídrico e a evapotranspiração potencial (Thornthwaite, 1955) ou, alternativamente, entre o potencial hídrico e a temperatura (Gausson e Bagnolus, 1952). Em algumas delas, o balanço hídrico (diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial) é acentuadamente negativo.

A vegetação da Caatinga apresenta adaptações à escassez hídrica, evidenciadas por características hiperxerófilas observadas na sua composição arbóreo-arbustiva, a qual reflete estratégias morfofisiológicas próprias de ambientes semiáridos (Lucena; Holanda; Alves, 2020). Ela se desenvolve sobre solos rasos, que se formam devido à intensa erosão

causada pelas chuvas torrenciais. Esse processo ocorre principalmente quando o solo está desprotegido, sem cobertura vegetal, ficando exposto à ação da água. Em outras, verifica-se balanço hídrico ligeiramente negativo, onde se desenvolve uma Caatinga com caráter hipoxerófila. Existem também áreas que apresentam um balanço hídrico menos negativo, com reposição de água no solo, podendo até chegar a um valor positivo, em um curto período do ano. Contudo, na área delimitada pela poligonal, ocorrem, periodicamente, secas anômalas de grande duração, com reduzido índice pluviométrico anual, que ocasiona, na maioria das vezes, grandes perdas econômicas, na agricultura, na pecuária, tendo como consequência, sérios problemas econômicos, podendo acarretar migrações da população mais carente, êxodo rural e concentrações populacionais nas áreas urbanas.

Fonte dos dados utilizados na pesquisa

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir da plataforma Mapbiomas Fogo, um sistema desenvolvido para o monitoramento histórico da ocorrência de incêndios em todo o território brasileiro. O uso do Mapbiomas Fogo se justifica pela sua abrangência temporal e espacial, além de permitir uma análise robusta da dinâmica do fogo na área de estudo.

Esta plataforma utiliza imagens de satélite dos sensores MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e Sentinel-2, combinadas com algoritmos baseados em *Deep Learning* para a detecção automatizada de eventos de fogo. Todo processamento é validado por meio de comparação com mapas de referência (Nasa, 2015), garantindo alta acurácia dos resultados, mesmo em regiões com cobertura vegetal esparsa, como a Caatinga (Almeida *et al.*, 2022). Adicionalmente, a plataforma integra uma base de dados em formato SIG para o cálculo de estatísticas, permitindo a análise de tendências e padrões espaciais e temporais do fogo no Brasil (Mapbiomas, 2023).

Foram selecionadas as informações de queimadas dentro do limite da Caatinga baiana no período de 1993 a 2023. Os downloads, realizados em formato raster e .csv, incluem as áreas totais queimadas por ano (em hectares) e o histórico do uso e cobertura para essas áreas queimadas.

Reclassificação das Classes de Cobertura

Os dados originais de cobertura do solo foram reclassificados (TABELA I) com o uso do software QGIS versão 3.22.4-Białowieża. As classes originais do Mapbiomas Fogo foram organizadas em cinco categorias principais:

- Vegetação nativa: áreas com a existência de vegetação arbórea, arbustiva ou herbácea;
- Agricultura (AGR): áreas ocupadas com cultivos agrícolas;

TABELA I - Reclassificação das classes de cobertura do solo.

TABLE I - Reclassification of land cover classes.

ID	Cobertura ou Uso	COD	Reclassificação
1	Vegetação nativa		Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre
2	Agricultura	AGR	Silvicultura, Cana, Soja, Outras Lavouras Temporárias, Café, Outras Lavouras Perenes, Algodão
3	Pastagem		Pastagem
4	Mosaico de usos		Mosaico de usos
5	Área não Vegetada	NVE	Praia, Duna e Areal, Outras Áreas não Vegetadas.

- Pastagem: áreas diretamente ligadas à atividade pecuária;
- Mosaico de usos: áreas de uso agropecuário, sem distinção entre agricultura e pastagem;
- Área não Vegetada (NVE): áreas sem vegetação significativa.

Geração dos Mapas de Áreas Queimadas

Para visualizar as áreas queimadas, mapas temáticos foram gerados no QGIS para cada ano analisado. Os mapas foram construídos utilizando o sistema de coordenadas SIRGAS 2000, garantindo a consistência geográfica das análises e a compatibilidade com outras bases de dados geoespaciais. Cada classe reclassificada foi representada nos mapas, facilitando a análise visual da expansão ou retração das cicatrizes de fogo ao longo das décadas.

Geração de gráficos

Para visualizar o comportamento das queimadas ao longo do período selecionado, foram gerados gráficos em ambiente excel, dos valores de área referentes as queimadas totais anuais, os valores acumulados com a soma dos anos ao longo do período e os valores de área referentes as áreas queimadas separadas por classe de uso e cobertura. Esses produtos permitiram a identificação das principais transformações no uso do solo afetadas por queimadas na Caatinga baiana, bem como a evolução dessas mudanças durante os 30 anos analisados. Essa análise permitiu identificar os principais vetores de queimadas e seus impactos nos diferentes tipos de usos da terra.

Resultados

O uso do solo na área de estudo (fig. 2) é dominado por três principais classes: formação savânica (52,6% - 730.572,07km²), pastagem (29,1% - 403.459,5km²) e mosaico de usos (11,7% - 162.585,7km²). Observa-se que a pastagem está concentrada no leste e sul da região, enquanto a formação savânica predomina na porção oeste, onde também se verifica a maior incidência de cicatrizes de queimadas no bioma (fig. 3). Durante o período analisado, essa região apresentou uma variação

18% nas áreas afetadas pelo fogo. É possível perceber a expansão da área de pastagem e mosaico de usos na Caatinga em detrimento da formação savânica, o que está relacionado ao impacto maior da ação humana nesse bioma, uma vez que as mudanças no uso do solo é o principal fator da rápida redução da cobertura florestal e da proliferação de tipos de vegetação com menor cobertura arbórea (Araujo *et. al.*, 2023).

Destaca-se que a formação savânica possui maior susceptibilidade à propagação do fogo, devido à presença de estrato rasteiro composto por gramíneas. Essas áreas coincidem com regiões de maior desenvolvimento agrícola, como o Vale do São Francisco, além das proximidades da Chapada Diamantina.

A análise espaço-temporal das áreas queimadas no bioma Caatinga, de acordo com os tipos de cobertura de solo, foi realizada com base nos dados fornecidos pelo Mapbiomas Fogo para o período de 1993 a 2023. As informações obtidas destacam tendências importantes nas áreas afetadas pelas queimadas ao longo do período analisado.

Segundo os dados apresentados, observou-se uma tendência geral de diminuição nas áreas queimadas (fig. 2) especialmente a partir de 2009. Essa redução pode ser atribuída a uma série de fatores, como o fortalecimento de políticas ambientais, o avanço no monitoramento por satélite e a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. No entanto, apesar dessa tendência de queda, houve picos significativos de queimadas em anos específicos, como 2015 e 2021, que se desviaram da média e chamaram a atenção pela dimensão de área queimada, especialmente na vegetação nativa. Vale ressaltar que nestes anos, houve um aumento das áreas cultiváveis (pastagem e agricultura), principalmente nas áreas próximas ao cerrado, que são áreas de expansão do agronegócio.

Ao analisar o total acumulado das áreas queimadas, pode-se observar que houve uma crescente durante os anos, verificando aumento de 1000% em 2023 em relação a 1993 (fig. 4), o que demonstra o quanto a Caatinga foi impactada nesse período, sendo um dos biomas mais devastados. Conforme o Ministério do Meio Ambiente (2020) esse problema é devido principalmente

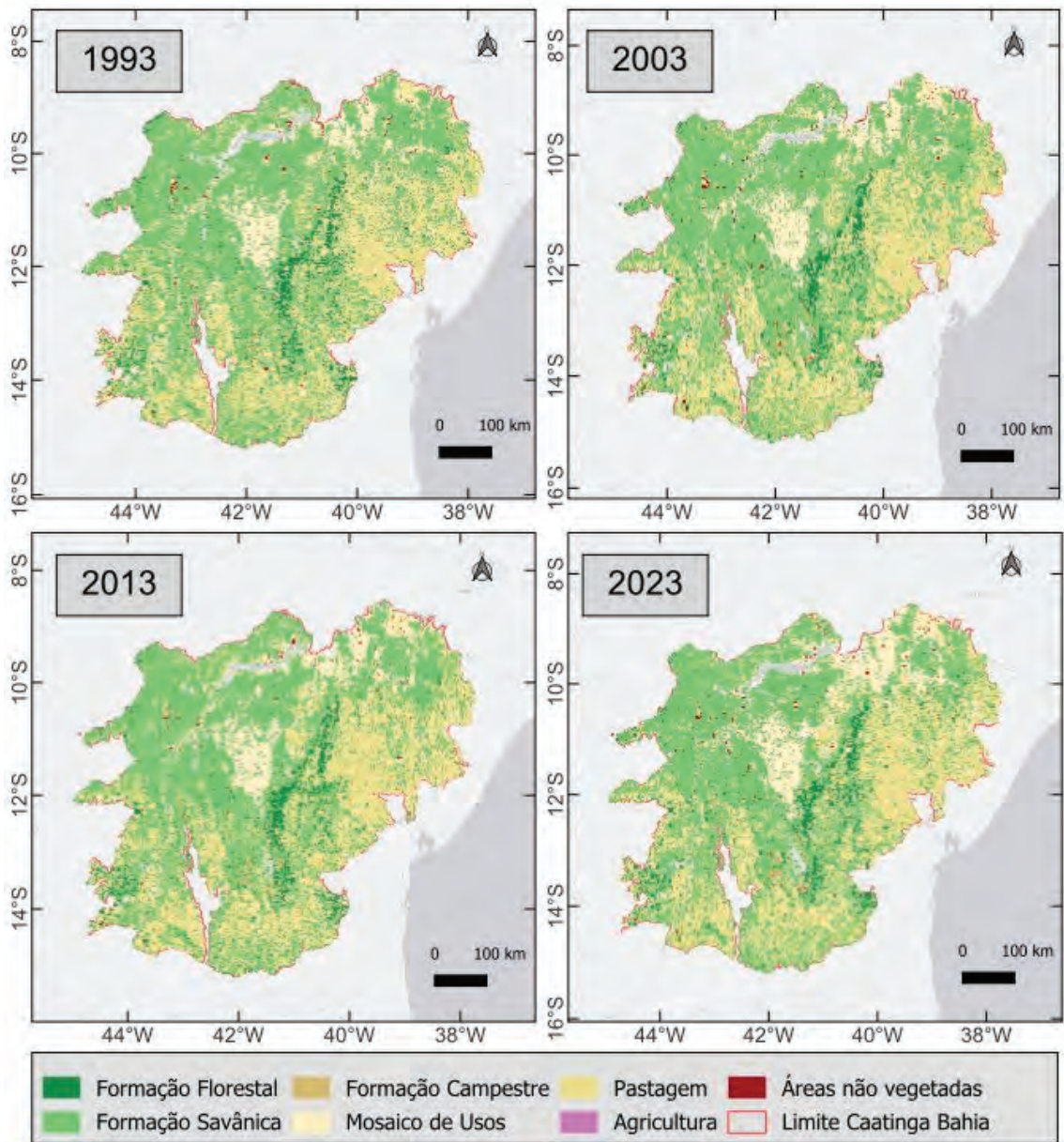


Fig. 2 - Mapas de uso e ocupação do solo no bioma Caatinga entre 1993 a 2023, Bahia - Brasil.
 Fig. 2 - Maps of land use and land cover of the Caatinga biome from 1993 to 2023, Bahia - Brazil.

ao consumo de lenha nativa, explorada de forma ilegal e insustentável, para fins domésticos e indústrias, ao sobrepastoreio e a conversão para pastagens e agricultura.

A proximidade da fronteira agrícola do MATOPIBA é um fator relevante para a ocorrência de queimadas no oeste da Caatinga, uma vez que exerce pressão sobre as formações vegetais, favorecendo a expansão da agricultura em larga escala. Essa região é caracterizada pela proximidade com o cerrado brasileiro, apresentando relevo plano, temperaturas elevadas com baixa umidade e precipitação, o que favorece a ocorrência de incêndios.

De acordo com artigo publicado no site Brasil Amazônia Agora (2024), essas práticas se tornam mais arriscadas em condições climáticas adversas, como tempo seco e ventos fortes. Além das queimadas para limpeza de terreno, há também incêndios criminosos, motivados pelo desejo de expandir áreas para agricultura ou pastagem, como abordado por Santos (2024).

Verificando os dados da área queimada anual por classe (fig. 5), em 2015, a área de vegetação nativa queimada atingiu um nível alarmante, totalizando 308.324,07 hectares. Outro pico significativo ocorreu em 2021, com 260.910,29 hectares afetados. Além desses, em

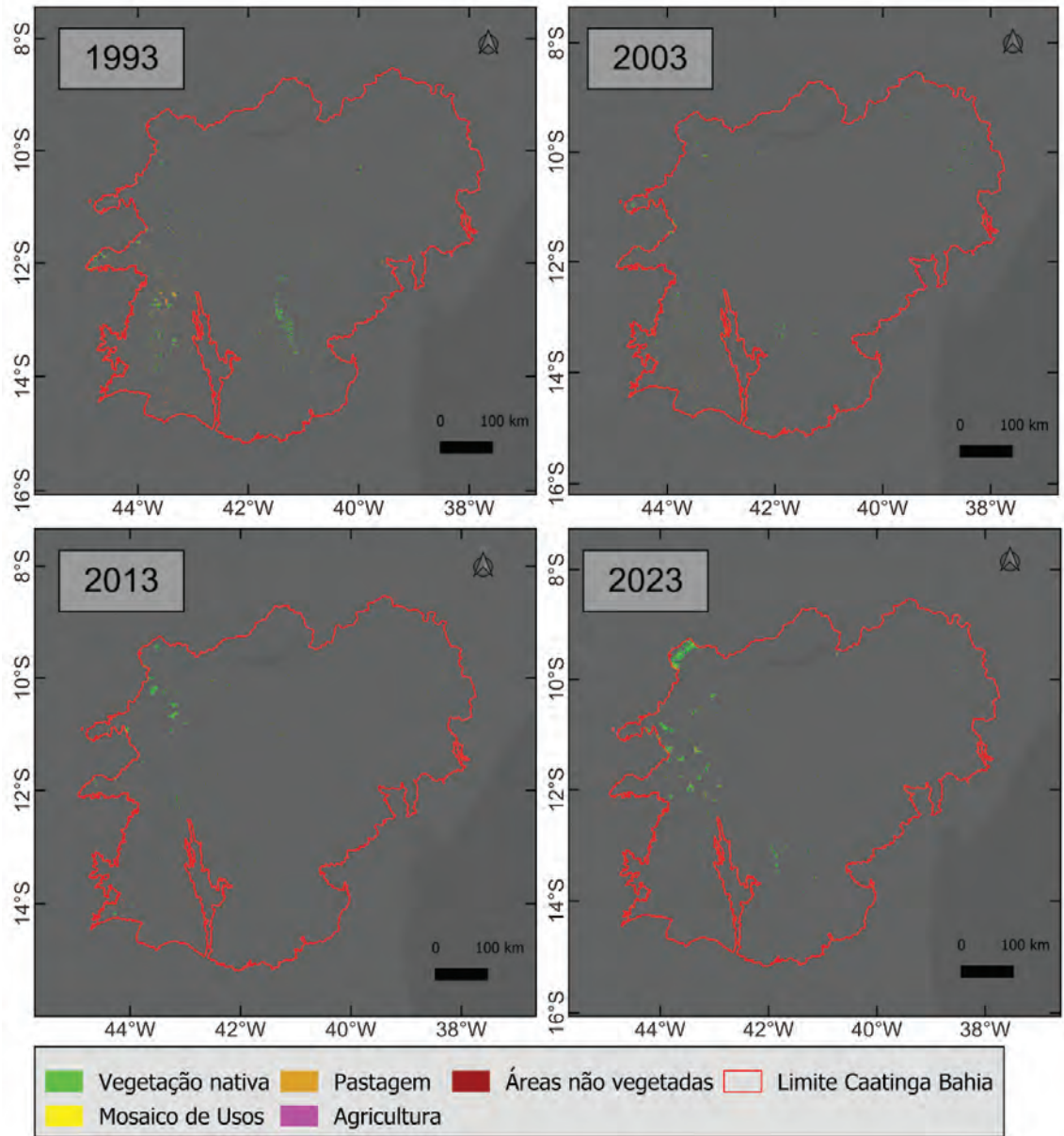


Fig. 3 - Cicatrizes de queimadas no bioma Caatinga entre 1993 a 2023, Bahia - Brasil.

Fig. 3 - Burn scars in the Caatinga biome from 1993 to 2023, Bahia - Brazil.

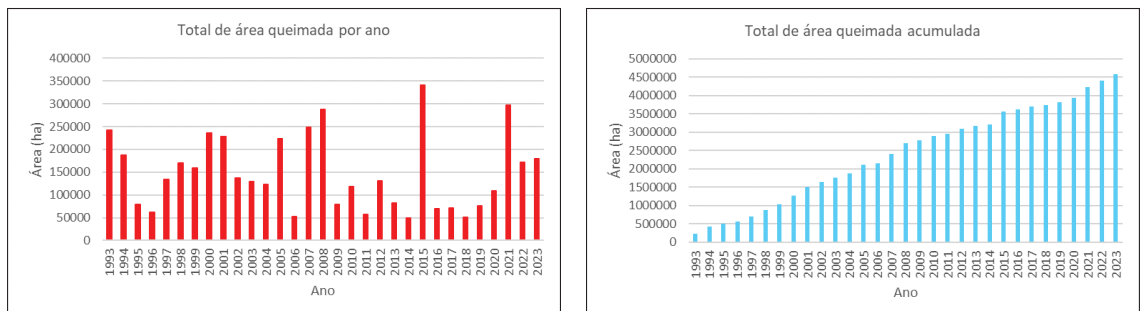


Fig. 4 - Gráficos de área queimada no bioma Caatinga entre 1993 a 2023, anualmente e acumulada, respectivamente.

Fig. 4 - Graphs of burned area in the Caatinga biome from 1993 to 2023, annually and cumulatively, respectively.

2008 também foi registrado um aumento expressivo nas queimadas, quando a área queimada chegou a 279.128,73 hectares. Esses picos podem ser atribuídos a uma combinação de fatores, como a ocorrência de períodos com baixa frequência de chuvas – especialmente entre os meses de setembro e dezembro – associados à intensificação dos ventos e à incidência de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e a atuação do fenômeno El Niño (Alves *et al.*, 2021). Além disso, a expansão do agronegócio, que frequentemente envolve desmatamento e o uso de queimadas como prática de preparo do solo, também contribui significativamente para o aumento da ocorrência de incêndios, conforme destacado por Souza *et al.* (2017).

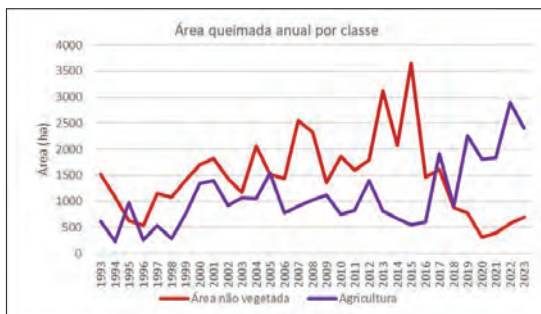
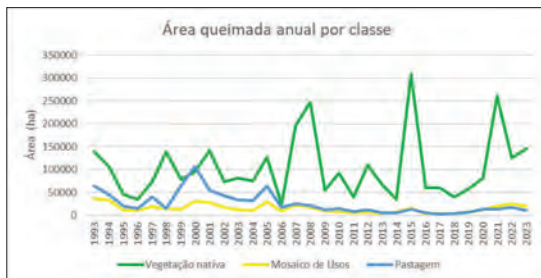


Fig. 5 - Área queimada por classe de uso do solo no bioma Caatinga entre 1993 a 2023, Bahia - Brasil.

Fig. 5 - Burned area by land use class in the Caatinga biome from 1993 to 2023, Bahia, Brazil.

Vale destacar que a devastação desse ambiente está associado o processo histórico de ocupação que teve como principais atividades a pecuária e a agricultura de subsistência (Evangelista, 2010). Para além dos rebanhos bovinos há também a criação de caprinos, mais adaptados ao terreno e às condições climáticas da região. Esses pequenos ruminantes, em época de seca, passam a funcionar como a poupança do sertanejo, graças à sua fantástica adaptação às condições de extrema limitação de alimentos (Arruda & Sugai, 1994). Por outro lado, as áreas já consolidadas para a agricultura permaneceram praticamente estáveis, sem necessidade de novas queimadas, pois já estão preparadas para o plantio. Esse cenário contrasta com as regiões de vegetação nativa, que ainda sofrem intensa pressão em razão da expansão das atividades agropecuárias.

A vegetação nativa, categoria amplamente impactada pelas queimadas ao longo das três últimas décadas, configura-se como a mais vulnerável, diante da significativa perda de biodiversidade e da degradação dos serviços ecossistêmicos. Esses impactos comprometem de forma severa os processos de conservação e dificultam a recuperação ecológica do bioma Caatinga.

As áreas não vegetadas e pastagens apresentaram uma redução nas queimadas ao longo dos anos. Nas pastagens, a área queimada caiu significativamente após 2000, de 107.324,91 hectares para 3.078,09 hectares em 2017. Isso pode ser atribuído a mudanças no manejo do solo, como a conversão de pastagens em áreas agrícolas ou práticas que minimizem o uso do fogo, como orientações de profissionais da área da agricultura. As áreas não vegetadas também apresentaram uma diminuição, especialmente após 2020, com uma redução para cerca de 310 hectares de área queimada, o que pode refletir melhorias na gestão dessas áreas.

Por outro lado, a agricultura apresentou uma tendência oposta, com aumento gradual das áreas queimadas desde 2017. Em 2022, a extensão queimada em terras agrícolas foi de 2.897,84 hectares, e em 2023, de 2.403,39 hectares. Esse crescimento está diretamente relacionado à expansão do agronegócio, sobretudo nas zonas de transição com o Cerrado, onde a pressão por novas áreas cultiváveis tem se intensificado em detrimento da vegetação nativa. O uso indiscriminado do fogo pela agricultura familiar como forma de preparo do solo, principalmente em atividades de monocultura e pastagem, por ser economicamente viável e de rápida execução, tem sido uma prática comum na região (Mesquita, 2020). No entanto, essa estratégia contribui para o avanço do desmatamento, degradação do solo, perda de biodiversidade e aumento do risco de incêndios descontrolados, agravando os impactos ambientais em áreas já sensíveis à variabilidade climática.

Analisando mais de perto em relação às classes, é possível verificar que dentro da vegetação nativa, a classe de formação savânica (fig. 6) é a que mais sofreu com as queimadas, estando acima de 80% de área queimada em todo período analisado, alcançando 97,7% em 2020. Essas formações apresentam árvores espaçadas e gramíneas, sendo mais propensas a propagação do fogo e conseqüentemente ao desgaste do solo na queima descontrolada. Uma vez que o uso do fogo como técnica de preparo do solo ainda é comum em algumas regiões, contribuindo para o aumento das queimadas. Logo, a ação humana, com o uso intencional do fogo para abertura de áreas agrícolas e pastagens, contribuiu para os altos índices de queimadas. Nos anos críticos de 2008, 2015 e 2021, a combinação entre secas severas e atividades antrópicas intensificou a ocorrência de incêndios de grande escala. Conforme os

dados apresentados por Pastrana Mojica *et al.* (2024) a cobertura da vegetação de savanas do bioma Caatinga em todo nordeste é significativamente afetado por estas ocorrências, com quase 76% do bioma queimado, entre os meses de setembro, outubro e dezembro de 2022.

Soma-se a essa discussão os estudos realizados por Alves *et al.* (2021), que concluem que a avaliação da variação interanual dos focos de calor na Caatinga e sua relação com diferentes fatores meteorológicos indicou que o período entre setembro e dezembro, caracterizado pela estação mais seca da região, também corresponde à época de ventos mais intensos, o que favorece a propagação dos incêndios. Além disso, a análise dos dados de precipitação mostrou que, quando as chuvas ficam abaixo da média entre fevereiro e junho – período tipicamente chuvoso –, há um aumento na ocorrência de focos de calor.

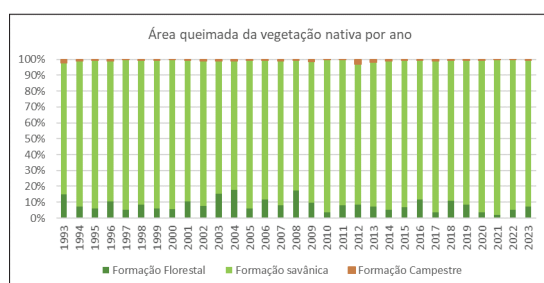


Fig. 6 - Gráficos de área queimada de vegetação nativa no bioma Caatinga entre 1993 a 2023, Bahia, Brasil.

Fig. 6 - Graphs of burned native vegetation area in the Caatinga biome from 1993 to 2023, Bahia, Brazil.

Assim, a complexidade dos incêndios na Caatinga perpassa pela conjunção de um ambiente com baixa umidade, temperaturas elevadas e chuvas irregulares em pequena escala, uma vegetação que perde suas folhas em períodos de secas e a ação humana, voltada principalmente por sua devastação para a agricultura de larga escala.

Conclusão

A Caatinga tem sofrido transformações significativas ao longo das últimas décadas, com destaque para a diminuição da formação savânica e o aumento das áreas

destinadas à pastagem e ao mosaico de uso. A região oeste da Caatinga, apresentou uma variação acumulada de 18% nas cicatrizes de queimadas, refletindo um padrão preocupante de degradação. Embora se observe uma tendência geral de diminuição das queimadas ao longo do tempo, picos significativos, especialmente em 2015 e 2021, evidenciam a volatilidade e a persistência da ameaça ao bioma.

O consumo insustentável de lenha nativa, o sobrepastoreio e a conversão de áreas para pastagem e agricultura, aliados à proximidade da fronteira agrícola do MATOPIBA, intensificam a pressão sobre a vegetação nativa, que é uma das categorias mais ameaçadas. A agricultura, em particular, tem sido responsável pelo aumento da área queimada desde 2017, o que agrava ainda mais o cenário de preocupação ambiental.

Além disso, as mudanças climáticas, ao intensificarem a frequência e a duração das secas, agravam o cenário ao favorecer a ocorrência de queimadas descontroladas. Inicialmente, áreas como pastagens e regiões não vegetadas apresentaram uma redução nos focos de incêndio; no entanto, passaram a enfrentar uma situação mais instável. Diante desse contexto, torna-se urgente a adoção de ações sustentáveis para mitigar a degradação e preservar o equilíbrio ecológico da Caatinga, um bioma de grande importância para o Brasil.

Entre as estratégias recomendadas, destaca-se o reflorestamento com espécies nativas, que contribui para a retenção da umidade no solo e favorece o crescimento da vegetação. Essa medida deve ser considerada prioritária na recuperação do bioma, assim como a implantação de sistemas agroflorestais em áreas agrícolas, que conciliam produção e conservação ambiental, promovendo melhores condições ecológicas.

Sob outra perspectiva, é fundamental o fortalecimento do marco legal para o enfrentamento dos incêndios florestais. Em 2024, foi sancionada no Brasil a Lei nº 14.944/2024, que institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, com foco na prevenção de incêndios e na preservação do meio ambiente. Essa legislação surge como resposta às frequentes queimadas que afetaram severamente diversos biomas do país, deixando impactos ambientais de longo prazo. Diante disso, recomenda-se a realização de estudos na região da Caatinga para avaliar se a nova lei tem gerado efeitos significativos na redução das áreas queimadas e na melhoria da gestão do fogo.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA BRASIL (2024). *Brasil já perdeu 34 milhões de hectares de caatinga*. Agência Brasil. URL: <https://agenciabrasil.etc.com.br/geral/noticia/2024-04/brasil-ja-perdeu-34-milhoes-de-hectares-de-caatinga>

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA (2024). *Mapa do monitor de secas: dezembro de 2024*. monitor de secas. URL: <https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=12&ano=2024>
- Almeida, J. S., Ferreira, L. G., & Souza, C. M. (2022). Avaliação de dados de queimadas e incêndios no Brasil: comparação entre mapbiomas fogo e inpe queimadas. *Revista Brasileira de Geotecnologias*, 10(1), 45-61.
- Almeida, J. S., Souza, p. F., & Moura, N. A. (2020). Impactos dos incêndios florestais no semiárido brasileiro. *Journal of Environmental Studies*, 15(2), 87-99.
- Alves, J. J. A. (2007). Geocologia da caatinga no semiárido do nordeste brasileiro. *Climep: climatologia e estudos da paisagem*, 2(1), 58-71.
- Alves, J. M. B., Silva, E. M., Araújo, F. C., & Silva, L. L. (2021). Um estudo de focos de calor no bioma caatinga e suas relações com variáveis meteorológicas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(3), 513-527. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786363001>
- Araujo, H. F. P., Souza, E. B., Nascimento, L. M., Siqueira-Filho, J. A., & Silva, J. M. C. (2023). Human disturbance is the major driver of vegetation changes in the caatinga dry forest region. *Scientific Reports*, 13, 18440. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45463-5>
- Arruda, Z. J., & Sugai, Y. (1994). *Regionalização da pecuária bovina no Brasil*. Campo Grande: embrapa-cnpgc. URL: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/316670>
- BRASIL AMAZÔNIA AGORA (2024). 2023 registra número recorde de queimadas na caatinga. *Brasil Amazônia Agora Desenvolvimento Sustentável*. URL: <https://brasilamazoniaagora.com.br/2023-queimadas-caatinga/>
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS - CEMADEN & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE (2025, fevereiro 13). *Nota Técnica: elaboração dos mapas de índice de aridez e precipitação total acumulada para o Brasil [relatório técnico]*. URL: https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/estudo-do-cemaden-e-do-inpe-identifica-pela-primeira-vez-a-ocorrencia-de-uma-regiao-arida-no-pais/nota-tecnica_aridas.pdf
- Evangelista, A. R. S. (2010). *O processo de ocupação do bioma caatinga e suas repercussões socioambientais na sisalândia, Bahia (Dissertação de Mestrado)*. Instituto de Geociências, Univ. Federal da Bahia.
- Gaussens, H., & Bagnouls, F. (1952). L'indice Xéothermique. *Bulletin de L'association de Géographes Français*, 29(222-223), 10-16. URL: https://www.persee.fr/doc/bagf_0004-5322_1952_num_29_222_7361
- Golla, B. (2021). Agricultural production system in arid and semi-arid regions. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 7(2), 234-244. DOI: <https://doi.org/10.17352/2455-815x.000113>
- Gonzaga Masullo, Y. A. (2018). Análise preditiva de ocorrências de incêndios no bioma amazônico do Maranhão. *Geotextos*, 14(2). DOI: <https://doi.org/10.9771/geo.v14i2.28097>
- Hardesty, J., Myers, R., & Fulks, W. (2005). Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *George Wright Forum*, 22, 78-87.
- INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - INEMA (2024, setembro 18). *Bioma caatinga é tema de discussão em pré-conferência na Bahia*. URL: <https://www.ba.gov.br/meioambiente/noticia/2024-02/15661/bioma-caatinga-e-tema-de-discussao-em-pre-conferencia-na-bahia>
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE (2023). *Monitoramento de queimadas e incêndios florestais no Brasil*. São José dos Campos. URL: www.inpe.br/queimadas
- Jesus, J. B. de, Rosa, C. N. da, Barreto, I. D. de C., & Fernandes, M. M. (2020). Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. *Ciência Florestal*, 30(1), 176-191. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509837696>
- Leal, I. R., Tabarelli, M., & Silva, J. M. C. (2018). *Ecologia e conservação da caatinga*. Editora Universitária da UFPE.
- Lecina-Diaz, J., Martínez-Vilalta, J., Álvarez, A., Banqué, M., Birkmann, J., Feldmeyer, D., Vayreda, J., & Retana, J. (2021). Characterizing forest vulnerability and risk to climate-change hazards. *Frontiers in ecology and the environment*, 19(2), 77-140. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2278>
- Lourenço, L. (2007). Incêndios florestais de 2003 e 2005: tão perto no tempo e já tão longe na memória. *Riscos ambientais e formação de professores (Actas das VI Jornadas Nacionais do Prosepe)*, colectâneas cindínicas vii, núcleo de investigação científica de incêndios florestais, faculdade de letras da Universidade de Coimbra, 19-91. URL: <http://www.nicif.pt/estudos%20cindicnicos%207.htm>
- Lucena, M. S. de, Holanda, A. C. de, & Alves, A. R. (2020). Floristic similarity between adult and saplings strata of caatinga hyperxerophilous woody vegetation - a brazilian seasonally tropical dry forest. *Revista Forestal Mesoamericana Kuru*, 17(41), 2-15.
- Mapbiomas. (2023). *Mapbiomas fogo - coleção 2*. São Paulo: mapbiomas. URL: <https://plataforma.mapbiomas.org/fogo>

- Matos, H. S. (2023). *Quando a caatinga pega fogo: incêndios na vegetação e a política pública de uso do fogo no Ceará de 2002 a 2022 (Tese de Doutorado)*. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Mesquita, Antônio Gilson Gomes. *Impactos das queimadas sobre o ambiente e a biodiversidade acreana*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2020. URL: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/impacto_queimadas_ambiente_biodiversidade.pdf
- Ministério do Meio Ambiente (Mma). (2020). *Biomias do Brasil: caatinga*. Brasília. URL: www.mma.gov.br
- MODIS FIRE TEAM (2021). *Modis collection 6 burned area product*. Nasa earth observatory.
- Moura, M. S. B., Brito, L. T. de L., & Gama, G. F. B. (2007). *Clima e água de chuva no semiárido*. in L. T. de L. Brito, M. S. B. Moura, & G. F. G. Gama (eds.), *Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro* (6-59). Embrapa Semiárido.
- NASA (2015). *mcd64a1 modis/terra+agua burned area monthly l3 global 500m sin grid v006 [data set]*. Nasa land processes distributed active archive center. DOI: <https://doi.org/10.5067/modis/mcd64a1.006>
- Pastrana Mojica, J. E., Bernini, H., Guimarães de Faria, D. R., Antunes, E. H., Siqueira, L., Silva, C. S., Fontoura, S. C., & Rodvalho, F. (2024). Espacialização de ocorrências de fogo no Brasil dentro do contexto dos eventos detectados pelo painel do fogo. *Ra'ega*, 60(1), 131-158. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v60i0.95566>
- Projeto Mapbiomas (2024, maio). *Relatório anual de desmatamento no Brasil (2023)*. URL: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2024/05/rad2023_destaque_pt_final_27-05-24.pdf
- Rodal, M. J. N., Silva, A. C. B. L., Pessoa, L. M., & Cavalcante, A. D. C. (2005). *Vegetação e flora fanerogâmica da área de betânia, Pernambuco*. in T. José, J. Vasconcelos, & J. Fagundes (orgs.), *Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação* (pp. 139-166). Ministério do Meio Ambiente.
- Santos, J. C., Medeiros, M. B., & Silva, J. P. (2022). Padrões de fogo no semiárido brasileiro: causas e consequências. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(3), 589-603.
- Santos, R. M. dos. (2024). *Cartografia dos conflitos socioambientais das serras da porção norte do sertão da Bahia (Tese de Doutorado)*. Universidade do Estado da Bahia.
- Silva, A. C. da, Juvanhol, R. S., & Miranda, J. da R. (2023). Variabilidade espaço-temporal de ocorrência e recorrência de fogo no bioma caatinga usando dados do sensor modis. *Ciência Florestal*, 33(1), 1-23.
- Silva, J. M. C. (2005). *Ecologia e conservação da caatinga*. Editora Universitária UFPE.
- Silva, J. M. C., Leal, I. R., & Tabarelli, M. (2017). Caatinga: o bioma nordestino. *Ciência Hoje*, 50(1), 28-33.
- Silva, M. A., Oliveira, R. S., & Pereira, I. M. (2021). Dinâmica do carbono e impactos dos incêndios na vegetação da caatinga. *Biogeochemistry Reports*, 12, 33-47.
- Souza, M. P., Coutinho, J. M. D. C. P., Silva, L. S., Amorim, F. S., & Alves, A. R. (2017). Composição e estrutura da vegetação de caatinga no sul do Piauí, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 12(2), 210-217. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v12i2.4588>
- Thorntwaite, C. W., & Mather, j. r. (1955). *The water balance*. Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology.



RISCOS

territorium 33 (I), 2026, 17-27

journal homepage: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/>

DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_33-1_2

Artigo científico / Scientific article



EFFECTS OF WILDFIRES ON SOIL IDENTIFICATION AND MECHANICAL PROPERTIES*

EFEITOS DOS INCÊNDIOS NAS PROPRIEDADES DE IDENTIFICAÇÃO E MECÂNICAS DE SOLOS

17

Luis Araújo Santos

Polytechnic University of Coimbra, SUSCita (Portugal)
Coimbra Institute of Engineering
ORCID 0000-0002-0945-3175 lmsantos@isec.pt

António Correia

Polytechnic University of Coimbra, SUSCita (Portugal)
Coimbra Institute of Engineering
ORCID 0000-0001-9199-7659 antonio.correia@isec.pt

Paulo Coelho

University of Coimbra, Citta (Portugal)
Department of Civil Engineering
ORCID 0000-0001-6078-0393 pac@dec.uc.pt

Teresa Fragoso

Polytechnic University of Coimbra, SUSCita (Portugal)
Coimbra Institute of Engineering
ORCID 0000-0002-0886-1652 terefrag@isec.pt

ABSTRACT

Wildfire-induced instabilities, such as those observed following the October 2017 wildfires in Oliveira do Hospital (Portugal), are well documented and have been studied in recent decades. Laboratory and field research has identified various soil changes that explain some of these phenomena. However, only a limited number of studies approach the issue from a geotechnical perspective. This research investigates potential soil changes in slopes affected by wildfires where mass movements have occurred, aiming to better understand how microscale soil alterations influence key physical, mechanical, and hydrological properties. Analysing natural and burned samples with a muffle furnace to simulate wildfire effects reveals that changes in grain size cause increased shear strength and hydraulic conductivity in burned soils. These findings emphasise the need to account for local vegetation and soil coverage when evaluating slope stability after wildfires.

Keywords: Post-wildfire geotechnical characterisation, laboratory testing, physical properties, shear strength, hydraulic conductivity.

RESUMO

As instabilidades induzidas por incêndios florestais, como as que se seguiram aos incêndios florestais de outubro de 2017 em Oliveira do Hospital (Portugal), estão bem documentadas e têm sido estudadas ao longo das últimas décadas. Estudos laboratoriais e *in situ* identificaram várias alterações no solo que explicam alguns destes fenómenos. No entanto, apenas alguns estudos abordam uma perspetiva geotécnica. O presente estudo analisa as potenciais alterações no solo em taludes afetados por incêndios florestais onde ocorreram deslizamentos, com o objetivo de compreender melhor como as alterações microscópicas no solo influenciam propriedades físicas, mecânicas e hidrológicas fundamentais. A análise de amostras naturais e queimadas numa mufla para simular os efeitos dos incêndios florestais revela que as alterações na granulometria causam um aumento da resistência ao corte e da permeabilidade nos solos queimados. Estas conclusões realçam a necessidade de considerar a vegetação local e a cobertura do solo ao avaliar a estabilidade das taludes após incêndios florestais.

Palavras-chave: Caracterização geotécnica pós-incêndio, ensaios laboratoriais, índices físicos, resistência ao corte, permeabilidade.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada ao III Seminário da Rede Incêndios-Solo, tendo sido submetido em 07-03-2025, sujeito a revisão por pares a 24-04-2025 e aceite para publicação em 28-11-2025. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introduction

Each year, Portugal loses about 100,000 hectares of forest to wildfires (Pereira *et al.*, 2006), mainly during July 1 to September 30 (Charlie phase). Increased vegetation from rural abandonment (Lourenço *et al.*, 2012), wildfire-prone species like pine and eucalyptus (Prats *et al.*, 2014), and poor planning are key causes. The north-central region, including Serra do Açor, where the case study is located, and Serra da Estrela, has experienced significant losses since 1975, especially during wildfires in 1987, 1991, 2005, 2017, and 2022. Heavy rains following wildfires have caused flooding (1998, 2006) (Pereira and Lourenço, 2006) and slope instability in the north-central region of Portugal in 1993, 2005, 2018, 2019, and 2022 (Lourenço, 1995; Melo and Zêzere, 2017; Araújo Santos *et al.*, 2020).

The connection between forest wildfires and subsequent slope instability is extensively documented (Esteves *et al.*, 2012). These authors argue that wildfires eliminate vegetation cover and change soil hydrological response. The loss of vegetation cover leads to increased surface runoff and erosion (Malvar *et al.*, 2016). Although these adverse effects exist, they typically do not lead to geotechnical instability. In Portugal, documented landslides and other instabilities are linked to heavy rainfall events (Zêzere *et al.*, 2015).

The geological and geotechnical responses of burned areas over time rely on various factors organised into two categories based on their relationship to forest wildfires (Robichaud *et al.*, 2010): i) factors unrelated to forest wildfires and ii) wildfire-dependent factors. Independent factors include orography, human activities, and rainfall characteristics, particularly intensity. Dependent factors include wildfire severity, burnt area size, soil vegetation cover, water repellency, soil erodibility, and the time since the wildfire (Robichaud *et al.*, 2010). When studying soil behaviour and post-wildfire response, it is essential to consider three factors: the hydrological response of hydrographic basins, the natural reinforcement of soils from vegetation roots, and changes in soil characteristics. Geotechnical instability cannot be separated from the hydrological conditions of river basins (Zêzere *et al.*, 2015). Following a wildfire, hydrological conditions change, notably due to variations in soil water infiltration regimes and their erodibility (Parise and Cannon, 2012). Increased infiltration stemming from changes in vegetation cover reduces the total suction in the soil, irrespective of its initial saturation, which subsequently lowers effective stresses. Erodibility changes can lead to erosion phenomena that may culminate in debris flows. Furthermore, the development or increase of water repellency in soil is another aspect to consider,

particularly in areas affected by intense forest wildfires, since it leads to higher surface runoff. This phenomenon has also been observed in specific types of dead ground cover, such as foliage from eucalyptus trees (Ferreira *et al.*, 2010).

Parise and Cannon (2012) emphasise that a decline in organic matter in the upper soil layers can negatively affect the soil's mechanical response. This degradation is linked to the reduction of microbial activity and roots, both of which enhance the soil's stress response. Changes in vegetation affect several soil response factors relevant to slope stability, including suction, interception, infiltration, surface flow, soil reinforcement, and external loads (Masi *et al.*, 2021). From a geotechnical standpoint, all these factors, except the roots' contribution, are considered when calculating the soil's effective stress state, which is then used to evaluate slope safety against circular failure such as landslides. Roots are also included in the safety assessment. Their contribution resembles apparent soil cohesion (Coppin and Richards, 1990) and is incorporated into the Mohr-Coulomb failure criterion. Apparent soil cohesion varies with factors such as vegetation type and orientation relative to the slip surface (Chok *et al.*, 2015). Depending on the species of plants and the geometry of their roots, the apparent cohesion of roots can range from 1.5 to 94.3 kPa (Wu, 2013; Schmidt *et al.*, 2001). Root depletion occurs in two primary ways: through direct exposure to flames that subject roots to extreme temperatures, particularly within the top 5-10 cm of soil, or through the death of trees or shrubs resulting from injuries related to wildfires, including diseases or pests (Jackson and Roering, 2009). In the first scenario, roots typically die shortly after the wildfire, whereas death may happen much later in the second scenario. The reduction in root resistance reaches its lowest point between 8 to 12 years following tree death, which can contribute to instability issues (Schmidt *et al.*, 2001; Jackson and Roering, 2009).

The burning of organic matter in the upper soil layers can lead to a loss or decline in mechanical behaviour. Wildfires often create more friable soils and, therefore, more susceptible to erosion. This occurs due to the loss of roots and the destruction of microbial activity that enhances soil mechanical properties (Parise and Cannon, 2012). It's also important to note that specific physical properties of soil, such as grain size distribution and plasticity - mainly influenced by organic matter - can change during wildfires. Multiple studies indicate a decrease in clay and silt fractions, resulting in coarser and less cohesive soils more prone to erosion (Parise and Cannon, 2012). These authors also state that the increase in *pH* conditions due to the presence of ashes promotes particle dispersion.

The previous review highlights that soils experience various transformations during wildfires, influencing their behaviour in future climatic or geological events. Recent research has shifted focus beyond just chemical or biological properties (Fernández-García *et al.*, 2019) to include physical characteristics like soil texture (grain size), bulk density (Agbeshie *et al.*, 2022; Hrelja *et al.*, 2020), and hydraulic properties (Ebel and Moody, 2017). However, these studies generally assess each property separately, without providing a comprehensive geotechnical characterisation of soils affected by wildfire. Systematic reviews on how wildfires alter geotechnical responses are scarce and typically focus on mechanical behaviour, considering root system effects (Peduto *et al.*, 2022). Several studies address aggregate stability and erosion processes. However, although these topics are related or dependent, they do not focus on geotechnical parameters such as the angle of shear resistance or cohesion. No research explicitly linking soil particle properties to the geotechnical response after a fire was found in the literature.

Finally, it is important to emphasise that, due to the expected climate changes in the Mediterranean regions, prolonged periods of severe drought are likely, along with increased storm intensity (Giorgio and Lionello, 2008; Ozturk *et al.*, 2015). The interplay between these two extreme weather events fosters conditions that can lead to more frequent geotechnical instability, especially in the country's harshest regions, like northern central mainland Portugal. This region of Portugal has already been studied following the 2017 wildfires because of the severe water erosion caused by gullies (Martins *et al.*,

2024a). To further understand this phenomenon and other instability events, it is crucial to perform geotechnical assessments in areas significantly impacted by extreme weather, as discussed in this communication, to help societies and their infrastructure adapt and mitigate the potential impacts of climate change. This work aims firstly to evaluate the effects of high temperatures on the intrinsic properties of these soils and compare them to the outcomes published in the literature. Based on previous results and the tests on hydraulic conductivity and shear strength, a geotechnical discussion is provided. It includes an innovative analysis of key wildfire-affected soil parameters to assess its overall and expected response to external loads. Although further analysis is needed, the results for the study area could serve as a basis for future geotechnical assessments of wildfire-related hazards.

Materials and methods

Case study

The case study is located in the Montejunto-Estrela mountain range in the district of Coimbra, Portugal (fig. 1a), more specifically, in the municipality of Oliveira do Hospital (fig. 1b). The study area is located in Serra do Açor, between the villages of Penalva de Alva and São Gião. The northern bank of the Alva River, where the case study is located, has already been examined in previous research, specifically by Martins *et al.* (2024a). The reference point for the case study is located 285 m above mean sea level at a latitude of $40^{\circ} 20' 14.27''$

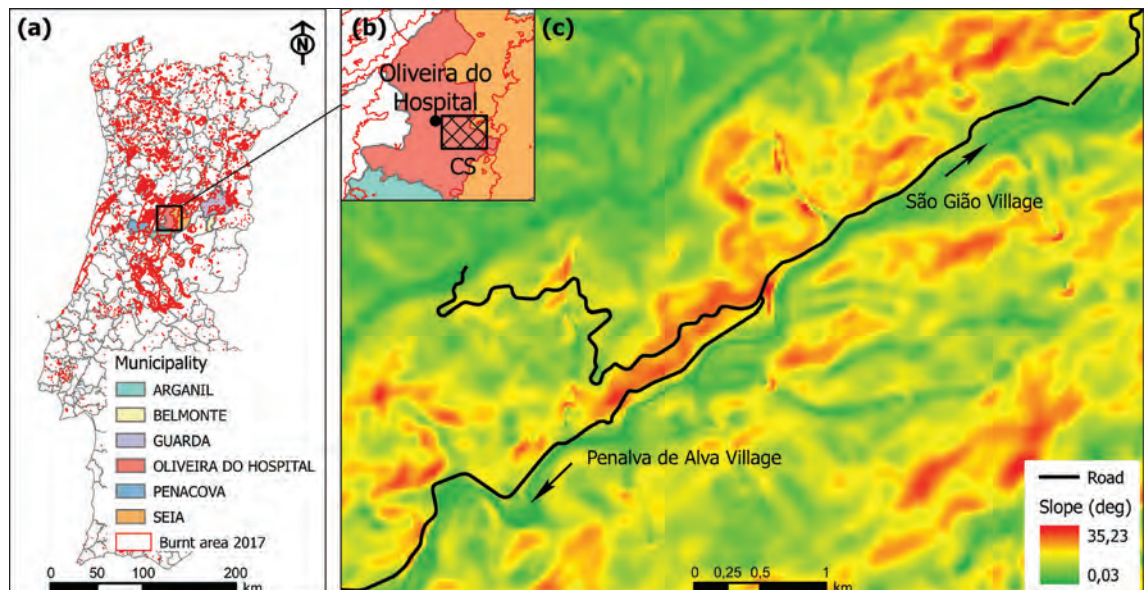


Fig. 1 - Case study location: (a) at national level; (b) at municipal level; (c) detail of the Municipal Road EM 514 and the surrounding slopes.

Fig. 1 - Localização do caso de estudo: (a) a nível nacional; (b) a nível municipal; (c) pormenor da Estrada Municipal EM 514 e taludes envolventes.

N and a longitude of 7° 49' 30.44'' W. At this location, the slopes face south along the EM 506 municipal road towards the town of Oliveira do Hospital, west along the EM 514 municipal road, west towards Penalva de Alva and east towards São Gião (fig. 1c). The average inclination of the slopes around the EM 514 municipal road is 30° (Araújo Santos *et al.*, 2020) and, geologically, the site is in a geological transition from the primary formations of coarse-grained, porphyritic two-mica granite (Seia granite) to schist formations with occasional intercalations of greywacke stone (part of the Rosmaninhal), with contact metamorphism. Near the study area, soils have been classified as predominantly shallow and stony soils (Umbric leptosol). From a hydrological point of view, the average annual rainfall varies between 900 mm in Penalva de Alva and 1200 mm in São Gião, over 110 to 120 days a year, between October and May (Daveau *et al.*, 1997).

Between October 14 and 16, 2017, forest wildfires consumed 207,938 hectares, including 43,191 hectares in Oliveira do Hospital (ICNF, 2017). This late wildfire outbreak and its impact are linked to the meteorological drought affecting Portugal during that period, which lasted until February 2018 (IPMA, 2018). In 2018 and 2019, significant extreme rainfall events occurred. In March 2018, the study site received 400 to 500 mm of rain, 400% above the average for that location. April saw rainfall exceeding the average by 125%, totalling 150 - 200 mm (IPMA, 2018). Despite a meteorological drought from January to October 2019, the year ended with three consecutive storms, during which the region received 200 to 300 mm of accumulated rainfall over seven days (IPMA, 2019).

Following the various extreme natural events between 2017 and 2019, several phenomena of geotechnical instability were recorded. The emergency plan was activated in the municipality of Oliveira do Hospital after the passage of storm Elsa, during and after which there were 42 occurrences of instability in the municipality, 19 of which were in the study site or its immediate vicinity (Araújo Santos *et al.*, 2020), damaging the EM 514 municipal road. The cost of restoring the affected infrastructure in the municipality totalled 3,000,000 euros, 450,000 of which were in the study area. Finally, it should be noted that before these incidents, there was only one recorded incident in the area, in 2013, a year after wildfires in the region.

Laboratory program

The laboratory program focused on performing tests to identify and characterise the essential geotechnical properties of soils collected from the case study site, specifically along the EM 514 municipal road between Penalva de Alva and São Gião, within Oliveira do

Hospital municipality. Visual assessment of the local area identified two distinct soil layers (Alva1 and Alva2). Soil samples were collected from several locations along the road, particularly where landslides had occurred. These events were registered where the slopes present a higher inclination, reaching 35° as depicted in fig. 1c. In each site, up to 5 kg of soil was gathered from the slope surface and stored separately. It should be noted that because soil temperature decreases sharply within the first centimetres (Zuloaga-Aguilar *et al.*, 2016; Chicco *et al.*, 2023), no samples were collected from deeper layers. Depending on the landslide's extent, multiple samples might have been taken from the same event, totalling approximately 30 kg of each soil type, divided into 8 and 10 samples of Alva1 and Alva2. Once delivered to the Geotechnics and Foundations Laboratory of the Coimbra Institute of Engineering, the materials were prepared according to specification E195-1966 (LNEC, 1966a) for identification tests. Initially, all samples underwent individual grain size analysis. As no significant differences in grain size distribution were detected among them, all the samples were combined into the two main reference soils, Alva 1 and Alva 2, for further analyses. The final appearance of the two soils is depicted in photo 1a and 1b. The soils were designated as Alva1 and Alva2, respectively.

Each soil sample was divided into two identical parts. One half was kept in its natural state, while the other half underwent a two-stage burning process using a muffle furnace to simulate wildfire effects in soils and observe changes in soil response. This method is commonly employed in laboratory experiments, with various contact times ranging from 20 minutes to 18 hours and temperatures from 20 °C to 1093 °C, as documented in the literature (Fajković *et al.*, 2022). Firstly, after placing the soil inside the muffle furnace, the temperature is raised from room temperature to 500 °C. This process takes about an hour. Once this temperature is reached, the second phase of burning the material begins. In this phase, the temperature is increased to 600 °C and is maintained for thirty minutes. After this period, the equipment is switched off, and the material is allowed to cool to room temperature. The burning temperature was selected based on previous research that examined the effects of wildfires on soil properties. Debano *et al.* (1976) exposed dry and wet sands to 700 °C during testing water repellency. In a study on thermal changes in soil physico-chemical properties, Araya *et al.* (2016) subjected soil samples to six different temperatures: 150, 250, 350, 450, 550, and 650 °C. Additionally, Martínez *et al.* (2022) heated soil samples up to 900 °C to assess changes in various soil properties. It is important to note that these temperatures correspond to those recorded at the ground surface, depending on wildfire intensity and vegetation (Verdes and Salgado,

2011; Juárez-Orozco *et al.*, 2024). Since the severity of the 2017 wildfires was classified as moderate to high in some parts of the study area (Martins *et al.*, 2024b; Pinheiro *et al.*, 2025), 600 °C was assumed as the reference temperature in the present study. The two-stage burning process is adopted from the method used to determine the percentage of bitumen in bituminous mixtures through incineration, as stipulated in European standard EN 12697-39 (CEN, 2004). While furnace heating is commonly used to examine wildfire impacts on soils, it has notable limitations. In fact the uniform and gradual heating process does not truly mimic natural fire conditions, which feature asymmetric heating with rapid temperature rises and slower cooling (Shtober-Zisu and Wittenberg, 2021). This difference affects the variations in soil effects within the first centimetres (Alfaro-Leranz *et al.*, 2023). The experimental procedures were, therefore, repeated twice for each soil sample. Photo 1c and 1d show the two soil portions after the burning process. The 'Nat' or 'Burn' index has been added to the designations previously introduced, depending on whether the soil is in its natural state or has been subjected to the burning process.

After the soils were prepared, the planned laboratory studies for their identification and classification

commenced. Initially, the natural soils underwent identification tests aimed at their geotechnical classification. In this process, particle size analysis tests were conducted following specification E196-1966 (LNEC, 1966b) and tests to establish consistency limits. These tests adhered to British standard BS 1377-2 (BSI, 2022) and the Portuguese standard (NP143, 1969). Furthermore, assessments were performed to determine the density of solid particles (NP83, 1965), as well as tests to establish the minimum (ASTM, 2000a) and maximum (ASTM, 2000b; Araújo Santos, 2015) void indices. The classification of soils was carried out according to the procedure outlined by the unified classification (ASTM, 2006). Similar methods were utilised for the burnt soils to detect potential alterations in their physical condition due to the combustion process. The research proceeded with shear strength assessments, employing direct shear box apparatus for both the untouched soils and those impacted by burning. The tests followed the guidelines specified in the NP EN ISO 17892-10 standard (IPQ, 2018). For these assessments, all samples were prepared to achieve a relative density of around 50%. Finally, permeability tests were performed at this same relative density to evaluate changes in hydraulic conductivity for both types of soil samples.



Photo 1 - Soils collected at the case study site: a) Alva1_{Nat}; b) Alva2_{Nat}; c) Alva1_{Burn} and d) Alva2_{Burn}.

Fot. 1 - Solos recolhidos no local em estudo: a) Alva1_{Nat}; b) Alva2_{Nat}; c) Alva1_{Burn} and d) Alva2_{Burn}.

Experimental results and discussion

The first aspect to examine is the particle size distribution analysis of the two natural soils and those produced by the burning process. Initially, it appears that the Alva1_{Nat} and Alva2_{Nat} soils display slightly different grain sizes, especially for diameters under 0.3 mm, with Alva2_{Nat} exhibiting a higher percentage of fines (fig. 2). Nonetheless, this distinction does not impact their classification as both are identified as coarse soils, classified as sands with fines and gravel. Regarding the fines, it was not possible to classify them using the Casagrande chart due to the inability to determine the plasticity limit. Analysing the grain size distribution of the two soils after the burning process reveals a significant reduction in the fine fraction (fig. 2). The grain size curves for Alva1_{Burn} and Alva2_{Burn} soils lie below those of the natural soils, with the most pronounced differences appearing in the initial and final segments of the curves. The burning process reduces the finest soil fractions (clays and silts), resulting in more granular and less cohesive soils, as Parise and Cannon (2012) noted. This reduction in the fine fraction is due to the fusion and aggregation of clay particles, which, according to Satin and Doerr (2016), starts at temperatures exceeding 500 °C, which include chemical changes in molecular bonds at a microscopic level. These changes result from the dehydroxylation, the initial stage of mineral disruption (Tan *et al.*, 1986). Mataix-Solera *et al.* (2011) note that soils tend to become coarser after fire events, especially at temperatures above 600 °C, based on both laboratory and field studies. This phenomenon is connected to the binding agents in soils and their mineral composition (Haake *et al.*, 2023), which, in this case, promote the

formation of stable aggregates from clay and silt particles. Additionally, significant changes in granulometry for sizes larger than 1 mm also occur in Alva1 soil, making these soils more susceptible to erosion processes.

TABLE I provides a summary of the results from the other identification tests, underscoring the low plasticity of the soils, both in their normal state and after the burning process. The liquidity limit (w_L) values shown were derived from applying the British standard utilising the cone penetrometer; this was necessary because the field application of NP143 (1969) was not confirmed precisely due to the percentage of particles smaller than 0.05 mm being less than 30%. Therefore, it was also not feasible to ascertain the soils' plasticity limits (w_p), as the British standard for this limit suggests no alternative. Following the burning process, a slight increase in the liquidity limits of both soil types was noted. Given the loss of fines illustrated in fig. 2, one would expect the opposite behaviour, as Noraini (2018) indicated that clayey soils could achieve non-plasticity at temperatures exceeding 400 °C. However, as stated by Awn *et al.* (2019), changes in the liquidity limit can occur based on the temperature achieved and the number of burning cycles, with a notable reduction generally only occurring from the third burning cycle onward. Further studies are needed to determine the soils' behaviour in this context question.

The laboratory tests carried out reveal a slight difference in the density of solid particles in Alva1_{Nat} soil, as noted by Peduto *et al.* (2022). However, the literature does not reach a consensus on how wildfires affect soil density, with some studies indicating both increases and decreases in this property (Agbeshie *et al.*, 2022). Importantly, Peduto *et al.* (2022) highlight that the

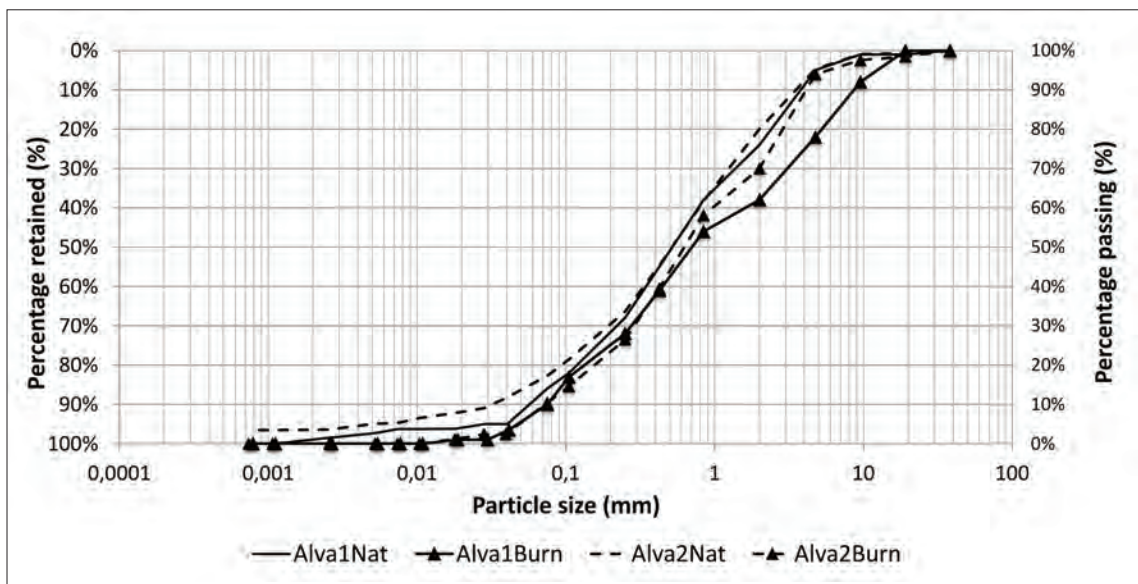


Fig. 2 - Grain size distribution of soil samples.

Fig. 2 - Curvas granulométricas das amostras de solo.

density of solid particles (G) is influenced by both the elapsed time post-test and the burning process itself. These authors propose that testing the density of solid particles in soil samples subjected to laboratory burning, as done in this study, generally yields significantly higher results. Contrary to this, the findings in the current research show a decrease in the density of solid particles in Alva2 soil, likely due to reduced fine fractions from the burning. In Alva1 soil, where a lower density of solid particles value is noted compared to Alva2 soil, the change in density of solid particles is minor, probably because the burning primarily impacts the coarser soil fractions. The reference void ratios display notable differences, specifically in their minimum values (e_{min}). Although Alva1_{Nat} and Alva2_{Nat} soils share the same maximum void ratio (e_{max}), their minimum void ratios are 0.329 and 0.479, respectively. Analysing the burned soils, both show an increase in reference values. The reduction in the minimum void ratios can be attributed to the loss of fine particles, leading to diminished packing capacity (Matos Fernandes, 2006). The rise in the maximum void index, especially in Alva2_{Burn} soil, may be due to increased angularity (Pinto, 2009) of the particles resulting from breakage at temperatures exceeding 250 °C (Satin and Doerr, 2016).

TABLE I - Phase relationships and consistency limits.

QUADRO I - Índices físicos e limites de consistência.

	Alva1 _{Nat}	Alva1 _{Burn}	Alva2 _{Nat}	Alva2 _{Burn}
G (-)	2.64	2.66	2.69	2.64
e_{min} (-)	0.329	0.366	0.479	0.546
e_{max} (-)	0.874	0.914	0.875	1.238
w_L (%)	34	42	35.5	47
w_p (%)	*	*	*	*

* The low percentage of fines did not allow the determination of the soil's plasticity limit.

Soils Alva1 and Alva2 underwent shear strength testing with a direct shear box measuring 6 cm on each side. The soils' natural and burnt states were tested under four load ranges: 41.3, 68.6, 95.8, and 123 kPa. As depicted in fig. 3, the results for peak shear strength indicate a notable improvement in the peak resistance, namely in Alva2 soil. Two primary factors may lead to this increase: i) the decrease in fine particles caused by particle aggregation and ii) the fracturing of particles during combustion, resulting in a more angular shape that heightens friction between them. The resistance appears quite similar at the critical state (CS) and lacks a discernible pattern in the soil's response. For instance, the critical state shear strength angle for soil Alva1 decreases significantly by 2°, while Alva2 shows an opposite trend (TABLE II). It is important to note that the test conducted at a normal stress of 95.8 kPa yields an unusual result. If this result is excluded, the overall behaviour resembles that of Alva1. It's important to highlight that the findings of this study contrast with others, such as Peduto *et al.* (2022), which reported a decline in the mechanical response of the soils. The samples' differing initial conditions and the deformation levels reached may account for these discrepancies.

The evaluation of soil samples' hydraulic conductivity is influenced by their particle size distributions. Since the samples are classified as sands with fines and gravel, this parameter can be determined through constant head permeability tests. The tests were conducted using permeameters following the NP EN ISO 17892-11 standard (IPQ, 2019). Two samples of each soil type at a relative density of 50% were prepared, ensuring they were fully saturated. After this step, a constant elevation head of 20 kPa was applied, allowing water to flow through the sample. When a continuous flow was established, the test

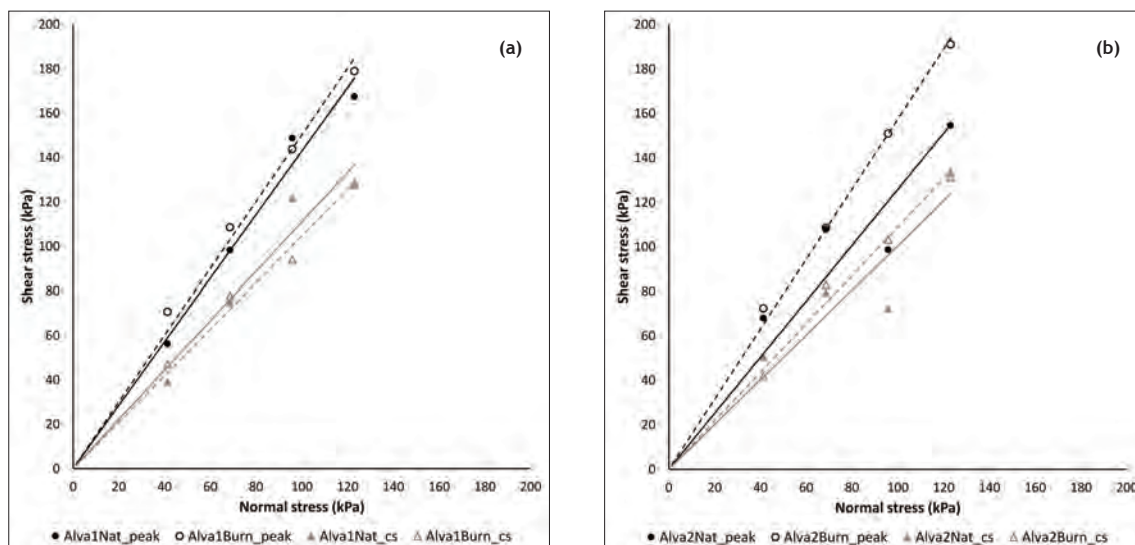


Fig. 3 - Failure envelope resulting from direct shear box tests: a) Alva1; b) Alva2.

Fig. 3 - Envolventes de rotura resultantes dos ensaios de resistência ao corte em caixas de corte direto: a) Alva1; b) Alva2.

commenced, recording the volume of water collected in a container over a specified duration. TABLE II summarises the average value of the two tests for each soil. For both samples, the burned specimens exhibit higher hydraulic conductivities, nearing a twofold increase. These findings correspond with the effects of particle sizes and reference void ratios. A reduction in fine content creates more space between particles, resulting in increased hydraulic conductivity. However, not all soils demonstrate this behaviour. In fact, Neary's (2011) literature review indicates that no consistent pattern can be identified based on depth, coverage, or other factors. Additionally, the presence of water repellency affects the influence of wildfire on hydraulic conductivity. Lower temperatures (200 - 250 °C) can enhance the water effect, whereas higher temperatures (450 - 500 °C) can degrade the water repellency layer, potentially increasing hydraulic conductivity (Wieting *et al.*, 2017).

TABLE II - Angle of shear resistance and hydraulic conductivity.

QUADRO II - Ângulos de resistência ao corte e coeficientes de permeabilidade.

	Alva1 _{Nat}	Alva1 _{Burn}	Alva2 _{Nat}	Alva2 _{Burn}
(°)	55	56.3	51.5	57.6
(°)	48	46.3	45.2	47.4
k (m/s)	1.37 x 10 ⁻²	2.44 x 10 ⁻²	2.10 x 10 ⁻²	3.98 x 10 ⁻²

Conclusions

Every year, wildfires in Portugal burn an average of 100,000 hectares. Following the October 2017 wildfires and extreme weather events like droughts and storms, numerous soil instability phenomena were observed in Oliveira do Hospital, Coimbra district, in subsequent years. To explore the geotechnical implications of soils affected by wildfires- specifically changes in shear strength and hydraulic conductivity- samples were collected from landslide-affected slopes and taken to the laboratory for analysis. Initial assessments confirmed the on-site visual inspections, and the samples were categorised into two different soils, Alva1 and Alva2.

Each soil sample was prepared following Portuguese and international standards and divided into two: one remained in its natural state, while the other was subjected to a burning process. The burned sample was heated to 600 °C for 30 minutes in a muffle furnace to mimic wildfire effects, then cooled to room temperature. Afterwards, all four samples underwent identification and classification, shear strength, and hydraulic conductivity tests. The last two categories of tests were conducted on specimens with a 50% relative density. From the first set of tests, one may conclude that:

- A loss of fines resulting from the burning process is observed, particularly in the Alva2 soil, in which it ascends to 10%.

- In Alva1 soil, changes in granulometry also occur for particle sizes higher than 1 mm, resulting in coarser soils.

These findings align with previous research and are due to the fusion and aggregation of clay particles occurring above 500 °C. This process relates to the binding agents in soils and their mineral composition, which help form stable aggregates from clay and silt particles. The alterations in grain size distribution also influence the reference void ratios (e_{min} and e_{max}), particularly in soil Alva2. Besides the loss of fines, there is an increase in particle angularity caused by breakage at temperatures over 250 °C.

To assess whether these modifications influence the geotechnical behaviour of the soils studied, shear strength and hydraulic conductivity tests were performed on samples with a relative density of 50%. It becomes evident that reducing fines and increasing particle angularity significantly enhance the soils' peak resistance and the hydraulic conductivity of samples, namely in Alva2.

- By plotting the failure shear stress against the four normal stresses on the Mohr-Coulomb plane. Consequently, the angle of shear resistance increased by 2.4% and 11.8% for soils Alva1 and Alva2, respectively. These findings contradict recent studies that report a decrease in the mechanical response of burned soils.
- However, when examining the critical state parameters, no clear pattern emerges.
- On average, both soils exhibit an 85% increase in their coefficient of hydraulic conductivity. This increase is associated with the rise in the reference void ratio of both soils.

This work emphasises the geotechnical changes in soils caused by burning processes. Although using the furnace heating method to simulate the effects of real wildfires has limitations, the study confirms that soils' mechanical and hydraulic responses are significantly affected by wildfires. However, relying solely on a geotechnical approach without accounting for external factors is insufficient for predicting slope stability affected by wildfires and fully understanding the failure mechanisms observed in the area of study. Factors like root decay and water-repellent layers associated with local vegetation should be considered in geotechnical analyses. Future research should include shear strength tests on soils with roots at various decomposition stages induced by heating, and slope stability assessments that account for water-repellency effects.

References

- Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research* ,33, 1419-1441. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>

- Alfaro-Leranz, A., Badia-Villas, D., Marti-Dalmau, C., Emran, M., Conte-Dominguez, A. P., Ortiz-Perpiña, O. (2023). Long-term evolution of shrub prescribed burning effects on topsoil organic matter and biological activity in the Central Pyrenees (NE-Spain), *Science of The Total Environment* 888, 163994. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163994>.
- Araújo Santos, L. M., Correia, A. J. P. M., Coelho, P. A. L. F. (2020). Post-wildfire slope stability effects and mitigation: a case study from hilly terrains with unmanaged forest. *SN Applied Sciences* 2: 1883. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03660-8>
- Araya, S. N., Meding, M., Berhe, A. A. (2016). Thermal alteration of soil physico-chemical properties: a systematic study to infer response of Sierra Nevada climosequence soils to forest fires. *Soil* 2(3), 351-366. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-2-351-2016>
- ASTM (2000a). *Standard test methods. Maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table* (D 4253-00). American Society for Testing and Materials. USA.
- ASTM (2000b). *Standard test methods. Minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density* (D 4254-00). American Society for Testing and Materials. USA.
- ASTM (2006). *Standard practice: Classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system)* (D 2487-06). American Society for Testing and Materials. USA.
- Awn, S. H. A., Hussain, W. A. S., Abbas, H. O. (2019). Effect of burning cycles on the physical properties of clay. *Journal of Engineering and Sustainable Development* 23(2): 79-92. DOI: <https://doi.org/10.31272/jeasds.23.2.7>
- BSI (2022). *Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests and determination of geotechnical properties* (BS 1377-2: 2022). British Standards Institution, London. UK.
- CEN (2024). *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 39: Binder content by ignition* (EN 12697-39). Comité Européen de Normalisation.
- Chicco, J. M., Mandrone, G., Vacha, D. (2023). Effects of wild re on soils: field studies and modelling on induced underground temperature variations. *Frontiers in Earth Sciences* 11, 1307569. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1307569>
- Chok, Y. H., Jaksa, M. B., Kaggwa, W. S., Griffiths, D. V. (2015). Assessing the influence of root reinforcement on slope stability by finite elements. *International Journal of Geo-Engineering* 6, 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40703-015-0012-5>
- Choppin, N. J., Richards, I. G. (1990). *Use of vegetation in civil engineering*. Ciria, London, UK.
- Daveau, S., Coelho, C., Costa, V., Carvalho, L. (1977). *Répartition et rythme des précipitations au Portugal*. Centro de estudos Geográficos, Lisboa
- Debano, L. F., Savage, S. M., Hamiton, D. A. (1976). The Transfer of Heat and Hydrophobic Substances During Burning. *Soil Science Society of America Journal* 40, 779-782. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1976.03615995004000050043x>
- Ebel, B. A., Moody, J. A. (2017). Synthesis of soil-hydraulic properties and infiltration timescales in wildfire-affected soils. *Hydrological Processes* 31, 324-340. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.10998>
- Esteves, T. C. J., Kirkby, M. J., Shakesby, R. A., Ferreira, A. J. D., Soares, J. A. A., Irvine, B. J., Ferreira, C. S. S., Coelho, C. O. A., Bento, C. P. M., Carreira, M. A. (2012). Mitigating land degradation caused by wildfire: application of the PESERA model to fire-affected sites in central Portugal. *Geoderma* 191, 40-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.001>
- Fajković, H., Ivanić, M., Nemet, I., Rončević, S., Kampać, Š. & Vazdar, D.L. (2022). Heat-induced changes in soil properties: fires as cause for remobilization of chemical elements. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 70(4), 421-431. DOI: <https://doi.org/10.2478/johh-2022-0024>
- Fernández-García, V., Miesel, J., Baeza, M. J., Marcos, E., & Calvo, L. (2019). Wildfire effects on soil properties in fire-prone pine ecosystems: Indicators of burn severity legacy over the medium term after fire. *Applied Soil Ecology* 135, 147-156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.002>
- Ferreira, A. D., Coelho C., Silva J. S., Esteves, T. (2010). Effects of fire on soil and hydrological regime. In: Moreira F, Catry FX, Silva JS, Rego FC (eds), *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas* (pp. 21-48). ISA Press, Lisboa, (in Portuguese)
- Giorgi, F., Lionello, P. (2008). Climate change projection for the Mediterranean region. *Global Planet Change* 63, 90-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Haake, S., Krugh, W., Montoya, E., Guo, J. (2023). Burn Severity and Its Impact on Soil Properties: A Study of the 2016 Erskine Fire in the Southern Sierra Nevada, California. *Geotechnics* 3, 446-464. DOI: <https://doi.org/10.3390/geotechnics3020025>
- Hrelja, I., Šestak, I., Bogunović, I. (2020). Wildfire impacts on soil physical and chemical properties - A short review of recent studies. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 85(4), 293-301.

- ICNF (2017). 9.º *Relatório Provisório de Incêndios florestais - 2017*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Lisboa.
- IPMA (2018). *Boletim climático anual 2018 para Portugal Continental*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Lisboa (Portugal).
- IPMA (2019). *Boletim climático anual 2019 para Portugal Continental*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Lisboa (Portugal).
- IPQ (2018). *Reconhecimento e ensaios geotécnicos - Ensaios de laboratório em solos. Parte 10: Ensaios de corte direto* (NP EN ISO 17892-10). Instituto Português da Qualidade, Caparica. Portugal.
- IPQ (2019). *Reconhecimento e ensaios geotécnicos - Ensaios de laboratório em solos. Parte 11: Ensaios de permeabilidade* (NP EN ISO 17892-11). Instituto Português da Qualidade, Caparica. Portugal.
- Jackson M, Roering JJ (2009). Post-fire geomorphic response in steep, forested landscapes: oregon Coast Range, USA. *Quatern Sci Rev* 28,1131-1146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.05.003>
- Juárez-Orozco S. M., Correa-Metrio, A., Siebe, C. (2024). Microtopographic effect on soil temperature during a burn by shifting cultivation in a tropical rain forest. *Catena* 245, 108294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108294>
- LNEC (1966a). *Solos - preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação* (Especificação LNEC E195-1966). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC (1966b). *Solos - análise granulométrica* (Especificação LNEC E196-1966). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Lourenco, L. (1995). A enxurrada do ribeiro da Albugueira. In: *Estrela Informaco*, 21-22.
- Loureno, L., Nunes, A. N., Bento-Gonalves, A. J., Vieira, A. (2012). Soil erosion after wildfires in Portugal: What happens when heavy rainfall events occur? In: Godone D., Stanchi S. (eds) *Research on soil erosion*. InTech. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/50447>
- Malvar, M. C., Prats, S. A., Keizer, J. J. (2016). Runoff and inter-rill erosion affected by wildfire and pre-fire ploughing in eucalypt plantations of north-central Portugal. *Land Degradation & Development* 27(5), 1366- 1378. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2365>
- Martínez, S. I., Contrerasa, C. P., Acevedo, S. E., Bonilla, C. A. (2022). Unveiling soil temperature reached during a wild re event using ex-post chemical and hydraulic soil analysis. *Science of the Total Environment* 822, 153654. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153654>
- Martins, B., Pinheiro, C., Nunes, A., Bento-Gonalves, A., Hermenegildo, C. (2024a). Geo-environmental factors controlling gully distribution at the local scale in a Mediterranean environment. *Catena*, 236, 107712. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107712>
- Martins, B., Pinheiro, C., Nunes, A., Bento-Gonalves, A., Laranjeira, M. (2024b). Site-scale drivers of post-fire vegetation regrowth in gullies: A case study in Mediterranean Europe. *Earth Surface Processes and Landforms* 49(13), 4371-4387. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.5974>
- Masi, E. B., Segoni, S., Tofani, V. (2021). Root Reinforcement in Slope Stability Models: A Review. *Geosciences* 11, 212. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences11050212>
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., Zavala, L.M. (2011). Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews* 109(1-2), 44-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.08.002>
- Matos Fernandes, M. (2006). *Mecânica dos Solos. Conceitos e princípios fundamentais*. FEUP edioes. Porto, Portugal.
- Melo, R., Zêzere J. L. (2017). Modeling debris flow initiation and run-out in recently burned areas using data-driven methods. *Natural Hazards* 88(3):1373-1407. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2921-4>
- Niery, D. (2011). Impacts of wildfire severity on hydraulic conductivity in forest, woodland, and grassland soils. In Lakshmanan Elango (eds) *Hydraulic Conductivity - Issues, Determination and Applications* (123-142).
- Noraini, A. A. (2018). Effect of wildfire on geotechnical properties of clayed soil. *International research journal on engineering and technology* 5(2): 2137-2139.
- NP83 (1965). *Solos. Determinao da densidade das partulas*. Norma Portuguesa Definitiva. Portugal.
- NP143 (1969). *Solos. Determinao dos limites de consistncia*. Norma Portuguesa Definitiva. Portugal.
- Ozturk, T., Ceber, Z. P., Tukes, M., Kurnaz, M. L. (2015). Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology* 35, 4276-4292. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4285>
- Parise, M., Cannon, S. H. (2012). Wildfire impacts on the processes that generate debris flows in burned watersheds. *Natural Hazards* 61, 217-227. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9769-9>
- Peduto, D., Iervolino, L., Foresta, V. (2022). Experimental analysis of the fire-induced effects on the physical, mechanical, and hydraulic properties of sloping pyroclastic soils. *Geosciences* 12, 198. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences12050198>

- Pereira, J. M. C., Carreiras, J. M. B., Silva, J. M. N., Vasconcelos, M. J. (2006). Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal. em: Pereira JS, Pereira JMC et al. (eds) *Incêndios florestais em Portugal - caracterização, impactes e prevenção* (pp. 133-158). ISAPress, Lisbon.
- Pereira, N., Lourenc̃o, L. (2006). *Riscos de inundação após incêndios florestais. O exemplo das bacias hidrográficas dos rios Piódão e Pomares*. VI Jornadas Nacionais do Prosepe, Fátima, 123-149.
- Pinheiro, C. A., Martins, B., Nunes, A., Bento-Gonçalves, A., Laranjeira, M. (2025). Driving factors of post-fire vegetation regrowth in Mediterranean forest. *Land* 14, 448. DOI: <https://doi.org/10.3390/land14030448>
- Pinto, C. S. (2009). *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. Oficina de textos. São Paulo, Brasil.
- Prats, S., Malvar, M., Martins, M. A. S., Keizer, J. J. (2014). Post-fire soil erosion mitigation: a review of the last research and techniques developed in Portugal. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 40(2): 403-427. DOI: <https://doi.org/10.18172/cig.2519>
- Robichaud, P. R., Ashmun, L. E., Sims, B. D. (2010). *Post-fire treatment effectiveness for hillslope stabilization*. United States Department of Agriculture, California.
- Satín, C., Doerr, S. H. (2016). Fire effects on soils. The human dimension. *Philosophical Transactions of Royal Society B* 371: 20150171
- Schmidt, K. M., Roering, J. J., Stock, J. D., Dietrich, W. E., Montgomery, R. R., Schaub, T. (2001). The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range. *Canadian Geotechnical Journal* 38, 995-1024. DOI: <https://doi.org/10.1139/t01-031>
- Shtober-Zisu, N., Wittenberg, L. (2021). Wildfires as a Weathering Agent of Carbonate Rocks. *Minerals* 11, 1091. DOI: <https://doi.org/10.3390/min11101091>
- Tan, K. H., Hajek, B. F., Barshad, I. (1986). Thermal analysis techniques. In: Klute, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. 1. Physical and mineralogical methods*. American Society
- Verdes, P. V., Salgado, J. (2011). Changes induced in the thermal properties of Galizian soils by the heating in laboratory conditions Estimation of the soil temperature during a wildfire. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 104(1), 177-186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-010-1173-2>
- Wieting, C., Ebel, B. A., Singha, K. (2017). Quantifying the effects of wildfire on changes in soil properties by surface burning of soils from the Boulder Creek Critical Zone Observatory. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 13, 43-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.006>
- Wu, T. H. (2013). Root reinforcement of soil: review of analytical models, test results, and applications to design. *Canadian Geotechnical Journal* 50, 259-274. DOI: <https://doi.org/10.1139/cgj-2012-0160>
- Zêzere, J. L., Vaz, T., Pereira, S., Oliveira, S. C., Marques, R., Garcia, R. A. C. (2015). Rainfall thresholds for landslides activity in Portugal: a state of the art. *Environmental Earth Sciences* 73(6), 2917-2936. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3672-0>
- Zuloaga-Aguilar, S., Orozco-Segovia, A., Briones, O., Pelaez, E. J. (2016) Response of soil seed bank to a prescribed burning in a subtropical pine-oak forest. *International Journal of Wildland Fire* 25, 946-954. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF15194>



RISCOS



MONITORIZAÇÃO PÓS-FOGO E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS ARDIDAS: OS PROJETOS REACT MORE E POST-FIRE FAM*

POST-FIRE MONITORING AND RECOVERY OF BURNT AREAS: THE REACT MORE AND POST-FIRE FAM PROJECTS

29

Rui Pinto

Laboratório Colaborativo para a Gestão Integrada da Floresta e do Fogo (Portugal)

ORCID 0000-0003-3565-4111 rui.pinto@forestwise.pt

Ana Sá

Laboratório Colaborativo para a Gestão Integrada da Floresta e do Fogo (Portugal)

ORCID 0000-0003-0827-7189 ana.sa@forestwise.pt

Susana Fonseca

Laboratório Colaborativo para a Gestão Integrada da Floresta e do Fogo (Portugal)

ORCID 0009-0006-3909-8377 susana.fonseca@forestwise.pt

RESUMO

Os projetos REACT MORE e POST-FIRE FAM, com participação do CoLAB ForestWISE, focam-se na gestão pós-fogo e recuperação de ecossistemas florestais. O REACT MORE surgiu de uma parceria com a Florestgal, S.A. e a APATA para combater a desertificação numa área de 290 ha, antes ocupada por um eucaliptal subprodutivo e frequentemente atingido por incêndios. A zona foi reconvertida com espécies florestais autóctones, mais resilientes ao clima local. Seis parcelas foram monitorizadas quanto à vegetação, fauna e condições ambientais. Identificaram-se 63 espécies florísticas e 3582 insetos de 13 ordens. As análises de solo mostraram baixa fertilidade, com maior teor de carbono nas áreas com eucalipto. Já o projeto POST-FIRE FAM avalia a severidade ao nível do solo e da vegetação (arbustiva e arbórea) de grandes incêndios em Portugal Continental, usando dados de campo e imagens de satélite. O objetivo é calibrar índices espectrais obtidos por imagens de satélite, e produzir informação cartográfica que apoiem as decisões rápidas na mitigação dos impactos e estratégias de recuperação da vegetação pós-incêndio. Até setembro de 2024 foram analisadas 20 parcelas localizadas nas áreas afetadas por dois incêndios rurais, que afetaram cerca de 1950 ha. A severidade média foi classificada moderada, apesar de sete parcelas apresentarem severidade elevada. Os dados recolhidos ainda são insuficientes para uma análise estatística robusta.

Palavras-chave: Desertificação, fogo, pós-fogo, severidade, monitorização.

ABSTRACT

The REACT MORE and POST-FIRE FAM projects, with the participation of CoLAB ForestWISE, focus on post-fire management and the recovery of forest ecosystems. REACT MORE emerged from a partnership with Florestgal, S.A. and APATA to combat desertification in an area covering 290 ha, previously occupied by an underproductive eucalyptus forest that was frequently affected by wildfires. The area was reconverted with native forest species that are more resilient to the local climate. Six plots were monitored for vegetation, fauna and environmental conditions. 63 species of flora and 3582 insects from 13 orders were identified. Soil analyses showed low fertility with a higher carbon content in the areas where eucalyptus is found. Using field data and satellite images, the POST-FIRE FAM project assesses the severity of major wildfires in mainland Portugal. It aims to calibrate spectral indices obtained from satellite imagery and to produce cartographic information to support rapid decision-making for impact mitigation and post-fire vegetation recovery strategies. As of September 2024, 20 plots in areas affected by two wildfires, covering around 1950 ha, had been analyzed. While the average severity was considered moderate, seven plots demonstrated high values. At this stage, there is insufficient data for robust statistical analyses.

Keywords: Desertification, wildfire, post-fire, severity, monitoring.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada ao III Seminário da Rede Incêndios-Solo, tendo sido submetido em 22-04-2025, sujeito a revisão por pares a 24-04-2025 e aceite para publicação em 10-12-2025. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Cada vez mais os incêndios rurais adquirem características extremas, são mais frequentes e acompanhados por uma elevada destruição e áreas ardidas de maior dimensão, podendo comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (Stoof *et al.*, 2012). Portugal tem no seu historial de incêndios rurais um conjunto de anos que servem de referência em termos de área ardida, destruição de infraestruturas e bens e vítimas mortais. O exemplo mais recente reporta a 2024 onde no espaço de cinco dias (entre 15 e 19 de setembro) arderam mais de 100 000 ha e registou-se a perda de 10 vidas humanas (SGIF, ICNF).

É frequente encontrar-se associado aos incêndios rurais como uma das mais nefastas consequências dos mesmos, o fenómeno da desertificação, na medida em que os impactos nos ecossistemas, nomeadamente a destruição da vegetação, provocam a perda da produtividade líquida e a alteração do funcionamento dos ciclos biogeoquímicos e de armazenamento de nutrientes dos ecossistemas (Chen, 2006). A desertificação, entendida como a «degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e sub-húmidas secas em resultado da influência de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas», assim definida em 1994, na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, é um problema ambiental que afeta cerca de um sexto da população mundial e um quarto da superfície terrestre (Roxo, 2023). A perda de nutrientes, fomentada pelo aumento de escoamento superficial em áreas queimadas, torna o solo mais vulnerável à degradação, nomeadamente através do efeito erosivo, potenciando a aridez e a desertificação, sobretudo em locais afetados por incêndios recorrentes (Santín e Doerr, 2016). Em Portugal, o fenómeno tem vindo a aumentar, considerando-se que 58% do território do Continente é suscetível à desertificação, sobretudo nas áreas do sul e do interior centro e norte (Tribunal de Contas, 2019). As previsões, designadamente quanto a alterações climáticas e despovoamento, tornam expectável o acentuar dos riscos de desertificação no nosso país. O reconhecimento deste problema pela comunidade internacional, como um dos mais graves com evidentes implicações sociais, económicas e ambientais, teve como resultado o debate público sobre a matéria e o estabelecimento de recomendações e compromissos para o cumprimento de metas que apoiem a sua mitigação. O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (PANCD) é o instrumento nacional de operacionalização da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (CNUCD) e visa enfrentar os riscos de desertificação em Portugal. Em estreita articulação com a Estratégia Nacional para as Florestas (EFN), reforça a importância social, económica e ambiental da floresta

nacional e salienta as ações de (re)florestação como intervenções importantes para a regulação dos recursos hídricos, a retenção e armazenamento de carbono atmosférico e os serviços de ecossistema em geral, nomeadamente através da promoção do aumento de área e densidade da floresta autóctone.

A perspetiva deixada por diversos especialistas de que fenómenos climáticos extremos venham a ser cada vez mais frequentes, assim como, a atual degradação do espaço rural, onde as alterações no uso e ocupação do solo e o fogo podem ser consideradas os dois maiores fatores de mudança nas paisagens da bacia do Mediterrâneo (Naveh, 1994), determina uma rápida diminuição do potencial produtivo, regulador e informativo dos solos, pelo que a gestão e restauração destes espaços requer estratégias espaciais que permitam a diversificação de atividades com maior potencial ao nível económico, com maior valor natural, incorporando funções e estruturas dos ecossistemas naturais (Guiomar *et al.*, 2007). Esta inevitabilidade realça a necessidade de cada vez mais, se olhar para as questões da prevenção e da intervenção na fase do pós-fogo, como estratégia para mitigar fenómenos erosivos, implementar medidas de estabilização de emergência e de recuperação de áreas ardidas, direcionando igual atenção para matérias como a perda de biodiversidade, pragas e doenças florestais. Assim, a avaliação da severidade dos incêndios rurais, seja ao nível do solo, vegetação no subcoberto e vegetação arbórea, permite priorizar nas zonas de maior severidade do fogo, áreas que tenham ficado mais suscetíveis após estes eventos e implementar medidas de curto, médio ou longo prazo, que visem a mitigação de fenómenos que podem em última análise conduzir à desertificação e desvalorização do território.

Os dois projetos apresentados no III Seminário da Rede Incêndios-Solo em Guimarães em novembro de 2024 pelo CoLAB ForestWISE são de natureza diferente. O projeto REACT MORE - Ação de Reflorestação e Combate à Desertificação de Moreirolas é o resultado de uma parceria entre a Florestgal, S.A. - Empresa Pública de Gestão e Desenvolvimento Florestal, o CoLAB ForestWISE® - Laboratório Colaborativo para a gestão Integrada da Floresta e do Fogo, e a APATA - Associação de Produtores Agrícolas Tradicionais e Ambientais, e visou a reconversão de um eucaliptal em subprodução instalado numa área com recorrência média de incêndios rurais superior a oito (8) anos, tendo como propósito último responder à problemática da desertificação no território nacional. A reflorestação com espécies autóctones e mais bem adaptadas às condições edafoclimáticas da região, procurou a reabilitação dessa área e um aumento da resiliência do território à desertificação e aos incêndios rurais, dando cumprimento às orientações nacionais e internacionais em matéria de alterações climáticas, combate à desertificação e coesão territorial.

O Projeto POST-FIRE FAM - POST-FIRE Forest Assessment and Monitoring (Avaliação da Severidade do Fogo e Monitorização da Recuperação no Pós-Fogo) é um projeto interno do CoLAB ForestWISE e tem como objetivo a avaliação da severidade de grandes incêndios no território de Portugal Continental, colocando em prática um protocolo que visa recolher informação no terreno relacionada com os efeitos produzidos pelos incêndios ao nível do solo e da vegetação, complementada com a classificação da severidade em imagens do satélite Sentinel-2 (LEVEL-2A), recorrendo a índices espectrais publicados na literatura científica.

O objetivo geral deste artigo é apresentar os dois projetos, o trabalho realizado e alguns resultados provisórios dum projeto em curso para mitigar os efeitos de incêndios rurais de grandes dimensões, designadamente através de uma avaliação da severidade do fogo e na reabilitação de áreas ardidas. Neste contexto, faz-se um enquadramento das problemáticas que fizeram nascer cada um dos projetos, as abordagens metodológicas utilizadas em cada um, alguns resultados que foram possíveis obter com o tempo decorrido e um conjunto de considerações finais que poderão apoiar a potencial necessidade e fundamento para a continuidade e replicação de iniciativas semelhantes noutros territórios do país.

O projeto REACT MORE

O projeto REACT MORE que, entretanto, terminou em 31 de dezembro de 2023, incidiu numa área com cerca 290 ha, ocupada sobretudo por eucalipto, localizada perto da Serra da Marofa, no concelho de Figueira de Castelo Rodrigo, distrito da Guarda. Resultado das condições edafoclimáticas e da recorrência de incêndios rurais nesta zona, este eucaliptal encontrava-se em subprodução, sendo o objetivo proceder à sua reconversão com espécies autóctones e mais resilientes às condições da região (sobreiro, azinheira e medronheiro). Para proceder à nova plantação com espécies mais adaptadas à região procedeu-se ao arranque das toijas existentes, através de destroçamento mecânico com enxó acoplado a retroescavadora. Complementarmente, foi objeto deste projeto monitorizar os efeitos das operações florestais realizadas, nomeadamente ao nível da biodiversidade, da fertilidade dos solos e da variação da humidade e da temperatura nas áreas com e sem intervenção.

A área situa-se a leste do vale do rio Coa até Nave de Haver, incluindo a Serra da Marofa (fot. 1), e constitui o Superdistrito Ribacoense. É um território, com características planálticas, granítico, mesomediterrânico seco onde predominam os azinhais do *Genisto hystricis-Quercetum rotundifoliae* e os giestais do *Cytiso multiflori-Retametum sphaerocarphae*. Em áreas depressionárias, compensadas hidricamente, surgem os bosques do *Quercus pyrenaicae-Fraxinetum angustifoliae*.

Este Superdistrito tem grandes afinidades salmantinas, a sua colocação no Sector Lusitano-Duriense deve-se à impossibilidade de encontrar uma continuidade com o Sector Salmantino por terras espanholas (Costa *et al*, 1998). Em termos de caracterização biogeográfica e fitossociológica, a área de intervenção insere-se no sector Lusitano Duriense, província Carpetano Ibérico-Leonesa, da região Mediterrânica, Província Carpetano-Ibérico-Leonesa, Subsetor Lusitano-Duriense e Superdistrito Ribacoense.

Na sua maioria, a área de intervenção localiza-se entre os 320 e os 623 metros de altitude, apresenta declives muito acentuados (>20%) e exposição do terreno com uma distribuição tendencialmente homogénea entre os principais rumos, havendo uma pequena dominância dos terrenos expostos a sul. O tipo de solos predominantes na área de intervenção, são os luvisolos órticos. Esta classificação compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação de bases elevada, logo abaixo do horizonte A ou horizonte E. Segundo a Carta Geológica de Portugal (Folha 15-D – Figueira de Castelo Rodrigo; Serviço Geológico de Portugal, LNEG, 1990) e sínteses regionais do Complexo Xisto-Grauváquico (Silva, 2005), a área exhibe formações sedimentares e metamórficas do intervalo pré-câmbrico-câmbrico, sobretudo xistos e grauvaques pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo do Douro/Supergrupo Dúrico-Beirão).

Considerando os dados da Estação Meteorológica do IPMA de Figueira de Castelo Rodrigo (n.º 671), cuja ficha está publicamente acessível, e tendo em conta as normais climatológicas oficiais mais recentes adotadas internacionalmente (1991-2020), observa-se uma temperatura média anual de 12,7 °C, uma temperatura média em agosto (média mensal) de aproximadamente 21,6 °C (média das temperaturas médias mensais) e uma precipitação anual média de 528,9 mm. É de assinalar que os meses em que ocorrem os dias com máxima pluviosidade, geralmente associadas a trovoadas, são durante o período de Verão, nos meses de julho e setembro (IPMA, 2023).

A sazonalidade na disponibilidade de água no solo e a amplitude de variação da pluviosidade ao longo do ano, uma estação quente e seca alternada com outra estação fria, são características associadas ao clima mediterrânico (classificação de Köppen-Geiger Csa, embora nas zonas mais altas do concelho, nomeadamente na Serra da Marofa, possa ocorrer uma transição local para Csb) (IPMA, 2023). Este tipo de clima condiciona diretamente a capacidade de adaptação ecológica das plantas e a sua própria fisionomia.

Relativamente ao enquadramento ecológico nas grandes regiões de arborização (Oliveira e Correia, 1999) a área de intervenção insere-se na Zona de Arborização

Submontana Subatlântica (IV). As espécies indicadas para estes espaços são Carvalho cerquinho (*Quercus faginea*), Carvalho alvarinho (*Quercus robur*), Carvalho negral (*Quercus pyrenaica*), Carvalho americano (*Quercus rubra*), Castanheiro (*Castanea sativa*), Cerejeira brava (*Prunus avium*), Pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), Pinheiro insigne (*Pinus radiata*), Pinheiro negro (*Pinus nigra*) e Cedro do Atlas (*Cedrus atlantica*). Na área de intervenção observa-se, contudo, a presença com alguma abundância da regeneração natural de sobreiro (*Quercus suber*), de azinheira (*Quercus rotundifolia*), de Carvalho negral (*Quercus pyrenaica*) e também de Pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) que vai aparecendo no território com alguma expressividade.

Os modelos fitossociológicos permitem avaliar qual a sucessão provável dos diversos tipos de vegetação numa dada região. Por este motivo, é possível avaliar, para cada estágio da sucessão o seu grau de afastamento relativamente à vegetação potencial. De acordo com os dados obtidos para o local em estudo (Aguiar *et al.*, 2013), a vegetação climática seria constituída pelos azinhais da associação *Genisto hystricis-Quercetum rotundifoliae*. Para além de *Genista hystrix* e *Quercus rotundifolia*, que dão o nome à associação, são frequentes: Zimbro (*Juniperus oxycedrus*), Medronheiro (*Arbutus unedo*), Esteva (*Cistus ladanifer*), Trovisco (*Dapne gnidium*), Alfazema (*Lavandula pedunculata*), *Cistus psilosepalus*, Pilriteiro (*Crataegus monogyna*), Bela-luz (*Thymus mastichina*) e Alecrim (*Rosmarinus officinalis*), entre outras. No que respeita aos territórios ocupados pelos matos, é possível identificar as formações arbustivas compostas por estevais da associação *Cisto ladaniferi-*

Genistetum hystricis e os giestais de giesta-branca (*Cytissus multiflorus*) da associação *Genisto hystricis - Cytisetum multiflori*. Nos giestais, são frequentes *Genista hystrix*, Perpétua (*Helichrisum stoechas*), Bela-luz (*Thymus mastichina*) e *Tuberaria gutatta*.

A região, do ponto de vista zoológico, apresenta valores muito relevantes de aves de presa raras e ameaçadas e, sobretudo, várias espécies de aves de rapina com estatuto de ameaça, assim como, uma densidade populacional humana relativamente baixa, o que permite a presença de espécies sensíveis à perturbação direta resultante da pressão antrópica. Salienta-se a presença de comunidades nidificantes de Britango (*Neophron percnopterus*), que corresponde a um dos mais significativos núcleos do país e também para o Chasco-preto (*Oenanthe leucura*), que é frequente nas zonas mais áridas desta região. A área assume igualmente relevância para a Águia-real (*Aquila chrysaetos*), Grifo (*Gyps fulvus*) e a Águia de Bonelli (*Hieraetus fasciatus*). A grande extensão de matos proporciona a ocorrência e uma certa abundância de diversos passeriformes como a Toutinegra-tomilheira (*Sylvia canspicillata*), a Toutinegra-de-bigodes (*Sylvia cantillans*) ou a Toutinegra-dos-valados (*Sylvia melanocephala*). Em termos de preservação de habitats, importa referenciar a presença de espécies com estatuto de ameaça ligadas a territórios bem conservados, como sejam, a toupeira-de-água (*Galemys pyrenaicus*), o Musaranho-de-água (*Neomys anomalus*) ou o lobo (*Canis lupus signatus*). Em termos de habitats classificados, não foram identificados na área de intervenção habitats prioritários ou classificados no âmbito da Rede Natura 2000.



Fot. 1 - Enquadramento paisagístico da área intervencionada (Fonte: Florestgal).

Photo 1 - Landscape of the intervention area (Source: Florestgal).

Na área de intervenção existem registos de incêndios florestais recorrentes entre 1975 e 1999 e, nos últimos 20 anos, ardeu em 2010, 2014 e 2017. O incêndio ocorrido em 2017 afetou cerca de 200 hectares e atingiu uma grande área de produção de eucalipto (que já se encontrava na quarta rotação), o que resultou numa perda de produtividade, uma desvalorização económica muito significativa da madeira e a afetação da densidade do povoamento, de eucalipto, sendo evidente a existência de muitas toijas e árvores que não rebentaram após o fogo.

O projeto POST-FIRE FAM

Relativamente ao projeto POST-FIRE FAM, tal como já se referiu, o objetivo consiste na avaliação da severidade resultante de grandes incêndios no território de Portugal Continental, colocando em prática um protocolo de campo para a recolha de informação relacionada com os efeitos produzidos pelos incêndios ao nível do solo, subcoberto e vegetação arbórea. Simultaneamente é realizada a classificação multitemporal de imagens de satélite Sentinel-2 (LEVEL-2A), usando um conjunto de índices espectrais relacionados com a severidade e publicados em literatura científica (por exemplo, Parks *et al.*, 2014; Fernández-García, *et al.*, 2017).

No ano de início do projeto (2024), foram visitadas duas áreas queimadas resultantes de dois incêndios rurais que no total tiveram 1990 ha de área ardida (fig. 1). A primeira área com uma dimensão de 56 ha e com uma ocupação do solo maioritariamente com eucalipto, situa-se na localidade de Espiunca, concelho de Arouca (extremo nordeste do distrito de Aveiro). Trata-se de uma área privada, aparentemente com reduzida gestão

florestal e inserida num território que se caracteriza, em termos de ocupação de solo, por possuir cerca de 65,5% da sua área ocupada por espaços florestais, maioritariamente com eucaliptos e onde a União de Freguesias de Canelas e Espiunca é a que apresenta maior área ocupada com floresta entre as 16 freguesias do concelho (3204 ha) (CMDFCI, 2015). A área queimada localiza-se junto ao rio Paiva, entre as quotas de 90 e 350 metros de altitude e com um declive que varia entre os 15 e 30°. A proximidade ao oceano Atlântico e a respetiva orografia conferem a este território um clima temperado de influência marítima e temperaturas médias anuais na ordem de 14°C. Antes de 2024, a última vez que se registou um incêndio nesta zona do concelho foi em 1987. A meteorologia associada à ocorrência foi de temperatura de cerca de 17°C, velocidade do vento 6 km/h, direção do vento de Oeste e humidade relativa de cerca de 77%. A segunda área queimada repartiu-se entre as localidades de Angueira e São Martinho de Angueira, nos municípios de Miranda do Douro e Vimioso (maioritariamente no primeiro concelho), com uma ocupação de solo diversificada. De acordo com as classificações de ocupação e uso do solo (COS2018 e COSc2024), a área queimada situa-se maioritariamente em matos, e povoamentos florestais de pinheiro-bravo e folhosas (carvalhos e castanheiros). As áreas visitadas localizam-se em terrenos moderadamente declivosos (2 a 10°), altitudes entre os 700 e os 800 metros, com encostas maioritariamente expostas a Sul e Este (cerca de 62% da área). De acordo com o histórico de incêndios, a grande maioria da área afetada pelo incêndio não ardia há mais de 20 anos, representando à data da visita o maior incêndio rural ocorrido em Portugal Continental nesse ano.

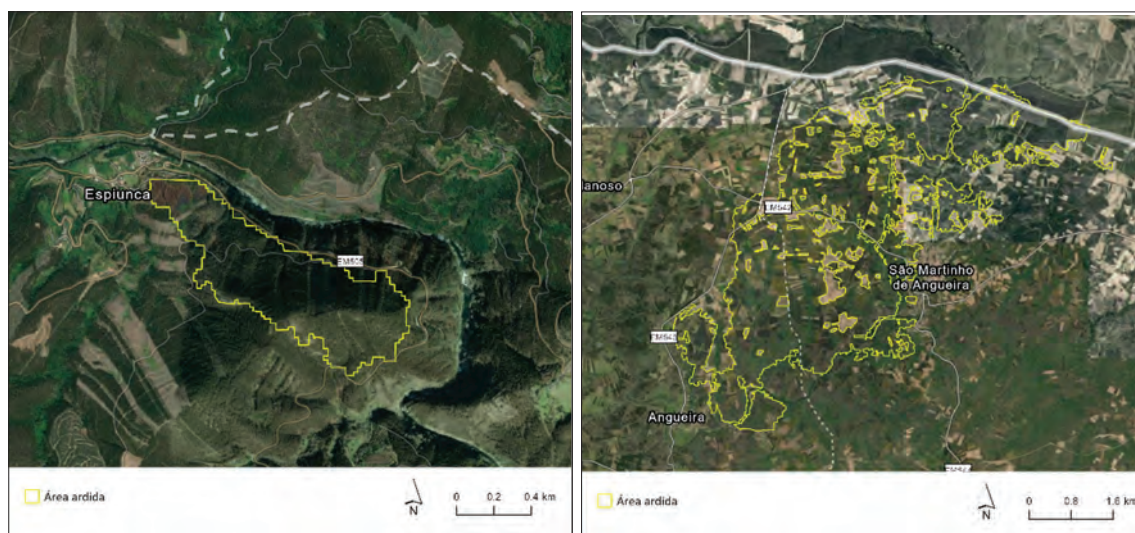


Fig. 1 - Áreas ardidas que foram alvo de trabalho de campo para avaliação da severidade dos incêndios: a) Espiunca; e b) Angueira (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 1 - Burned areas targeted in field work to assess the severity of the fires: a) Espiunca; and b) Angueira (Source: CoLAB ForestWISE®).

Metodologia

REACT MORE

Tratando-se de dois projetos distintos e com propósitos próprios, as abordagens metodológicas para a sua concretização foram igualmente diferentes. No caso do projeto REACT MORE, com o objetivo de monitorizar parâmetros como temperatura e humidade do ar, propriedades do solo e as alterações induzidas pela reconversão do povoamento, foi instalado um ensaio de campo, permitindo conhecer os processos implicados na alteração do coberto vegetal e diversidade de fauna entomológica, que pode auxiliar na tomada de decisão de projetos futuros.

Este local foi percorrido por diversos incêndios desde a sua plantação, resultando atualmente, uma situação de eucaliptal gerido, na quarta rotação, com varas com cerca de seis (6) anos em toijas dispersas e irregulares, com sob coberto de vegetação arbustiva e herbácea. Em dois dos locais selecionados com presença de eucaliptos, designaram-se as parcelas por EG e um dos locais não tinha qualquer eucalipto e foi designado “Matorral”. No local com eucalipto, designado por EG1 foi plantado medronheiro (7,12 ha) e em EG2 foi plantada uma consociação de sobreiro e medronheiro (33,88 ha). Na parcela designada por “Matorral” foi feito o adensamento por sementeira com sobreiro e azinheira.

Para proceder à nova plantação com espécies mais adaptadas à região procedeu-se ao arranque das toijas existentes por via mecânica. Para ter condições para o estudo do ensaio instalado e obtenção de comparações em diferentes situações de coberto vegetal, optou-se por deixar duas parcelas com eucalipto (não se arrancaram as toijas e não se fez plantação em cerca de 1000 m²) para ser monitorizado como testemunha e comparado com as novas plantações pelo máximo período possível.

Foram instaladas seis parcelas (três (3) parcelas testemunha + três (3) parcelas intervencionadas, com 5000 m² cada uma), nas quais se realizaram inventários florísticos (método dos quadrats) e faunísticos/entomológicos (*sweeping* e *pitfall*), colhidas amostras de solo para análise/caracterização entre os 0-20 cm de profundidade e, simultaneamente, recolhidos dados de humidade do ar e de temperatura através de sensores. Os critérios subjacentes à seleção dos locais das parcelas foram a respetiva acessibilidade e as espécies a plantar ou semear, tendo os pontos de amostragem obedecido a uma seleção aleatória. O principal propósito consistiu em monitorizar alguns indicadores, e perceber do impacto das operações realizadas, na biodiversidade local, contabilizando-se para isso os insetos e fazendo o inventário florístico do local. A definição destas parcelas de monitorização foi efetuada de acordo com as seguintes ocupações de solo futuras:

- Povoamento puro de medronheiro (1+1)
- Povoamento misto de sobreiro x medronheiro (1+1)
- Povoamento misto de sobreiro x azinheira (1+1)

Os inventários florístico e faunístico ocorreram em dois períodos. O primeiro no início da primavera e em outubro e o segundo, para além dos dois momentos referidos, igualmente em junho. As amostras de solo foram recolhidas em cada ponto de amostragem, no momento de instalação das parcelas (março). Dada a falta de disponibilidade de sensores e o momento em que os mesmos foram adquiridos (agosto), foram instalados foram colocados 24 sensores a cinco centímetros do solo (quatro (4) sensores por parcela). Nas parcelas testemunha dos três locais foram ainda colocados dois sensores adicionais a diferentes alturas (5 cm e 100 cm).

Cada parcela com a dimensão de 5000 m² foi dividida em quadriculas de 15m x 15m. Os pontos de interseção resultantes nessas redes foram considerados como potenciais pontos de amostragem. Tendo em conta a dimensão das parcelas e a disponibilidade de tempo e de recursos, foram aleatoriamente selecionados sete (7) pontos de amostragem em cada parcela (fig. 2). As parcelas, tal como os pontos de amostragem, foram georreferenciados e a sua localização, identificada no terreno, com estacas de madeira, para futuro acesso aos mesmos.

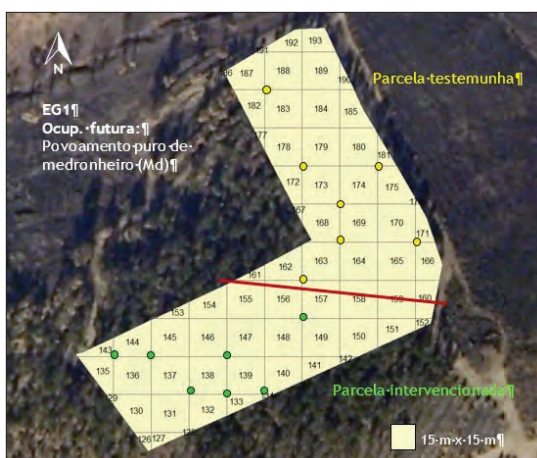


Fig. 2 - Pontos de amostragem numa das parcelas do ensaio-piloto (Fonte: CoLAB ForestWISE® e ESRI).

Fig. 2 - Sampling points in one of the pilot test plots (Source: CoLAB ForestWISE® and ESRI).

Os 42 pontos instalados, permitiram comparações de diferentes situações de coberto vegetal. Em cada parcela foram identificados, com estacas, sete (7) pontos fixos e georreferenciados, viabilizando a instalação e monitorização das parcelas de estudo em função das intervenções que envolveram a plantação de sobreiro, azinheira e medronheiro, nas tipologias de plantação e sementeira (fot. 2).

O inventário florístico, realizado em duas épocas de amostragem (uma em março e outra em finais do mês de outubro), envolveu a identificação de espécies de plantas dentro de uma área de 25m² ao redor dos pontos de amostragem pré-definidos. Esta área de amostragem foi escolhida para abranger as diversas espécies da comunidade vegetal amostrada. A abordagem metodológica adotada baseou-se na sistematização da cobertura e relevância das espécies, com recurso a critérios estabelecidos na literatura (ex.: Braun-Blanquet), facilitando a identificação dos padrões de distribuição e a comparação entre diferentes áreas amostrais, contribuindo para a compreensão das dinâmicas ecológicas em contextos mediterrânicos. A partir da lista florística compilada, foi possível identificar o tipo de vegetação presente, sua riqueza florística e diversidade, facilitando a compreensão dos impactos que as mudanças propostas poderão ter na biodiversidade no futuro. A identificação taxonómica contou com o apoio das bases de dados da Flora Ibérica e da Flora-On, que se revelaram fundamentais para a validação dos nomes científicos e para a correta classificação das espécies. Adicionalmente, foram consultados estudos científicos nacionais que aplicaram a metodologia referida, como os trabalhos de Pereira e Santos (2013) e Costa e Silva (2011).

A instalação das 42 pitfall (sete (7) por parcela) ocorreu em três períodos: primavera, verão e outono, tendo a amostragem sido realizada a partir de recolhas periódicas a cada dois meses. As armadilhas permaneceram uma semana no local e foram recolhidas para posterior separação dos insetos por ordem e contagem. As amostras recolhidas pelo método sweeping, foram recolhidas na mesma data em que foram recolhidas as outras amostras de insetos.

POST-FIRE FAM

O projeto POST-FIRE FAM tem como objetivo principal a classificação de forma expedita e recorrendo a imagens de satélite (Sentinel-2) da severidade de grandes incêndios, de forma a apoiar de forma célere a decisão estratégica relativamente à implementação das medidas necessárias de restauro dos ecossistemas florestais. O projeto divide-se nas seguintes fases: 1) seleção do incêndio alvo de avaliação da severidade no terreno, em função da sua dimensão, localização, e classes de ocupação florestal; 2) compilação da base de dados geográfica e das imagens de satélite antes e após o incêndio, com planeamento do trabalho de campo; 3) avaliação no campo da severidade do incêndio nos diferentes estratos da vegetação e do solo; e 4) classificação da severidade do incêndio com base nas imagens de satélite e atualização da base de dados de campo com inclusão de todas as parcelas avaliadas no campo (fig. 3).

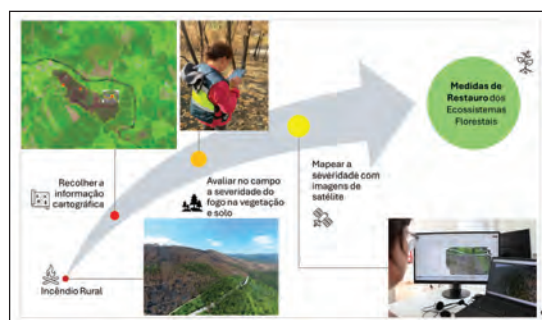


Fig. 3 - Organograma das quatro principais tarefas do projeto POST-FIRE FAM (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 3 - Organizational chart of the four main tasks of the POST-FIRE FAM project (Source: CoLAB ForestWISE®).



Fot. 2 - Exemplos dos pontos de amostragem instalados nas parcelas testemunha e nas intervençionadas sensor de temperatura e humidade colocado na parcela de ensaio (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Photo 2 - Examples of the sampling points installed in the control plots and in the plots subject to intervention with the temperature and humidity sensor placed in the test plot (Source: CoLAB ForestWISE®).

Os dados de avaliação da severidade recolhidos no campo são muito importantes para a construção de uma base de dados de modelação visando a classificação da severidade dos incêndios com base nas imagens Sentinel-2. É bastante ambicioso pensar que com imagens de satélite se consegue classificar a severidade de um incêndio nos diferentes estratos avaliados no campo, especificamente ao nível das copas, subcoberto e solo. A energia que é refletida pela superfície resulta da combinação das refletâncias de cada um dos seus componentes, avaliação que é complexa e depende, entre outros fatores, da intensidade e velocidade de propagação do fogo, do tipo de vegetação e da sua vulnerabilidade e do grau de coberto arbóreo. Deste modo, a construção da base de dados de campo, conjuntamente com índices espectrais específicos derivados das imagens de satélite, permitirá perceber os principais fatores que determinam e condicionam a classificação da severidade, bem como os ajustes necessários a aplicar aos limiares dos índices para obter mapas discretos de classes de severidade localmente calibrados.

A metodologia de classificação da severidade dos incêndios é multi-temporal, ou seja, são necessárias duas imagens de satélite Sentinel-2, uma correspondente a uma data pré-fogo e outra a uma data pós-fogo, ambas isentas de nuvens e com boa qualidade radiométrica. As composições coloridas RGB - 12, 8A, 4, com a resolução espacial de 20 m, permitem de uma forma relativamente clara perceber a cicatriz da área queimada, a partir da qual é frequentemente possível delimitar o perímetro caso a forma não seja demasiado complexa e haja contraste espectral. As imagens de ambas as datas são usadas para extrair os índices espectrais: NBR (Normalized Burned Ratio), dNBR (diferença entre o NBR pré-fogo e o NBR pós-fogo), e RBR (Relative Burn Ratio), de acordo com o trabalho de Parks *et al.* (2014), onde a banda 4 foi substituída pela banda 8a (IVP) e a banda 7 pela banda 12 (IVM). Os índices referidos são obtidos seguindo as seguintes equações:

$$\text{NBR} = (b8a - b12) / (b8a + b12) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{dNBR} = ((\text{NBR}_{\text{pré-fogo}} - \text{NBR}_{\text{pós-fogo}}) \times 1000) - \text{dNBR}_{\text{offset}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{RBR} = \text{dNBR} / (\text{NBR}_{\text{pré-fogo}} + 1.001) \quad (\text{Eq. 3})$$

onde, $\text{dNBR}_{\text{offset}}$ corresponde a um fator de correção calculado como o valor médio do dNBR em superfícies relativamente homogêneas e invariantes fora do perímetro do queimado (por exemplo zonas de solo nu). Aplica-se este fator de correção às imagens para salvaguardar diferenças radiométricas que possam existir entre as imagens pré e pós-fogo, por exemplo, devido à fenologia ou ocorrência de precipitação entre as datas de passagem do satélite.

Posteriormente, são definidas parcelas de avaliação da severidade no campo, com base na acessibilidade, procurando garantir a representatividade das diferentes classes de ocupação afetadas pelos incêndios, bem como diferentes níveis de severidade obtidos pela classificação prévia dos índices espectrais referidos. As parcelas visitadas no campo são circulares (15 m de raio) onde se recolhe a informação de forma visual das duas principais ocupações, as percentagens de coberto arbóreo e de matos, a altura média da base das copas, a altura média do povoamento, e a altura média da vegetação no subcoberto. Identificaram-se ainda a existência de pragas assim como espécies lenhosas invasoras. Selecionaram-se como classes de ocupação alvo de avaliação da severidade do incêndio povoamentos florestais de resinosas e povoamentos florestais de folhosas, sendo o número de parcelas a amostrar função da representatividade destas na área queimada.

A metodologia de avaliação em campo da severidade do incêndio na vegetação e no solo baseia-se noutras abordagens já testadas, designadamente pelas equipas BAER (Burned Area Emergency Response) dos Serviços Florestais norte americanos (Parsons *et al.*, 2010), tendo-se procedido a algumas adaptações e adotado uma série fotográfica para a classificação da severidade no solo, disponível no guia em https://www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs_gtr243.pdf. Em termos gerais, a severidade é avaliada através de um índice designado por CBI (Composit Burn Index), que é atribuído a cada um dos quatro estratos de vegetação e para o substrato (ver tabela 2 do trabalho de Fernández-García *et al.* (2018)). A escala de variação do CBI varia entre 0 (nula) e 3 (elevada). O valor de CBI é registado para cada estrato, e posteriormente calculam-se os valores médios para cada estrato e para a parcela na sua totalidade. Serão estes valores médios (agregados e não agregados) que serão usados na análise das relações com a severidade dada pelos índices espectrais.

Para implementar a metodologia adaptada de avaliação da severidade ao nível da vegetação e do solo, desenvolveu-se um formulário com uma base de dados fotográfica de apoio, que de uma forma expedita recolhe a informação observada no campo. Os dados georreferenciados recolhidos no campo são então descarregados para uma base geográfica de dados que integra todas as parcelas de todos os incêndios selecionados para avaliação da severidade. Nesta mesma base de dados são adicionados os valores dos índices espectrais extraídos para cada parcela, que poderão posteriormente suportar a estimativa da severidade média, e ajustar diferentes modelos matemáticos em função de variáveis descritoras de cada incêndio/local, com o objetivo melhorar as estimativas de severidade obtidas por processamento e classificação de imagens de satélite.

Resultados

Relativamente ao projeto REACT MORE, apresentam-se resultados a diferentes níveis: fertilidade do solo, humidade, temperatura e inventários florístico e faunístico. Os resultados da análise de amostras de solo nas parcelas (QUADRO I), revelaram a existência de solos ácidos ($4,0 < \text{pH (KCl)} < 4,5$), com valores para os cátions de troca baixos para todos os locais e percentagem de matéria orgânica média para EG1 e baixa para os outros dois locais. Em todos os locais o teor de fósforo foi muito baixo, o potássio variou entre médio e baixo (Método de Egner-Riehm), as Bases de troca, cálcio, magnésio, potássio e sódio (encontradas por percloração do solo), variam entre o médio e o muito baixo, com a capacidade de troca catiónica a variar entre o baixo e muito baixo, pelo que se podem classificar como solos pobres em nutrientes e em matéria orgânica (Velooso *et al.*, 2022).

QUADRO I - Quantificação de N, P, K, MO e dos cátions de troca no solo por local.

TABLE I - Quantification of N, P, K, OM and exchange cations in the soil by site.

	EG 1	EG 2	Matorral
pH (KCl)	4,5	4,0	4,3
N (g Nkg ⁻¹)	1,22	0,73	0,62
razão C/N	9,8	9,1	8,7
MO (%)	2,06	1,15	0,93
Fósforo (mg P2O5 kg ⁻¹)	24	6	3
Potássio (mg K2O kg ⁻¹)	85	78	47
Bases de troca (cmolc kg ⁻¹)			
Ca ²⁺	2,96	1,67	2,41
Mg ²⁺	0,48	0,47	0,51
K ⁺	0,17	0,16	0,1
Na ⁺	0,05	0,01	0,01

Fonte: Resultados de análises laboratoriais do Laboratório de Solos e Plantas da UTAD / Source: Laboratory analyses results at the UTAD Plants and Soil Laboratory.

Os dados dos sensores instalados, permitiram a comparação de dados meteorológicos em cada local do ensaio, podendo avaliar diferenças encontradas que se possam atribuir à influência da vegetação e comparar com os valores gerais obtidos na estação meteorológica do IPMA da aldeia de Vilar Torpim, a 635 m de altitude (Figueira de Castelo Rodrigo) a cerca de 10 km do local de ensaio. A colocação de sensores só ocorreu em agosto, devido a constrangimentos relacionados com o fornecimento deste equipamento. Entretanto, foram solicitados dados ao IPMA que permitiram a comparação entre os valores do IPMA e dos sensores instalados, tendo-se observado algumas diferenças entre ambos (sobretudo relacionados com o posicionamento, a altura e altitude dos aparelhos de registo). Apesar disso regista-se um comportamento muito semelhante na evolução mensal destes indicadores (fig. 4).

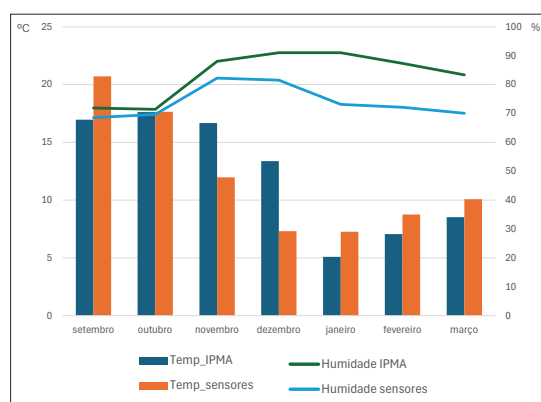


Fig. 4 - Comparação entre valores de humidade do ar e temperatura média do ar entre setembro de 2023 e março de 2024 (Fonte: IPMA e CoLAB ForestWISE®).

Fig. 4 - Comparison of air humidity and average air temperature between September 2023 and March 2024 (Source: IPMA and CoLAB ForestWISE®).

Paralelamente, verifica-se que entre 2021 e 2022, nesta região, existe um período de cerca de quatro meses em que a precipitação é praticamente nula e as temperaturas são elevadas (verão). Os maiores níveis de precipitação ocorreram durante cerca de quatro meses (outono), tendo a precipitação anual acumulada variado entre os 360 mm em 2021 e os 380 mm em 2022. Estes dados permitem avaliar as condições extremas que caracterizam a região e que condicionam o tipo de vegetação presente. No ano de 2023 observa-se uma diferença no período estival, durante o qual a temperatura média foi mais baixa, coincidente com alguma precipitação no início do período estival (fig. 5).

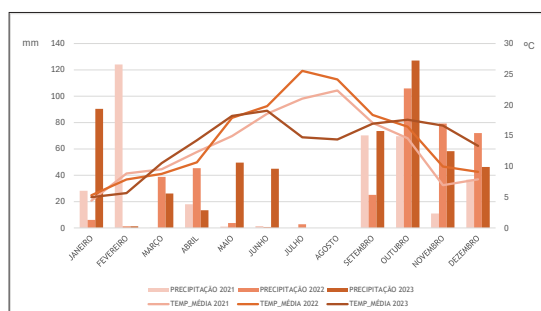


Fig. 5 - Precipitação acumulada e temperatura média do ar entre 2021 e 2023 (Fonte: IPMA).

Fig. 5 - Accumulated rainfall and average air temperature between 2021 and 2023 (Source: IPMA).

Através do inventário florístico, foram identificadas 64 espécies diferentes no conjunto dos 42 pontos amostrados. A espécie mais frequente na área de investimento é a *Cytisus multiflorus*, aparecendo com mais frequência no local Matorral. Esta é uma espécie colonizadora, em solos ácidos e pobres, preferencialmente derivados de

granitos, quartzitos, ou menos frequentemente, xistos (Flora ON). Espécies como *Senecio lividus*, *Festuca sp.*, *Ranunculus ollissiponensis* e *Rumex acetosella*, apenas foram identificadas nos locais onde existe Eucalipto (EG1, EG2). O matorral foi o único local onde apareceu o *Echium plantagineum* que indica que este é um local fortemente ruderalizado e a *Erodium sp. (cicutarium)* foi mais frequente em matorral do que nas áreas com presença de Eucalipto. A *Quercus coccifera*, é a espécie arbórea que aparece com maior frequência, tendo sido identificada em todos os locais, mas com maior frequência na parcela de Matorral (fig. 6).

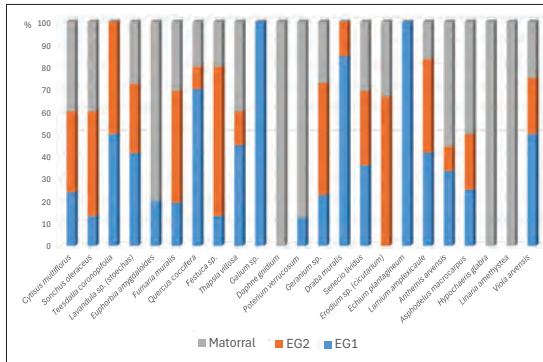


Fig. 6 - Espécies observadas no inventário florístico por parcela de amostragem (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 6 - Species observed in the flora inventory by sampling plot (Source: CoLAB ForestWISE®).

No que concerne ao inventário faunístico foram identificados 3582 insetos, tendo-se agrupado os mesmos em 13 ordens diferentes (fig. 7). A ordem com maior frequência de insetos foi a *Hymenoptera* com cerca de 39% dos insetos capturados. O local onde se observou o maior número de insetos foi o EG2 com um total de 1326 contabilizados distribuídos por 12 ordens (excetua-se a ordem *Scorpiones*). No Matorral foi ainda identificado um inseto da ordem *Archaeognatha*, conhecido como “traças saltadoras”, com máximo de 15 mm. Os *Archaeognatha* são comumente encontrados em restos de vegetação caída e fazem parte da comunidade de decompositores que reciclam os nutrientes dos organismos. A ordem *Isoptera* praticamente só se observou no local em que os eucaliptos tinham maior densidade de outras espécies arbustivas (EG2). Finalmente, salienta-se a ausência da ordem *lepidoptera* e *Milipode* da parcela EG1, assim como, a elevada percentagem de *Aracnidea* na mesma parcela (58%).

No que diz respeito ao projeto POST-FIRE FAM, sendo este um projeto que se encontra no seu início, estes resultados que se apresentam são preliminares e carecem de mais observações de modo a serem realizadas análises robustas. Todavia, já foi possível observar que nos exemplos analisados a média da severidade

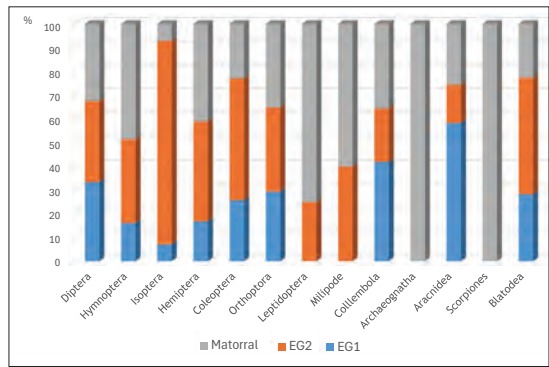


Fig. 7 - Ordens de insetos por parcela de amostragem (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 7 - Species order by sampling plot (Source: CoLAB ForestWISE®).

na vegetação (CBI_Veg) foi de 2.2 (SD=0.52), sendo classificado globalmente o incêndio com uma severidade moderada ($1.25 < CBI < 2.25$), apesar de se encontrar perto do limiar mínimo da classe de severidade elevada. No entanto, observa-se que sete parcelas (~40%) foram classificadas com severidade elevada. Relativamente aos valores de dNBR, segundo a literatura o valor médio de 372, é usualmente classificado como severidade moderada/baixa. Por outro lado, no caso do RBR, para um valor acima de 298 a severidade é classificada como moderada/elevada. Com as devidas ressalvas, e apenas considerando as 20 parcelas estudadas, a correlação linear entre os valores dados pelo CBI_Total (média dos CBIs das componentes da vegetação e do solo) e o índice espectral RBR (satélite), antevendo-se uma boa capacidade preditiva de um modelo linear que prevê a severidade dum incêndio com recurso a imagens de satélite (fig. 8).

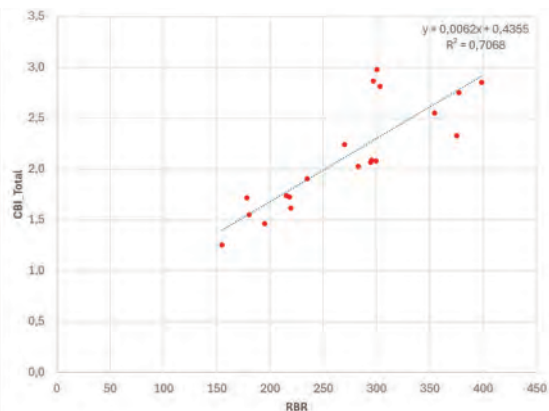


Fig. 8 - Relação entre o valor médio de CBI total calculado em cada uma das 20 parcelas de campo e a severidade obtida usando o índice espectral RBR (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 8 - Relationship between the average total CBI value calculated in each of the 20 field plots and the severity obtained using the RBR spectral index (Source: CoLAB ForestWISE®).

Conclusões

No caso do projeto REACT MORE foi possível constatar que ainda que estejamos perante solos pobres e com uma elevada suscetibilidade à desertificação, existem evidências de uma significativa biodiversidade adaptada ao clima da região e às condições edáficas das parcelas. Porém, seria necessário manter o acompanhamento das parcelas de monitorização, permitindo perceber a médio/longo prazo os impactos produzidos pelas operações florestais e reconversão do povoamento com espécies autóctones ao nível da fertilidade do solo e da biodiversidade.

Quanto aos métodos de captura de insetos, apesar de complementares, o método *pitfall* aparenta ser mais expedito na sua aplicação porque é facilmente repetível em cada ponto de amostragem. Paralelamente, permite capturar maior diversidade de insetos relacionados com o solo e decomposição da folhada, como é o caso dos *Collembola*, contabilizando as diferentes as ordens em que foram identificados. Com este método foram capturados insetos de doze ordens diferentes, enquanto através de *sweeping* foram contabilizadas oito (8) ordens diferentes no total de pontos de todas as parcelas. O método *pitfall* permitiu ainda identificar, na parcela Matorral, duas ordens que não foram encontradas nas parcelas com predominância de Eucalipto. Além das diferenças registadas, também se observou que este método apresenta um risco significativo da destruição de armadilhas por animais, ou pela curiosidade humana, tendo esta situação ocorrido entre 20 e 25% do total de armadilhas instaladas. Na execução do método de *sweeping*, apesar de ter permitido identificar insetos pertencentes a uma ordem (*Blatodea*) não identificada pelo outro método, podem observar-se várias condicionantes, como a influência do tipo e quantidade de insetos capturados, a hora do dia ou as condições meteorológicas. Assim, a aplicação deste método deverá atender aos diversos fatores referidos, já que pode ser condicionada pelo vento ou pela chuva que impossibilitam a aplicação desta metodologia.

Considerando que as intervenções nas parcelas, no que se refere à destruição dos cepos, plantações e sementeiras, só tiveram lugar em setembro de 2023, já não foi possível até ao fim do projeto (31 de dezembro de 2023) proceder a novas amostragens nas mesmas, inviabilizando uma conclusão sobre diferenças a curto prazo entre métodos e parcelas (testemunhas e intervencionadas), relativamente à diversidade e quantidade de insetos capturados.

No que respeita ao POST-FIRE FAM, os resultados preliminares parecem bastante promissores dado o elevado valor de correlação entre o cálculo da severidade no terreno (CBI) e o valor obtido pelo índice espectral (RBR). Importa notar que, os dados dizem apenas respeito a dois incêndios e os valores poderão alterar-se significativamente com a introdução da variabilidade

da vegetação em outros incêndios e outros graus de severidade dos incêndios. Deste modo, reforça-se a necessidade de continuar a recolher informação para aumentar a base de dados de análise da severidade, através da seleção de mais incêndios futuros com o aumento do número de parcelas a visitar no terreno. Isto permitirá realizar, por um lado, análises estatisticamente robustas com o fim de avaliar a possibilidade de estimar a severidade remotamente; e por outro lado, perceber quais as limitações e principais fatores a considerar na avaliação expedita da severidade com imagens de satélite, com implicações para a rápida implementação de medidas de restauro dos ecossistemas afetados.

Considerações finais

Os impactos que este tipo de trabalhos podem produzir, designadamente em termos de gestão florestal, podem traduzir-se a vários níveis, nomeadamente na produção de conhecimento, importante para conhecer os efeitos produzidos pelas operações florestais em projetos de florestação ou reflorestação, assim como, na avaliação da severidade do fogo. Para além das ferramentas de gestão que podem ser criadas usando estas informações de base, também será possível intervir ao nível de desenho de políticas apropriadas capazes de traduzir a realidade e as necessidades dos territórios.

O acompanhamento da regeneração dos ecossistemas afetados por incêndios rurais ao longo do tempo e a avaliação expedita da severidade do fogo usando dados de satélite, permitirá que sejam implementadas estratégias de mitigação adequadas e moldadas às necessidades do território. Paralelamente, este exercício permite maior eficiência na implementação destas estratégias uma vez que a definição e priorização de ações de mitigação de impactos na vegetação e solo (estabilização de emergência pós-fogo), permitirá uma alocação de recursos e de esforço de acordo com as prioridades definidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro ao projeto REACT MORE, financiado pelo COMPETE 2020 no âmbito do Aviso Convite n.º 13 REACT-EU/2021 Referência Balcão 2020 | POCI-G4-2021-26 “Apoio à Transição Climática ‘Intervenções de Resiliência dos territórios face ao risco | Combate à desertificação através da rearboreização e de ações que promovam o aumento da fixação de carbono e de nutrientes no solo”. Paralelamente, agradecem o apoio financeiro da ‘Missão Interface’, co-financiada pelo PRR - Plano de Recuperação e Resiliência (código de operação 01/C05-i02/2022.P145), no âmbito do qual se desenvolve o projeto POST-FIRE FAM. Os autores agradecem igualmente ao IPMA a partilha de dados respeitantes à estação meteorológica da aldeia de Vilar Torpim.

Referências bibliográficas

- 40
- Aguiar, C., Monteiro-Henriques, T., & Sánchez-Mata, D. (2013). New contributions on flora and vegetation of northeastern Portugal ultramafic outcrops. *Lazaroa*. Disponível em: <https://revistas.ucm.es/index.php/LAZA/article/download/43642/41425/66408>
- Chen, Z. (2006). Effects of fire on major forest ecosystem processes: an overview. *The journal of applied ecology*, 17 (9): 1726-1732.
- Correia, A., Oiveira, A. (1999). Principais espécies florestais com interesse para Portugal. Zonas de influência Mediterrânea. *Estudos e Informação*, n.º 318, Direcção-Geral das Florestas, Lisboa.
- Costa, J., Aguiar, C., Capelo, J., Lousã, M. e Neto, C. (1998). *Biogeografia de Portugal Continental*. Quercetea.
- Costa, M. & Silva, J. (2011). Estudos florísticos de áreas mediterrânicas em Portugal: uso da metodologia Braun-Blanquet. *Revista de Ecologia*, 12(3), 45-60.
- CMDFCI (2015). Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Arouca (2015-2019). Diagnóstico, p. 42.
- DGT (2018). Carta de Ocupação do Solo (COS2018).
- DGT (2024). Carta de Ocupação de Solo Conjuntural (COSc2024).
- Fernández-García, V., Santamarta, M., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Marcos, E., & Calvo, L. (2018). Burn severity metrics in fire-prone pine ecosystems along a climatic gradient using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 206, 205-217.
- Guiomar, N., Fernandes, J.P., Neves, N. (2007). Modelo de análise espacial para avaliação do carácter multifuncional do espaço. [CD-Rom] *Atas do III Congresso de Estudos Rurais*, SPER, Universidade do Algarve, Faro.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA - IPMA (2023). Atlas climático de Portugal continental 1981-2010. Lisboa: IPMA.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA - IPMA (2023). Fichas climatológicas – Normal climatológica: Figueira de Castelo Rodrigo / Vilar Torpim (1981-2010). IPMA – Divisão de Clima e Alterações Climáticas. Disponível em https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_81-10_FIGUEIRA_DE_CASTELO_RODRIGO.pdf
- Leitão, I. A., Ferreira, C., Boulet, A. e Ferreira, A. D. (2018). Do fogo à desertificação. A degradação dos ecossistemas florestais. In *O rural depois do fogo*, Orlando Simões (ed.). Edição: Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Coimbra (ESAC/IPC). ISBN: 978-972-99205-8-5147, 147-154.
- Naveh, Z. (1994). The role of fire and its management in the conservation of Mediterranean ecosystems and landscapes. In Moreno, J. M., Oechel, W. C. (Eds.) *The role of fire in Mediterranean type ecosystems*, *Ecological Studies*, Springer-Verlag, Vol. 107, 163-186.
- Parks, S. A., Dillon, G. K., Miller, C. (2014). A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. *Remote Sensing*, 6, 1827-1844. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
- Parson, A., Robichaud, P. R., Lewis, S. A., Napper, C. and Clark, J. T. (2010). *Field guide for mapping post-fire soil burn severity*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 49 p.
- Pereira, H. & Santos, A. (2013). Levantamento florístico e análise de comunidades vegetais em Portugal: aplicação da metodologia Braun-Blanquet. *Boletim do Instituto de Botânica*, 22(2), 111-125.
- Roxo, M. J. (2023). *Desertificação em Portugal*. Fundação Francisco Manuel dos Santos, Edição eBook: Guidesign. ISBN 978-989-9118-95-9, 1-54, Disponível em https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=JtjVEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=portugal+e+a+desertifica%C3%A7%C3%A3o+dos+solos&ots=FDzSPQUEx&sig=Wtqhpm1GpWR2qVlh6gEOG8_Tpo4&redir_esc=y#v=onepage&q=portugal%20e%20a%20desertifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20solos&f=false
- Santín, C., Doerr, S. H. (2016). Fire effects on soils: the human dimension. *Philosophical transactions of the Royal Society of London - Series B, Biological sciences*, 37 (1696).
- Serviço Geológico de Portugal / LNEG (1990). Carta Geológica de Portugal, Folha 15-D - Figueira de Castelo Rodrigo (Esc. 1:50 000). Notícia explicativa e folha cartográfica. LNEG/IGM.
- Silva, A. F. (2005). Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico) – caracterização litostratigráfica (Relatório / repositório LNEG). LNEG.
- Stoof, C. R., Vervoort, R. W., Iwema, J., van den Elsen, E., Ferreira, A. J. D. and Ritsema, C. J. (2012). Hydrological response of a small catchment burned by experimental fire. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 267-285.
- TRIBUNAL DE CONTAS (2019). Relatório n.º 19/2019 - 2ª série: Auditoria ao Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação. Tribunal de Contas.
- Vários (2006). *Incêndios Florestais em Portugal. Caracterização, Impactes e Prevenção*. João Santos Pereira, José M. Cardoso Pereira, Francisco Castro Rego, João M. Neves Silva e Tiago Pereira da Silva (Editores). ISAPress, Lisboa.

Veloso, A., Sempiterno, C., Calouro, F., Rebelo, F., Pedra, F., Isabel, V. Castro, I. V., Gonçalves, M., Marcelo, M., Pereira, P., Fareleira, P., Jordão, P., Mano, R. e Fernandes, R. (2022). *Manual de fertilização das culturas*. Fátima Calouro (coord.), Edição Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P. - INIAV (3ª edição), ISBN: 978-972-579-063-2.

Websites

Agência Portuguesa do Ambiente, <https://rea.apambiente.pt/content/suscetibilidade-%C3%A0-desertifica%C3%A7%C3%A3o>

Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Rurais, <https://www.agif.pt/pt/sobre-o-sgifr>

Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares, <http://www.floraiberica.es/>

Flora-On, <https://flora-on.pt/>



RISCOS



DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO SISTEMA PÚBLICO DE HIDRANTES EM NATAL/RN:
RISCOS TECNOLÓGICOS E VULNERABILIDADES HÍBRIDAS*

43

SPATIAL DISTRIBUTION OF THE PUBLIC HYDRANT SYSTEM IN NATAL/RN:
TECHNOLOGICAL RISKS AND HYBRID VULNERABILITIES

Jhonathan Lima de Souza

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta
de Desastres Naturais (Brasil)
ORCID: 0000-0003-2351-3266 jhonathan.souza@cemaden.gov.br

Ana Caroline Damasceno Souza de Sá

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Brasil)
Centro de Ensino Superior do Seridó, Dept.º de Geografia
ORCID: 0000-0003-1037-5685 carolsouza.geo@gmail.com

Eduardo José Marandola Júnior

Universidade Estadual de Campinas (Brasil)
Faculdade de Ciências Aplicadas, campus de Limeira
ORCID: 0000-0001-7209-7735 eduardo.marandola@fca.unicamp.br

Aline Pascoalino

Universidade Estadual de Campinas (Brasil)
Instituto de Geociências, Departamento de Geografia
ORCID: 0000-0003-0927-8474 apascoal@unicamp.br

Vinnicius Vale Dionizio França

Universidade Federal do Paraná (Brasil)
Programa de Pós-Graduação em Geografia
ORCID: 0000-0002-1675-4857 Vinniciusdionizio@gmail.com

RESUMO

O objetivo desta pesquisa consiste em avaliar a distribuição espacial do sistema público de hidrantes em Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, Brasil, entendendo-os como ferramentas de resposta a incêndios, a partir da análise dos riscos tecnológicos e das vulnerabilidades híbridas. Para isso, foram discutidos elementos de ordem técnica, institucional e política que contribuem para o surgimento e agravamento da vulnerabilidade híbrida, especialmente no que diz respeito ao risco de incêndios decorrente da ausência de hidrantes. A análise espacial foi realizada por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), utilizando buffers de 300 metros em torno de cada hidrante. Essa metodologia permitiu identificar zonas de risco caracterizadas por uma baixa densidade de hidrantes em relação à área (km²) e à população local. Destacam-se, nesse contexto, as zonas Norte e Oeste, que apresentaram maior suscetibilidade a incêndios no município. Por fim, o texto propõe uma reflexão sobre a ausência de hidrantes em todo o território de Natal, relacionando esse problema aos conceitos de riscos tecnológicos, técnica, vulnerabilidade híbrida e zonas de risco. A intenção é provocar uma ressignificação de conceitos pouco explorados, como o de vulnerabilidade híbrida, a partir da realidade urbana analisada.

Palavras-chave: Incêndios, dispositivos de resposta, espacialização, suscetibilidade, redução de riscos de desastres.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the spatial distribution of the public fire hydrant system in Natal, capital of Rio Grande do Norte, Brazil, framing hydrants as essential infrastructure for emergency response and analyzing them through the lens of technological risks and hybrid vulnerabilities. The research examines technical, institutional, and political factors that contribute to the persistence of hybrid vulnerability, particularly related to failures in the planning, installation, and maintenance of hydrant networks. Using Geographic Information Systems (GIS), a spatial analysis was conducted by applying a 300-meter buffer around each hydrant, revealing several high-risk zones characterized by low hydrant density relative to area and population. The North and West zones of Natal were identified as particularly susceptible to fire hazards. The study underscores the significance of integrating technological risk and hybrid vulnerability into urban risk management frameworks. It advocates for a redefinition of neglected concepts, such as hybrid vulnerability, to better address the socio-spatial dimensions of infrastructure deficits in contemporary urban settings.

Keywords: Fires, response devices, spatialization, susceptibility, disaster risk reduction.

* O texto deste artigo foi submetido em 17-04-2025, sujeito a revisão por pares a 17-04-2025 e aceite para publicação em 09-09-2025.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

O debate dos riscos encontra-se presente e ativo no meio académico e na sociedade, com repercussões em diferentes setores de nossa vida social. Embora essa temática tenha ganhado força com a pós-modernidade, em razão das questões do desenvolvimento tecnológico e do apogeu do sistema capitalista, o ser humano sempre vivenciou situações de risco, mesmo sem formular o conceito tal como seria constituído posteriormente, a exemplo, na pré-história estavam em situação de risco em razão dos animais predadores e de doenças (Beck, 1992).

O risco é de fato inerente à vida e ao cotidiano humano. Assim, por ser um constructo social, o risco sempre está se modificando a partir do surgimento de novas tecnologias e conforme as relações sociais se dão no espaço geográfico. Em razão da abrangência dos riscos, há uma série de classificações que os categorizam conforme sua matriz potencial de danos e mediante ao tipo de perigo que está associado (Veyret, 2007).

No campo de estudos dos riscos, o conceito de vulnerabilidade se fortaleceu nos últimos anos como um elemento indissociável ao tema. Esta é apresentada para muitos autores como um componente do risco, tendo caráter de ordem social, ligada à capacidade da sociedade em lidar com ameaças que as subjagam (Almeida, 2011). Nesse sentido, os problemas cotidianos das cidades - incêndios, deslizamento de encostas, enchentes, inundações, violência, explosões, dentre outros - podem ser compreendidos no âmbito multi e trans escalar dos riscos e das vulnerabilidades (Marandola Jr., 2013).

Além da multi-transescalaridade, a multidimensionalidade, sobretudo da vulnerabilidade (Marandola Jr. *et al.*, 2006), corrobora para uma concatenação dos problemas nas áreas de risco. Essa imbricação de diferentes tipos de vulnerabilidades acarreta o agravamento não somente da vulnerabilidade em si, mas impacta no alcance e limitações das ações de mitigação, haja vista a complexidade de elementos que compõem dado grupo social e os demais sistemas que estão envolvidos direta ou indiretamente na situação de risco. Em outras palavras, a articulação de diferentes tipos de riscos (político, ambiental, institucional, técnico) implicam um caráter híbrido da própria vulnerabilidade que, enquanto um conjunto, responde melhor sem sua setorização. Dito de outra forma: em vez de tratarmos de vulnerabilidade a cada risco específico (vulnerabilidade social, vulnerabilidade ambiental, etc.), parece ser mais importante pensar em uma vulnerabilidade híbrida, que remete à sua natureza fenomênica (Marandola Jr., 2009), ou seja, à articulação das diferentes dimensões e escalas dos riscos em questão e as estruturas, estratégias e capacidades de elaborar respostas, resistir e absorver impactos, não apenas no momento do evento, mas no pré e no pós também.

Um dos componentes que contribuíram decisivamente para esta hibridização dos riscos foi a técnica moderna. Da pré-modernidade para a modernidade e a pós-modernidade, ela tem atuado na articulação de componentes tradicionalmente vistos como separados. O próprio significado do ambiental e do tecnológico se misturam, marcando o contemporâneo pelo híbrido (Latour, 1994). As redes e os objetos sociotécnicos, têm, assim, papel central na compreensão dos riscos e das vulnerabilidades, articulando componentes políticos, estruturais, sociais e culturais em uma constituição que ultrapassa as separações tradicionais da sociedade e natureza.

Qual o papel dos objetos e das redes sociotécnicas na produção e distribuição de riscos? Esta pergunta de fundo nos direciona para discutir o caráter híbrido dos riscos e das vulnerabilidades, compreendendo a técnica como um constructo social que engendra tais processos no espaço geográfico. Assim, o processo de mitigação da vulnerabilidade passa pelo espectro da concepção técnica da ciência, com a existência de ferramentas para previsões e controle de ameaças que são mensuradas durante a criação de equipamentos técnicos. Logo, dependendo das escolhas dos meios técnicos para a promoção ou não dessas ameaças, podem ser de ordem dolosa ou culposa, isto é, sem qualquer tipo de ressentimento quanto aos resultados que terceiros sofrerão.

Estas questões orientaram a investigação realizada no município de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte (RN), no Nordeste do Brasil. Trata-se de município sede de uma região metropolitana com 1.577.072 habitantes, distribuídos entre 15 municípios (Almeida *et al.*, 2019). De acordo com a Prefeitura de Natal (2015), o município alcançou 100% de grau de urbanização, o que tem contribuído para o aumento de área de riscos, ligada ao próprio processo de urbanização no cruzamento com as demandas por infraestrutura, as fragilidades ambientais, as políticas públicas e os diferentes segmentos populacionais.

No contexto do planejamento urbano e do ordenamento do território, é necessário conhecer as especificidades da população e suas demandas. De acordo com a Carta Magna da República em seu artigo 6º, é dever do Estado garantir à população direitos sociais como a educação, saúde, segurança pública, alimentar, moradia, previdência social, dentre outros (Brasil, 1988). E isto é um desafio para que os entes públicos garantam meios de salvaguardar vidas, com ação de prevenção, resposta e gestão de riscos. Para isso, foi criada a Lei nº 12.608/2012 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil para adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de desastres (Brasil, 2012).

Prover infraestrutura e serviços urbanos é uma forma de prevenir desastres, e muitas vezes a prevenção onera menos os cofres públicos do que medidas

estruturantes corretivas (Souza *et al.*, 2018). Dentro do contexto, é possível dizer que o Estado enquanto executivo municipal, Corpo de Bombeiros e Companhia de Águas, devem juntos se atentar para as áreas de maior vulnerabilidade a incêndios na capital potiguar. O monitoramento dessas áreas pode evitar incêndios de grandes proporções que possivelmente culminam na perda de vidas, de bens materiais e danos ao meio ambiente (Bizerra e Segantine, 2016).

Para o combate a incêndios urbanos, são acionadas equipes do Corpo de Bombeiros Militar, via Centro de Operações do Corpo de Bombeiros (COBOM) e são deslocados veículos auto-tanques ou auto-bombas até o local do desastre. Em muitas ocorrências, os veículos dos bombeiros são a única fonte de provimento de água para o combate a incêndios, veículos pesados e grandes, cuja manobrabilidade e velocidade são limitadas em um trânsito caótico de uma capital como Natal, dessa forma comprometendo o tempo de chegada até o incêndio (Ono, 2000).

Para que o veículo auto-bomba não precise voltar até a base para abastecer-se de água e retornar ao local do incêndio, Ono (2000) relata que o hidrante pode suprir essa demanda de água nas adjacências do incêndio. Assim, possibilitando uma melhor performance das equipes de emergência. Dessa forma, o hidrante é conectado via mangueira diretamente no auto-bomba, que pressuriza a água para o pronto-combate das chamas.

Assim, do ponto de vista legal todas as diretrizes que dizem respeito a hidrantes, são as normas técnicas NBR 12.218/1994 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público e NBR 5.067/2006 sobre hidrantes urbanos de incêndio de ferro fundido dúctil. cuja função é estabelecer protocolos balizadores para a formulação de projetos de dimensionamento de malha de hidrantes. Ainda a norma coloca que hidrante de coluna é uma ferramenta de provimento de água para combate a incêndios, instalado em solo de calçadas, com três conectores de mangueiras de diferentes diâmetros (fig. 1A) (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994; 2006).

No Rio Grande do Norte não há legislação específica para o dimensionamento da rede de hidrantes, o estado segue a Instrução Técnica de nº 34 de 2011, do Corpo de Bombeiros Militar do estado de São Paulo (Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2011). Tal nota estabelece que o CBM e a Companhia de Águas, deverão em consórcio, instituir os locais de implantação dos hidrantes, cuja área de abrangência de cada hidrante é de um raio de 300 metros, e a distância entre cada hidrante deve ser menor ou igual a 600 metros (fig. 1B), isso no intuito de atender toda cidade (Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2011; Bizerra e Segantine, 2018).

No ano de 2014, a Câmara Municipal de Vereadores de Natal, autorizou por meio de lei, que o executivo municipal

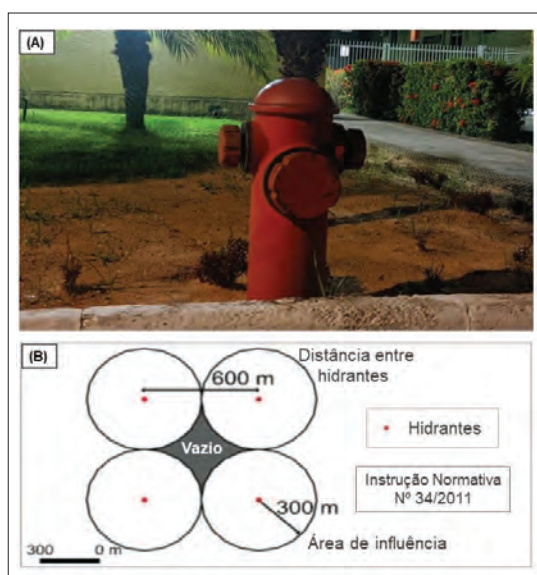


Fig. 1 - Hidrante de coluna (A); e Esquema de metragem (B) (Fonte: A) Registro realizado por Souza (2022); B) Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública (2011) *apud* Bizerra e Segantine (2018).

Fig. 1 - Pillar hydrant (A); and Measurement diagram (B) (Source: A) Record made by Souza (2022); B) State Secretariat for Public Security Affairs (2011) *apud* Bizerra and Segantine (2018).

abrisse licitação pública para a instalação de mais hidrantes na cidade. A lei sugere que os novos equipamentos sejam instalados em áreas de construções e reformas urbanas, além de pontos estratégicos como postos de combustíveis, bancos, hospitais, escolas, prefeitura, câmara municipal, assembleia legislativa, supermercados, lojas de carros, bares, restaurantes, boates e casas noturnas. A certificação dos hidrantes deverá ser emitida pelo departamento de engenharia do Corpo de Bombeiros Militar, seguindo os padrões da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (Arruda, 2014).

Embora existam mecanismos legais, como leis e normas técnicas, ainda não houve a expansão – ou ao menos o estudo para a expansão – da rede de hidrantes em Natal/RN. Nesse contexto, os órgãos gestores enfrentam o desafio de criar meios eficazes para lidar com esses riscos, especialmente em áreas mais suscetíveis à ocorrência de eventos perigosos com alto poder destrutivo, como os incêndios urbanos, que são considerados como um evento de alta combustão e de difícil controle no espaço geográfico e no tempo, dos elementos propagadores e alimentadores da combustão, presentes em edificações cujos materiais de construção são feitos destes (Castro e Abrantes, 2005). Nos últimos anos um caso chamou atenção em Natal/RN: o incêndio na comunidade 8 de Março, localizada no bairro Guarapes, na zona oeste da cidade, onde cerca de 90 casas foram destruídas pelas chamas (fot. 1) (Silva, 2018).



Fot. 1 - Incêndio na comunidade 8 de Março, Natal/RN
(Fonte: Extraído de Silva, 2018).

Photo 1 - Fire in the 8 de Março community, Natal/RN
(Source: Extracted from Silva, 2018).

Neste evento desastroso, o Corpo de Bombeiros Militar se deslocou com viaturas auto-bomba até o local, entretanto, logo os veículos ficaram sem água para o combate ao fogo, e precisaram retornar a base, distante aproximadamente 10 km, para o reabastecimento em decorrência da ausência de hidrantes nos bairros mais próximos ao local do evento. A ausência de hidrantes na região foi um fator decisivo para a ampliação da magnitude do desastre, devido à pausa dos bombeiros no combate ao incêndio na cena do evento.

Até o momento em que ocorreu esse marcante incêndio na cidade, o Plano Municipal de Contingência de Riscos de Desastres não contemplava a categoria de incêndios entre os tipos de eventos considerados possíveis. Além disso, o Plano Municipal de Redução de Riscos de Natal, elaborado em 2008, apresenta-se defasado e insuficiente, uma vez que não identifica nem delimita as áreas de risco existentes no município.

Dentro do debate da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas e do Marco de Sendai, há a existência das metas de construção de cidades resilientes, com a adoção de medidas que visem a redução de riscos de desastres (Un, 2015; Unisdr, 2012). Para isso, é necessário a implementação de medidas estruturantes, que requerem tempo e recursos financeiros, além sobretudo de decisões político-institucionais.

Natal é dividida em quatro regiões administrativas: norte, sul, leste e oeste. As quais são guarnecidas apenas por uma base do Corpo de Bombeiros Militar que dá suporte a ocorrências de incêndios, situada na Avenida Prudente de Moraes com a Alexandrino de Alencar, no bairro de Barro Vermelho, Zona Leste. Assim o incipiente número de viaturas auto-bombas para atender toda a cidade, e a insuficiente rede de hidrantes da cidade, se imbricam para o aumento da suscetibilidade ao risco de incêndios na capital potiguar.

Visto isso, o objetivo desta pesquisa consiste em avaliar a distribuição espacial do sistema público de hidrantes em Natal/RN, tidos como uma ferramenta de resposta a incêndios, a partir da análise sobre os riscos tecnológicos e vulnerabilidades híbridas. Portanto, enquanto pesquisadores de instituições de ensino superior (IES) e pesquisa, ver-se o sentido de corroborar para que essa pesquisa atenda a prerrogativa jurisprudencial da Lei nº 12.608/2012 em aderir às diretrizes do Grupo Municipal de Apoio a Desastres da cidade, a fim de colaborar, através desse estudo, com o levantamento das informações para os órgãos de gestão de riscos e combate a incêndios, na complementação de seus planos de ações emergenciais.

Materiais e métodos

A escolha do município de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, como objeto de estudo justifica-se pela problemática da insuficiência de hidrantes na cidade, fator que potencializa as zonas de risco em seu território e compromete a eficácia das ações de combate a incêndios. Essa realidade, embora local, reflete uma situação que se repete em diversas outras cidades brasileiras, especialmente em áreas socialmente vulneráveis, onde a ausência de cobertura adequada desses equipamentos contribui para a perpetuação da vulnerabilidade a incêndios. O caso da comunidade 8 de Março, que sofreu severas consequências pela falta de hidrantes, evidencia a urgência de analisar essa questão em profundidade.

Neste contexto, o estudo utiliza Natal/RN como pano de fundo para discutir uma problemática de alcance nacional, e até internacional, integrando o estudo de caso com um arcabouço teórico que aborda os riscos tecnológicos e as vulnerabilidades híbridas. Tal abordagem possibilita a compreensão do fenômeno no território específico e também a sistematização de conceitos pouco explorados, como a vulnerabilidade híbrida, contribuindo para o avanço do campo conceitual dos estudos cindínicos e para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes.

Área de estudo

A presente pesquisa foi realizada no município de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, em razão da disponibilidade de dados fornecidos pela Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social. Natal ainda não conta com o mapeamento total de sua rede de hidrantes, visto que o trabalho de Rosa e Silva (2016) contempla apenas a zona sul da capital e não aborda os riscos e as vulnerabilidades inerentes à baixa quantidade de hidrantes no território da cidade. Essa análise considera a Instrução Técnica nº 34 de 2011 do Corpo de Bombeiros Militar do estado de São Paulo.

Conforme Lei Ordinária Nº 3.878 de 1989, o perímetro urbano de Natal está dividido em quatro regiões administrativas, sendo elas Zona Norte, composta pelos bairros: Lagoa Azul; Pajuçara; Potengi; Nossa Senhora da Apresentação; Redinha; Igapó e Salinas, ocupando 37,5% do município. Zona Sul, contemplada pelos bairros: Lagoa Nova; Nova Descoberta; Candelária; Capim Macio; Pitimbu; Neópolis e Ponta Negra, com 29,2% da área ocupada no município. Zona Leste, que detém os bairros: Santos Reis; Rocas; Ribeira; Praia do Meio; Cidade Alta; Petrópolis; Areia Preta; Mãe Luiza; Alecrim; Barro Vermelho; Tirol e Lagoa Seca, 10,3% do território municipal. Zona Oeste, composta pelos bairros: Quintas; Nordeste; Dix-sept Rosado; Bom Pastor; Nossa Senhora de Nazaré; Felipe Camarão; Cidade da Esperança; Cidade Nova; Guarapes e Planalto, ocupando 22,8% da área no município. Assim, totalizando 36 bairros (Prefeitura de Natal, 1989).

Nesse contexto, como recorte espacial foram definidas as quatro zonas administrativas do município de Natal (fig. 2).

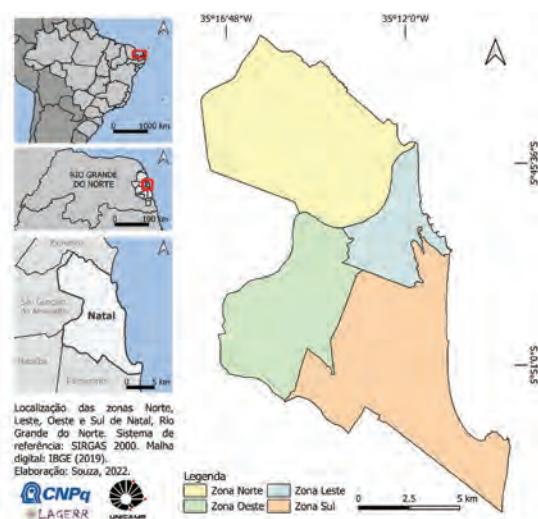


Fig. 2 - Mapa de localização das zonas administrativas de Natal/RN (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022).

Fig. 2 - Location map of the administrative zones of Natal/RN (Source: Prepared by the authors, 2022).

De acordo com o Plano Diretor Municipal de Natal de 2007, o território do município apresenta grau de urbanização de 100%, com população estimada em aproximadamente 869.950 habitantes no ano de 2015 (Prefeitura do Natal, 2007; 2015). Embora Natal seja uma das cidades mais antigas do país, destaca-se pelo pioneirismo urbanístico por meio do Master Plan de Antonio Polidrelli, renomado urbanista italiano responsável pelo novo modelo de arruamento da cidade em 1901 (Prefeitura do Natal, 2021). Entretanto, esse planejamento negligenciou a implantação de hidrantes na cidade.

Procedimentos metodológicos

As informações sobre os hidrantes em Natal foram coletadas no setor de inteligência da Secretaria de Segurança Pública do RN (SSPDS), que cedeu os dados da localização dos hidrantes (SSPDS, 2018). De posse dos dados, em kmz, foram plotados no Google Earth e exportados para o SIG Qgis em formato *shapefile*. A partir disso, utilizando a ferramenta Buffer, definiu-se uma área de influência de 300 metros para cada hidrante, conforme a Instrução Técnica nº 34 de 2011, do Corpo de Bombeiros Militar do estado de São Paulo (Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2011).

Por meio da sobreposição de camadas, foi possível realizar uma análise a partir da cartografia temática por zona administrativa. Além disso, foram tabulados dados no Excel do número de hidrantes por zona administrativa, os quais foram correlacionados com informações sobre área em km² de cada zona e número de habitantes. Com isso, foram gerados produtos gráficos temáticos com essas relações e proporções.

Além do trabalho de campo para a coleta de dados e fotografias, do ponto de vista bibliográfico foram consultados sítios públicos com legislações e normas específicas sobre hidrantes, além de fontes jornalísticas dos tabloides locais e pesquisas contendo registros de casos de incêndio na cidade.

No que tange aos aspectos teóricos, este trabalho buscou abordar a temática dos riscos tecnológicos, tentando lastrear-se em conceitos relacionados à discussão da técnica em sua ontologia. Isso porque a literatura existente apresenta o conceito de risco tecnológico de forma limitada, sem margem para a aplicação em trabalhos que, de alguma forma, tenham a técnica como centro das ações.

Foram abordados os conceitos de risco e vulnerabilidade, presentes no arcabouço teórico sobre riscos de desastres. Tais conceitos são expostos e exemplificados conforme a realidade do estudo. Além disso, discutiu-se ao longo da pesquisa os conceitos e aplicações de vulnerabilidade híbrida, abrangendo os temas de vulnerabilidade técnica, política e institucional. Assim, este estudo ensaia a possibilidade da consolidação do conceito de vulnerabilidade híbrida, conforme exposto nas seções a seguir.

Por fim, considerando que a cidade de Natal está legalmente organizada em zonas administrativas, pensa-se na possibilidade da adoção do conceito de zonas de risco, conforme as especificidades presentes em cada uma delas.

O Risco e a Técnica

No meio científico há diferentes concepções para o conceito de risco, e no que tange ao viés voltado para os desastres, grande parte das definições convergem para a

vertente que remete a ocasião de uma condição de alto potencial danoso em razão de uma determinada área, indivíduo ou comunidade. Assim, entende-se que o risco é um construto social, onde só há risco se existir vidas expostas ou suscetíveis a um determinado perigo, seja ele iminente ou não (Veyret, 2007; Almeida, 2011).

Conceitualmente Castro, Peixoto e Rio (2005) relatam que o risco está ligado à probabilidade da correlação de causas de cunho ameaçador em um determinado espaço geográfico por um certo tempo. Desta forma, essas causas quando não pré-determinadas e/ou identificadas podem causar danos à vida. Na tentativa de expandir o debate, Veyret (2007) apresenta que o risco é condicionado pela percepção das pessoas em compreenderem que estão expostas ou susceptíveis a um agente perigoso causador de danos, cujos prejuízos são em função da capacidade de lidar das pessoas com a deflagração do evento potencialmente danoso.

Face a esse diálogo, a *International Strategy for Disaster Reduction - UNISDR* (2009a) aborda o risco como um produto da aleatoriedade e das condições técnicas existentes no cenário, que corroboram ou não com um possível desastre que possa trazer perdas em uma determinada área. Para Castro, Peixoto e Rio (2005), há a existência de adjetivos que categorizam os tipos de riscos existentes, assim Mendonça (2021) coloca os riscos de desastres em três grandes grupos: riscos naturais, riscos sociais e riscos tecnológicos. Evidentemente que com o passar dos anos, surgiram novas categorias, como por exemplo os riscos biológicos.

Seguindo o enquadramento da *International Strategy For Disaster Reduction* (2009b), sobre as definições de risco tecnológico, tal conceito está associado a acidentes industriais, falhas de infraestrutura, poluição industrial, liberação nuclear e radioatividade, lixo tóxico, rompimento de barragens, transporte, acidentes industriais, explosões, incêndios e derramamentos de combustíveis.

No contexto do risco tecnológico associado a incêndios, para o emprego de ações de resposta existem diversos mecanismos nas cidades que o Corpo de Bombeiros Militar utiliza, os hidrantes urbanos são um deles, os quais são equipamentos que servem para o combate a incêndios. Pensando nos hidrantes, pode-se aplicar o conceito de objeto técnico de Séries (1994) *apud* Santos (2003), o qual todo objeto é passível de atuar como meio ou como resultado, em favor de uma atividade técnica. Assim, tornar visível o debate da espacialização desses objetos técnicos no território da cidade em questão, pode remeter ao campo dos riscos tecnológicos. Em razão disso, há um esforço em trazer esse diálogo dos riscos tecnológicos para um viés voltado à técnica em si, em seu sentido original e ontológico, o que pode dar um lastro epistêmico à conotação de risco tecnológico hoje vigente.

A técnica não se resume a objetos técnicos em si. Heidegger (2012), em suas reflexões seminais acerca da técnica moderna e suas consequências para a existência, mostra que esta não seria simplesmente passiva, mas que constitui nosso modo-de-ser, o *Dasein*, participando da estruturação do próprio mundo. Brüseke (2021) lembra que Jaspers, pouco antes das elaborações de Heidegger, havia mostrado que a técnica seria um meio para alcançar os fins ou um fazer do homem, compactuando com a ideia de que essas duas premissas estavam de certa forma correlacionadas: ao determinar algum fim, se faz necessário o organizá-lo por um meio, e este seria, para o filósofo, o fazer humano.

Heidegger (2012), no entanto, buscava o sentido ontológico da técnica, e por isso afirmou que a concepção de Jaspers era insuficiente. Para Heidegger, a essência da técnica não é a técnica em si: é preciso entender a essência para que se possa vivenciar a técnica em seus propósitos. Desse modo, é importante conhecer a fundo o sentido da técnica para que não seja a técnica a dominar o homem, via mecanização do ser humano, deixando tudo subordinado a ela, exercendo seu poder como manipuladora do mundo.

Neste sentido, técnica deixa de ser algo meramente instrumental e passa a ser compreendida como a maneira em que o homem lida com a natureza das coisas (essência), ou seja: a técnica passa a significar a essência da verdadeira relação entre o homem e o mundo (Bruseke, 2001).

Um outro ponto pertinente a ser discutido é o da tecnologia, essa como um produto do conhecimento científico é pautada em métodos, e também é fruto da técnica, quando manipulada, produzida e explorada pelo homem. Assim, trazendo para o objeto do trabalho, com base em Simondon (2020) em sua ideia de hipertelia, sobre a hiper qualificação da função de um objeto técnico, apresenta-se o hidrante por este servir de meios de provisão de água para o abastecimento dos veículos para o combate a incêndios, bem como pode ser usado em situações além de incêndio, como o controle de distúrbios sociais em ruas, para o fornecimento de água como chafariz de consumo, ou até como objeto de recreação (banho) em dias quentes. Dessa forma, pode ser visto que há outras funções de uso do hidrante, mas sobretudo a função de evitar a perda de vidas em ocorrências de incêndio, que não estão cotadas como sua principal função, assim confirmando a tese de Simondon sobre os objetos técnicos.

Diante do exposto, esse trabalho realiza o exercício de pensar os riscos técnicos (tecnológicos) através da essência da técnica que se manifesta pelo objeto hidrante em si. Assim, como já dito, o risco tecnológico é tratado como o risco presente da ocorrência de parâmetros técnicos e de segurança mal-empregados. Para

entender o risco tecnológico, faz-se necessário buscar e compreender a base etimológica desse conceito. Assim, a palavra “técnico” vem da origem grega ‘tekhnikós’, tendo a equivalência do latim “ars”. Visto isso, percebe-se etimologicamente que a técnica adicionada a “ars” gera o produto (ato) de criar ou construir algo por um sujeito (Lieber e Lieber, 2005). Portanto, caso haja um incêndio em Natal/RN e nas adjacências não se encontre presente um hidrante, obrigando a brigada de incêndio se deslocar até a base para abastecer, comprometendo a pronto-resposta ao sinistro, considera-se um desastre tecnológico, visto que, faltou o emprego de meios técnicos no dimensionamento da rede de hidrantes.

Seguindo nessa ideia de riscos/desastres provenientes de causas de origem técnica, coloca-se a importância do rigor no domínio das técnicas. O ser humano ao dominar a técnica pode promover desastres de grandes magnitudes como o caso da bomba atômica e de Chernobyl, por exemplo. Mas Bruseke (2001) afirma que a técnica e suas consequências podem ser superadas por meio da ética, essa tese também pode estar antevista em Heidegger (2012), quando afirma que o cumprimento das diretrizes legais e morais que gerem o controle da técnica são postos pelo homem, assim dependendo da vontade de quem a domina de usá-la para o bem ou não.

Evidentemente que esse debate da técnica é fundamental aos estudos de riscos, porém é preciso lembrar dos outros elementos que compõem todo o cenário de risco, como por exemplo a exposição. Assim, Almeida, Birkmann e Welle (2016) e UNDP (2004) afirmam que tão importante quanto o perigo e a vulnerabilidade, a exposição é um dos fatores que determinam as áreas de risco. A exposição está ligada às pessoas em detrimento dos componentes que integram uma determinada zona de risco, a qual pode sofrer a deflagração de um evento potencialmente danoso. Entretanto, cabe dizer que a exposição compõe um cenário de risco, mas que embora uma dada população esteja exposta, ela pode não estar em uma situação de vulnerabilidade em razão de sua capacidade de lidar com os agentes ameaçadores (Cardona, 1999; Unisdr, 2004; 2009a; 2009b).

Em outras palavras, Birkmann (2013) denota que a exposição está relacionada a uma área que se enquadra em sediar um evento potencialmente perigoso. Dessa forma, abrangendo características físicas como as infraestruturas, bem como os sistemas sociais como aspectos econômicos e culturais. Podendo ser enquadrada em padrões espaciais e temporais.

Pensando nessa ideia de a exposição ser predisposta em uma área, o debate em torno das regiões de risco (regions at risk), que remetem à articulação em determinada área de processos de constituição e distribuição de riscos e de vulnerabilidades (Marandola Jr. e Hogan, 2004). A perspectiva real tem sido mobilizada em outras escalas,

como as áreas de risco, tão importantes nos estudos de riscos urbanos. A vantagem de partir de determinado recorte geográfico, tendo como fundo o sentido de região, é considerar sua unidade e articulação interna e externa, como uma fração ou delimitação pautada em características comuns (Gomes, 1995). O planejamento urbano adota tal estratégia, como no caso de Natal, que divide seu território em quatro regiões administrativas denominadas de zonas (Prefeitura do Natal, 1989), as quais serão adotadas como unidades de regionalização e zonas de riscos.

Distribuição da Rede de Hidrantes em Natal/RN

No município de Natal/RN há uma distribuição de hidrantes no território dimensionada pelo Corpo de Bombeiros Militar, em consórcio com a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Em razão disso, constata-se que determinadas áreas são priorizadas com a instalação desses equipamentos de segurança, em detrimento de outras.

A zona norte de Natal, sendo a maior zona administrativa da cidade, conta com apenas nove hidrantes para atender à demanda de sete bairros. Alguns desses bairros não possuem sequer um hidrante instalado. A espacialização cartográfica dos hidrantes na zona norte evidencia essa desigualdade na distribuição dos equipamentos de segurança (fig. 3).



Fig. 3 - Distribuição espacial dos hidrantes na Zona Norte de Natal/RN (Fonte: Elaborado pelos autores com base em SSPDS, 2018).

Fig. 3 - Spatial distribution of fire hydrants in the North Zone of Natal/RN (Source: Prepared by the authors based on SSPDS, 2018).

O fato de a zona norte contar com uma quantidade incipiente de hidrantes pode estar relacionado ao histórico de negligência por parte do poder público, já que essa região sempre foi considerada a mais esquecida da cidade. Tal situação é, em parte, atribuída ao fato de a zona norte estar fisicamente separada das demais zonas urbanas pelo rio Potengi. Apesar desse histórico de abandono, a realidade atual da zona norte apresenta visivelmente um cenário de crescimento: a região passou

a contar com a presença de bancos, shopping centers, grandes magazines, centros de saúde especializados e empresas multinacionais. Diante desse novo contexto, não se justifica mais a antiga crença popular de que a zona norte não recebe equipamentos e serviços públicos por falta de demanda de consumo ou uso, sobretudo por ser a zona mais populosa da cidade.

Já a zona sul de Natal é a área com a maior renda e arrecadação do município. Abrange seis bairros e o Parque das Dunas, sendo onde se concentram os principais hotéis de luxo, lojas, shoppings e pontos turísticos, como o Morro do Careca, na praia de Ponta Negra. Por ser a zona mais valorizada do ponto de vista imobiliário e considerada a região rica no imaginário da população local, devido ao maior poder aquisitivo de seus moradores, atualmente conta com a maior rede de hidrantes do município, com 76 hidrantes em sua área de abrangência (fig. 4).

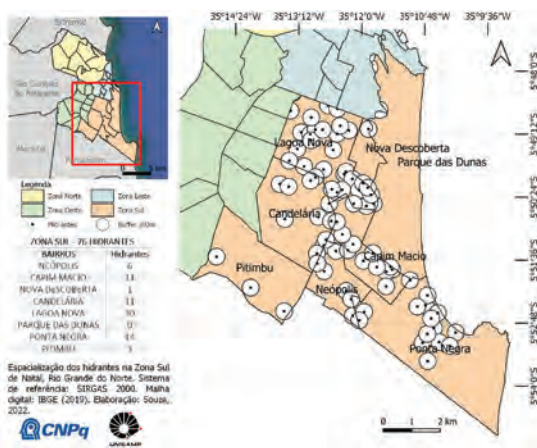


Fig. 4 - Distribuição espacial dos hidrantes na Zona Sul de Natal/RN (Fonte: Elaborado pelos autores com base em SSPDS, 2018).

Fig. 4 - Spatial distribution of fire hydrants in the South Zone of Natal/RN (Source: Prepared by the authors based on SSPDS, 2018).

A zona leste é a mais antiga zona administrativa de Natal, abrigando o centro da cidade e a área histórica. Trata-se também de um polo significativo de atividades econômicas e de prestação de serviços, concentrando comércio varejista, grandes condomínios residenciais, hospitais e clínicas. Por sua relevância urbana, essa zona conta com a segunda maior concentração de hidrantes da capital potiguar, totalizando 57 unidades. Em determinadas áreas, os limites de influência desses equipamentos se sobrepõem, como mostra a fig. 5, que apresenta a espacialização dos hidrantes e suas respectivas áreas de cobertura.

No entanto, chama atenção o fato de que o bairro de Mãe Luiza, situado nesta zona, não possui nenhum hidrante instalado. Esse bairro, além de apresentar alta vulnerabilidade social, está entre os mais densamente

povoados do município (Lima *et al.*, 2020), o que agrava a exposição da população local aos riscos decorrentes da ausência desse tipo de infraestrutura.

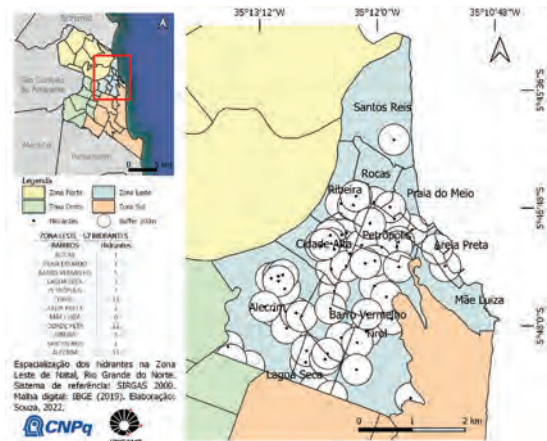


Fig. 5 - Distribuição espacial dos hidrantes na Zona Leste de Natal/RN (Fonte: Elaborado pelos autores com base em SSPDS, 2018).

Fig. 5 - Spatial distribution of fire hydrants in the East Zone of Natal/RN (Source: Prepared by the authors based on SSPDS, 2018).

Destaca-se, ainda, que nessa zona encontra-se o quartel do Comando Geral do Corpo de Bombeiros Militar, no cruzamento das avenidas Prudente de Moraes e Alexandrino de Alencar, no bairro de Barro Vermelho, onde também funciona uma base de brigada de incêndio. A boa cobertura da zona leste, assim como da zona sul, pode ser explicada pela presença de equipamentos urbanos de maior relevância comercial e econômica distribuídos em seus 12 bairros.

Assim como a zona norte, a zona oeste também sofre com problemas de investimentos públicos. É considerada como a zona mais carente da cidade, em razão de não contar com a presença de grandes equipamentos comerciais ou públicos. Há um histórico da presença de um lixão em um dos bairros dessa zona, hoje desativado, mas que perpetua seu estigma nos moradores locais e afasta novos investimentos na área. Tornando uma zona muito desigual socialmente, com a presença de comunidades com casas de madeira e papelão.

Diante desse cenário, é que se percebe a ausência da rede de hidrantes onde dever-se-ia ter mais, visto as condições de moradia ali presentes. É o caso da comunidade 8 de março, no bairro Guarapes, a qual sediou um grande incêndio nas moradias improvisadas dos moradores. Dessa forma, é possível ver a rarefação dos 11 hidrantes em todo o território da zona oeste, onde há bairros sem nenhum equipamento (fig. 6).

Portanto, discute-se a questão dos hidrantes correlacionando com os aspectos territoriais e populacionais. Assim, a área total das quatro zonas administrativas de Natal, com exceção do Parque das

A exposição ao risco é agravada pelas condições precárias de moradia, com casas feitas de madeira, papelão ou outros materiais inflamáveis.

A suscetibilidade dessas áreas é ampliada pela ausência de hidrantes suficientes em todas as zonas da cidade, o que compromete o abastecimento dos caminhões do Corpo de Bombeiros em caso de incêndios e, conseqüentemente, a capacidade de resposta rápida e eficiente diante de emergências.

Considerando isso, pode ser reforçada a tese das zonas de riscos, visto que há a perpetuação de condições de riscos em algumas zonas em detrimento de outras. Tamanha negligência do poder público executivo e legislativo, bem como das instituições responsáveis como Corpo de Bombeiros Militar e CAERN, corroboram para a indução da ideia que todo esse cenário é viabilizado dolosamente.

Todo esse cenário permite ampliar a compreensão do risco tecnológico para além das definições conceituais tradicionalmente encontradas na literatura, sobretudo quando o pensamento é orientado a partir da técnica, compreendida aqui como ação, pensamento ou materialização em forma de objeto. Nesse sentido, torna-se possível sistematizar o risco tecnológico como aquele que decorre não apenas da presença de equipamentos técnicos mal planejados ou mal mantidos (como os hidrantes), mas, principalmente, da ausência de decisões técnicas no âmbito político-institucional.

Além das desigualdades espaciais representadas nas figuras analisadas, é importante destacar que o município de Natal conta, atualmente, com apenas uma base operacional do Corpo de Bombeiros, localizada na zona leste da cidade. Segundo informações extraoficiais obtidas durante esta pesquisa, por meio de contato com oficiais da corporação, essa base dispõe de apenas um caminhão auto-bomba, o que compromete significativamente a capacidade de resposta em situações de emergência, especialmente em áreas distantes ou mais vulneráveis.

Assim, em caso de ocorrência de incêndio na zona norte de Natal, o atendimento é realizado por uma viatura auto-bomba com militares deslocados da base do Corpo de Bombeiros situada no município de São Gonçalo do Amarante, que faz limite com a zona norte da capital. De modo semelhante, o atendimento à zona sul é feito por uma equipe a partir do município vizinho de Parnamirim.

Dessa forma, a capital do Rio Grande do Norte conta, atualmente, com um total de apenas três caminhões auto-bomba destinados ao combate a incêndios. Contudo, apenas uma dessas equipes está sediada efetivamente em Natal, o que compromete a agilidade no atendimento a ocorrências em seu próprio território. Vale destacar que, de acordo com parâmetros operacionais recomendados,

o ideal seria dispor de pelo menos um agente do Corpo de Bombeiros para cada mil habitantes, número ainda distante da realidade do município.

Para mais, o último plano municipal de redução de riscos de desastres de Natal/RN, foi elaborado em 2008 por uma empresa de consultoria contratada pela prefeitura. Empresa essa que desconhecia as especificidades presentes no município. O plano não contava com riscos de incêndios e também não cita redes de hidrantes em seu texto (Prefeitura Municipal do Natal, 2008).

Dito isso, atualmente há um plano de contingência da Defesa Civil atualizado, feito com o apoio de universidades e demais órgãos técnicos da cidade. Porém esse documento também não contempla ações voltadas para incêndios, dando ênfase apenas a questões de movimento de massa, inundações e alagamentos (Defesa Civil de Natal, 2019). Dentro de todo esse contexto apresentado, pode ser pontuado sobre a vulnerabilidade técnica por exemplo, como a falta de implantação e manutenção da rede de hidrantes nas zonas administrativas do município de Natal.

Além dos aspectos estruturais e operacionais, observa-se também a presença de vulnerabilidade institucional, expressa na insuficiência de planos de contingência e de redução de riscos que contemplem, de forma efetiva, a problemática dos incêndios urbanos em Natal. Soma-se a isso o dimensionamento inadequado da rede de hidrantes, a escassez de investimentos estatais na formação de corpo técnico especializado e na aquisição de equipamentos para o Corpo de Bombeiros Militar, bem como a ausência de políticas voltadas à ampliação da rede de hidrantes no município.

Por outro lado, também se identifica a vulnerabilidade política, evidenciada na baixa mobilização popular, sobretudo por parte dos moradores das zonas mais vulneráveis, que não pressionam o poder público por melhorias como a instalação de hidrantes em suas comunidades. Esse conjunto de fatores contribui para a manutenção de um cenário de risco permanente. Essa vulnerabilidade política, que parte da capacidade de mobilização social das comunidades, esbarra no fato de muitas vezes a população não ter o discernimento de perceber que está em risco. O que poderíamos chamar nos novos estudos de vulnerabilidade perceptiva.

Portanto, é possível dizer que há a presença da vulnerabilidade híbrida em razão da correlação de mais de um tipo de vulnerabilidade, culminando nas zonas norte e oeste, que são verdadeiras zonas de riscos, visto que estas zonas detêm maior densidade populacional e menor quantidade de hidrantes instalados, expondo a população dessas zonas a elevada complexidade em termos de perigo, exposição, suscetibilidade, capacidade de resposta, relações institucionais, sociais e técnicas.

Vulnerabilidade Híbrida

A literatura registra muitas definições de vulnerabilidade, as quais na sua grande maioria convergem para um mesmo sentido. Assim, entende-se a vulnerabilidade como a capacidade de um indivíduo ou grupo de lidarem com um evento de potencial perigoso, sendo capazes de prevenir, enfrentarem, resistirem e recuperarem-se de um impacto danoso, seja ele de origem natural ou antrópica (Blaikie *et al.*, 1994). Dessa forma, a vulnerabilidade envolve elementos que definem o nível de vida de uma comunidade, sendo os modos de subsistência, bens e propriedades que são acometidos ao risco por um evento identificado no meio (Blaikie *et al.*, 1994).

Em vista disso, Cutter (1996) discorre que a vulnerabilidade detém a missão de esclarecer os elementos que colocam as pessoas em risco. Assim, estudar a vulnerabilidade é a garantir o levantamento de informações para a formulação de medidas que reduzam os riscos de desastres, tudo isso através de metodologias balizadoras que garantam a fidedignidade das informações sobre as zonas de risco e a capacidade da população em se preparar, vivenciar e se recuperar de um evento desastroso (Cutter, 2003).

Em concordância ao exposto, assim como o risco é adjetivado conforme a sua matriz de ameaça em voga, a vulnerabilidade também pode ser adjetivada conforme determinadas características intrínsecas venham compor o contexto que apresente uma zona de risco ou uma comunidade. De acordo com Wilches-Chaux (1993), pode ser dito que existem pelo menos onze tipos de vulnerabilidades já catalogadas, sendo elas: natural; física; econômica; social; política; técnica; ideológica; cultural; educativa; ecológica e institucional.

É entendido que em decorrência do tipo risco, e do objeto neste estudo pode-se fazer presente a vulnerabilidade técnica, política e institucional. Para entender o motivo da escolha dessas três categorizações, é necessário entender o que cada uma delas representa do ponto de vista conceitual.

Embora Wilches-Chaux (1993) não defina de maneira clara a vulnerabilidade técnica, ele dá um norte inicial para que novos pesquisadores avancem na proposição do conceito, o tornando mais objetivo. Dessa forma, tenta-se aqui dizer que a vulnerabilidade técnica pode ser a capacidade de um indivíduo ou comunidade de criarem do ponto de vista estrutural ou intelectual, mecanismos de prevenção, resposta ou adaptação a um evento desastroso, através do uso de metodologias técnico-científicas eficientes para mitigar a suscetibilidade a riscos.

A vulnerabilidade política está ligada à capacidade de organização de uma comunidade em tomar decisões que possam afetar seu cotidiano (Wilches-Chaux, 1993).

Há de se dizer que quanto maior a mobilização social de uma comunidade, maior será a sua autonomia e consequentemente seu poder de reivindicar a solução de problemas aos quais enfrentam. Associação de moradores, clube de mãe, grupos de jovens, dentre outros, quando organizados dentro de sua comunidade, são capazes de eleger representantes civis ou políticos que possam pleitear recursos ou decisões em prol da comunidade, assim fazendo com que possíveis zonas de riscos sejam mapeadas e gerenciadas, a fim de evitar danos a esse grupo de pessoas. Tais comunidades, quando não organizadas politicamente, trazem dificuldades e até hostilidade em alguns casos, a equipes da defesa civil nas comunidades, tudo isso por falta de orientação e mobilização social, assim propiciando o agravamento da vulnerabilidade política a nível local.

Na sequência, a vulnerabilidade institucional remete a limitação das instituições legais em tomarem decisões em prol da redução de riscos de desastres. Os sistemas de governança têm em sua natureza a burocracia, essa realidade retém decisões em razão da lentidão processual, de gestão orçamentária, contratação de corpo técnico e insumos para que possam agir rapidamente e impedir um desastre. Evidentemente que por mais que exista legislação específica para a gestão de riscos, muitas vezes esbarra na falta de vontade dos gestores em resolver os problemas das comunidades. Assim corroborando ainda mais para o agravamento da vulnerabilidade institucional (Wilches-Chaux, 1993; Birkmann, 2013).

Com base no exposto, há a tentativa de colaborar com o diálogo feito no estudo de Mendonça (2021) sobre a polissemia dos riscos. Assim como os riscos se imbricam uns com os outros em decorrência de ameaças distintas, pode-se dizer que no estudo da vulnerabilidade também há esse semelhante fenômeno. Visto isso, se for analisada a sociedade enquanto totalidade, com toda a sua diversidade e particularidade, é possível constatar a associação dos tipos de vulnerabilidades presentes em uma zona de risco.

Portanto, avançar nesse diálogo junto com Mendonça (2021), é necessário para a perceber que os desastres não acontecem por uma única causa específica. No caso da vulnerabilidade, há um conjunto de fatores em consócio que estão presentes e se perpetuam em várias frentes no espaço-tempo, assim aumentando as chances de potenciais danos. Com isso, ao serem identificadas os tipos de vulnerabilidades em sua concepção primária, e quais os diferentes elementos elas fornecem em prol do agravamento da suscetibilidade, será possível realizar uma melhor gestão de riscos na comunidade, considerando o enquadramento técnico específico que cada tipo de vulnerabilidade merece ser gerida.

Em suma, a vulnerabilidade técnica inserida no problema em estudo está presente no fato da ausência de um

sistema de público de hidrantes multidimensionado que abranja toda a cidade de Natal. Já a vulnerabilidade política também presente, se dá pelo fato das comunidades, sociedade civil organizada, instituições se mobilizarem para cobrarem a expansão da rede de hidrantes em todas as comunidades, assim como previsto na legislação.

Por fim, aborda-se a vulnerabilidade política em razão da falta de projeto de expansão da rede de hidrantes na cidade, o baixo efetivo do Corpo de Bombeiros Militar na capital potiguar, a centralização de apenas uma base para atender toda a cidade, a falta de destinação de recursos orçamentários para manutenção dos hidrantes já existentes, enfim, a falta de vontade política com o problema.

Além disso, um outro agravante é o texto do novo Plano Diretor que não baliza questões específicas sobre prevenção e combate a incêndios com hidrantes. No caso de situações emergenciais relacionadas à risco de desastres, o Plano Diretor de Natal determina o Sistema Municipal de Redução de Riscos, Proteção e Defesa Civil (SIMPDEC), norteador pela Política Municipal de Redução de Riscos, Proteção e Defesa Civil (PMPDEC) e gerenciado por órgão municipal de proteção e defesa civil (Prefeitura do Natal, 2022a). Mas essa diretriz já havia sido determinada pela lei nº 12.608/2012 (Brasil, 2012).

Ainda, o plano de contingência para enfrentamento de riscos e desastres que existe, relata apenas as funções de cada órgão municipal em um evento desastroso, não determinando ações práticas e operacionais que devem ser realizadas em caso de incêndios (Prefeitura do Natal, 2022b). Na sequência, foi protocolado na Câmara Municipal do Natal, um projeto de lei que propõe a criação do conselho municipal de riscos e do fundo emergencial de risco. Tal projeto foi protocolado antes da pandemia de Covid-19 em 2019, e acreditava-se que com a iminência da crise sanitária o projeto fosse aprovado, porém até o presente ano de 2022, o projeto ainda se encontra engavetado, fora da ordem do dia pela presidência da casa (Câmara Municipal do Natal, 2019).

Considerando o agrupamento e a combinação entre diferentes tipos de vulnerabilidades, entre as onze classificações analisadas em Wilches-Chaux (1993), observa-se a presença de um hibridismo inerente às vulnerabilidades que acometem comunidades expostas a ameaças. Diante dessa interseção entre distintas vulnerabilidades, é possível compreender essa manifestação complexa como uma vulnerabilidade híbrida, nos termos propostos por Mendonça (2021). No entanto, embora existam estudos que tangenciam essa denominação, a expressão *vulnerabilidade híbrida* é empregada de forma indireta, geralmente em trabalhos voltados à modelagem prática ou metodologias de análise, sobretudo nos campos da engenharia civil e da

ecologia (Kappos; Stylianidis; Pitolakis, 1998; Supatmi; Hou; Sumitra, 2019; Dossou *et al.*, 2021; Bastami *et al.*, 2022). A menção explícita ao termo ocorre apenas no estudo de Jiménez; Saloustrós; Pelà (2021), no contexto da análise de estruturas de alvenaria, sem, contudo, apresentá-lo como um conceito teórico definido. Nesse sentido, justifica-se o uso do termo conforme identificado na literatura, propondo-se aqui uma definição fundamentada na análise empírica do caso e inserida nos marcos teóricos da geografia dos riscos e dos estudos cindínicos.

Portanto, é possível dizer que a *vulnerabilidade híbrida* pode aqui ser definida como a correlação entre dois ou mais tipos de vulnerabilidade, sendo viabilizado por múltiplos fatores e diversos presentes em uma zona de risco. Nessa perspectiva da imbricação da vulnerabilidade no aumento da exposição e da suscetibilidade a incêndios na cidade de Natal/RN, para exemplificar apresenta-se na fig. 8 o diagrama com a vulnerabilidade híbrida.

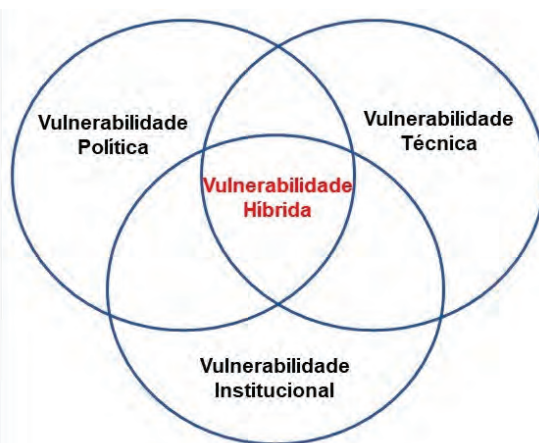


Fig. 8 - Diagrama da vulnerabilidade híbrida (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022, com base em Mendonça, 2021).

Fig. 8 - Hybrid vulnerability diagram (Source: Prepared by the authors, 2022, adapted of Mendonça, 2021).

Ainda dentro do tema geral dos estudos da vulnerabilidade, é necessário aqui abordar os conceitos de suscetibilidade e de capacidade de resposta. Birkmann (2013) discorre que a suscetibilidade é bem parecida com a fragilidade, onde trata-se da propensão ou probabilidade de uma comunidade sofrer danos, por meio de ameaças naturais ou não. Assim a suscetibilidade considera características físicas como infraestrutura, renda, locomoção, nutrição e outros, como forma de fornecer elementos da vulnerabilidade para que possam ser mensurados e passíveis de cálculos.

Por outro lado, a capacidade de resposta é a habilidade que um grupo detém por meio de ferramentas e meios disponíveis de defrontar o gerenciamento de crises, eventos desastrosos ou demais condições que possam

trazer prejuízos a humanos ou materiais. Em outras palavras, é um conjunto de estratégias usadas por uma comunidade para se defender da deflagração de um evento perigoso, com auxílio de equipamentos. Com o intuito de salvar vidas e bens (Almeida *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a população encontra-se suscetível às ameaças de incêndio, devido à incipiente rede de hidrantes da cidade. Em decorrência disso, a capacidade de resposta aos incêndios fica limitada apenas à capacidade de armazenamento dos veículos auto-bomba.

Diante do exposto, na tentativa de entender os processos envolvendo a vulnerabilidade da população natalense e do sistema público de hidrantes na capital, foram apresentados os conceitos supracitados, a fim de viabilizar o debate na exposição do problema em sua totalidade, com as razões de existir e seus elementos presentes de forma integrada os quais se perpetuam no cenário apresentado.

Considerações finais

Ao pesquisar sobre riscos surgem possibilidades de correlacionar diversas temáticas, pois, como visto, o risco é inerente ao ser humano e às suas atividades desenvolvidas. Dentre as relações que podem ser obtidas, destaca-se o ponto de vista da técnica que se relaciona diretamente com riscos, por meio do debate dos riscos tecnológicos. Mas como dito, há uma limitação da literatura vigente ao resumir esse conceito de risco tecnológico apenas por questões de ordem do mal funcionamento dos processos produtivos. Dessa forma, o sentido da técnica vai além de uma simples ferramenta para se chegar ao resultado final, antes de chegar a esse resultado ou dessa ação, a técnica pode ser concebida no cognitivo do indivíduo. Assim, a técnica ao invés de estar ligada aos processos produtivos, poderá ser gerida pelo ser humano, que através de sua consciência poderá ou não a negligenciar, e assim prevenir ou viabilizar os riscos de ordem tecnológica.

Assim como muitas capitais do país, Natal (RN) enfrenta problemas de infraestrutura, os quais resultam no agravamento das zonas de riscos, nesse caso em razão da insuficiente distribuição espacial de hidrantes. No problema em estudo, é possível aplicar o conceito de vulnerabilidade híbrida, em decorrência de fatores de ordem técnica, como a falta de manutenção da rede de hidrantes; por questões institucionais, em virtude do órgão de combate a incêndios locais não dispor de diretrizes próprias para a gestão da rede de hidrantes, considerando as especificidades locais, tendo que usar as normas de um outro ente federativo. Além disso, há questões de natureza política em não direcionar investimentos para dimensionar a rede de hidrantes no perímetro urbano.

Há uma dificuldade dos municípios ao realizar gestão de risco, sobretudo quando não existem parâmetros para referenciar as decisões. Assim, através da criação de um sistema municipal de gestão de hidrantes, a cidade contaria com um corpo técnico integrado com agentes do Corpo de Bombeiros Militar, da Companhia de Águas, dos Engenheiros da Secretaria de Obras e de pesquisadores das universidades. Dessa forma, seria possível ter informações de diagnóstico da rede de hidrantes, com características específicas de cada equipamento georreferenciado, quanto ao seu estado de conservação e operacionalidade, com testes de vazão e estanqueidade. Além disso, o corpo técnico poderá realizar estudos sobre áreas prioritárias e sugerir a implantação e expansão da rede para as zonas de risco. Tudo isso, poderia onerar menos os cofres públicos do que um incêndio de grandes proporções como o da comunidade 8 de março, às quais as pessoas perderam suas moradias e a gestão as realocou para conjuntos habitacionais ou forneceu um auxílio moradia para custear os aluguéis.

A partir da adoção dessas proposições, o município poderá se adequar às diretrizes internacionais para a redução de risco de desastres, buscando ser uma cidade resiliente e preparada para lidar com eventos desastrosos. Pensando nisso, esse estudo se torna uma ferramenta complementar e propositiva para a gestão municipal, no tocante ao gerenciamento e dimensionamento do sistema público de hidrantes da cidade do Natal (RN).

A partir de todo esse contexto problemático apresentado como plano de fundo, o estudo avançou teoricamente na resignificação – por que não dizer na conceituação efetiva – do termo *vulnerabilidade híbrida*, contribuindo assim para o avanço dos estudos no âmbito da teoria do risco e dos estudos cindinicos. Dessa forma, espera-se que esse conceito possa ser aplicado a outras pesquisas, com diferentes problemáticas, nas quais os elementos que se somam aos fenômenos devem ser encarados e analisados de maneira total ou sistêmica.

Referências bibliográficas

- Almeida, L. Q., Birkmann, J., & Welle, T. (2016). Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the World Risk Index. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 17, 251-272.
- Almeida, L. S. B., Barros, T. C. A. N., Câmara, R. L. M., & Silveira, R. M. C. (2019). Capacidade institucional nos municípios e a governança metropolitana: Uma análise da Metrôpole Funcional de Natal/RN. In M. L. M. Clementino (Org.), *Dois décadas da Região Metropolitana de Natal* (pp. 310). Rio de Janeiro: Letra Capital / Observatório das Metrôpoles.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1994). NBR 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (2006). NBR 5.667-1: Hidrantes urbanos de incêndio de ferro fundido dúctil - Parte 1: Hidrantes de coluna. São Paulo.
- Arruda, R. (2014). *Aprovado projeto de lei que prevê instalação de hidrantes em Natal*. Disponível em: <https://www.rosaliearruda.com/2014/10/aprovado-projeto-de-lei-que-preve.html> [Acesso em: 15 fev. 2022].
- Bastami, M., Abbasnejadfar, M., Motamed, H., Ansari, A., Garakaninezhad, A. (2022). Development of hybrid earthquake vulnerability functions for typical residential buildings in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 77, n. 103087. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103087>
- Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity*. London: Sage.
- Birkmann, J. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework. *Natural Hazards*, 67, 193-211.
- Bizerra, R. C., & Segantine, P. C. L. (2016). Análise da presença de hidrantes para atender o combate a incêndios, em cidades do estado de São Paulo. *Anais do COBRAC 2016*, Florianópolis - SC, 16 a 20 de outubro.
- Bizerra, R. C., & Segantine, P. C. L. (2018). Avaliação da rede de hidrantes na cidade de São Carlos - SP em relação a expansão urbana, densidade populacional e agentes de incêndios. *South American Development Society Journal*, 4(10). DOI: <http://dx.doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v4i10p185-202>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2014). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.
- BRASIL (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal.
- BRASIL (2012). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm [Acesso em: 02 ago. 2022].
- Bruseke, F. J. (2001). *A técnica e os riscos da modernidade*. Florianópolis: UFSC.
- CÂMARA MUNICIPAL DO NATAL (2019). *Projeto de lei: Institui o fundo especial, o conselho municipal e o plano de contingência para o combate a emergências e calamidades públicas e dá outras providências*. Natal, RN.
- Cardona, O. D. (1999). Environmental management and disaster prevention: Holistic risk assessment and management. In J. Ingleton (Ed.), *Natural disaster management* (pp. xx-xx). London: Tudor Rose.
- Castro, C. F., & Abrantes, J. M. B. (2005). *Combate a incêndios urbanos e industriais* (Vol. 2) [PDF]. Escola Nacional de Bombeiros, Sintra. Disponível em: <https://safenation.com.br/storage/uploads/books/files/c39ebf70e043cf1c23f852a453537d6b.pdf> [Acesso em: 17 jul. 2022].
- Castro, C. M., Peixoto, M. N. O., & Rio, G. A. P. (2005). Riscos ambientais e geografia: Conceituações, abordagens e escalas. *Anuário do Instituto de Geociências*, 28(2), 11-30.
- Cutter, S. (1996). Vulnerability in environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529-539.
- Cutter, S. (2003). The vulnerability of science and the science of vulnerability. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(1), 1-12.
- DEFESA CIVIL DE NATAL (2019). Plano de contingência: Para enfrentamento de riscos de desastres Natal/RN 2019/2020. SEMDES.
- Dossou, J. F., Li, X. X., Sadek, M., Almouctar, M. A. S., & Mostafa, E. (2021). Hybrid model for ecological vulnerability assessment in Benin. *Scientific Reports*, 11, 2449. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81742-2>
- Gomes, P. C. C. (1995). O conceito de região e sua discussão. In I. E. Castro et al. (Orgs.), *Geografia: conceitos e temas* (pp. 49-76). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Heidegger, M. (2012). A questão da técnica. In *Ensaio e conferências* (8ª ed.). Petrópolis: Editora Vozes.
- Jiménez, B., Saloustros, S., Pelà, L. (2021). Seismic vulnerability index method for hybrid timber-masonry structures. Numerical calibration and application to the city of Valparaíso, Chile. *Journal of building engineering*, v. 44, n. 103185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103185>
- Kappos, A. J., Stylianidis, K. C., & Ptilakis, K. (1998). Development of seismic risk scenarios based on a hybrid method of vulnerability assessment. *Natural Hazards*, 17, 177-192. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008083021022>
- Latour, B. (1994). *Jamais fomos modernos: Ensaio de antropologia simétrica*. Rio de Janeiro: Ed. 34.
- Lieber, R. R., & Lieber, N. S. R. (2005). Risco e precaução no desastre tecnológico. *Cadernos Saúde Coletiva*, 13(1), 67-84.
- Lima, P. H. G., Almeida, L. Q., Belchior, A. C. C. & Macedo, Y. M. (2020). Desastre socioambiental e ordenamento

- territorial no bairro Mãe Luíza. Territorium n.º 27 (I): Riscos, Segurança Comunitária, Emergência e Proteção Civil. Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, ISSN: 0872-8941, Coimbra. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_27-1_4
- Marandola Jr, E., & Hogan, D. J. (2004). Natural hazards: O estudo geográfico dos riscos e perigos. *Ambiente & Sociedade*, 7(2), jul./dez.
- Marandola Jr, E., & Hogan, D. J. (2006). As dimensões da vulnerabilidade. *São Paulo em Perspectiva*, 20(1), 33-43, jan./mar.
- Marandola Jr, E. (2009). Tangenciando a vulnerabilidade. In E. Marandola Jr & D. J. Hogan (Orgs.), *População e mudança climática: Dimensões humanas das mudanças ambientais globais* (1ª ed.). Campinas: NEPO.
- Mendonça, F. (2021). *Riscos híbridos: Concepções e perspectivas socioambientais*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Ono, R. (2000). Rede de hidrantes urbanos para proteção contra incêndio em áreas urbanas. In *Seminário Internacional em Arquitetura e Urbanismo: Tecnologia & Desenvolvimento* (pp. 535-543). São Paulo.
- PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (2007). Lei complementar nº 082, de 21 de junho de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal e dá outras providências. Disponível em: https://planodiretor.natal.rn.gov.br/anexos/24_Plano_Diretor.pdf [Acesso em: 02 ago. 2022].
- PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (2008). Plano municipal de redução de riscos do município de Natal. SEMURB. Disponível em: https://planodiretor.natal.rn.gov.br/anexos/GT/normas/08_PMRR_AREAS_RISCO_2008_V1.pdf [Acesso em: 02 ago. 2022].
- PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (2015). Anuário Natal 2015. SEMURB. Disponível em: <https://www.natal.rn.gov.br/semurb/publicacoes> [Acesso em: 02 ago. 2022].
- PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (2019). Plano de contingência: para enfrentamento de riscos de desastres Natal/RN 2019/2020. SEMDES.
- PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (2021). Anuário Natal 2021. SEMURB. Disponível em: <https://www.natal.rn.gov.br/semurb/publicacoes> [Acesso em: 02 ago. 2022].
- PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (2022a). Lei complementar nº 208, de 07 de março de 2022. Disponível em: https://www.natal.rn.gov.br/semut/legislacao/complementar/complementar208_2022.pdf [Acesso em: 02 ago. 2022].
- PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (2022b). Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social - SEMDES. Plano de Contingência - PLANCON da Cidade do Natal para Enfrentamento de Riscos de Desastres - 2022/2023. Disponível em: https://www.natal.rn.gov.br/storage/app/media/semdes/Contingencia/plano_contingencia_riscos_desastres_2022_2023.pdf [Acesso em: 02 ago. 2022].
- Rosa, E. M., & Silva, F. M. (2016). Análise da distribuição dos hidrantes urbanos no município do Natal/RN através do estimador de densidade Kernel. *HOLOS*, 8, 173-181. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.2804>
- Santos, M. (2003). *A natureza do espaço: Técnica, razão e emoção* (3ª ed.). São Paulo: Edusp.
- SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA (2011). *Instrução Técnica nº 34 - Hidrante urbano*. São Paulo: Polícia Militar do Estado de São Paulo.
- Silva, G. (2018). *Incêndios em comunidades precárias da cidade de Natal, RN, Brasil: riscos e medidas (Trabalho de Conclusão de Curso)*. Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Simondon, G. (2020). *Do modo de existência dos objetos técnicos* (1ª ed.). Rio de Janeiro: Contraponto.
- Souza, J. L., Oliveira, F. L. S., França, V. V. D., Almeida, L. Q., & Paiva, I. M. R. (2018). Percepção da população face ao risco de desastre tecnológico na ponte de Igapó, Natal/RN, Brasil. In L. Lourenço & A. Amaro (Orgs.), *Educação para a redução dos riscos* (Vol. 2, pp. 153-176). Coimbra, série Estudos Cindínicos, volume 14. DOI: https://doi.org/10.34037/978-989-54295-1-6_2_8
- Supatmi, S., Hou, R., Sumitra, I. D. (2019). Study of Hybrid Neurofuzzy Inference System for Forecasting Flood Event Vulnerability in Indonesia. *Comput Intell Neurosci*. v. 25, N. 6203510. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30930943/>
- UNITED NATIONS (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030* (1ª ed.). Geneva.
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP (2004). *Reducing disaster risk: A challenge for development, a global report*. New York, NY: UNDP.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNISDR (2004). *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives* (Vol. I). New York; Geneva: United Nations.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNISDR (2009a). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate*. Geneva, Switzerland.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNISDR (2009b). *Global assessment report on disaster risk reduction: Risk and poverty in a changing climate- Invest today for a safer tomorrow*. Geneva.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNISDR (2012). *Como construir cidades mais resilientes: Um guia para gestores públicos locais: Uma contribuição à Campanha Global 2010-2015*. Geneva.

Veyret, Y. (2007). *Os riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto.

Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. In A. Maskrey (Ed.), *Los desastres no son naturales* (pp. 11-41). Panamá: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.



RISCOS



DE RESÍDUO A RECURSO: UMA ESTRATÉGIA PARA VALORIZAR A BIOMASSA DA INVASORA *ACACIA LONGIFOLIA**

FROM WASTE TO RESOURCE: A STRATEGY TO VALUE THE BIOMASS OF THE INVASIVE *ACACIA LONGIFOLIA*

59

Joana G. Jesus

Universidade de Lisboa, CE3C (Portugal)
Faculdade de Ciências, Departamento de Biologia Vegetal
ORCID 0000-0002-8007-5031 jgjesus@fc.ul.pt

Helena Trindade

Universidade de Lisboa, CE3C (Portugal)
Faculdade de Ciências, Departamento de Biologia Vegetal
ORCID 0000-0002-1209-2622 mhdonato@fc.ul.pt

Cristina Máguas

Universidade de Lisboa, CE3C (Portugal)
Faculdade de Ciências, Departamento de Biologia Vegetal
ORCID 0000-0002-4396-7073 cmhanson@fc.ul.pt

Florian Ulm

Universidade de Lisboa, CE3C (Portugal)
Faculdade de Ciências, Departamento de Biologia Vegetal
ORCID 0000-0002-1137-0651 flulm@fc.ul.pt

RESUMO

Estratégias mais sustentáveis para a recuperação pós-fogo são essenciais, garantindo a conservação da biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas. Portugal é um país frequentemente afetado pelos incêndios e com vastas áreas ocupadas por *Acacia longifolia*, uma espécie invasora muito agressiva, que coloniza os ecossistemas nativos, comprometendo a sua funcionalidade e biodiversidade. Esta colonização resulta numa abundante biomassa, que pode ser utilizada para a produção de um composto de resíduos verdes (GWC). O efeito da incorporação de GWC no crescimento de plantas nativas (*Arbutus unedo*, *Pinus pinea* e *Quercus suber*) e nas propriedades do solo (físico-químicas e microbianas), foi estudado numa área ardida no sul de Portugal. O GWC permitiu um maior crescimento vegetal devido ao aumento da humidade do solo, do teor de matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes. As mudanças na composição microbiana sugerem benefícios funcionais para o estabelecimento das plantas e demonstram uma assinatura característica do microbioma da acácia. Este estudo destaca o benefício de incorporar composto de *A. longifolia* em solos degradados, acelerando a recuperação do ecossistema após o fogo.

Palavras-chave: Regeneração do ecossistema, solo, comunidade microbianas.

ABSTRACT

Sustainable strategies for post-fire recovery are essential, ensuring biodiversity conservation and ecosystem resilience. Portugal is a country frequently affected by wildfires and invaded by *Acacia longifolia*, a highly aggressive invasive species that colonizes native ecosystems, compromising their functionality and biodiversity. This colonization results in abundant biomass, which can be used to produce a Green Waste Compost (GWC). The effect of GWC incorporation on the growth of native plants (*Arbutus unedo*, *Pinus pinea*, and *Quercus suber*) and on soil properties (physicochemical and microbial) was studied in a burnt area in the south of Portugal. GWC promoted plant growth due to increased soil moisture, organic matter content, and nutrient availability. Changes in microbial composition suggest functional benefits for plant establishment and demonstrate a characteristic signature of the acacia microbiome. This study highlights the benefits of incorporating *A. longifolia* compost into degraded soils, accelerating ecosystem recovery after fire.

Keywords: Ecosystem regeneration, soil, microbial communities.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada ao III Seminário da Rede Incêndios-Solo, tendo sido submetido em 20-03-2025, sujeito a revisão por pares a 24-04-2025 e aceite para publicação em 10-09-2025. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

O cenário das alterações climáticas engloba desafios tanto ao nível das espécies como do ecossistema, alterando os processos de interação e diminuindo a resiliência perante várias pressões (a)bióticas (Kumar *et al.*, 2023). Neste contexto, o solo, enquanto componente fundamental dos ecossistemas, desempenha um papel vital no suporte à vida e na manutenção do equilíbrio ecológico (Johns, 2017), influenciando diretamente a capacidade de resposta dos organismos e comunidades a estas mudanças. Ao estudar os solos, é importante considerar o seu papel no ciclo de nutrientes essenciais [azoto (N), fósforo (P) e potássio (K)], alojando uma enorme diversidade microbiana (nomeadamente bactérias e fungos), que assegura a reciclagem de nutrientes e a sua estrutura (Mukhtar *et al.*, 2023). Estratégias de regeneração de solos que se centrem nas componentes química e biológica aumentam a fertilidade do solo, tornando todo o ecossistema mais resiliente e multifuncional (Morrissey *et al.*, 2004; Burkhard e Maes, 2017). Estes processos são maioritariamente mediados por microrganismos e pela sua inerente redundância funcional (Wagg *et al.*, 2014; Fierer, 2017), que são particularmente determinantes no ambiente rizosférico, sendo a interface solo-planta a mais importante neste contexto (Vezzani *et al.*, 2018; Blagodatskaya *et al.*, 2021).

Os ecossistemas mediterrânicos são caracterizados como *hotspots* de biodiversidade (Allen *et al.*, 2010; Gauquelin *et al.*, 2018), mas as previsões climáticas apresentam-se desfavoráveis, tanto pelo aumento da aridez como pela imprevisibilidade dos incêndios florestais (Pörtner *et al.*, 2022). É fundamental construir resiliência através de estratégias que permitam a adaptação dos ecossistemas, promovendo solos menos suscetíveis à degradação, especialmente quando possuem baixo teor de matéria orgânica (Zdruli *et al.*, 2004; Woetzel *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2022). Paralelamente, outra pressão que contribui para esta fragilidade é a presença de plantas invasoras, com um impacto significativo ao nível do ecossistema e representando uma das principais preocupações na conservação da biodiversidade (IPBES, 2023). Neste sentido, as invasoras competem com a vegetação nativa, desencadeando alterações profundas na composição do solo, no ciclo de nutrientes e na disponibilidade de água (Hejda *et al.*, 2009; Michelan *et al.*, 2018). O género *Acacia*, leguminosa proveniente da Austrália, é um exemplo com distribuição global, representando uma ameaça significativa em áreas mediterrânicas (Lorenzo *et al.*, 2010; Souza-Alonso *et al.*, 2017). Embora apreciadas pelo seu valor ornamental e pela capacidade de fixar azoto no solo, como parte da família *Fabaceae*, as acácias invadem particularmente áreas costeiras e ecossistemas perturbados. Em Portugal, foram introduzidas no século XIX e, atualmente, a espécie *Acacia longifolia* (Andrews) Willd. é considerada uma das invasoras mais agressivas, gerando preocupações devido à extensa

área ocupada (Marchante *et al.*, 2008; Colaço *et al.*, 2023; Marchante *et al.*, 2023). O seu rápido crescimento e folhagem densa conduzem à formação de áreas monoespecíficas, perturbando os *habitats* naturais e alterando o regime de fogos. Estas pressões multidimensionais resultam do efeito combinado das alterações climáticas e das invasões biológicas, levantando preocupações sobre o seu impacto na ecologia e estabilidade do solo (Raison *et al.*, 1985; Kulmatiski e Kardol, 2008). Neste sentido, estratégias sustentáveis direcionadas para a manutenção e regeneração do solo são essenciais, incluindo as comunidades microbianas presentes no solo, não sendo ainda claro o efeito nas mesmas (Jansson e Hofmockel, 2020).

O composto obtido pela compostagem de resíduos verdes (*Green-waste compost*, GWC) tem vindo a ser utilizado para recuperar solos degradados (Brito *et al.*, 2013; 2015; Ulm *et al.*, 2019). A compostagem envolve a transformação de materiais orgânicos em húmus, rico em nutrientes, útil para melhorar a qualidade do solo e o crescimento da vegetação nativa (Maheshwari, 2014). Como o GWC é um substrato rico, irá i) aumentar a matéria orgânica do solo (OM), ii) garantir a retenção de água e a estrutura do solo, iii) aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e iv) ter um efeito benéfico sobre as comunidades microbianas do solo (Khaleel *et al.*, 1981; Perucci *et al.*, 2000). Estas propriedades já foram avaliadas num GWC produzido a partir de uma mistura de *A. longifolia* com *A. melanoxylon* por Brito *et al.* (2013; 2015), e um modelo de biomassa para *A. longifolia* confirmou a sua qualidade, considerando o elevado teor de carbono e de azoto e a sua abundante fonte de biomassa (Ulm *et al.*, 2022).

Considerando os potenciais efeitos benéficos da incorporação de GWC de *A. longifolia* no solo, é importante avaliar de que forma as propriedades do mesmo são alteradas, tanto do ponto de vista físico-químico como biológico. Neste contexto, as comunidades microbianas são bons indicadores ecológicos das alterações no solo a curto prazo, uma vez que apresentam flutuações na sua abundância e respondem rapidamente às condições ambientais (Ma *et al.*, 2022). *Acacia longifolia* tem sido descrita como uma engenheira de ecossistemas (Stock *et al.*, 1995; Marchante *et al.*, 2004, 2008, 2009; Yelenik *et al.*, 2007), alterando as propriedades químicas do solo e a composição das comunidades microbianas, com impactos específicos a nível local (Carvalho *et al.*, 2018; Keet *et al.*, 2021). Assim, será interessante compreender se esta capacidade de alterar os solos também se mantém no GWC, conferindo utilidade ao mesmo. A possibilidade de utilizar este composto está também associada à facilidade e ao baixo custo de produção e incorporação de GWC, podendo ser utilizado pelos proprietários e gestores florestais. Esta estratégia contribui ainda para uma boa gestão desta espécie invasora, resultando numa situação de benefício mútuo.

No presente estudo, testámos a incorporação de GWC de *A. longifolia* em solos ardidos identificando de que forma esta incorporação altera as propriedades do solo, através da avaliação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Pretendemos avaliar ainda o efeito deste GWC no crescimento de três espécies vegetais após uma ação de reflorestação biodiversa. Deste estudo resulta a evidência da aplicabilidade do GWC como recurso para a melhoria do solo e promoção do desenvolvimento vegetal com efeito a curto prazo.

Material e Métodos

Descrição do local e do composto

Os dados foram recolhidos num campo experimental em Barão de São João, Lagos, no sul de Portugal (37.151415, -8.812831, virado a Este com uma elevação de 180 m), numa área ardida em junho de 2020; esta área está localizada num ecossistema com um clima mediterrânico (Csa, classificação climática de Köppen), caracterizado por verões quentes e secos e invernos amenos e húmidos (FAO, 2015). Em novembro de 2020, foram delimitadas parcelas de 10 x 10 m com valas criadas mecanicamente (20 cm de profundidade), onde foram implementados dois tratamentos: o controlo (C) e a incorporação do composto de resíduos verdes (GWC), no qual as valas foram preenchidas com composto de *Acacia longifolia*. Este composto foi produzido por compostagem de biomassa triturada, utilizando material vegetal (incluindo troncos, ramos e folhas) proveniente de uma área monoespecífica de *A. longifolia* com cerca de 1 ha (Ulm *et al.*, 2022). A biomassa foi empilhada, deixada no local e exposta às

condições ambientais, durante um ano para facilitar o processo de compostagem. A pilha de composto foi regada intensamente uma vez durante o verão para manter a humidade necessária ao processo de degradação. Durante este período, foram realizados testes de germinação de sementes de *A. longifolia* para garantir que as mesmas não se mantinham viáveis. As sementes foram enterradas em sacos de *nylon* (50 sementes/saco) a diferentes profundidades e locais da pilha de composto (10 cm e 30 cm), totalizando 80 sacos (20 para cada tempo de recolha x 4 tempos de recolha). Quinzenalmente, os sacos foram recolhidos e as sementes postas a germinar em laboratório. Não foi observada qualquer germinação em qualquer um dos tempos de acompanhamento.

Em cada tratamento, em fevereiro de 2021, foram plantadas três espécies vegetais, nomeadamente *Arbutus unedo* L., *Pinus pinea* L. e *Quercus suber* L., espécies estas que foram selecionadas para acompanhamento ao longo deste estudo (fig. 1).

Amostragem de campo e Análises

Após 18 meses de crescimento, em novembro de 2022, a amostragem foi realizada através da seleção aleatória de cinco indivíduos de cada espécie vegetal (i.e., *A. unedo*, *P. pinea* e *Q. suber*) dentro de cada parcela, representando cada tratamento (GWC e C) (15 no total por tratamento). Para cada indivíduo, mediu-se a altura, a humidade do solo (sensor Theta Probe, Delta-T services) e foi recolhida uma amostra composta de solo rizosférico (três subamostras ao redor de cada indivíduo) a ca. 10 cm de profundidade. Após crivagem, as amostras de solo foram divididas em subamostras: uma parte foi ultracongelada a -80°C para ser

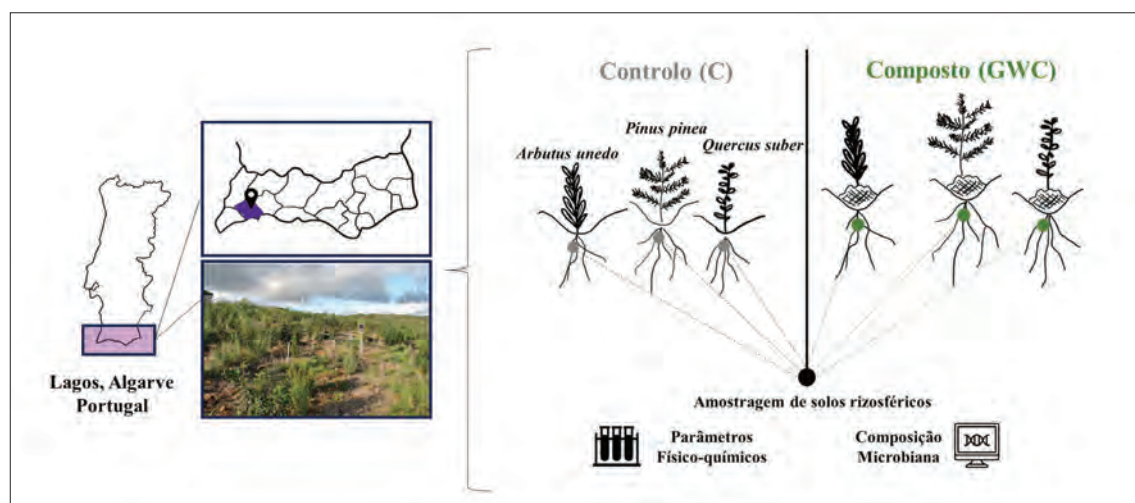


Fig. 1 - Localização do campo experimental em Lagos, Algarve (Portugal) e representação do desenho experimental incluindo as espécies vegetais estudadas em cada um dos tratamentos (Controlo - C e Adição de composto - GWC) e análises realizadas aos solos recolhidos, nomeadamente parâmetros físico-químicos e composição microbiana.

Fig. 1 - Experimental field location in Lagos, Algarve (Portugal) and experimental setup representation including plant species studied in each treatment (Control - C and Incorporation of compost - GWC) and analysis performed in the collected soils, such as physicochemical parameters and microbial composition.

enviada para sequenciação de nova geração e outra foi seca à temperatura ambiente para análise química, incluindo pH, matéria orgânica do solo (OM), óxido de potássio (K), fósforo solúvel (P) e azoto total (N). Estas análises químicas foram realizadas no Laboratório de Plantas e Solos da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Portugal. A sequenciação de nova geração foi realizada no BioISI Genomics através da tecnologia *Oxford Nanopore*. As amostras de solo rizosférico foram combinadas em amostras compostas por espécie de planta e tratamento, totalizando 6 amostras, que foram utilizadas para extração de DNA. Após a sequenciação, os dados foram cuidadosamente processados e analisados através de uma série de etapas críticas para garantir a precisão e fiabilidade dos resultados. A classificação das sequências obtidas permitiu identificar a origem taxonómica (OTU - *Operational Taxonomic Units*) fornecendo a composição microbiana das amostras (identificação e ocorrências). Para esta classificação, foi utilizada uma base de dados de referência abrangente, incluindo genomas de referência do *NCBI RefSeq* e sequências de referência do *NCBI GenBank* de bactérias e fungos.

Tratamento de dados

A análise comparativa dos parâmetros químicos do solo (pH, OM, K, P e N) e da altura das diferentes plantas (*A. unedo*, *P. pinea* e *Q. suber*) entre o controlo e após incorporação de composto foi feita através do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney ($\alpha < 0.05$), utilizando a *package stats* do *software R studio* (v3.6.1).

A composição das comunidades bacterianas e fúngicas foi utilizada para gerar *heatmaps* tendo por base dados de abundância dos 15 principais géneros identificados em cada situação. Os dados de abundância foram normalizados usando o *z-score* para melhorar comparação. As amostras que correspondem às plantas (colunas) e as OTUs (linhas) foram agrupadas hierarquicamente com base nos perfis de abundância relativa, utilizando o *Bray-Curtis* como método de distância e o método de *Ward* como algoritmo de agrupamento.

Resultados

A incorporação de composto de *Acacia longifolia* no solo aumenta significativamente a humidade (0.29 ± 0.07 comparado com $0.25 \pm 0.04 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), a matéria orgânica (6.85 ± 2.5 comparado com $5.26 \pm 1.34 \%$), o fósforo solúvel (6.34 ± 3.1 comparado com $4.31 \pm 1.65 \text{ mg/kg}$) e o óxido de potássio (182 ± 25.2 comparado com $144 \pm 21.5 \text{ mg/kg}$) no solo quando comparado com a situação controlo (fig. 2). Apesar das diferenças não serem significativas, também se verifica um aumento tendencial do azoto total.

Quanto às espécies vegetais estudadas, verificou-se que, aquando incorporação do composto no solo, tanto o medronheiro (*Arbutus unedo*) como o pinheiro (*Pinus pinea*) apresentaram maiores alturas, 58.6 ± 7.7 e $44.2 \pm 8.07 \text{ cm}$, respetivamente, comparativamente a 37.0 ± 12 e $34.2 \pm 2.77 \text{ cm}$, na situação controlo (fig. 3). Para o sobreiro (*Quercus suber*) não foram verificadas diferenças no crescimento entre tratamentos.

Relativamente ao microbioma do solo, foram encontradas diferenças entre as comunidades bacterianas e fúngicas no controlo e após incorporação de composto (fig. 4 e 5). Nas comunidades bacterianas, verifica-se que, com a incorporação de composto, há uma maior abundância na rizosfera de todas as plantas dos géneros *Mucilaginibacter*, *Paraburkholderia*, *Singulisphaera* e *Caballeronia*, comparando com a situação controlo (fig. 4). Neste caso, há uma maior abundância dos géneros *Stenotrophomonas*, *Candidatus Koribacter*, *Humisphaera*, *Ktedonosporobacter*, *Paludibaculum*, *Escherichia* e *Conexibacter*. Comparando as diferenças nas comunidades bacterianas encontradas nas três plantas estudadas, é de salientar que há maiores diferenças de abundância após incorporação de composto nos géneros *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Arthrobacter* e *Pseudomonas* associados ao medronheiro (*A. unedo*).

Quanto às comunidades fúngicas, verifica-se também a presença de uma comunidade distinta na presença

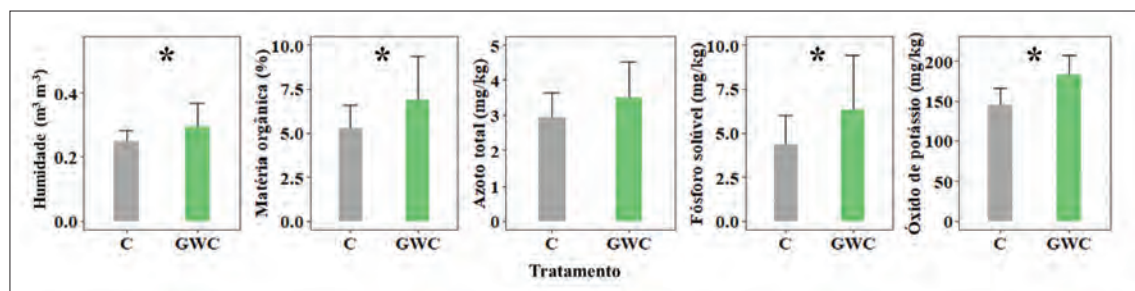


Fig. 2 - Parâmetros de solo avaliados (média \pm desvio padrão), incluindo humidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), matéria orgânica (%), azoto total (mg/kg), fósforo solúvel (mg/kg) e óxido de potássio (mg/kg). Diferenças estatisticamente significativas entre controlo (C) e composto (GWC) estão assinaladas com (*).

Fig. 2 - Soil parameters measured (mean \pm SD), including humidity ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), organic matter (%), total nitrogen (mg/kg), soluble phosphorus (mg/kg) and potassium oxide (mg/kg). Statistically significant differences between control (C) and compost (GWC) are marked with (*).

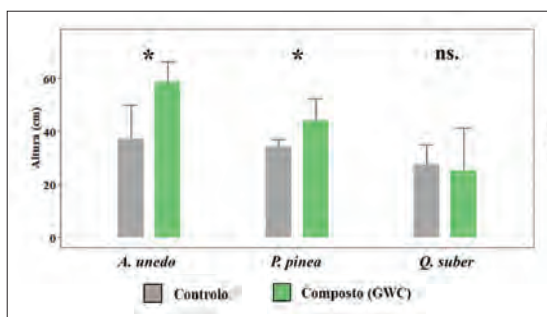


Fig. 3 - Altura (média ± desvio padrão, cm) das plantas estudadas, *Arbutus unedo* (*A. unedo*), *Pinus pinea* (*P. pinea*) and *Quercus suber* (*Q. suber*) para cada um dos tratamentos, Controle (C, a cinzento) e Composto (GWC, a verde). Diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos estão assinaladas com (*).

Fig. 3 - Height (mean ± SD, cm) of the studied plants, *Arbutus unedo* (*A. unedo*), *Pinus pinea* (*P. pinea*) and *Quercus suber* (*Q. suber*) for each treatment, Control (C, in grey) and Compost (GWC, in green). Statistically significant differences between treatments are marked with (*).

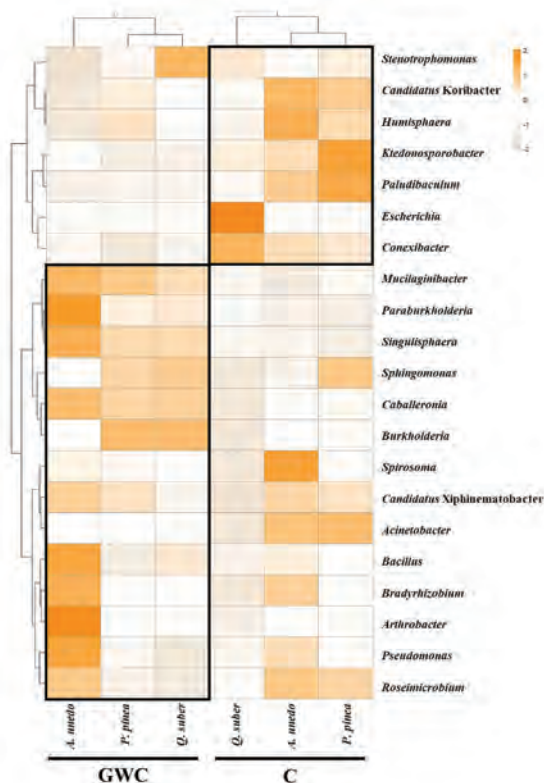


Fig. 4 - Heatmap representando a abundância relativa do top 15 de comunidades bacterianas (ao nível do gênero) no solo associado às espécies vegetais estudadas (*Arbutus unedo*, *Pinus pinea* e *Quercus suber*), tanto para o controle (C) como para o composto (GWC).

Fig. 4 - Heatmap representing the relative abundance of the top 15 bacterial communities (genus level) in the soil associated with the studied plant species (*Arbutus unedo*, *Pinus pinea* and *Quercus suber*), for control (C) and compost (GWC).

de composto com uma maior abundância dos gêneros *Coniochaeta*, *Russula*, *Penicillium* e *Phialophora*, enquanto na situação controle dominam os gêneros *Solicoccozyma*, *Fusarium*, *Sclerotiophoma* e *Saitozyma* (fig. 5). Neste caso, quando comparadas as três plantas, verifica-se uma maior semelhança de abundância na situação controle, comparada com um microbioma mais variável na presença de composto, destacando-se a maior abundância de *Russula* e *Umbelopsis* associados ao medronheiro (*A. unedo*), *Talaromyces*, *Curvularia* e *Trichoglossum* associados ao pinheiro (*P. pinea*), e *Delphinella* ao sobreiro (*Q. suber*).

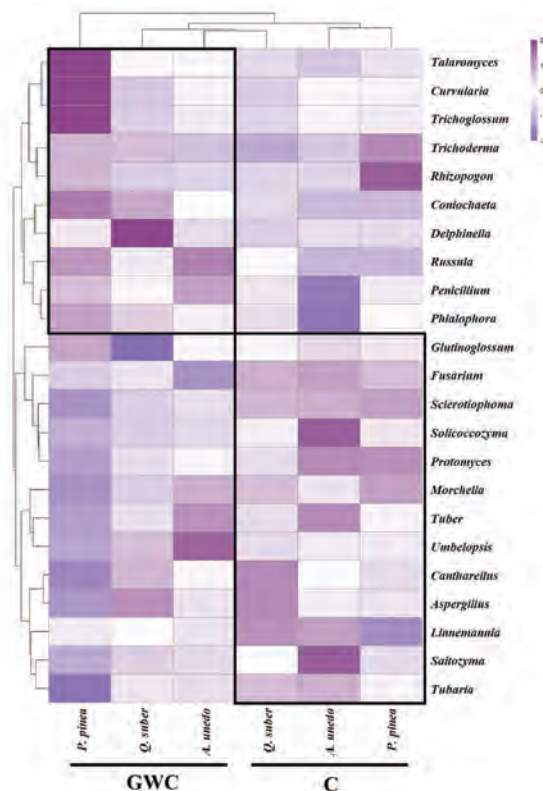


Fig. 5 - Heatmap representando a abundância relativa do top 15 de comunidades fúngicas (ao nível do gênero) no solo associado às espécies vegetais estudadas (*Arbutus unedo*, *Pinus pinea* e *Quercus suber*), tanto para o controle (C) como para o composto (GWC).

Fig. 5 - Heatmap representing the relative abundance of the top 15 fungal communities (genus level) in the soil associated with the studied plant species (*Arbutus unedo*, *Pinus pinea* and *Quercus suber*), for control (C) and compost (GWC).

Discussão

Este estudo demonstra a possibilidade de utilizar o composto de resíduos verdes (GWC) proveniente de *Acacia longifolia* para recuperação de solos após a ocorrência de fogos florestais. A incorporação de compostos orgânicos no solo acelera a reabilitação do

solo, aumentando a sua humidade conduzindo, não só a uma melhor estrutura, como também a um aumento das taxas de decomposição e melhor funcionamento dos ciclos de nutrientes (Khaleel *et al.*, 1981; Pérez-Piqueres *et al.*, 2017). Como resultado, há um maior teor em matéria orgânica e conteúdo em macronutrientes entre os quais, o azoto, o fósforo e o potássio (i.e., NPK), que são considerados fundamentais para o desenvolvimento das comunidades vegetais (e.g., Khan *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2024). Todos estes parâmetros benéficos foram validados para o GWC proveniente de *Acacia longifolia* verificando-se uma melhoria da estrutura e composição dos solos nos quais o composto foi incorporado, com efeito a curto prazo (i.e., 18 meses após incorporação). Como resultado destas condições melhoradas, as plantas estudadas apresentaram maior sobrevivência e maiores crescimentos, maximizando o sucesso das estratégias de reflorestação. De facto, o processo de compostagem implica ciclos de temperatura e humidade que garantem a decomposição dos resíduos verdes (i.e., troncos, ramos e folhas), permitindo que o produto final tenha um conteúdo em carbono e azoto que, quando aplicado no solo, possibilita um efeito imediato/a curto prazo. Além disso, a necessidade de regenerar os solos após os fogos florestais que conduzem à disrupção da componente físico-química e biológica do mesmo, é cada vez mais relevante considerando as previsões de aumento da sua frequência (Pellegrini *et al.*, 2018). Assim, e considerando a vasta área ocupada por acácias, a possibilidade de utilizar a biomassa proveniente desta espécie, torna-se uma opção duplamente útil: por um lado, reduz-se a área ocupada por esta espécie invasora, e por outro, cria-se valor para um resíduo, constituindo um potencial fertilizante.

Os resultados do nosso estudo permitem ainda integrar o conceito de fertilidade com a vitalidade do solo, uma vez que, além da melhoria significativa das componentes químicas, verificaram-se também mudanças nas comunidades microbianas, que compõem uma parte importante da componente biológica do solo (Johns, 2017). Observou-se uma comunidade microbiana característica na presença de composto, mais evidente para as comunidades bacterianas. Destacam-se, na sua maioria, géneros de bactérias que integram o grupo das Bactérias Promotoras do Crescimento das Plantas (BPCP), nomeadamente, *Paraburkholderia*, *Bradyrhizobium*, *Arthrobacter*, *Caballeronia*, *Pseudomonas* e *Bacillus*. As bactérias que integram o BPCP estão associadas a i) um aumento de sobrevivência das plantas, ii) disponibilização de nutrientes, iii) melhoria da estrutura do solo e iv) supressão de patogénicos no solo (Hakim *et al.*, 2021). Este bacterioma parece corroborar os maiores crescimentos observados na presença de composto, especialmente para as duas espécies vegetais de crescimento mais rápido, o medronheiro e

o pinheiro. No caso das comunidades fúngicas, verificou-se também um microbioma característico na presença de composto, no qual se destacam os géneros *Talaromyces*, *Curvularia*, *Trichoglossum*, *Coniochaeta*, *Delphinella*, *Russula* e *Penicillium*. Estes géneros pertencem aos Filos Ascomycota e Basidiomycota, filos estes que, não só são os mais abundantes na rizosfera (Grinhut *et al.*, 2007), como têm vindo a ser descritos como indicadores do ciclo do carbono, devido aos grupos funcionais que os integram, nomeadamente os fungos saprófitos e os ectomicorrízicos (Bailey *et al.*, 2002; Mehar e Sundaramoorthy, 2018; Manici *et al.*, 2024). Estes grupos funcionais são fundamentais para o bom funcionamento dos solos, uma vez que, por um lado degradam matéria orgânica devido à sua plasticidade metabólica, funcionando como biotransformadores (Várnai *et al.*, 2014) e, por outro permitem uma troca eficiente de nutrientes por associação às raízes das plantas potenciando o seu crescimento (Johnson e Gehring, 2007). Desta forma, apesar da resiliência das comunidades microbianas, os fogos florestais também as afetam largamente (Reazin *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2021), por isso, a incorporação de composto de *A. longifolia* permite a sua recuperação evidente e rápida permitindo restabelecer a funcionalidade do solo e garantir o desenvolvimento da cobertura vegetal.

De facto, a incorporação de composto como estratégia de regeneração do solo após um fogo, permite um maior sucesso no estabelecimento das plântulas estudadas e, mesmo a curto prazo, cerca de 18 meses após o estabelecimento, os efeitos são significativos tanto no crescimento como nos parâmetros do solo. Esta eficiente resposta resultante da incorporação do composto permite um paralelismo interessante associado a uma das características mais valorizadas para a *A. longifolia* como invasora, que é o facto de ser uma engenheira-de-ecossistemas (Stock *et al.*, 1995; Marchante *et al.*, 2004; 2008; 2009; Yelenik *et al.*, 2007). Esta engenharia-de-ecossistemas prende-se com profundas alterações nos solos, modificando tanto propriedades químicas ao nível dos ciclos de nutrientes e água como também ao nível das comunidades microbianas (Carvalho *et al.*, 2018; Keet *et al.*, 2021). As alterações microbiológicas estão altamente associadas à sua capacidade de fixar azoto e albergar uma comunidade microbiana nos nódulos radiculares (Brockwell *et al.*, 2005), permitindo criar uma assinatura muito característica que afeta amplamente as comunidades vegetais nativas. Efetivamente, o microbioma que surge nos solos no qual o composto foi incorporado, reflete uma maior abundância de géneros que integram o microbioma da acácia nomeadamente *Bradyrhizobium* e *Coniochaeta* (Jesus *et al.*, 2020; 2023). Ambos os géneros estão associados à promoção de desenvolvimento das plantas, sendo *Bradyrhizobium* um dos principais parceiros simbióticos da acácia fixando eficientemente azoto atmosférico (Birnbaum *et al.*, 2012; Jesus *et al.*, 2020) e

Coniochaeta, uma levedura endófito de plantas, associada à facilitação de interações simbióticas (Challacombe *et al.*, 2019). Desta forma, esta assinatura característica da presença de *A. longifolia* parece conferir uma influência bastante positiva, tanto na rizosfera das diferentes plantas estudadas como nas propriedades dos solos, contribuindo para um maior sucesso nas estratégias de reflorestação.

Conclusão

Este estudo confirma o valor do composto de *Acacia longifolia* como recurso para acelerar a regeneração de solos após fogo. A sua incorporação influencia positivamente as propriedades físico-químicas e o microbioma do solo, bem como o estabelecimento de *Arbutus unedo*, *Pinus pinea*, e *Quercus suber*, demonstrando a vantagem da aplicação do composto mesmo a curto-prazo. A avaliação do microbioma do solo, juntamente com os parâmetros físico-químicos, permitiu uma abordagem mais integrada, consolidando as melhorias observadas. Após a incorporação do GWC, verificou-se um microbioma mais rico e diversificado, que melhorou a fertilidade do solo, considerando maior humidade, matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes. Estas propriedades terão um impacto positivo na recuperação funcional do solo, maximizando o crescimento das plantas. A capacidade intrínseca de *A. longifolia* de alterar a composição do microbioma do solo circundante pode representar uma oportunidade do ponto de vista do composto, já que esta engenharia do solo, que persiste após a compostagem e incorporação, é vantajosa para o estabelecimento inicial das espécies vegetais estudadas. Dada a ampla disponibilidade de biomassa e a facilidade de aplicação deste composto, é possível criar sinergias entre a manutenção de práticas agrícolas e florestais que defendem o ambiente ao mesmo tempo que potenciam o esforço comum de aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo.

Referências bibliográficas

- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lin, J.-H., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A., & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660-684.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Bailey, V. L., Smith, J. L., & Bolton, H. (2002). Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(7), 997-1007.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00033-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00033-0)
- Birnbaum, C., Barrett, L. G., Thrall, P. H., & Leishman, M. R. (2012). Mutualisms are not constraining cross-continental invasion success of *Acacia* species within Australia. *Diversity and Distributions*, 18(10), 962-976.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2012.00920.x>
- Blagodatskaya, E., Tarkka, M., Knief, C., Koller, R., Peth, S., Schmidt, V., Spielvogel, S., Uteau, D., Weber, M., & Razavi, B. S. (2021). Bridging microbial functional traits with localized process rates at soil interfaces. *Frontiers in Microbiology*, 12, 625697.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.625697>
- Brito, L. M., Saldanha, J., Mourão, I., & Nestler, H. (2013). Composting of *Acacia longifolia* and *Acacia melanoxylon* invasive species. *Acta Horticulturae*, 1013(24), 211-216.
DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1013.24>
- Brito, L. M., Reis, M., Mourão, I., & Coutinho, J. (2015). Use of *Acacia* waste compost as an alternative component for horticultural substrates. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(15), 1814-1826.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1059843>
- Brockwell, J., Searle, S. D., Jeavons, S. D., & Waayers, M. (2005). Nitrogen fixation in Acacias: An untapped resource for sustainable plantations, farm forestry and land reclamation (Monograph No. 115). Australian Centre for International Agricultural Research.
- Burkhard, B., & Maes, J. (Eds.). Mapping ecosystem services. (2017) Pensoft Publishers.
- Carvalho, P., Martins, R., Portugal, A., & Gonçalves, M. T. (2018). Do mycorrhizal fungi create below-ground links between native plants and *Acacia longifolia*? A case study in a coastal maritime pine forest in Portugal. *Web Ecology*, 18(1), 105-118.
DOI: <https://doi.org/10.5194/we-18-105-2018>
- Challacombe, J. F., Hesse, C. N., Bramer, L. M., McCue, L. A., Lipton, M., Purvine, S., Nicora, C., Gallegos-Graves, L. V., Porras-Alfaro, A., & Kuske, C. R. (2019). Genomes and secretomes of Ascomycota fungi reveal diverse functions in plant biomass decomposition and pathogenesis. *BMC Genomics*, 20, 976.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6358-x>
- Colaço, M. C., Sequeira, A. C., & Skulska, I. (2023). Genus *Acacia* in Mainland Portugal: Knowledge and experience of stakeholders in their management. *Land*, 12(11), 2026.
DOI: <https://doi.org/10.3390/land12112026>
- FAO. 2015. FAO/UNESCO Soil Map of the World | FAO SOILS PORTAL | Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faunesco-soil-map-of-the-world/en/>

- Ferreira, C. S. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., & Kalantari, Z. (2022). Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status, and consequences. *Science of the Total Environment*, 805, 150106.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>
- Fierer, N. (2017). Embracing the unknown: Disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, 15(10), 579-590.
DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87>
- Gauquelin, T., Michon, G., Joffre, R., Duponnois, R., Génin, D., Fady, B., Bou Dagher-Kharrat, M., Derridj, A., Slimani, S., Badri, W., Alifriqui, M., Auclair, L., Siminel, R., Aderghal, M., Baudoin, E., Galiana, A., Prin, Y., Sanguin, H., Fernandez, C., & Baldy, V. (2018). Mediterranean forests, land use, and climate change: A social-ecological perspective. *Regional Environmental Change*, 18(3), 623-636. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0994-3>
- Grinhut, T., Hadar, Y. & Chen, Y. (2007). Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. *Fungal Biology Reviews*, 21, 179-189.
DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FBR.2007.09.003>
- Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M. S., Laraib, I., Siddique, M. J., Zia, R., Mirza, M. S., & Imran, A. (2021). Rhizosphere engineering with plant growth-promoting microorganisms for agriculture and ecological sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 617157.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.617157>
- Hejda, M., Pyšek, P., & Jarošík, V. (2009). Impact of invasive plants on the species richness, diversity, and composition of invaded communities. *Journal of Ecology*, 97(3), 393-403.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01480.x>
- IPBES. (2023). *Thematic assessment report on invasive alien species and their control*. H. E. Roy, A. Pauchard, P. Stoett, & T. R. Truong (Eds.). IPBES Secretariat. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430682>
- Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18(1), 35-46.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>
- Jesus, J. G. d., Tenreiro, R., Máguas, C., & Trindade, H. (2020). *Acacia longifolia*: A host of many guests even after fire. *Diversity*, 12(6), 250.
DOI: <https://doi.org/10.3390/d12060250>
- Jesus, J. G., Máguas, C., Dias, R., Nunes, M., Pascoal, P., Pereira, M., & Trindade, H. (2023). What if root nodules are a guesthouse for a microbiome? The case study of *Acacia longifolia*. *Biology*, 12(9), 1168.
DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12091168>
- Johns, C. (2017). Living soils: The role of microorganisms in soil health. In *Independent Strategic Analysis of Australia's Global Interests; Future Directions International: Dalkeith, Australia*, 1-7.
- Johnson, N. C., & Gehring, C. A. (2007). Mycorrhizas: Symbiotic mediators of rhizosphere and ecosystem processes. *Rhizosphere*, 73-100.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-012088775-0/50006-9>
- Keet, J-H., Ellis, A.G., Hui, C., Novoa, A. & Le Roux, J. J. (2021). Impacts of Invasive Australian Acacias on Soil Bacterial Community Composition, Microbial Enzymatic Activities, and Nutrient Availability in Fynbos Soils. *Microbial Ecology*, 82: 704-721.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01683-1>
- Keet, J.-H., Ellis, A. G., Hui, C., & Le Roux, J. J. (2023). Responses of soil bacterial communities to invasive Australian *Acacia* species over large spatial scales. In D. M. Richardson, J. J. Le Roux, & E. Marchante (Eds.), *Wattles: Australian Acacia species around the world*. CABI.
DOI: <https://doi.org/10.1079/9781800622197.0024>
- Khaleel, R., Reddy, K. R., & Overcash, M. R. (1981). Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A review. *Journal of Environmental Quality*, 10(2), 133-141. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq1981.00472425001000020002x>
- Khan, M. B., Rafiq, R., Hussain, M., Farooq, M., & Jabran, K. (2012). Ridge sowing improves root system, phosphorus uptake, growth, and yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22, 309-317.
- Kulmatiski, A., & Kardol, P. (2008). Getting plant-soil feedbacks out of the greenhouse: Experimental and conceptual approaches. *Progress in Botany*, 69, 449-472.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-72954-9_18
- Kumar, A., Rithesh, L., Kumar, V., Raghuvanshi, N., Chaudhary, K, Abhineet, Pandey, A.K., 2023. Stenotrophomonas in diversified cropping systems: friend or foe? *Front. Microbiol.*, 14, 1214680.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1214680>
- Lorenzo, P., González, L.L., Reigosa, M., 2010. The genus *Acacia* as invader: The characteristic case of *Acacia dealbata* Link in Europe. *Ann. For. Sci.*, 67, 101.
DOI: <https://doi.org/10.1051/forest/2009082>
- Ma, F., Wang, C., Zhang, Y., Chen, J., Xie, R., Sun, Z., 2022. Development of Microbial Indicators in Ecological Systems. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 13888.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192113888>
- Maheshwari, D.K. (Ed), 2014. *Composting for sustainable agriculture*. Springer, Cham Heidelberg New York.

- Manici, L., Caputo, F., Fornasier, F., Paletto, A., Ceotto, E., De Meo, I. (2024) Ascomycota and Basidiomycota fungal phyla as indicators of land use efficiency for soil organic carbon accrual with woody plantations. *Ecological Indicators*, 160, 111796.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111796>
- Marchante, H., Marchante, E., Buscardo, E., Maia, J. & Freitas, H. (2004) Recovery potential of dune ecosystems invaded by an exotic *Acacia* species (*Acacia longifolia*). *Weed Technology*, 18, 1427-1433.
DOI: [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2004\)018](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2004)018)
- Marchante, E., Kjølner, A., Struwe, S. & Freitas, H. (2008). Short- and long-term impacts of *Acacia longifolia* invasion on the belowground processes of a Mediterranean coastal dune ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40, 210-217.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.04.004>
- Marchante, E., Kjølner, A., Struwe, S. & Freitas, H. (2009). Soil recovery after removal of the N₂-fixing invasive *Acacia longifolia*: consequences for ecosystem restoration. *Biological Invasions*, 11, 813-823.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9295-1>
- Marchante, E., Gouveia, A.C., Brundu, G. & Marchante H. (2023). Australian *Acacia* species in Europe. In Richardson, D.M., Le Roux, J.J. & Marchante, E. (Eds.) *Wattles. Australian Acacia Species Around the World*. CABI, USA.
DOI: <https://doi.org/10.1079/9781800622197.0010>
- Mehar, S. K. & Sundaramoorthy, S. (2018). Carbon sequestration and the significance of soil fungi in the process. In: *Fungi and Their Role in Sustainable Development: Current Perspective*. Springer Singapore, 467-482.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0393-7_26/COVER
- Michelan, T. S., Thomaz, S. M., Bando, F. M. & Bini, L. M. (2018). Competitive effects hinder the recolonization of native species in environments densely occupied by one invasive exotic species. *Frontiers in Plant Science*, 9.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01261>
- Morrissey, J., Dow, J., Mark, G. & O'Gara, F. (2004). Are microbes at the root of a solution to world food production? *EMBO reports*, 5, 922-926.
DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400263>
- Mukhtar, H., Wunderlich, R. F., Muzaffar, A., Ansari, A., Shipin, O. V., Cao, T. N-D. & Lin, Y. P. (2023). Soil microbiome feedback to climate change and options for mitigation. *Science of The Total Environment*, 882, 163412.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163412>
- Pellegrini, A., Ahlström, A., Hobbie, S., Reich, P. B., Nieradzik, L. P., Staver, A. C., Scharenbroch, B. C., Jumpponen, A., Anderegg, W. R. L., Randerson, J. T. & Jackson, R. B. (2018). Fire frequency drives decadal changes in soil carbon and nitrogen and ecosystem productivity. *Nature*, 553, 194-198.
DOI: <https://doi.org/10.1038/nature24668>
- Pérez-Piqueres, A., Albiach, R., Domínguez, A. & Canet, R. (2017). Effect of soil preparation techniques on the biochemical properties and microbial communities of a citrus orchard after replanting and conversion into organic management. *Applied Soil Ecology*, 119, 8-17.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.015>
- Perucci, P., Dumontet, S., Bufo, S.A., Mazzatura, A. & Casucci, C. (2000). Effects of organic amendment and herbicide treatment on soil microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils*, 32, 17-23.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s003740000207>
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al. (Eds.) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. In Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2022.
- R Core Team, 2023. *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL: <https://www.R-project.org/>
- Raison, R. J., Khanna, P., Woods, P. (1985). Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. *Canadian Journal of Forestry Research*, 15, 132-140. DOI: <https://doi.org/10.1139/x85-022>
- Reazin, C., Morris, S., Smith, J. E., Cowan, A. D. & Jumpponen, A. (2016). Fires of differing intensities rapidly select distinct soil fungal communities in a Northwest US ponderosa pine forest ecosystem. *Forest Ecology Management*, 377, 118-127.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.002>
- Shah, I. H., Jinhui, W., Li, X., Hameed, M. K., Manzoor, M. A., Li, P., Zhang, Y., Niu, Q. & Chang, L. (2024) Exploring the role of nitrogen and potassium in photosynthesis implications for sugar: Accumulation and translocation in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, Volume 327, 112832.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112832>
- Smith, G. R., Edy, L. C., Peay, K. G. (2021). Contrasting fungal responses to wildfire across different ecosystem types. *Molecular Ecology*, 30, 844-854.
DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.15767>

- Souza-Alonzo, P., Rodríguez, J., González, L. & Lorenzo, P. (2017). Here to stay. Recent advances and perspectives about Acacia invasion in Mediterranean areas. *Annals of Forest Science*, 74, 55. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0651-0>
- Stock, W., Wienand, K. & Baker, A. (1995) Impacts of invading N₂-fixing Acacia species on patterns of nutrient cycling in two Cape ecosystems: evidence from soil incubation studies and ¹⁵N natural abundance values. *Oecologia*, 101, 375-382. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00328825>
- Ulm, F., Avelar, D., Hobson, P., Penha-Lopes, G., Dias, T., Máguas, C. & Cruz, C. (2019). Sustainable urban agriculture using compost and an open-pollinated maize variety. *Journal of Cleaner Production*, 212, 622-629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.069>
- Ulm, F., Estorninho, M., de Jesus, J. G., de Sousa Prado, M.G., Cruz, C. & Máguas, C. (2022). From a Lose-Lose to a Win-Win Situation: User-Friendly Biomass Models for *Acacia longifolia* to Aid Research, Management and Valorisation. *Plants*, 11, 2865. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11212865>
- Várnai, A., Mäkelä, M. R., Djajadi, D. T., Rahikainen, J., Hatakka, A. & Viikari, L. (2014). Carbohydrate-binding modules of fungal cellulases: occurrence in nature, function, and relevance in industrial biomass conversion. *Advances in Applied Microbiology*, 88, 103-165. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800260-5.00004-8>
- Vezzani, F., Anderson, C., Meenken, E., Gillespie, R., Peterson, M. & Beare, M. H. (2018). The importance of plants to development and maintenance of soil structure, microbial communities and ecosystem functions. *Soil and Tillage Research*, 175, 139-149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.002>
- Wagg, C., Bendera, S. F., Widmer, F. & van der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 5266-5270. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>
- Woetzel, J., Pinner, D., Samandari, H., Engel, H., Krishnan, M., Vasmel, M. & von der Leyen, J. (2020). A Mediterranean basin without a Mediterranean climate? - a case-study. Mc Kinsey Global Institute.
- Yang, T., Tedersoo, L., Lin, X., Fitzpatrick, M. C., Jia, Y., Liu, X., Ni, Y., Shi, Y., Lu, P., Zhu, J. & Chu, H. (2020). Distinct fungal successional trajectories following wildfire between soil horizons in a cold-temperate forest. *New Phytologist*, 227, 572-587. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16531>
- Yelenik, S., Stock, W. & Richardson, D. (2007). Functional group identity does not predict invader impacts: differential effects of nitrogen-fixing exotic plants on ecosystem function. *Biological Invasions*, 9, 117-125. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-006-0008-3>
- Zdruli, P., Jones, R. J. A. & Montanarella, L. (2004). Organic Matter in the Soils of Southern Europe. European Soil Bureau Technical Report, EUR 21083 EN, 16. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.



RISCOS

territorium 33 (I), 2026, 69-81

journal homepage: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/>

DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_33-1_6

Nota / Note



ÍNDICE DE SENSAÇÃO TÉRMICA COMO INDICADOR DE PREVISÃO DE RISCO DE INCÊNDIO:
ESTUDO DE CASO*

THERMAL SENSATION INDEX AS AN INDICATOR FOR FIRE RISK PREDICTION:
CASE STUDY

Mário Talaia

Universidade de Aveiro, CIDTFF (Portugal)
Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores
ORCID 0000-0003-4311-6209 mart@ua.pt

RESUMO

Este estudo de caso valoriza a sensação térmica sentida pelo ser humano num ambiente térmico quente como indicador do risco de incêndio e assim adotar estratégias de prevenção. Esta metodologia de intervenção foi comunicada à Junta de Freguesia como ponte de estratégias de aplicação e para se encontrarem soluções envolvendo a Proteção Civil, autoridades e corpo de bombeiros. É apresentada uma abordagem da interpretação física de processos termodinâmicos e da mecânica de fluidos para a deslocação de massas de ar num regime de calor, assim como se mostra a importância de zonas florestais com poder de corte fogo. Um estudo de caso é considerado e são indicados, para um ambiente térmico quente, índices térmicos de sensação térmica, de vestuário e de insatisfação. Imagens antes e após o incêndio são interpretadas. Valores da concentração de poluentes foram registados durante o incêndio. Os resultados obtidos mostram, inequivocamente, que o índice de sensação térmica sugere ser um excelente indicador para prever risco de incêndio.

Palavras-chave: Sensação térmica, incêndio, ordenamento florestal, ciprestes, defesa verde incêndio.

ABSTRACT

This case study emphasizes the thermal sensation experienced by humans in a hot thermal environment as an indicator of fire risk and the need for the adoption of prevention strategies. This intervention methodology was communicated to the Parish Council as a bridge for implementation strategies and to find solutions involving Civil Protection, authorities, and the fire department. The study puts forward an approach to the physical interpretation of thermodynamic processes and fluid mechanics for the movement of air masses in a hot climate, as well as demonstrating the importance of forested areas with fire-fighting capacity. A case study is investigated, and thermal indices of thermal sensation, clothing, and dissatisfaction are indicated for a hot thermal environment. Images before and after the fire are interpreted. Pollutant concentration values were recorded during the fire. The results unequivocally demonstrate that the thermal sensation index is an excellent indicator for predicting fire risk.

Keywords: Thermal sensation, fire, forest planning, cypress trees, green fire wall.

* O texto desta nota corresponde a uma comunicação apresentada ao III Seminário da Rede Incêndios-Solo, tendo sido submetido em 18-02-2025, sujeito a revisão por pares a 24-04-2025 e aceite para publicação em 15-10-2025. Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Nas aldeias pertencentes ao território da Beira Litoral onde está integrado, em parte, o distrito de Aveiro, observaram-se, no decorrer do tempo, mudanças na forma de bem-estar do ser humano. Na prática, o tipo de vida que era vivenciada foi alterada, ou seja, o uso de mato florestal para o uso de camas de animais ou colocação em pátios das habitações, potenciava a limpeza de terrenos rurais. Nestes termos projéteis incendiários não encontravam um campo fértil para o eclodir de um incêndio (Talaia, 2023). Também se verificava, muitas vezes, após o corte de árvores de floresta para a celulose, uma queima controlada, de fogo contrafogo, com presença de bombeiros. Era uma via de manter as aldeias mais seguras.

A alteração da floresta tem sido determinante para a alteração da carga térmica e propagação de incêndios. As espécies mais rentáveis em termos económicos e financeiros, como por exemplo o eucalipto, passaram a ser o tipo de floresta implantado potenciando o risco de incêndio, pondo em risco a segurança de bens e seres vivos, pois a vegetação (mato) e árvores passaram a “confinar” habitações. Mesmo sendo apresentados às entidades oficiais os eventuais riscos a verdade é que a prática não mostra soluções.

A carga térmica, existente em terrenos, ao definir a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (no arrefecimento) ou colocada (no aquecimento) permite dimensionar estratégias a adotar, selecionar equipamentos e meios de operação e, avaliar as alterações necessárias ao comportamento do sistema.

O poder calorífico do combustível que alimenta um incêndio é definido como a quantidade de energia interna contida no combustível, sendo que quanto mais alto for o poder calorífico, maior será a energia contida e mais complexa a via da extinção. A matéria combustível, na natureza, apresenta-se nas mais diversas formas e variações, aparentemente insignificantes, que podem influenciar por completo a forma como uma combustão decorre, assim como o procedimento mais correto para a sua extinção (Guerra *et al.*, 2006). No incêndio tem-se uma combustão fora de controle e com resultados imprevistos. De uma forma simples, um incêndio, abandonado a si mesmo, depois da sua fase inicial, entra em combustão livre até se verificar o decaimento das chamas até à sua extinção.

Um fogo florestal é definido através da combustão controlada de materiais combustíveis existentes nas áreas florestais, nomeadamente os chamados fogos controlados e as queimadas rurais de materiais. Há orientações legais para a queima de amontoados nas quais a sua permissão é função da Classe de Risco de Incêndio Florestal (<https://fogos.icnf.pt/infoqueimasqueimadas/queimasqueimadas.aspx>).

Atualmente, no geral, os incêndios são atribuídos à queima de amontoados de sobrantes florestais e a limpeza de quintais. A legislação indica prazos para a limpeza de terrenos e, em 2024, foi prolongada até 31 de maio, ou seja, os proprietários de terrenos florestais tinham até 31 de maio de 2024 para proceder à sua limpeza, conforme define o artigo 79º do Decreto-Lei nº 82/2021, de 13 de outubro. A limpeza de terrenos é obrigatória numa faixa de 50 metros de largura em torno da habitação e de 100 metros no âmbito dos aglomerados populacionais, de parques de campismo e de parques industriais e logísticos. Atenção deve ser dada às recentes orientações legais da distância de segurança entre habitações e floresta.

Face aos pressupostos indicados, este trabalho apresenta sugestões e apresenta pontes de discussão para a investigação científica e mitigar pontes de investigação para minimizar o risco de incêndio. Este trabalho surge como estudo de caso em contexto real e considera a aldeia de Sernada-do-Vouga com a sua floresta de eucalipto e com as coordenadas geográficas latitude de 40° 40' 20,7" N e longitude 8° 27' 11" W.

Serão objetivos principais estudar a relação entre a relação entre índices de sensação térmica e as condições meteorológicas do ambiente térmico ideias para a ignição de incêndio. Serão usados dados registados por termohigrómetro digital em abrigo meteorológico e em céu aberto na superfície terrestre, valores da concentração de poluentes, imagens obtidas antes e depois do incêndio foram interpretadas, índices térmicos de sensação térmica, de isolamento de vestuário e de insatisfação do local térmico, carta meteorológica. Apresentam-se, também, algumas soluções de corta-fogo, sugeridas por um grupo de investigadores num projeto denominado de “*Projet CypFire Implementation of the ‘cypress system’ as a green firewall*” (Della Rocca *et al.*, 2014; Della Rocca *et al.*, 2015).

Contexto histórico da máquina a vapor e ligações a incêndios florestais, no vale do Vouga

O tempo do comboio a vapor, a partir do grande incêndio de 1972 (que varreu a aldeia de Sernada-do-Vouga), foi descontinuado por ser considerado o responsável pela ocorrência de incêndios. Na prática, foi a 25 de agosto de 1972 que se realizou a última viagem em serviço comercial do comboio a vapor, na linha do Vale do Vouga. Após o 25 de Abril de 1974, a linha foi reaberta e o comboio a vapor substituído por automotoras. No entanto, nos finais de 1989 a linha foi encerrada em definitivo.

Face aos pressupostos anteriores, é aceite que a ocorrência de incêndios era da responsabilidade da máquina a vapor que se tornou prisioneira da sua história. Atualmente, por questões de turismo, são consideradas algumas viagens do comboio a vapor no Vale do Vouga, entre Macinhata do Vouga e Aveiro e vice-versa (fot.1).



Fot. 1 - Preparação em Sernada-do-Vouga de um comboio de turismo (Fotografias de Mário Talaia, tiradas a 19/12/1923).

Photo 1 - Preparation for a tourist train in Sernada-do-Vouga (Photographies by Mário Talaia, taken on 12/19/1923).

São as oficinas de manutenção em Sernada-do-Vouga (fot.2) que fazem a conservação das máquinas a vapor e das carruagens históricas, em particular a máquina a vapor E24, que tem sido usada. O parque e as oficinas de manutenção eram, antes do incêndio de 1972, o suporte do nó ferroviário de Sernada-do-Vouga com linhas férreas com destino a Aveiro, a Viseu e a Espinho. Sernada-do-Vouga era uma alavanca segura para o transporte de mercadorias e de passageiros, no desenvolvimento económico e social das localidades que faziam parte dos apeadeiros e das estações ferroviárias ao longo da linha férrea.

à temperatura do ponto de orvalho. É durante a noite que surgem condições atmosféricas para a formação de orvalho, em superfícies, cuja temperatura se torna inferior à temperatura do ponto de orvalho (Iribarne e Godson, 1981; McIntosh e Thom, 1981). As condições termohigrométricas do ar húmido, a agitação do ar, a humidade do combustível, o relevo, o tamanho da carga ou do combustível, a carga térmica existente, a morfologia do terreno, a altitude, o relevo, a exposição e a meteorologia sinóptica são fatores a considerar, dado que podem suscitar o aumento da probabilidade



Fot. 2 - Parque e oficinas em Sernada-do-Vouga (Fotografias de Mário Talaia, tirada a 28/06/1972 (a) e máquina a vapor E24, tirada a 16/06/2023 (b)).

Photo 2 - Yard and workshops in Sernada-do-Vouga (Photographies by Mário Talaia, taken on 06/28/1972 (a) and E24 steam engine, taken on 06/16/2023(b)).

Mais tarde, os tradicionais comboios passaram a ser a Diesel, no entanto a cadência de incêndios não foi travada e quiçá potenciada pois passaram a ser mais frequentes, e esta situação tem sido atribuída às alterações climáticas e conseqüente aquecimento global.

Fundamentos teóricos

Ahrens (2012) e Ahrens e Henson (2019) mostraram que o ar húmido, para efeitos de cálculo, é constituído apenas por dois gases ideais, ou seja, pelo ar seco e pelo vapor de água. A equação de estado aplicada ao vapor de água permite determinar a massa volúmica do vapor de água, usando a pressão parcial de saturação do vapor de água

de se desenvolverem fogos descontrolados de grandes proporções, ou seja, incêndios em mata florestal.

A poluição causada pelo fumo, associada às emissões por parte de incêndios florestais, é tema de extrema importância devido aos riscos para o ambiente e para a saúde humana. Os efeitos crónicos, como a diminuição da função pulmonar, têm sido identificados entre os bombeiros (Imflorestal, 2014). O funcionamento do sistema respiratório do ser humano não é avaliado corretamente se não for investigada a sua performance para se adotarem estratégias de prevenção. É importante que a questão do consumo de oxigénio face à qualidade do ar seja avaliada através de um teste de espirometria (Talaia e Almeida, 2017), para determinadas profissões, como por exemplo,

a proteção civil, as forças de segurança, os bombeiros e os mergulhadores (Seeley *et al.*, 2011).

Talaia *et al.* (2007) mostraram que saúde e ambiente estão ligados através da classificação do índice de qualidade do ar (IQar), nomeadamente o CO, PM_{2,5} e PM₁₀ e Jaspe e Veja (2005) sugerem que a hipoxia para um ambiente pode ser determinada usando o modelo IDOA (Índice da Densidade de Oxigénio do Ar).

A queima de amontoados de sobrantes florestais ou agrícolas tornou-se um elo forte para a prevenção de incêndios, no entanto, a falta de informação e/ou prática lúdica pode potenciar um descontrolo e risco de incêndio. Assim, no âmbito do Decreto-Lei n.º 82/2021, de 13 de outubro, na redação dada pelo Decreto-Lei n.º 56/2023, de 14 de julho, é obrigatória a comunicação prévia para a realização de queimas, durante o período elegível, mediante registo obrigatório na plataforma nacional disponibilizada pelo Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF). O uso do fogo para a queima de amontoados tem como objetivo eliminar sobrantes de exploração florestal ou agrícola, totalmente cortados e depois de amontoados num espaço limitado, como por exemplo podas de vinhas, de oliveiras, entre outros, cortados e amontoados de acordo com informação legal.

Para um tipo de ambiente térmico é possível prever a sensação térmica real sentida e prevista (fig. 1) usando uma escala térmica de cores (Talaia e Rodrigues, 2008)

A escala linear de -3 (extremidade da cor azul mais escura) a +3 (extremidade da cor vermelha mais escura) determina o valor real da sensação térmica na escala ISO 7730 (2005).

Para a determinação do índice térmico de temperatura e humidade (ITH), modificado por Nieuwolt (1977), usa-se a expressão:

$$ITH = 0,8 \times T + T \times (U/500) \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

em que T representa a temperatura do ar (°C) e U a humidade relativa do ar (%).

Os valores de ITH, em °C, foram interpretados, em termos de sensação térmica, através da adaptação efetuada por Talaia *et al.* (2013), tal como mostra a TABELA I.

TABELA I - Sensação térmica com base no ITH.

TABLE I - Thermal sensation ITH.

ITH (°C)	Sensação Térmica
ITH < 8	zona demasiado fria
8 ≤ ITH < 21	zona com necessidade aquecimento
21 ≤ ITH < 24	CONFORTO TÉRMICO
24 ≤ ITH < 26	zona com necessidade ventilação
26 ≤ ITH	zona demasiado quente

Fonte: adaptado por Talaia *et al.*, 2013.

Source: adapted by Talaia *et al.*, 2013.

Para a determinação do índice EsConTer (Talaia e Simões, 2009; Morgado *et al.*, 2015) usa-se a expressão:

$$EsConTer = -3,75 + 0,103 \times (T + T_w) \quad (2)$$

em que T representa a temperatura do ar (°C) e T_w a temperatura do termómetro húmido (°C).

O EsConTer determina um valor da escala sétima de sensação térmica (fig. 1).

Os insatisfeitos de um ambiente térmico são previstos com o valor do índice PPD que prevê a percentagem de insatisfeitos de acordo com a norma ISO 7730 (2005). Na expressão original o PMV (voto médio de satisfação) é substituído pelo valor de EsConTer (Talaia, 2021) por usar a mesma escala térmica ASHRAE (2004), como se indica

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,03353 \times EsConTer^4 + 0,2179 \times EsConTer^2)} \quad (\%) \quad (3)$$

O isolamento Térmico (ITV), em unidades clo, e para uma atividade sedentária com um metabolismo de 70W.m⁻² ou 1,2met, é prevista pela expressão (Talaia, 2021)

$$ITV = -0,7418 \times EsConTer - 0,3250 + 0,0764 \times T_w \quad (\text{clo}) \quad (4)$$

Foi usado um psicrómetro e um termohigrómetro digital para registar a temperatura do ar e a temperatura do termómetro molhado, em abrigo meteorológico e numa superfície (solo) a uma determinada pressão. Com base nas pressões parciais de saturação da temperatura do ar [e_s(T)], e da temperatura do termómetro húmido [e_s(T_w)], por aplicação da fórmula de Sprung (Whipple, 1933; JIS Z 8806, 1995), determinou-se a humidade relativa do ar

$$U = [100/e_s(T)] \times \{e_s(T_w) - 0,79 \times [p/760] \times (T - T_w)\} \quad (5)$$

em que p representa a pressão atmosférica em mmHg.

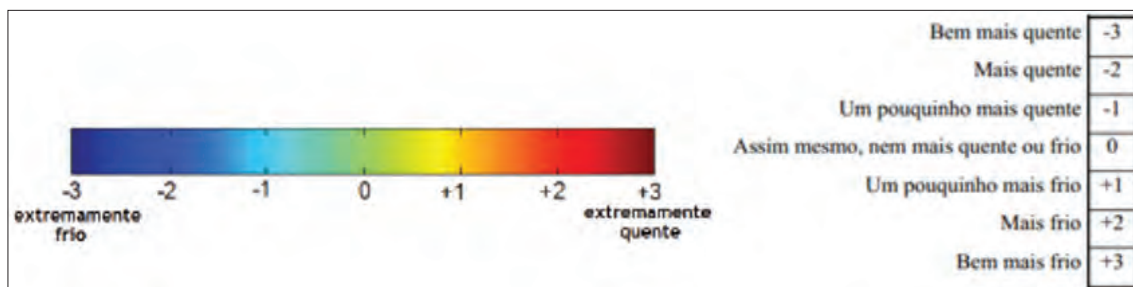


Fig. 1 - Escala de sensação térmica (Talaia e Rodrigues, 2008) e escala (ISO 7730, 2005).

Fig. 1 - Thermal sensation scale (Talaia and Rodrigues, 2008), and scale (ISO 7730, 2005).

Por definição de humidade relativa do ar, pode-se escrever com excelente aproximação:

$$e_s(T_0) = U \times e_s(T) \quad (6)$$

em que $e_s(T_0)$ representa a pressão de saturação de vapor de água à temperatura do ponto de orvalho e $e_s(T)$ a pressão parcial de saturação de vapor de água à temperatura do ar.

A massa volúmica do vapor de água, ρ_w , foi determinada pela aplicação da equação de estado:

$$e_s = \rho_w R_w T_0 \quad (7)$$

em que e_s representa a pressão parcial de saturação do vapor de água à temperatura do ponto de orvalho, T_0 , e R_w a constante particular para o vapor de água.

A consulta de cartas meteorológicas e a interpretação do afastamento das linhas isobáricas a partir de centros de baixa e alta pressão podem ajudar acerca das características do vento e da origem das massas de ar (tipo de circulação atmosférica) (Holton, 2004; Talaia e Fernandes, 2009).

A radiação solar ao intersestar a superfície terrestre pode elevar a temperatura do solo e haver a percepção de um solo a arder (ondas de calor radiante) a partir da aplicação da expressão (Massey, 2002):

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (8)$$

em que Q representa a energia absorvida ou cedida (calor sensível), m a massa da substância, c a capacidade térmica mássica da substância e ΔT a elevação da temperatura. Na prática a baixa capacidade térmica da substância (solo) sugere uma cobertura de solo com uma temperatura alta. Por outro lado, é bom salientar que a taxa de evaporação depende da humidade da substância (solo) e da vegetação, através da mudança de fase (Massey, 2002), por aplicação de

$$Q = m \times L \quad (9)$$

em que Q representa a energia absorvida ou cedida (calor latente), m a massa de água, L o calor de transformação ou variação da entalpia (o valor típico aceite é $2,45 \times 10^6 \text{ J/kg}$).

Qualidade do ar face a um incêndio florestal

As consequências de um incêndio florestal agravam os surtos de doenças respiratórias, nomeadamente a DPOC (Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica), na sua vertente DVO (Doença Ventilatória Obstrutiva). Na prática a DVR (Doença Ventilatória Restritiva) é comum no fumador. Clark *et al.* (1999) mostraram que a qualidade do ar parece agravar os sintomas em crianças com asma, e que a diminuição da função pulmonar tem sido associada à exposição ao fumo, material particulado, ozono troposférico, dióxido

nitroso e dióxido de enxofre. Lemos (2000) refere que vários estudos realizados sobre a natureza da poluição do ar exterior e interior mostram que a qualidade do ar é um fator primordial na saúde das pessoas.

A poluição é provocada por uma mistura de substâncias químicas, lançadas no ar por fontes emissoras de poluentes ou resultantes de reações químicas, que alteram o que seria a constituição natural da atmosfera. As fontes emissoras dos poluentes atmosféricos podem ser antropogénicas ou naturais. As fontes antropogénicas resultam das atividades humanas e as fontes naturais englobam fenómenos da Natureza, tais como, emissões provenientes de erupções vulcânicas, ou fogos florestais de origem natural.

O Índice de Qualidade do Ar é uma ferramenta que permite uma classificação simples e compreensível do estado da qualidade do ar. A legislação define “limiares de alerta” para alguns poluentes. Acima de determinadas concentrações, mesmo em exposições de curta duração, os poluentes acarretam alguns riscos para a saúde humana. Nestes casos, a população deve ser informada com a máxima urgência.

A qualidade do ar é o termo que se usa, normalmente, para traduzir o grau de poluição no ar que respiramos. Na TABELA II podem-se observar índices da qualidade do ar (<https://apambiente.pt/ar-e-ruído/indices-de-qualidade-do-ar>), apresentados na forma de uma escala de cores que traduzem os intervalos das classes.

TABELA II - Índices da qualidade do ar, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

TABLE II - Air quality indices, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Classificação	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	O ₃	SO ₂
Muito Bom	0-20	0-10	0-40	0-80	0-100
Bom	21-35	11-20	41-100	81-100	101-200
Médio	36-50	21-25	101-200	101-180	201-350
Fraco	51-100	26-50	201-400	181-240	351-500
Mau	101-1200	51-800	401-1000	241-600	501-1250

URL: <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/indices-de-qualidade-do-ar>

A O.M.S (Organização Mundial de Saúde) tem como objetivo fornecer uma base para proteger a saúde pública dos efeitos adversos dos poluentes atmosféricos e eliminar ou reduzir a exposição aos poluentes que são conhecidos ou suscetíveis de serem perigosos para a saúde, ou para o bem-estar humano. As diretrizes destinam-se a fornecer informações básicas e orientações às autoridades (inter)nacionais e locais na tomada de decisões de avaliação e gestão de riscos. Ao estabelecerem níveis de poluentes inferiores aos indicados nas exposições, fornecem uma base para o estabelecimento de normas, ou valores-limite, para os poluentes atmosféricos (W.M.O., 2000a; W.M.O., 2000b).

Resultados obtidos na cronologia do estudo de caso - incêndio florestal

O estudo de caso considerou o dia 16 de agosto de 2024 e valorizou o estado do tempo atmosférico que se manifestada. Os parâmetros meteorológicos registados em abrigo meteorológico (temperatura do ar 25,9°C e temperatura do termómetro húmido 20,0°C) e à superfície terrestre, no solo e a céu aberto (temperatura do ar 38,7°C e temperatura do termómetro húmido 24,5°C) permitiram construir a TABELA III, em que a humidade relativa do ar foi determinada por aplicação da expressão (5), a temperatura do ponto de orvalho pela (6), o índice EsConTer pela (2), o índice ITV pela (4), o índice ITH pela (1), o índice PPD pela (3) e a massa volúmica do vapor de água pela (7).

A escala se sensação térmica real (Talaia e Rodrigues, 2008), ver a fig. 1, revelou a sensação térmica para os dois ambientes, ou seja, de 0,9 para o abrigo meteorológico (valor previsto 0,98 para um tipo de ambiente térmico ligeiramente quente) e de 3,0 para a superfície terrestre (valor previsto 2,76 para um tipo de ambiente térmico de muito quente com *stress térmico*).

Nos ambientes térmicos avaliados o isolamento térmico do vestuário usado foi de 0,16clo (a previsão do ITV para as condições do abrigo meteorológico é 0,48 o que mostra insuficiência de roupa; a previsão do ITV para as condições de solo é -0,50 o que mostra um excesso de roupa por ser um ambiente térmico demasiado quente, com tendência para *stress térmico* quente).

O índice ITH para uma temperatura superior a 26°C prevê um ambiente térmico demasiado quente, onde 100% dos indivíduos presentes estão em desconforto térmico e *stress térmico*.

A TABELA IV disponibiliza informação acerca do tipo de ambiente térmico.

Os valores indicados na TABELA IV mostram que, inequivocamente, o índice térmico EsConTer (fig. 1) sugere um tipo de ambiente térmico muito próximo do real, enquanto o índice ITH, mostra ser de banda larga de interpretação física por consulta a TABELA I.

A partir da previsão do tipo de ambiente térmico, com base nos valores medidos termohigrométricos, é possível gerar uma ponte de comunicação com a Junta de Freguesia para se adotaram estratégias de prevenção face a um local onde se localizavam habitações com elevado risco de incêndio. Uma imagem de habitações abandonadas pelos proprietários e com mata florestal é mostrada (fot. 3).



Fot. 3 - Casa com risco de incêndio - ausência de limpeza (Fotografia de Mário Talaia, tirada a 20/08/2024).

Photo 3 - House at risk of fire - lack of clearing (Photograph by Mário Talaia, taken on 08/20/2024).

TABELA III - Dados registados e determinados para o dia 16/08/2024.

TABLE III - Data recorded and determined for 16/08/2024.

T _{ar} (°C)	T _w (°C)	U (%)	T _o (°C)	EsConTer	ITH (°C)	ITV (clo)	PPD (%)	ρ _w (g/m ³)	Local
25,9	20,0	55,9	16,6	0,98	23,6	0,48	25,3	14,3	abrigo
38,7	24,5	28,0	17,4	2,76	33,1	-0,50	97,4	15,0	solo

Nota: T_{ar} representa a temperatura do ar, T_w a temperatura do termómetro húmido, U a humidade relativa do ar, T_o a temperatura do ponto de orvalho, EsConTer o índice de sensação térmica, ITH o índice temperatura e humidade relativa do ar, ITV o índice térmico do vestuário, PPD o índice de insatisfeitos no local e ρ_w a massa volúmica do vapor de água.

TABELA IV - Cenários para diferentes condições atmosféricas.

TABLE IV - Scenarios for different atmospheric conditions.

T _{ar} (°C)	U (%)	T _w (°C)	T _o (°C)	EsConTer	ITV (clo)	ITH (°C)	ITH descrição	ρ _w (g/m ³)	PPD (%)
40	20	23,1	13,4	2,75	-0,60	33,6	demasiado quente	11,7	97,3
40	10	19,9	3,3	2,42	-0,60	32,8	demasiado quente	6,1	91,6
30	30	18,8	10,9	1,28	0,16	25,8	necessidade ventilação	10,0	39,2
20	40	13	6,2	-0,35	0,93	17,6	necessidade aquecimento	7,3	7,5
22	60	17,2	14,0	0,29	0,78	20,2	necessidade aquecimento	12,2	6,7
10	40	5,1	-2,9	-2,19	1,69	8,8	necessidade aquecimento	4,0	84,5

As condições atmosféricas de risco de incêndio registadas a 16 de agosto de 2024 estavam a manter os solos com uma temperatura significativamente alta devido à energia proveniente da radiação solar direta estar a ser absorvida pelo solo com base num baixo albedo e baixa capacidade térmica mássica de cobertura ou solo aberto.

A 16 de setembro de 2024 ocorre um incêndio, mantendo o movimento de massas de ar com padrão similar aos incêndios anteriores (por observação direta do movimento da frente de fogo e lançamento de projéteis), chegou à aldeia, como se mostra em esboço aproximado (fig. 2). De registar que os anciãos das aldeias conhecem, por experiência e por observação, o movimento da frente de fogo.



Fig. 2 - Imagem earth.google Sernada (<https://earth.google.com/web/search/sernada/>, 22/01/2025).

Fig. 2 - Image earth.google Sernada (<https://earth.google.com/web/search/sernada/>, 22/01/2025).

Os fluxos de massa de ar indicados, pelas setas a vermelho (fig. 2), são gerados por uma pressão alta que é criada pelo anticiclone dos Açores, numa extensa região que se movimenta para o Vale-do-Vouga, que inclui o rio Vouga. O ar que desce para a superfície terrestre perde humidade relativa, e circula como canais ou jatos de ar aquecido, nos vales, com condições de movimento acelerado, favorecendo condições atmosféricas ótimas para manter em combustão eventuais projéteis que são transportados pela corrente do ar e que favorecem novos focos de incêndio por ignição e por divergência. Este avanço de novas frentes de fogo obriga a tomada de decisões muito rápidas, via bombeiros. Na prática, as massas de ar ao atravessarem os vales, mostram tendência para acelerar à medida que avançam, porque a secção reta da massa de ar em movimento e segundo o escoamento diminui, ou seja, a energia cinética aumenta devido à diminuição da energia de pressão. A orografia pode facilitar a ascensão de massas de ar o que favorece o processo termodinâmico que faz a vegetação secar e se torne favorável à propagação do fogo e à propagação do incêndio florestal (Holton, 2004), de acordo com as expressões (8) e (9).

Na aldeia e devido à orografia do solo os projéteis incendiários, ao serem transportados em condições ideais

de se manterem em chama, voaram por cima da larga faixa de linhas ferroviárias em direção a sul. Ao caírem no solo de campos abandonados de vegetação (mato) e árvores, num sistema de avanço por divergência da ignição, em menos de 30min a frente de fogo aumentou destruindo árvores e deslocando-se para habitações (fot. 4, fot. 5).



Fot. 4 - Avanço das chamas, projéteis incendiários voadores, destruição de casa (Fonte: autor, tirada a 16/09/2024).

Photo 4 - Progression of the fire, flying incendiary projectiles, destruction of house (Source: author, taken on 16/09/2024).

Face à propagação e avanço da frente de fogo os bombeiros têm de tomar decisões e estratégias de intervenção. Uma decisão de que não há perigo para bens e habitações é, muitas vezes, problemática e de ponto de vista. Solicitar aos moradores para entrarem nas habitações e aguardar o fim do incêndio, pode aumentar o risco de sobrevivência. Devido ao avanço rápido das frentes de fogo, em menos de 10min, as habitações já estavam a ser destruídas.

Fechar a rede pública da água aumenta a ansiedade de moradores e o risco de sobrevivência. A importância da água a ser usada em incêndio florestal de acordo com a mecânica de fluidos e termodinâmica (Eskinazi, 1975; Massey, 2002; Kay e Nedderman, 2013), mostra que o jato de água criado pela agulheta da mangueira de bombeiros tem um alcance máximo função da diferença de pressão da água, a montante e a jusante, na passagem pela agulheta. Se a diferença de pressão a montante e a jusante (na linha de corrente) se mantiver constante o alcance da água é sensivelmente constante, no tempo, estando o operador protegido. Se a diferença de pressão diminuiu a situação de "folha seca" pode ocorrer e o jato de água colapsa, ou seja, nesta situação o operador tem tendência de se aproximar da frente de fogo. É



Fot. 5. -Casa após o incêndio
(Fonte: autor, tirada a 16/09/2024).

*Photo 5 - House after the fire
(Source: author, taken on 09/16/2024).*

bom referir que o jato de água, no seu movimento, gera um tubo de ar turbulento com a máxima velocidade da corrente gasosa na sua parede interior favorecendo a formação de intensas labaredas. A velocidade da película exterior de água na sua cobertura longitudinal afeta a camada de ar na interface obrigando-a a adquirir a mesma velocidade, justificada pela tensão superficial de corte que é proporcional ao gradiente de velocidades criado. A água em contacto com o fogo provoca arrefecimento no poder calorífico e o ar quente na sua vizinhança fica saturado com vapor de água com elevada temperatura. Nestas situações o operador da agulheta deve manter distância de segurança.

Devido às línguas de labareda criadas numa casa a arder (fot. 4), a defesa pode passar, por exemplo, através de mantas encharcadas de água como abafadores.

Atualmente nos *Media* fala-se sobre aldeia segura, mas a questão problema que surge é: como aplicar em contexto real o que se observa como estratégia de salvação? A observação de imagens mostra uma grande diferença entre um cenário virtual e um cenário real.

O incêndio aqui interpretado, como estudo de caso, mostra pontes de intervenção para a prevenção e segurança. O resultado do incêndio foi a destruição da floresta e de cinco habitações (três devolutas) com presença de mato e árvores. O incêndio florestal de 1972, no mesmo local, com dimensão de propagação muito semelhante não provocou perda de habitações. Quicá a diferença esteve na diferença de população, e

na falta de água. O fumo voltou a ser a grande barreira a enfrentar. Em 1972 os campos e as matas florestais eram limpas pelos hábitos usados em aldeia. A população, a partir do toque do sino da igreja, juntava meios sapadores, uniam-se posicionando grupos em zonas que recebiam projéteis incendiários. Grupos de bombeiros de diferentes companhias fizeram parte, não faltando a água (quer de bocas de incêndio, quer do rio). Atualmente há uma diferença de cidadania pois aparecem inúmeros observadores que muitas vezes estrangulam os acessos rodoviários e mostram preocupação por captar imagens e vídeos para serem publicados, alguns, nas redes sociais.

A qualidade do ar durante o incêndio - dia 16 de setembro de 2024

No local do incêndio foi usado um monitor de qualidade do ar, para detetar níveis de CO_2 , CO, $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , HCHO (de formaldeído, benzeno) e TVOC (de compostos orgânicos voláteis), de acordo com a TABELA V.

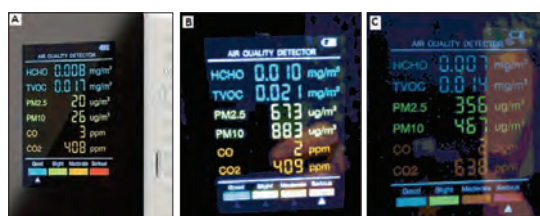
TABELA V - Indicadores de qualidade de ar (monitor usado).

TABLE V - Air quality indicators (monitor used).

Poluentes avaliados	unidades	sem Poluição Boa (0-100)	Poluição ligeira (100-150)	Poluição moderada (150-300)	Poluição gravosa (> 300)
HCHO	mg/m ³	0-01	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
TVOC	mg/m ³	0-0,6	0,6-1,5	1,5-3,0	>30
$\text{PM}_{2,5}$	µg/m ³	0-75	75-100	100-150	>150
PM_{10}	µg/m ³	0-100	101-150	150-200	>200
CO	ppm	0-50	51-100	100-200	>200
CO_2	ppm	0-799	800-1599	1600-2000	>2000

(Fonte: dados do monitor usado
Source: data from the monitor used).

As concentrações de poluentes registados, durante o incêndio, são indicadas (fot. 6). Não se construiu uma tabela com os dados observados em imagem e com a diferença de tempo (inferior a três horas), pois as fotografias mostram autoridade do que estava a acontecer.



Fot. 6 - Imagens A, B e C do painel do monitor
(Fotografia de Mário Talaia, tiradas a 16/09/2024).

*Photo 6 - Images of the monitor panel
(Photograph by Mário Talaia, taken on 09/16/2024).*

O painel do monitor usado é mostrado (fot. 6A) assim como dois momentos de registos em tempos diferentes e indicados pela carga da bateria (fot. 6B e fot. 6C).

A observação visual do painel, mostra, inequivocamente, a alta concentração das partículas $PM_{2,5}$ e PM_{10} , indicando um ambiente SEVERO para os seres vivos. O valor de $673\mu\text{g}/\text{m}^3$ está muito acima do valor de referência de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ para poluição moderada do poluente $PM_{2,5}$ e o valor de $883\mu\text{g}/\text{m}^3$ está muito acima do valor de referência de $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o poluente PM_{10} . Estes valores sugerem que o alerta à população local, via rádio ou via SMS, deve ser considerada a partir da Proteção Civil.

Previsão de estado de tempo para os dias 08 e 09 de outubro de 2024

A destruição ocorrida nas faixas de corredor do incêndio deixou um rasto de problemas. O cenário sugeria uma necessidade de limpeza de toda a floresta queimada que envolve zonas de risco (vias de comunicação rodoviárias e ferroviárias), derrubar paredes de habitações que mostrassem perigo de derrocada (proteção de crianças e animais) e abate de árvores junto às faixas de rodagem de estradas.

A previsão do estado do tempo atmosférico mostrava que o local do incêndio estaria sob a influência de uma depressão (fig. 3) que suscitava a ocorrência de ventos com intensidade de velocidade próxima de $150\text{km}/\text{h}$, de acordo com a aproximação geostrófica (Talaia e Fernandes, 2009).

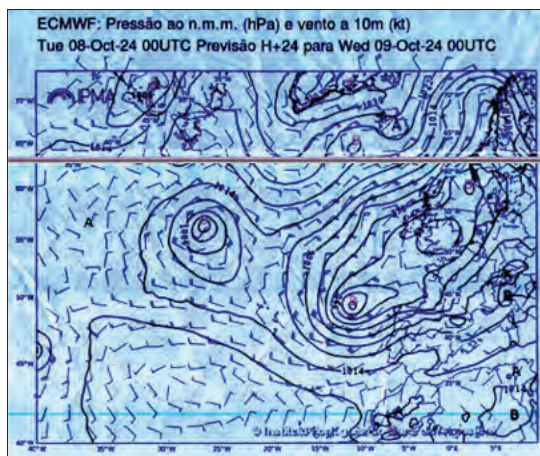


Fig. 3 - Carta Meteorológica para dias 8/10 e 9/10/2024
(URL: <https://www.ipma.pt/pt/otempo/prev.numerica/>).

Fig. 3 - Weather chart for 8/10 and 9/10/2024
(URL: <https://www.ipma.pt/pt/otempo/prev.numerica/>).

O exemplo que se apresenta mostra, inequivocamente, como as forças da natureza se tornam destrutivas, num exemplo de uma casa, cujo incêndio deixou em pé paredes e chaminé (fot. 7B). A intensidade da força do vento, através da velocidade do vento gerou, no dia 9 de outubro de 2024, a destruição completa da chaminé e da parede do alçado poente (fot. 7C). As restantes três fachadas mostram um risco para pessoas e animais. De

acordo com a mecânica de fluidos, a energia cinética das linhas de corrente da massa de ar em movimento foi obrigada, ao colidir com a parede e/ou chaminé, a tender para zero, potenciado, de igual valor, a energia de pressão. É o aumento da pressão que provoca o derrube da chaminé e da parede poente (fot. 7C).



Fot. 7 - Casa destruída por duas vias: incêndio e vento
(Fotografia de Mário Talaia, tirada a 09/10/2024).

Photo 7 - House destroyed in two ways: fire and wind
(Photograph by Mário Talaia, taken on 09/10/2024).

Há soluções para mitigar o risco de incêndio

Apresenta-se uma estratégia de prevenção elaborada por um grupo de investigadores usando uma área de ciprestes (fot. 8) que sobreviveram a um incêndio florestal de Andilla - ravina de Herbasana, Jerica (Espanha), em 2012 (Della Rocca *et al.*, 2015). Em laboratório, estudaram a inflamabilidade da vegetação e mostraram que os ciprestes são capazes de tolerar secas severas e altas temperaturas e podem ser uma barreira eficaz contra a iniciação ou avanço de incêndios devido ao seu baixo grau de ignição. Uma das medidas a serem adotadas para controlar incêndios será com o uso de barreiras verdes. Foi nesta perspetiva que surgiu o projeto *CypFire*, financiado pela União Europeia, que estudou a possibilidade de se realizar a plantação de variedades selecionadas de ciprestes para reduzir o risco de início ou avanço de incêndio de forma viável, ecológica e económica (Della Rocca *et al.*, 2014; Della Rocca *et al.*, 2015).



Fot. 8 - Ciprestes verdes após incêndio
(<https://www.eurekalert.org/news-releases/608232>).

Photo 8 - Green cypress trees after fire
(<https://www.eurekalert.org/news-releases/608232>).

Della Rocca *et al.* (2014) e Della Rocca *et al.* (2015) realizaram experiências para caracterizar a importância da cipreste face ao avanço de um incêndio florestal. Para o efeito, colheram amostras (material vivo e morto) da plantação de ciprestes no terreno experimental da *CypFire* em Jérica (Castellón, Espanha) e testaram as amostras de que forma reagem ao fogo, ou seja, testaram a velocidade de queima, usando quatro etapas: a capacidade da amostra ser inflamável; a propriedade da amostra como combustível continuar a queimar; a velocidade de queima da amostra, e a quantidade de amostra que queima. No geral, os ensaios mostraram uma baixa inflamabilidade e resistência à ignição dos ciprestes devido ao seu alto teor de humidade mostrando que as suas folhas são capazes de manter o seu teor de água alto durante o verão.

O projeto *Cypfire* cofinanciado pelo “*FEDER do European Union’s Med programme for regional cooperation and developed in collaboration with partners from nine Mediterranean countries, nomeadamente Italy, France, Portugal, Greece, Malta, Spain, Tunisia, Israel and Turkey*” (Della Rocca *et al.*, 2014) sugere a plantação de barreiras verdes de ciprestes para reduzir o risco de início ou avanço de incêndio florestal. Os autores mostraram várias soluções com detalhe de distâncias e tipo de ordenamento florestal. Por opção, são identificadas duas soluções: uma com vista de planta horizontal e alçado vertical para terreno desnivelado (fig. 4) e outra para terreno plano (fig. 5).

Na aldeia, uma propriedade comprovou a eficácia do uso de linhas de proteção de Ciprestes da variedade de

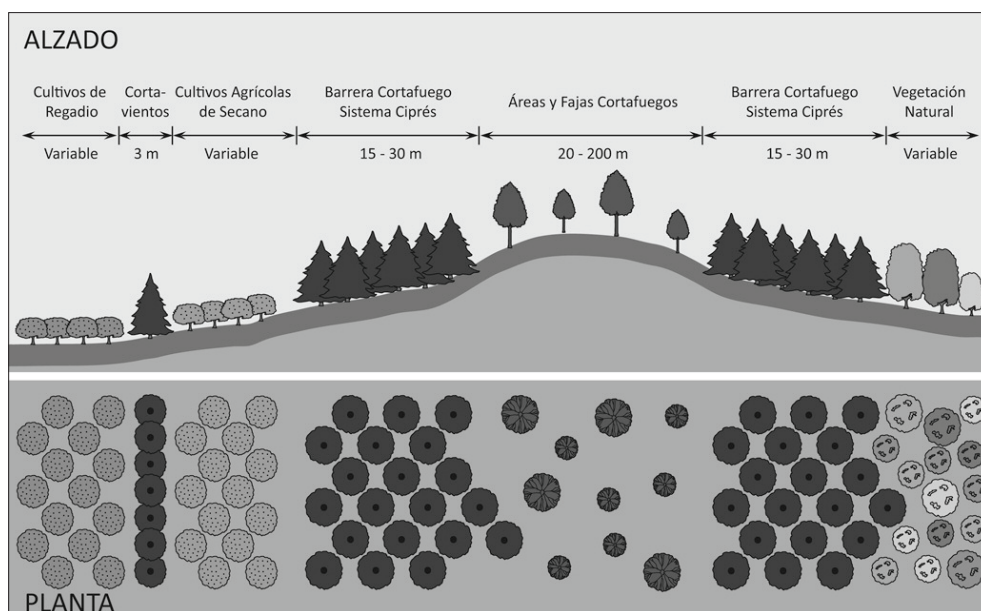


Fig. 4 - Planta de terreno desnivelado (Fonte: Della Rocca *et al.*, 2015).

Fig. 4 - Uneven terrain plan (Source: Della Rocca *et al.*, 2015).

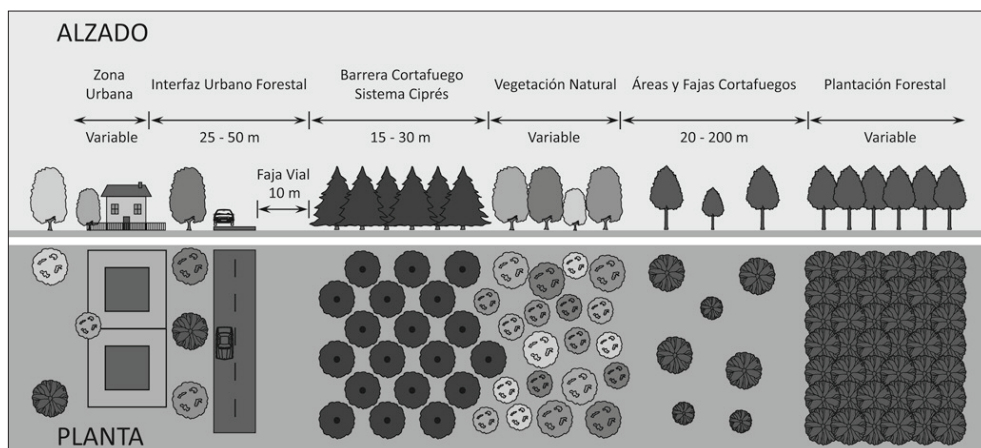


Fig. 5 - Planta de terreno plano (Della Rocca *et al.*, 2015).

Fig. 5 - Flat terrain plan (Della Rocca *et al.*, 2015)

espécie de coníferas, da família das cupressaceae, ou família dos ciprestes para proteger ou reduzir o avanço da frente do incêndio florestal (fot. 9).



Foto 9 - Ciprestes a circundar terreno para bloquear avanço das labaredas de eucalipto para árvores de fruta (Fotografia de Mário Talaia: autor tirada a 02/10/2024).

Photo 9 - Cypress trees surrounding land to block the spread of the flames from the eucalyptus to fruit trees (Photograph by Mário Talaia, taken on 02/10/2024).

A observação visual, após o incêndio de 16 de setembro de 2024, mostra, inequivocamente, que os ciprestes funcionam como barreira corte fogo.

Limpeza da floresta que acompanha as vias rodoviárias

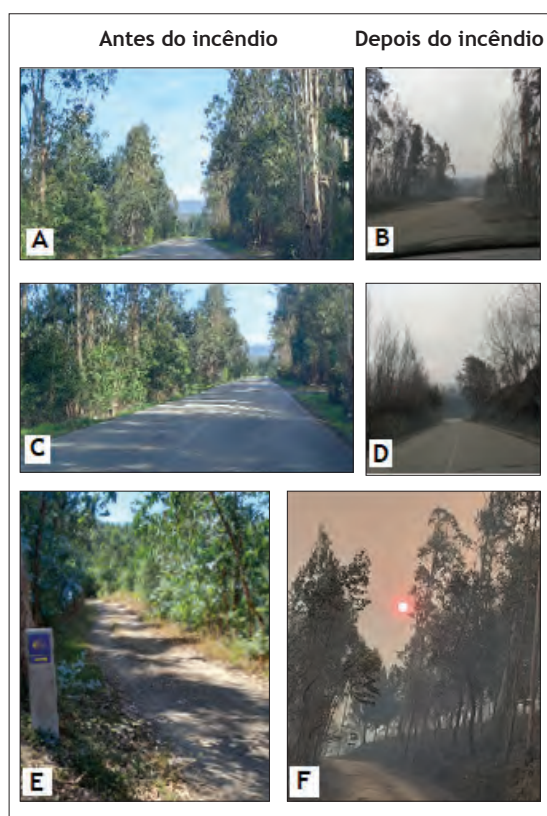
No geral, as vias de acesso rodoviárias para qualquer aldeia ou localidade são prejudicadas pelas árvores que estão contíguas às bermas das faixas de rodagem (fot. 10A e fot. 10C) impedindo que, durante incêndios, familiares ou amigos se possam deslocar para ajudar e socorrer pessoas e bens materiais. Qualquer incêndio torna as faixas de rodagem com risco para a circulação rodoviária pela possibilidade de queda de árvores queimadas (fot. 10B e fot. 10D).

A via pública entre duas localidades (Sernada do Vouga e Açores), devido ao seu mau estado, favorece (por ser um vale) o movimento de frente de fogo, no entanto bloqueia a movimentação de tanques de água de viaturas de bombeiros (fot. 10E e fot. 10F). A Junta de Freguesia deverá adotar estratégias de conservação.

Considerações finais

Este trabalho mostra que a avaliação do risco de incêndio está relacionada com o tipo de ambiente térmico. Nesta perspetiva, os índices indicados para a determinação da sensação térmica, insatisfação e vestuário são apropriados como indicadores de ambiente térmico muito quente, que potenciam incêndios florestais. São nos ambientes térmicos quente (sensação térmica +2) e nos ambientes térmicos muito quentes (sensação térmica de +3) que se deve acautelar estratégias de intervenção para minimizar o risco de incêndio florestal.

Este estudo de caso mostra que é a falta de limpeza que favorece o avanço de frentes de fogo. O cumprimento da lei com as distâncias de segurança para habitações é fator impeditivo para o avanço de ignições e de frentes de fogo.



Fot. 10 - Incêndio antes (20/08/2024) e depois (6/09/2024) (Fotografia de Mário Talaia).

Photo 10 - Fire before (20/08/2024) and after (16/09/2024) (Photograph by Mário Talaia).

O estudo de caso, mostrou como habitações com árvores e vegetação (mato de silvas e tojos) geram verdadeira angústia. O denso fumo danifica a transparência e qualidade do ar, impede a visão e potencia a hipoxia. A concentração de poluentes indica, para qualquer incêndio florestal, valores severos para $PM_{2,5}$ e PM_{10} .

As cartas meteorológicas são um excelente suporte para identificar a cada momento o tipo de circulação atmosférica que alimenta o incêndio. Neste estudo de caso, usou-se a aproximação geostrófica, que mostrou uma previsão para a intensidade do vento de cerca de 150km, o que sugere aviso à população para adotar estratégias de intervenção de proteção e de segurança.

Este estudo de caso, apresenta uma coleção de fotografias capazes de serem interpretadas fisicamente e gerar eventuais pontes de investigação para minimizar futuros riscos de incêndio.

É apresentada solução para floresta corta-fogo e esboço de localização de planeamento florestal (Della Rocca *et al.*, 2014; Della Rocca *et al.*, 2015). Os autores sugerem a possibilidade de explorar algumas das características morfológicas, funcionais e ecológicas da variedade de cipreste capazes de reduzir o risco de incêndios.

A distância temporal entre o incêndio de 1972 e o incêndio de setembro de 2024 mostra alguma semelhança no padrão de movimentação da frente de fogo face às ignições (projéteis incendiários). A diferença, neste estudo de caso, foram cinco habitações destruídas (duas habitadas e três devolutas), mesmo considerando a existência de melhores meios de intervenção (vestuário e equipamento). É na limpeza que está o alicerce da ignição do incêndio florestal. Os terrenos onde lavrou o incêndio, nesta fase, com cobertura de silvados, fetos afeitos e tojos, sugerem que dentro de três anos a aldeia possa estar, novamente, em risco de incêndio.

Os resultados obtidos e as interpretações físicas sugerem que este trabalho pode ser generalizado para tomada de estratégias para se viver numa aldeia segura.

- Por último, apresentam-se algumas sugestões, de reflexão, como contribuição de minimizar o risco de incêndio, numa aldeia segura: Cumprir a base e a orientação do Decreto-Lei no que diz respeito à aplicação das regras para limpezas de floresta junto de habitações, vias rodoviárias e vias-férreas;
- Assistir a uma formação anual das técnicas de segurança para queima de sobrantes florestais, podas, etc.;
- Suscitar a aplicação da lei para situações que favoreçam risco de incêndio e ponham em risco pessoas e bens que residam em habitações contíguas;
- Planear um ordenamento florestal, que apresente faixas de árvores corta-fogo;
- Constituir em aldeias, comissões de três pessoas voluntárias e proprietários (para darem exemplo na limpeza de terrenos). Tentar motivar quem tiver formação na especialidade. Estas comissões, para se firmar uma aldeia segura, teriam como competências: conhecimento do terreno e circulação das massas de ar; conhecimento da localização de bocas de incêndio; inventário da disponibilidade de mangueiras, meios sapadores, bombas de água, geradores, etc.; inventário da existência de poços ou furos (água); alertas para quem não mantiver quintais e zonas de floresta limpas que ponham em risco pessoas e bens; alertas para quem não cumprir com as distâncias de segurança das habitações face ao mato e árvores; motivar os proprietários à plantação de faixa de árvores corta-fogo; manter uma ligação direta, permanente, com a Junta de Freguesia. Sugere-se uma compensação na redução de IML, valor igual para cada membro da comissão de voluntários num objetivo comum de **“todos por um ou um por todos... para se ter uma aldeia segura”**.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito da Unidade de I&D CIDTFF, com a referência UID/00194/2025.

Referências bibliográficas

- Ahrens, C. D. (2012). *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere*. Sixth Edition Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, USA.
- Ahrens, C .D. e Henson, R. (2019). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, 13 Edition Brooks/Cole, Cengage. Learning, Belmont, USA.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*, ASHRAE 55, Atlanta.
- Clark, N. M., Brown, R. W., Parker, E., Robins, T. G., Remick, D. G., Philbert, M. A., Keeler, G. J. e Israel, B. A. (1999). *Childhood asthma, Environmental Health Perspectives*, 107, 421-429 Suppl.3.
- Della Rocca, G., Hernando, C., Madrigal, J., Danti, R., Moya, J., Guijarro, M., Pecchioli, A. e Moya, B. (2015). Possible land management uses of common cypress to reduce wildfire initiation risk: a laboratory study. *Journal of Environmental Management*, 159:68-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.020>
- Della Rocca, G., Danti, R., Raddi, P., Moya, B. e Moya, J. (2014). Projet CypFire Implementation of the “cypress system” as a green firewall. *Forêt Méditerranéenne*. XXXV, 3: 275-280.
- Eskinazi, S. (1975). *Fluid Mechanics and Thermodynamics of our environment*. Academic Press Inc, New York.
- Guerra, A. M., Coelho, J. A. E e Leitão, R. E. (2006). Fenomenologia da combustão e extintores. *Coleção Manual de Formação Inicial do Bombeiro, vol. VII*. Edição Escola Nacional de Bombeiros. Gráfica Europam, Lda, Sintra.
- Holton, J. R. (2004). An Introduction to dynamic meteorology. *International Geophysics Series*, vol. 88. Elsevier Academic Press, Fourth Edition. San Diego - California, USA.
- IMFLORESTAL (2014). Estudo de contaminação ambiental, nomeadamente CO₂, provocado pela queima das podas existentes. *Renewable Green Energy*. Projeto n.º 34001, Ibero Massa Florestal, Lda. 52 p.
- Iribarne, J. V. e Godson, W.L. (1981). *Atmospheric thermodynamics, Geophysics and Astrophysics Monographs*, vol 6, R. Reidel Publishing Company, London.

- ISO 7730 (2005). *Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Organization for Standardization.
- Kay, J. M. e Nedderman, R. M. (2013). *An Introduction to Fluid Mechanics and Heat Transfer: With Applications in Chemical & Mechanical Process Engineering*. Cambridge University Press
- Jaspe, Z. I. R. e Vega, R. E. R. (2005). *Cambio climático y las condiciones de confort ambiental*. Proceedings of the III Congresso Cubano de Meteorologia, CDRom, Havana, Cuba, paper CLI_Confort Ambiental, 10 pages.
- JIS Z 8806 (1995). *Humidity measurement methods*.
- Lemos, E. (2000). *Poluição interior: Abordagem ao Síndrome dos Edifícios Doentes*. Disponível em: http://www.ipv.pt/millennium/ect7_etl.htm
- Massey, B. S. (2002). *Mecânica dos Fluidos*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- McIntosh, D. H. e Thom, A. S. (1981). *Essentials of meteorology*, the Wykeham Sciences Series, Taylor and Francis, Ltd, London.
- Morgado, M., Talaia, M. e Teixeira, L. (2015). A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders, *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1-11
- Nieuwolt, S. (1977). *Tropical climatology*. London.
- Seeley, R., Tate, P. e Stephens, T.D. (2011), *Anatomia & Fisiologia*, 8ª Edição: Lusociência, Lisboa, 1280p.
- Talaia, M. (2021). Como parâmetros que definem um Ambiente Térmico potenciam riscos: estudo de casos. *Geografia, Riscos e Proteção Civil. Homenagem ao Professor doutor Luciano Lourenço*. coordenadores: Adélia Nunes, António Amaro, António Vieira, Fátima Velez de Castro e Fernando Félix. Edição: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. 1.ª Edição. Volume 2 (503-516). ISBN: 978-989-9053-05-2 ISBN digital: 978-989-9053-06-9. DOI: https://doi.org/10.34037/978-989-9053-06-9_1.2
- Talaia, M. (2023). Minimizar o risco de fogo em amontoados de sobrantes florestais, através da educação escolar. *Territorium - Revista Internacional de Riscos*, 30(II): Impactes dos incêndios florestais nos ecossistemas, perceção e gestão do risco. Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, ISSN: 0872-8941, Coimbra, 57-68. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_30-2_5
- Talaia, M. e Almeida, C. (2017). Triagem diagnóstica da doença pulmonar obstrutiva crónica. *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, 165-176. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_24_12
- Talaia, M. e Fernandes, R. (2009). Diagnóstico de vento de uma região usando uma carta meteorológica de superfície. *Territorium- Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança*, n.º 16. Editor: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; ISSN: 0872-8941, Lousã, 63-68. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_6
- Talaia, M., Meles, B. e Teixeira, L. (2013). *Evaluation of the Thermal Comfort in Workplaces - a Study in the Metalworking Industry*. Occupational Safety and Hygiene. Editors Arezes et al. Taylor e Francis Group: London, 473-477.
- Talaia, M. e Rodrigues, F. (2008) - *Conforto e Stress Térmico: Uma Avaliação em Ambiente Laboral*. Proceedings em CD-ROM da CLME'2008 / II CEM. 5º Congresso Luso - Moçambicano Engenharia - 2º Congresso de Engenharia de Moçambique. Maputo. Editores: Gomes et al. ISBN: 978-972-8826-20-8. Edições INEGI. Artigo 11A020, 15 páginas.
- Talaia, M. e Simões, H. (2009). *EsConTer: um índice de avaliação de ambiente térmico*. In V Congresso cubano de Meteorologia, p. 1612-1626. Somet- Cuba, Sociedade de Meteorologia de Cuba.
- Talaia, M., Sousa, J. e Saraiva, M. (2007). *Saúde e ambiente: Como se podem relacionar na agudização de doença respiratória*, Proceedings of 9ª Conf. Nacional do Ambiente, Um Futuro Sustentável - Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento, 1:154-160.
- Whipple, F. J. W. (1933). *The wet-and-dry-bulb hygrometer: the relation to theory of the experimental researches of Awbery and Griffiths*. Proceedings of the Physical Society. 45 (2): 307-319. DOI: <https://doi.org/10.1088/0959-5309/45/2/314>
- W.M.O. (2000a). *Air quality guidelines for Europe*. World Health Organization, 2nd edition. European Series, No. 91 1.
- W.M.O. (2000b). *Air Quality, Energy and Health (AQE), Chemical Safety and Health Unit (CHE)*. Editors: World Health Organization. Regional Office for Europe. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289013581>



RISCOS



CREACIÓN DE UNA APP PARA SITUAR Y LOCALIZAR ZONAS CON RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES*

CREATION OF AN APP TO IDENTIFY AND LOCATE AREAS AT RISK OF FOREST FIRES

83

Laura García-España Soriano

Universitat de València (España)

Facultad de Farmacia, Departamento de Biología Vegetal

ORCID 0000-0003-1155-8133 laugars2@alumni.upv.es

Cristina Lull Noguera

Universitat Politècnica de València (España)

Departamento de Química

ORCID 0000-0001-9270-2365 clull@qim.upv.es

Juan Jose Lull

Universitat Politècnica de València (España)

Departamento de Organización de Empresas

ORCID 0000-0002-4399-950X juslulno@doe.upv.es

Maria Desamparados Soriano

Universitat Politècnica de València (España)

Departamento de Producción Vegetal

ORCID 0000-0003-0342-6368 asoriano@prv.upv.es

Josep Llinares

Universitat Politècnica de València (España)

Departamento de Química

ORCID 0000-0002-9740-3281 jollipa@qim.upv.es

RESUMEN

Se muestra la creación de una App para situar y localizar fácilmente zonas con alto riesgo de incendios forestales para facilitar su localización y prevención. La App presenta una forma sencilla de utilización y cualquier usuario puede incluir zonas con problemas de elevado riesgo de incendios. La selección no es aleatoria, se basa en una serie de datos que, si bien por separado no serían de gran importancia respecto al riesgo, si lo serían en conjunto al ir sumando factores de riesgo. Entre estos factores se consideran: micro cuencas con elevada cobertura vegetal, especies pirófitas, exposición de laderas, pendiente, condiciones climáticas con periodos de altas temperaturas y baja humedad, que favorecen estos incendios, etc.

La aplicación utiliza el sistema Flutter de desarrollo multiplataforma de Google. Esta tecnología permite crear aplicaciones para móviles, tablets y ordenadores a partir de una única base de código, facilitando su compilación para distintas plataformas con mínimas modificaciones. La aplicación está disponible en las tiendas App Store de Apple (iOS) y Google Play para dispositivos Android.

Palabras clave: App, suelos, incendios, riesgo, forestales.

ABSTRACT

The creation of an app to easily identify and locate areas with a high risk of forest fires is shown to facilitate their location and prevention. The app is easy to use and any user can input areas with a high fire risk. The selection is not random; it is based on a dataset with data points that, when taken individually, may not be particularly significant in terms of risk, but when considered together add up to a series of risk factors. Among these factors are: micro basins with high vegetation cover, pyrophytic species, exposure of slopes, slope, climate conditions with periods of high temperatures and low humidity, which contribute to these fires, etc.

The app uses Google's Flutter cross-platform development framework. This technology allows users to create applications for mobile phones, tablets, and computers from a single codebase, making it easy to compile for different platforms with minimal modifications. The application is available on the Apple App Store (iOS) and Google Play for Android devices.

Keywords: App, soils, fires, risk, forestry.

* O texto desta nota corresponde a uma comunicação apresentada ao III Seminário da Rede Incêndios-Solo, tendo sido submetido em 28-02-2025, sujeito a revisão por pares a 24-04-2025 e aceite para publicação em 28-01-2026. Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introducción

La Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE, núm.280 del 22 de noviembre de 2003) indica que: «La ordenación, la conservación y el desarrollo sostenible de todos los tipos de bosques son fundamentales para el desarrollo económico y social, la protección del medio ambiente y los sistemas sustentadores de la vida en el planeta. Los bosques son parte del desarrollo sostenible.»

Igualmente, el objeto de esta ley consiste en constituirse en un instrumento eficaz para garantizar la conservación de los montes españoles, así como promover su restauración, mejora y racional aprovechamiento apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva. La ley se inspira en unos principios que vienen enmarcados en el concepto primero y fundamental de la gestión forestal sostenible. A partir de él se pueden deducir los demás: la multifuncionalidad, la integración de la planificación forestal en la ordenación del territorio, la cohesión territorial y subsidiariedad, el fomento de las producciones forestales y del desarrollo rural, la conservación de la biodiversidad forestal, la integración de la política forestal en los objetivos ambientales internacionales, la cooperación entre las Administraciones y la obligada participación de todos los agentes sociales y económicos interesados en la toma de decisiones sobre el medio forestal

En las últimas décadas ha aumentado la investigación biotecnológica y la creación de herramientas en todo el mundo dirigida hacia la prevención de incendios en zonas forestales.

Mucha de esta información es recogida en los diferentes documentos oficiales publicados (TABLA I).

TABLA I - Información relativa a la protección del medio.

TABLE I - Information relating to environmental protection.

Fechas	Leyes publicadas
2006	Ley modificada por el art. único.1 de la Ley 10/2006, de 28 de abril. Ref. BOE-A-2006-7678.
2003	Ley del 22 de noviembre de 2003 https://www.boe.es/eli/es/l/2006/04/28/10
2003	Ley 27 de enero de 2003 Código Penal que modifica la Ley Orgánica 10/1995, https://www.boe.es/eli/es/lo/2003/11/25/15
2006	El párrafo b) del apartado 1 del artículo 25 queda redactado en los siguientes términos: «b) De montes declarados protectores y con otras figuras de especial protección conforme a los artículos 24 y 24 bis.» https://www.boe.es/eli/es/l/2006/04/28/10/con

De la misma forma la Generalitat Valenciana ofrece información que se recoge respecto del número de incendios que se han producido anualmente en nuestro territorio a lo largo de los últimos años (fig. 1). En la figura 1 se puede observar además la tendencia hacia el descenso de dichos eventos en los últimos años, gracias a las medidas realizadas por el gobierno.

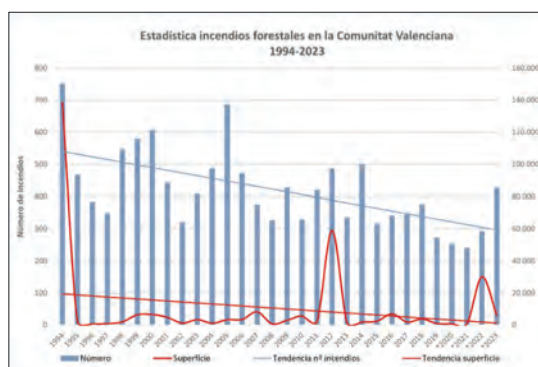


Fig. 1 - Estadística de número de incendios en la Comunidad Valenciana.

Fig. 1 - Statistics on the number of fires in the Valencian Community.

En estudios realizados sobre incendios forestales hay que destacar los de Chuvieco, *et al.*, (2007) que realizaron un estudio sobre el estado de los combustibles y las características del territorio utilizando la teledetección como herramienta. Por otra parte, autores como Díez-Vizcaino (2017) realizaron una cartografía de modelos de combustible mediante teledetección identificando zonas de riesgo basadas en algunos parámetros del suelo y del entorno.

Villanueva-Muñoz 1984 y Cepreven 2005, utilizaron el Método de los Factores, cuya finalidad es parcial y consiste en determinar para un sector, con base en el riesgo del mismo, la resistencia y/o estabilidad en fuego precisa, de forma que se garantice que, en caso de desarrollarse un incendio, sus consecuencias queden confinadas.

La obtención de modelos de riesgo de incendio forestal para su posterior integración en modelos de riesgo más complejos evaluada por Vilar del Hoyo *et al.* (2016), resultó de gran interés para lograr una mejora en la capacidad predictiva de los mismos. Llevando a cabo un ensayo comparativo de la potencialidad de distintas técnicas para la obtención de modelos de riesgo, profundizan en la técnica de redes neuronales así como en el empleo de otras variables dependientes que ofrezcan una mayor precisión en la localización espacial de los incendios. En este estudio, los resultados obtenidos a partir de las distintas técnicas muestran que las variables que explican la probabilidad de incendio coinciden y son la interfaz urbano-forestal y Espacios Naturales Protegidos, y clasifican correctamente las zonas de alta incidencia o baja incidencia. O estudios más recientes en la Europa mediterránea basándose en interfaces de uso del suelo y cobertura del suelo. En la Comunidad Valenciana autores como Pérez-Cueva (1994) y Sánchez (2019), analizan parámetros tanto climáticos como de las propiedades de los suelos que sirven para evaluar el riesgo de incendios.

Siguiendo estos pasos, el objetivo de la aplicación que se presenta es facilitar al usuario el conocimiento de las características de diferentes zonas y su posible riesgo para la producción de incendios.

Igualmente, cada usuario puede introducir en las diferentes tablas los datos correspondientes al suelos, vegetación, topografía y otros parámetros que pueden influir sobre su afección a los incendios forestales. Por ello, uno de los objetivos que se persigue es hacer consciente a la población de que tanto el suelo, como la vegetación son elementos no renovables o renovables a muy largo plazo, y que están condicionados por gran cantidad de parámetros climáticos, topográficos, etc, que les afectan.

Por ello se deben conservar, evitando cualquier acción negativa que provoquen su deterioro como puede ser un incendio, siendo imprescindible respetarlo para alcanzar de esta forma un desarrollo sostenible y que puedan disfrutarlos las generaciones futuras.

En este trabajo, se presenta la implementación de una aplicación de ayuda para localizar zonas de riesgo de incendios forestales.

Para la creación y puesta a punto de la aplicación, en primer lugar, se crea una base de datos de los diferentes puntos de estudio utilizando tablas de contenido para facilitar el conocimiento de la información. Para poblar la base de datos, la información proviene de datos propios y otros obtenidos de la bibliografía consultada (Sanchez, 2019; Pérez-Cueva, 1994), así como de información de la Generalitat Valenciana referida a zonas afectadas por incendios forestales.

La aplicación se implementa con el sistema de desarrollo Flutter, tecnología que pertenece a Google, y que permite crear aplicaciones multi-plataforma para móviles, tablets y ordenador eficientemente, ya que permite programar una vez y compilar para cada plataforma sin aplicar apenas cambios. La aplicación Flutter se publica en las tiendas de Apple iOS App Store y Android Google Play.

Cada zona tiene diferentes propiedades y por ello se debe de analizar en base a ello el riesgo que se percibe en dicha área. Para ello se introducirán parámetros del suelo, del clima, de la vegetación o masa forestal, y las características de dicha vegetación en cuanto a tipo, cobertura, propiedades pirrófitas de la masa forestal, etc.

De esta manera se elaboran las fichas correspondientes a esos puntos que se introducen en la base de datos de la App.

Metodología

Bases de datos utilizando la aplicación - Parámetros a analizar

Existe información que indica que, en gran número de casos, en algunas zonas se repiten los incendios en años sucesivos, bien sea por actos vandálicos, por actuaciones

de pastoreo o por ser zonas con características idóneas que facilitan la formación de incendios. Esta información sería interesante recabarla bien documentalmente, o en una base de datos online, o través de una App como la que se presenta, lo cual podría favorecer la disminución del número de los incendios forestales repetidos.

El trabajo se ha centrado en los requisitos funcionales del diseño de la App. Después de realizar un estudio de las características de suelos, vegetación y topografía en diferentes zonas, se propusieron situaciones adaptadas a la población, planteando escenarios de participación en la gamificación relacionados con las propiedades de cada zona.

TABLA II - Propiedades de los tipos de uso para su introducción en la App.

TABLE II - Properties of the types of uses that can be input into the app.

App	SOILFIRE		
1	Tipo de Uso	Forestal	
		Matorral	
		Herbáceas	
2	Foto suelo	Añadir foto	
3	Observaciones		
4		Enviar datos ahora	Guardas datos y enviar mas tarde

En la App, la hoja de ruta interactiva permite al usuario adquirir conocimientos e introducirlos en la aplicación. Pensamos que este estudio permitirá incentivar tareas de protección en la población a través de la App, y también ayudará a contribuir, en la prevención de algunos incendios en zonas determinadas. Las tablas resumen van acompañadas de una fotografía de la zona para facilitar su localización.

El primer paso sería realizar la fotografía de la zona y subirla a la aplicación donde se sitúa georreferenciada en un mapa (TABLA II).

Exposición de datos referentes al suelo. Introducción en la aplicación

Para la utilización de la aplicación se introduce por un lado las características conocidas de los suelos (TABLA II) referentes principalmente a:

- *Contenido en materia orgánica:* El alto contenido en materia orgánica influye sobre el riesgo de incendios, aumentándolo. Así, el tipo de suelo en cuanto a su contenido de materia orgánica tanto incorporada, como poco descompuesta en el horizonte superficial, así como la presencia de mantillo susceptible a sufrir un incendio;

- *Contenido de humedad:* Contenidos elevados de humedad disminuyen el riesgo de incendios en profundidad;
- *Un exceso de sales:* En ocasiones la concentración de sales aumenta en función del contenido de humedad siendo parámetros altamente relacionados;
- *Contenido en nutrientes:* Tras un incendio la pérdida en nutrientes es muy elevada, cuestión que debe tenerse en cuenta, pues un incendio desencadena suelos pobres en nutrientes;
- *Contenido de humedad:* Contenidos elevados de humedad disminuyen el riesgo de incendios en profundidad;
- *Un exceso de sales:* En ocasiones la concentración de sales aumenta en función del contenido de humedad siendo parámetros altamente relacionados;
- *Contenido nutrientes:* Tras un incendio, la pérdida de nutrientes es muy elevada, lo que debe tenerse en cuenta, pues un incendio provoca suelos pobres en nutrientes.

La aplicación multi-plataforma nos informará sobre los valores estimados para cada zona según las características del suelo (TABLA III).

Exposición de datos referentes a la vegetación. Introducción en la aplicación

Por otro lado, se realiza una valoración del tipo de bosque o matorral, sotobosque o plantas herbáceas. Esa ligera valoración permite calcular el riesgo que representa la vegetación en un incendio en una zona determinada (TABLA IV).

Tipo de vegetación: El tipo de vegetación puede variar la intensidad y propagación de un incendio, tanto respecto a su facilidad de quema (plantas pirofitas y plantas no pirofitas), así como con respecto a la eliminación de restos vegetales pincha, resinas, etc., que favorecen la formación del incendio y su propagación.

Cobertura vegetal del bosque: El porcentaje de cubierta vegetal es un factor importante, ya que influye sobre la temperatura del fuego y la duración del incendio.

La relación en cada tipo de bosque con la biomasa susceptible de sucumbir en un incendio forestal es uno de los factores más importantes, dado que va a ser la causa del incremento de la temperatura durante el incendio.

El impacto de los incendios forestales en la susceptibilidad de estos suelos a la erosión dependerá de sus efectos sobre las propiedades del suelo y será claramente dependiente de la severidad de los incendios. La erosibilidad del suelo se ve aparentemente poco afectada por los incendios de baja severidad, pero aumenta notablemente tras los de alta severidad.

Exposición de datos referentes a topografía y característica de la zona. Introducción en la aplicación

La erosionabilidad del suelo es un factor decisivo en la intensidad de los procesos de erosión hídrica que se pueden desencadenar como consecuencia de los incendios forestales. Existen propiedades del suelo que condicionan su susceptibilidad a la erosión, así como los efectos de los incendios forestales en esta propiedad del suelo y sobre las consecuencias que estos cambios ocasionan en la respuesta hidrológica y erosiva de los suelos.

TABLA III - Propiedades de los tipos de suelos para su introducción en la App.

TABLE III - Properties of soil types that can be input into the app.

Aplicación	Textura	pH, CE	M.Org	Carbonatos	CIC	Nutrientes
	Clases texturales	1 Acido 2Básico 1Salinos 2No salinos	>4 <4	1Calcáreo 2No calcáreo	1Ricos en bases 2Pobres en bases	1Deficitario 2Normal 3Elevado

TABLA IV - División de los tipos de bosques o masas forestales para su introducción en la App.

TABLE IV - Division of forest types or forest mass that can be input into the app.

Aplicación	Bosque	Matorral	herbáceas
Especies	Pinos, Coníferas, Alcornocques, etc.	Aromáticas, cistáceas,	<i>Brachypodium</i> , helechos, gramíneas
Porcentaje de cobertura	0-10 10-25 >25	0-10 10-25 >25	0-10 10-25 >25
Biomasa kg	Natural Residual	Natural Residual	Natural Residual

Los suelos forestales de Valencia desarrollados sobre suelos calizos se caracterizan por presentar una erosionabilidad muy baja, a pesar de su textura fina, debido a la facilidad de agregación de la arcilla y la materia orgánica, lo que confiere elevada estabilidad a los agregados (TABLA III).

Mientras que los suelos de textura predominantemente gruesa, por sus bajos contenidos en materia orgánica y la baja estabilidad de los agregados originales, presentan elevados índices de erosionabilidad.

La repelencia al agua del suelo, intensificada por el fuego, se considera como un factor determinante en la generación de flujos de escorrentía y en los procesos erosivos repetidamente observados en las áreas quemadas de nuestra provincia.

Parámetros como pendiente del terreno, exposición norte o sur afectado directamente por las horas de sol de exposición de la zona afectaran decisivamente a incrementar los incendios forestales y elevar la erosión del suelo (TABLA V).

TABLA V - Características de la zona respecto a la pendiente, la orientación y las condiciones climáticas.

TABLE V - Cracteristics of the area with respect to slope, orientation and climate conditions.

Aplicación	Pendiente	Exposición	Horas de sol	
Especies	herbáceas	norte	8	
Porcentaje de cobertura	65			

Exposición de datos referentes a la climatología de la zona. Introducción en la aplicación

Uno de los factores preponderantes respecto a fluctuaciones es la variabilidad climática interanual, manifestada por años o periodo de años secos o húmedos combinado con temporadas estivales más calida y frescas.

Ciertos autores consideran que un invierno seco influye decisivamente en la recarga de agua de capas profundas que sea insuficiente y haga que el árbol llegue al verano con un déficit hídrico importantes, si se suma una fuerte evapotranspiración en verano que produce que las pequeñas ramas se sequen siendo la biomasa mayormente consumida durante el incendio. La TABLA VI resume las características climáticas generales.

TABLA VI - Características climáticas para su introducción en la App.

TABLE VI - Climate characteristics that can be input into the app.

Aplicación	Estación
Temperatura aire	Nombre de la Estación
Humedad aire	40-60% *
Precipitación	350 mm*

*ejemplo de valores.

Resultados



Caso práctico

Ejemplo de experiencia de creación y utilización de la aplicación SoilFireApp, se puede ver en la TABLA VII, y que tiene los siguientes pasos:

1. Realiza la foto de la zona e introdúcela en la aplicación;
2. Selecciona los datos que conozcas de las propiedades de los suelos;
3. Selecciona los datos que conozcas del tipo de vegetación existente;
4. Selecciona los datos que conozcas de las características topográficas de la zona;
5. Introduce los datos que conozcas de las características climáticas de la zona. Estos datos pueden introducirse automáticamente al localizar la zona;
6. En función de los datos introducidos se valorará de 1 a 10 el posible riesgo de incendios en la zona de estudio, valorando de 1 a 3 cada uno de los apartados mencionados.

TABLA VII - Valoración final.

TABLE VII - Final assessment.

					
Aplicación	Suelos	Vegetación	Topografía	Clima	Total
Valoración Riesgo	1	3	2	3	3

Conclusiones

La aplicación **SoilFireApp** presenta una gran utilidad como herramienta de apoyo para la localización y estudio de zonas con distinta afección a los incendios forestales.

Se presenta un ejemplo orientativo para el lector de los resultados que pueden obtenerse tras la aplicación en una zona o cuenca, y que se pueden utilizar en distintas zonas.

La App se encuentra en fase de desarrollo, validación e implantación. Dicha App tendrá acceso desde la web <https://edafoeduca.es>. En un futuro próximo, se

prevé realizar un estudio de uso por zonas, número de usuarios y otras variables que nos permitan descubrir el alcance de la propia aplicación y cómo puede facilitar la prevención de incendios.

Bibliografía

88

- CEPREVEN (2005). *Evaluación del riesgo de incendio*. Método Gretener, 58 p.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Martín, M., Vilar, L., ... & Salas, J. (2007). Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. *Teledetección-Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Madrid: Editorial Martín, 19-26.
- Kitzberger, T. (2003) Regímenes de fuego en el gradiente bosque-estepa del noroeste de Patagonia: variación espacial y tendencias temporales. 79 p. En CR Kunst, Bravo, JI, Panigati Eds. *Fuego en los ecosistemas argentinos*. INTA. Santiago del Estero, 330 p. ISBN 987-521-084-6.
- Peréz-Cueva, A. J. (1994). *Atlas climático de la Comunidad Valenciana*. Ed. Generalitat Valenciana. 205 p.
- Sánchez, J. (2019). Suelos Forestales en Valencia. *Generalitat Valenciana*, 161 p.
- Vilar, L., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J., Martín, M. P. (2016). Modelado de cambios temporales en incendios forestales causados por el ser humano en la Europa mediterránea basándose en interfaces de uso del suelo y cobertura del suelo. *Ecología y gestión forestal*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.020>
- Villanueva-Muñoz, J. L. (1984) *NTP 100. Evaluación del riesgo de incendio. Método de Gustav Purt*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Notas Técnicas de Prevención. Serie 3^a ; 100 p.



RISCOS



HISTÓRIA E MEMÓRIA DO LUGAR DO FOGO NAS CIÊNCIAS DO TERRITÓRIO EM PORTUGAL:
TRÊS ENTREVISTAS COM RAQUEL SOEIRO DE BRITO, JOÃO FILIPE BUGALHO E JOÃO CASTRO CALDAS*

HISTORY AND MEMORY OF THE PLACE OF FIRE IN THE SCIENCES OF THE TERRITORY IN PORTUGAL:
THREE INTERVIEWS WITH RAQUEL SOEIRO DE BRITO, JOÃO FILIPE BUGALHO, AND JOÃO CASTRO CALDAS

Miguel Carmo

Universidade NOVA de Lisboa, Laboratório Associado IN2PAST (Portugal)
Instituto de História Contemporânea
ORCID 0000-0002-4784-5997 miguelcarmo@fcsn.unl.pt

Frederico Ágoas

Universidade NOVA de Lisboa (Portugal)
Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais (CICS.NOVA)
ORCID 0000-0001-7045-7688 fagoas@fcsn.unl.pt

José Miguel Ferreira

Universidade NOVA de Lisboa, Laboratório Associado IN2PAST (Portugal)
Instituto de História Contemporânea
ORCID 0000-0002-3855-5410 josemoura@fcsn.unl.pt

Inês Gomes

Universidade NOVA de Lisboa, Laboratório Associado IN2PAST (Portugal)
Instituto de História Contemporânea
ORCID 0000-0001-9210-9959 gomes.ida@gmail.com

RESUMO

No âmbito do projeto de investigação *FIREUSES – Paisagens de fogo: uma história política e ambiental dos grandes incêndios em Portugal*, decorrido na Universidade Nova de Lisboa entre 2022 e 2025, foi realizada uma série de entrevistas a três professores e investigadores que trabalharam ao longo da segunda metade do século XX nas áreas da geografia, silvicultura e agronomia: Raquel Soeiro de Brito, João Filipe Bugalho e João Castro Caldas. Com estas conversas procurou-se, em primeiro lugar, entender a relação histórica destes campos de conhecimento com o tema dos incêndios e dos usos do fogo no espaço rural. No seu conjunto, estas três entrevistas permitiram também aceder a memórias pessoais e familiares sobre um momento da vida nos campos e serras, em diferentes regiões de Portugal, em que o fogo tinha significados muito diferentes dos atuais.

Palavras-chave: Incêndios rurais, História do fogo, Geografia, Silvicultura, Agronomia.

ABSTRACT

As part of the research project *FIREUSES – Burning landscapes: A political and environmental history of the large wildfires in Portugal*, carried out at Universidade Nova de Lisboa between 2022 and 2025, a series of interviews was conducted with three professors and researchers who worked throughout the second half of the 20th century in the fields of geography, forestry, and agronomy: Raquel Soeiro de Brito, João Filipe Bugalho e João Castro Caldas. The primary aim of these conversations was to understand the historical relationship between these fields of knowledge and the issue of wildfires and the use of fire in rural areas. Taken together, these three interviews also provided insight into personal and family memories of a time in rural life in different regions of Portugal when fire had very different meanings from today.

Keywords: Rural fires, History of fire, Geography, Forestry, Agronomy.

* O texto desta entrevista foi submetido em 21-04-2026, sujeito a revisão por pares a 21-04-2026 e aceite para publicação em 21-05-2026.

Esta entrevista é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

As três entrevistas aqui publicadas inserem-se na investigação realizada no contexto do projeto de investigação *FIREUSES – Paisagens de fogo: uma história política e ambiental dos grandes incêndios em Portugal*, decorrido entre 2022 e 2025. Acolhido no Instituto de História Contemporânea (IHC – NOVA FCSH / IN2PAST), o projeto FIREUSES contou com o apoio de cinco municípios – Moimenta da Beira, Sernancelhe, Vila Nova de Paiva, Silves e Monchique –, do Instituto Superior de Agronomia e da produtora de cinema TERRATREME, que colaborou na gravação desta série de entrevistas. A partir de diferentes práticas científicas, da história às ciências ecológicas, a equipa do projeto procurou entender a emergência e desenvolvimento do regime de grandes incêndios no Portugal contemporâneo. A pesquisa incidiu sobre fundos documentais diversos, de âmbito nacional, regional e local, e na recolha sistemática de fontes orais em dois estudos de caso: a serra de Monchique, a sul, e o planalto montanhoso entre Lapa e Leomil, no distrito de Viseu. Esta abordagem multidisciplinar e comparativa permitiu explorar, do ponto de vista da evolução dos incêndios e das atitudes face ao fogo, quer uma história política e científica nacional, quer a transformação rural em dois territórios de montanha muito distintos¹.

Com o título de *História e memória do lugar do fogo nas ciências do território em Portugal*, esta série de conversas pretendeu, em primeiro lugar, mapear a inscrição do tema dos incêndios e dos usos do fogo no espaço rural nos quadros de pesquisa, nos currículos académicos e, de modo geral, nas preocupações científicas de três disciplinas centrais na construção de conhecimento sobre o território português ao longo do século XX: a geografia, a silvicultura e a agronomia. Em segundo lugar, procurou-se alargar o foco académico e profissional à memória da transformação das paisagens rurais, a partir da experiência de vida e familiar dos entrevistados em diferentes regiões do país. Como se verá, esta atenção ofereceu dados e reflexões importantes que, sem deixarem de estar intimamente ligadas ao exercício da profissão, contribuem para uma história do fogo em Portugal e, em particular, para entender o aparecimento de um novo regime de fogo, caracterizado por incêndios de grande dimensão e impacto social e ecológico. Neste sentido, representam uma forma de memória social do fogo que permite enriquecer as perspetivas recentes que têm procurado explorar conjuntamente a ecologia e a história do fogo como via de compreensão do atual regime de grandes incêndios.

Os entrevistados são três professores e investigadores que partilharam connosco, de forma generosa e interessada, conhecimentos e memórias provenientes maioritariamente do seu percurso académico, entre a licenciatura e os dias de hoje. Para além de oferecerem resposta a muitas das questões e dúvidas relativas ao entendimento do fogo nos diferentes campos científicos, estas três entrevistas desenham também, em traços largos, contributos para uma história da geografia, da agronomia e da silvicultura portuguesas. Ficou claro, desde logo, que o olhar dirigido ao fogo, nos seus vários aspetos, desenvolveu-se através de cronologias e enfoques substancialmente distintos nas diferentes disciplinas. As conversas seguiram um modelo de entrevista semiestruturada a partir de guiões preparados pela equipa de projeto, tendo sido posteriormente transcritas e finalmente revistas pelos entrevistados.

A primeira entrevistada é a geógrafa Raquel Soeiro de Brito, professora catedrática jubilada da Universidade Nova de Lisboa. Licenciada na Universidade de Lisboa e, mais tarde, a primeira mulher a obter um doutoramento em geografia numa universidade portuguesa, o seu percurso académico foi marcado pela experiência formadora no Congresso Internacional de Geografia de 1949, em Lisboa, pela investigação junto dos geógrafos Mariano Feio e Orlando Ribeiro, pelo percurso profissional em territórios das ex-colónias portuguesas na década de 1960 e, a partir do final da década de 1970, na fundação do departamento de geografia na Universidade Nova de Lisboa.

Na entrevista, Raquel Soeiro de Brito começa por recordar um grande incêndio numa área de pinhal em Viana do Castelo, que se encaminhava para o Monte de Santa Luzia alimentado por um “*vento muito forte, vento de norte*”. O evento marcaria a sua infância nos anos 1930. Entre este momento e a década de 1970, quando os incêndios rurais se tornam uma realidade cada vez mais preocupante e mediática, percorre-se o lugar do fogo nos trabalhos do referido Congresso Internacional de Geografia, o seu papel complementar, ou acidental, nos temas e quadros que compõem a geografia portuguesa de meados do século passado (“*o fogo como acontecimento geográfico tinha muito pouca importância*”) e, ainda, a descoberta, ao longo da década de 1960, do uso do fogo como elemento constitutivo da agricultura em territórios coloniais portugueses, onde era “*habitual pegar fogo, fazer grandes queimadas à moda do Alentejo*”.

Na entrevista com João Filipe Bugalho, engenheiro silvicultor e professor jubilado do Instituto Superior de Agronomia, acede-se, com muito detalhe, à relação da silvicultura portuguesa com o uso do fogo. Licenciado em 1965, foi professor convidado de Cínegetica e Conservação dos Recursos Naturais no Instituto Superior de Agronomia, Diretor dos Serviços de Caça e Sub-Diretor

¹ Para conhecer o projeto FIREUSES, a metodologia usada, as atividades realizadas e os seus principais resultados, consultar a página do projeto: <https://projetos.dhlab.fcs.unl.pt/s/fireuses/page/inicio>

Geral das Florestas. O relato das suas memórias leva-nos da sua infância e juventude no Alto Alentejo, onde não recorda a ocorrência de incêndios rurais (embora o fogo estivesse muito presente), à sua integração nos Serviços Florestais no final da licenciatura, quando começaria a interessar-se pelo tema.

Inicialmente encarregue de trabalhos pioneiros relacionados com o recenseamento de aves, acabaria por acompanhar, já na década de 1970, a visita a Portugal de alguns especialistas internacionais em ecologia do fogo, como David Klein e o casal Betty e Edwin Komarek. Até então, “*o fogo era o inimigo número um dos silvicultores e só se falava do fogo da perspectiva de incêndio*”. As primeiras experiências de fogo controlado no Parque Nacional do Gerês ajudariam então a impor uma visão matizada do uso do fogo entre uma nova geração de silvicultores portugueses, onde, como refere, se destacam os nomes de Joaquim Moreira da Silva e Francisco Castro Rego.

Na última entrevista desta série, com João Castro Caldas, engenheiro agrónomo e professor catedrático jubilado do Instituto Superior de Agronomia, recuamos no tempo pelo norte e centro do interior rural de Portugal até meados do século XX, quando “*toda a carga combustível era consumida pelas comunidades agrícolas e pastoris*”. Licenciado no final da década de 1960 no Instituto Superior de Agronomia, no qual se doutorou em 1988, dedicou-se ao estudo das políticas de Colonização Interna do Estado Novo (1936-1974) e aos regimes de parceria na exploração agrícola no sul do país. Das memórias das férias escolares passadas entre a Lousã e Arcos de Valdevez despontam recordações vivas das queimadas agrícolas, que todos os verões pontuavam os cumes das serranias, e do fabrico generalizado de carvão para consumo doméstico. O pinhal era então uma reserva de recursos para populações que viviam em condições económicas e sociais muito duras.

O despovoamento destes territórios decorre a par da própria florestação imposta pelo Estado Novo e da ocorrência dos primeiros grandes incêndios, já na década de 1960, num contexto em que “*o engenheiro silvicultor tinha um poder quase militar localmente*”. A conversa em torno do lançamento recente da obra *As Casas e as Famílias: Entre Douro e Minho depois do Inquérito à Habitação Rural (1943)*, em que colaborou, permite-nos regressar ao presente e procurar aferir por um momento o que realmente mudou nestas paisagens, nos últimos oitenta anos, por força da emigração, da democracia e do turismo.

No seu conjunto, estas entrevistas constituíram verdadeiras sessões de trabalho assentes na recolha e partilha de informação, na discussão viva de hipóteses de trabalho e no desenvolvimento de caminhos de pesquisa. Porventura mais do que leituras de conjunto sobre a abordagem ao fogo nas disciplinas em causa, das conversas transcritas abaixo sobressaem situações e episódios

relatados na primeira pessoa que nos transportam para certas conjunturas da história daqueles saberes técnico-científicos, onde o fogo é protagonista pela sua ausência tanto quanto pela sua presença. Transportam-nos, ainda, para um momento da vida nos campos em que o lume tinha significados muito distintos dos atuais, operando simultaneamente como ferramenta agro-pastoril, como presença discreta e assídua no quotidiano doméstico das aldeias e como ameaça ocasional.

Vale a pena notar, contudo, a convergência das três narrativas quanto a dois aspetos fundamentais: por um lado, a prevalência das queimadas sazonais como prática habitual e integrada nas rotinas agrícolas e pastoris e, por outro, a raridade relativa dos incêndios enquanto problema social reconhecido nas paisagens predominantemente agrícolas do interior. As razões estruturais que viriam a conduzir à transformação do regime de fogo – expansão das áreas arborizadas, progressiva proibição ou estigmatização das práticas tradicionais de queima e consequente abandono do fogo enquanto ferramenta agro-pastoril, a acumulação de biomassa combustível como consequência do esvaziamento rural e, finalmente, o desenvolvimento planetário das alterações climáticas – estão também presentes de forma clara no conjunto das reflexões que se seguem, em linha com os resultados do projeto FIREUSES.

Quanto ao lugar do fogo nas três áreas disciplinares, as entrevistas revelam omissões persistentes. Na geografia, as descrições pontuais de práticas agrícolas que implicavam a utilização do fogo, presentes em vários trabalhos de referência de meados do século passado, não terão sido suficientes para contrariar um desinteresse mais ou menos generalizado da disciplina pela questão dos usos do fogo e dos incêndios. No Instituto Superior de Agronomia, a situação não seria muito diferente: os usos do fogo não estavam contemplados no ensino da agronomia e da silvicultura, e mesmo os primeiros grandes incêndios da década de 1960 – como o de Sintra (1966), reiteradamente mencionado nas entrevistas – não motivaram alterações curriculares significativas.

O desenvolvimento de um conhecimento técnico sobre incêndios, largamente adverso às queimas e queimadas, acabaria por ocorrer sobretudo nos Serviços Florestais, em meados do século passado. Perspetivas mais matizadas a este respeito emergem, no mesmo contexto institucional, a partir da viragem para a década de 1970 através de figuras como José Lagrifa Mendes, Lino Teixeira e Joaquim Moreira da Silva, sob a égide de novas perspetivas ecológicas sobre a floresta com origem nos Estados Unidos da América. No campo da geografia, terá sido já na década de 1980 que se desenvolveu uma atenção mais sistemática à questão dos incêndios, focada no risco e monitorização meteorológica, pela mão de Luciano Lourenço, geógrafo e hoje professor jubilado da Universidade de Coimbra.

Esta série de entrevistas centrou-se nas ciências que se dedicaram a inquirir, mapear e intervir no território português e poderá, naturalmente, ser continuada através da botânica e das ciências ecológicas, tendo em vista a reconstituição histórica do olhar profissional deste campo de estudo e a identificação, por exemplo, da inclusão gradual do fogo como fator ecológico na compreensão da formação e fitossociologia dos biomas mediterrânicos. No campo das ciências sociais seria igualmente proveitoso entrevistar antropólogos e etnógrafos que se dedicaram ao território rural ao longo do século XX, pensando, por exemplo, no legado dos trabalhos de recolha e sistematização de práticas e técnicas agrícolas em desaparecimento, realizados em meados do século XX no momento em que o regime de fogo começara a mudar. Por fim, no campo da historiografia, seria importante indagar a rica história social e económica que se debruçou sobre a transformação das realidades rurais e agrícolas em Portugal e procurar eventuais efeitos, ou ausências, no entendimento das transições do fogo.

"O fogo, claro, aparecia sistematicamente"

Entrevista com Raquel Soeiro de Brito

Miguel Carmo (MC): Bom dia. Gostaríamos de começar com uma primeira secção de algumas notas biográficas sobre a Professora Raquel e o seu percurso na infância e juventude.

Raquel Soeiro de Brito (RSB): Bom, eu nasci em Elvas, em 1925. De Elvas, muito pequena, fui para Évora. Sou de uma família de militares. A família toda é de militares. E os militares andam sempre de sítio para sítio, à medida do que é preciso. De Évora, por circunstâncias várias, fui parar ao Porto. Do Porto vim para Paço de Arcos. De Paço de Arcos, voltei para o Porto e para Viana do Castelo. E foi em Viana do Castelo, praticamente, que eu cresci. Porque os outros pontos todos foram coisas passageiras de vida de militares. Em Viana estabiltizei e estive dos seis anos até aos doze. Portanto, foi já um tempo... É daí que eu tenho as maiores recordações. E foi aí que eu tenho para mim mesma que começou a minha vida de geógrafa. Por uma razão muito simples. Eu era uma miúda relativamente agitada e relativamente atrevida. E seguia o meu padrinho, que era nessa altura um dos responsáveis da carta [militar] de 1:25 000. Isto passa-se, portanto, nos anos 1930. Era o começo da carta militar. Eu andava por ali, via, conhecia aqueles aparelhos todos. Espreitava e via as pranchetas, olhava para aquilo, ficava muito curiosa e achava que era muito engraçado.

Depois dos 12 anos vim para Lisboa. E em Lisboa concretizei a ideia de ser geógrafa. Com escândalo para quase toda a família. Porque, primeiro, não sabiam muito bem o que era ser geógrafo. Depois aquele negócio de metade do curso ser na Faculdade de Ciências e a outra metade na Faculdade de Letras parecia-lhes uma

coisa esquisita. Mas eu fui e pronto. Quando fiz a tese de licenciatura, foi o Professor Mariano Feio que me ajudou a ir para o norte, porque a minha intenção inicial era ficar no sul. Ele tinha feito uma excursão de estudo, um trabalho sobre as montanhas do norte e disse-me: "Olha, Raquel, é uma coisa estupenda para ti e eu acho que devias fazer isso em vez do Alentejo". Eu fiquei assim a olhar para ele, fui para o mapa, e achei que realmente era uma coisa interessante e muito mais divertida do que o Alentejo. E assim foi. Fiz o estudo sobre o Soajo [*Uma aldeia da montanha do Minho: O Soajo. Estudo de Geografia Humana, 1953*].

Ana Isabel Queiroz (AIQ): Essa formação que os geógrafos tinham decorria então em duas faculdades? Faculdade de Ciências, primeiro, e depois Faculdade de Letras. Isso refletiu-se na forma como aborda a disciplina?

RSB: Para mim a geografia é um todo. Não há geografia daqui e geografia de acolá. Há especialidades, mas um geógrafo tem que ter a globalidade. E a globalidade começa pela geografia física. A atmosfera, a física na terra, com os problemas todos de vulcanologia, petrografia, tudo isso. E depois disso vêm, primeiro, as flores, as árvores, essa coisa toda, e finalmente os bichos e os humanos. O homem é o último bicho e por isso é que é tão mau às vezes. Mas isto é um conjunto. Isto é que é a geografia. É evidente que uma pessoa não pode estudar o mundo inteiro de uma vez só. Vai estudando aos bocados, com coerência. E essa coerência, para mim, é a geografia.

MC: Falou da licenciatura em geografia em Lisboa. Lembra-se se o tema da floresta era uma questão que surgia nas discussões ou nas disciplinas?

RSB: Era. Até porque a minha tese de licenciatura, como referi, foi na área do Soajo. Mas a área do Soajo não é a aldeia do Soajo. É a área onde o Soajo está implantado. Portanto, é uma área de pinheiro. E depois alarguei à serra do Soajo, mais para leste, onde o pinheiro continuava. O pinheiro e a ervagem para o gado, o pasto. Pinheiro e pasto. Aliás, num conjunto que eu acho muito bonito e muito certo, que é a alternância da vida das pessoas, entre o pasto e as outras culturas, incluindo a serra. Porque a serra era uma parte integrante da vida das pessoas. Aproveitavam a rama, as raízes, as folhas. Isso tudo. Não só para o gado, como para eles próprios. Hoje já há muito gás nestas aldeias. Suponho mesmo que em todas há gás e eletricidade. Mas naquele tempo não havia nem uma coisa, nem outra. Portanto, a árvore era fundamental, não só para o solo, para o gado, como para as pessoas. Cujo lume, cujo fogo, era proveniente das árvores. E o pinheiro era a árvore principal ali.

Depois, já com a licenciatura feita, quando estudei a área de Mira [distrito de Coimbra], apanhei em pleno a reabilitação das areias, para a cultura do pinheiro e de

outras árvores, principalmente, mimosas, de que há não sei quantas variedades. A principal era aquela que tem as flores pequeninas e de um amarelo muito carregado. Andavam ranchos de mulheres a fazer a plantação. Viam-me a mim e era: “Esta é fiscal. Se não é fiscal, é engenheira”. E, portanto, eu nunca fui tratada como geógrafa, porque as pessoas também não sabiam o que era. Era a senhora engenheira. A senhora engenheira da floresta. E, portanto, a floresta andou sempre comigo. Primeiro por a ver, depois por perceber a importância que ela tinha, depois por a ver fazer, por a ver nascer. Isso foi uma coisa para mim muito importante.

Quanto aos fogos, sempre ouvi falar e vi fogos na floresta. Fogos em casas, fogos nas aldeias, fogos nos campos. E nas florestas. A primeira vez que eu me lembro foi um incêndio enorme no Monte de Santa Luzia. Por detrás do Monte de Santa Luzia, em Viana do Castelo. Toda a gente estava cheia de medo, porque é uma área muito ventosa, com um vento muito forte, vento de norte. O fogo começou a norte e temia-se que chegasse ao santuário, que tinha acabado de ser construído não havia muito tempo. E as pessoas estavam todas muito preocupadas. Até porque, uma vez chegando ao santuário, rapidamente estava na cidade. Esse foi o primeiro grande fogo a que eu assisti. Tão grande que os militares, artilharia de costa, entraram em ação. E foram eles que foram apagar o fogo. Porque, é claro, quem começou a tentar apagar o fogo, e não conseguiu, foram os bombeiros. Sou incapaz de lhe dizer o ano exato, mas foi entre os meus sete e os meus onze anos.

AIQ: No que diz respeito ao seu trabalho de campo no Soajo, na sua tese de licenciatura fala da substituição dos carvalhos e castanheiros por pinheiros, que atribuiu a três causas: os cortes excessivos, as doenças e os incêndios. Portanto, na serra do Soajo encontrou novamente os incêndios na floresta?

RSB: Sim. Não os vi diretamente, mas tive conhecimento deles.

AIQ: E quais eram as causas desses fogos?

RSB: Provavelmente, eram causados pelos guardadores do gado, que não é o mesmo que um pastor. Porque eles precisavam de acender o fogo para a sua própria alimentação. E muito facilmente se propaga o fogo. O pastor é um homem que está ao serviço do gado. Que o guarda, que vai com ele, que o acompanha. Por exemplo, os pastores da serra da Estrela, se calhar ainda existem, que são pastores do campo, da planície, e que durante o verão, ou começo da primavera, sobem à serra acompanhados pelo gado e pelos cães de guarda. Isto é para mim o pastor, que está ao serviço do gado. Desloca-se da sua casa, desloca-se da sua família, para acompanhar o gado. Para tratar do gado. Ali não, o guardador de gado é uma coisa diferente. São

sujeitos que estão na sua casa, que durante o inverno, na planície, guardam o gado nas casas, ou muito na proximidade das casas, e que assim que começa o bom tempo abrem as portas e o gado sobe a montanha. Tem o campo aberto e esse campo é das aldeias. E, portanto, o gado ia pastar, completamente à solta, e depois vinham-no buscar.

MC: Voltando a esse incêndio de Viana do Castelo, na sua infância, lembra-se do que é que ardeu?

RSB: Só me lembro de ver as labaredas. O que ardeu foram pinheiros. Que eu tivesse sabido, não foi outra coisa senão pinheiros.

MC: De quem eram esses pinheiros?

RSB: Boa pergunta. Grande parte dos pinheiros eram, como é que eu hei-de dizer, eram de pessoas, que sabiam: “Este pinheiro é meu, aquele é de outro”. E a outra parte eram da aldeia ou, muitas vezes, de grupos de aldeias. Vamos dizer, numa palavra de hoje, eram da comunidade. Isso era uma coisa muito importante, porque quando havia um fogo as pessoas iam ajudar. Não era esta ou aquela, não era o dono, era um grupo. Era um grupo de pessoas, um grupo de aldeãos, que iam acudir.

MC: A primeira edição de *Portugal: O Mediterrâneo e o Atlântico*, de Orlando Ribeiro, foi publicada em 1946, quando a Professora já estava na licenciatura. O relatório *Le Bas Alentejo et l’Algarve*, de Mariano Feio, é de 1949 e resulta de uma excursão organizada no âmbito do Congresso Internacional de Geografia decorrido em Lisboa em 1949, na qual a Professora também participou. Pensando no contexto do congresso e destas duas obras, consegue dar-nos uma ideia de qual era o lugar do fogo na geografia portuguesa na década de 1940?

RSB: O primeiro Congresso Internacional de Geografia após a II Guerra Mundial, que o Professor Orlando promoveu e organizou, foi uma vitória. Como é que eu intervenho? Intervenho porque não tinha o que fazer, a tese já estava feita, e eu disse: “Há alguma coisa que eu possa fazer? Posso fazer isto, posso fazer aquilo”. O que é certo é que todos me apanharam. E por esta razão eu interferi em todos os trabalhos de campo do congresso. E, portanto, isto foi a minha geografia de campo, dirigida pelos maiores professores que havia naquele momento. Não foi assim que eu comecei a ser feliz, mas foi assim que comecei a ser geógrafa [risos]. Sobre o fogo, eu posso estar completamente enganada, mas as pessoas estavam-se nas tintas para o fogo. Ninguém se preocupava com os incêndios. O fogo aparecia, porque aparecia. Mas ninguém se preocupava com a forma como aparecia, as consequências que trazia e isso tudo. Era uma coisa marginal.

MC: Muito bem. No entanto, o livro de Mariano Feio tem uma seção sobre a economia agrícola no sul, onde se descrevem práticas agrícolas que incluíam o fogo,

tanto atuais, à época, como anteriores. Para o Baixo Alentejo, por exemplo, são descritas as roças, que são práticas de corte e queima do mato prévias aos cultivos; as moreias, que são uns cordões de amontoados de mato cortado que são posteriormente queimados sobre os campos a semear; e ainda, nas zonas mais pobres das serras de Mértola e Serpa, queimadas de mato, sobre as quais se fazia uma sementeira única, sem lavra, e o campo era novamente abandonado durante 10 ou 20 anos. O que nós entendemos da leitura desta bibliografia é que os incêndios são pouco referidos, mas as práticas de fogo em contexto agrícola vão aparecendo em alguns trabalhos.

RSB: Teoricamente devem aparecer em todos. Porque era uma prática comum. E daí também haver alguns incêndios. Bastava que o vento fosse mais forte ou que uma faúlha fosse não sei para onde, com o terreno muito seco e com o restolho muito seco, pegava fogo muito rápido. E ainda falta uma coisa que é o fogo para carvão, especialmente das azinheiras. Isso eram os carvoeiros que, quando se fazia uma poda, eles apanhavam a poda, faziam uns montes relativamente grandes e pegavam fogo.

MC: Identificámos aqui esse primeiro incêndio da sua infância, em Viana do Castelo. Lembra-se, mais tarde, já em Lisboa, quando é que se voltou a deparar com incêndios de grande dimensão?

RSB: Na serra de Sintra. Que eu me lembre, assim de cor, houve dois grandes incêndios em Sintra.

MC: E recorda-se se esses incêndios tiveram alguma repercussão nas discussões dentro da geografia, ao nível da problematização do fogo?

RSB: Não. O fogo como acontecimento geográfico tinha muito pouca importância. Nunca vi os geógrafos muito interessados na questão do fogo.

MC: A partir de 1960 passou a lecionar no Instituto Superior de Estudos Ultramarinos. Durante essa década trabalhou sobretudo em territórios que eram então colónias portuguesas na Ásia e em África, nas missões promovidas pela Junta de Investigações do Ultramar. Pode falar-nos um pouco desses trabalhos fora de Portugal? E também se, de alguma forma, se cruzou com o tema dos usos agrícolas do fogo?

RSB: Os anos 60 foram para mim anos em que eu não vivi em Portugal. Ou melhor, em que eu não trabalhei geograficamente em Portugal e estive em contextos completamente diferentes. O fogo, claro, aparecia sistematicamente. Primeiro, porque era a maneira de as populações poderem trabalhar, de poderem alargar as áreas de cultivo. Derrubavam e pegavam fogo. Por outro lado, mesmo nas próprias culturas, era habitual pegar fogo, fazer grandes queimadas, à moda do

Alentejo. Quando as colheitas eram feitas e o gado já tinha comido aquilo que podia, a maior parte das vezes queimava-se. Nos sítios em que não se queimava, faziam-se cambões e virava-se a terra. Isto era especialmente importante na Guiné, nas terras de arroz. Acabava-se a colheita do arroz, às vezes punha-se algum gado, mas não muito, porque quem tinha arroz tinha pouco gado, e depois abriam-se esteiros e virava-se a terra. Aí as queimadas praticamente não se realizavam. Agora, nos outros terrenos era sistemático. Às vezes prolongavam-se, outras não. As queimadas mais estrondosas que vi foram na Índia. Era um espanto. Víamos aquelas árvores fantásticas, enormes, cair com o fogo. Era uma coisa maleficamente linda.

MC: Essas queimadas na Guiné-Bissau, consegue-nos explicar um pouco como é que eram feitas ou qual era o seu objetivo?

RSB: O objetivo era limpar os terrenos e, de certo modo, ser mais fácil revolver a terra para a nova colheita. Essencialmente para o cultivo de milho. Ou, noutras regiões, para espécies de exportação.

MC: Regressando a Portugal, nas recolhas que temos feito no Instituto Superior de Agronomia, percebemos que os incêndios florestais surgem como tema em trabalhos finais de curso nos anos 1950 e, decididamente, de 1960 em diante. Do que entendemos, este aparecimento do fogo na silvicultura deveu-se, em primeiro lugar, à expansão da floresta em Portugal...

RSB: Desculpe interrompê-lo. Não acha que foi uma época em que grande parte desses grandes incêndios foram provocados?

MC: Devolvo a pergunta à Professora. O que é que acha disso?

RSB: Uma vez mais, não tenho conhecimento científico a esse respeito. Mas, por conversas e por conhecimentos pessoais, alguns deles, sobretudo no centro do país, foram provocados deliberadamente. Mas isso já na década de 1970.

MC e AIQ: Tem alguma história em concreto de que se recorde? Nós encontramos, para a primeira metade da década de 1960, algumas circulares do Ministério do Interior que pediam a colaboração das autoridades locais na identificação das causas dos incêndios e que sugeriam usos políticos do fogo associados a reivindicações populares. Parece ser um período marcante na forma como o estado passou a olhar para o fogo.

RSB: Eu estava a pensar se era possível relacionar esses grandes fogos da década de 1960, que vocês encontraram, com a oposição à florestação e à constituição de grandes unidades, a que muito agricultor se opunha, e se opôs. Não deve ser impossível. É um período de certa agitação, é um período em que as pessoas se revoltam. É o começo das guerras em África. E isso foi muito problemático. É

muito possível que sim. Mas não tenho documentação. Foi o começo de uma transformação importante no nosso país e, como todas as mudanças importantes, causou atritos. E lembro-me, sou incapaz de dizer o ano, quando começou aquela grande fábrica de papel ali no sul da Beira, fez-se uma grande plantação de eucalipto, isso perturbou muita gente. E houve grandes incêndios nessa altura. Se não fosse diretamente contra a implantação da fábrica, era imediatamente anterior em resultado da extensão da área de eucalipto.

MC: Cara Professora, muito obrigado. Agradecemos, muito sinceramente, a possibilidade desta conversa, a informação que nos passou e a viva discussão em torno destes temas do fogo e dos incêndios em Portugal.

"Na minha infância não havia incêndios rurais"
Entrevista com João Filipe bugalho

Frederico Ágoas (FA): O Professor João Bugalho nasceu e cresceu no Alto Alentejo. Que memórias guarda dos usos do fogo na região? E da ocorrência de incêndios rurais?

João Filipe Bugalho (JFB): Na minha infância não havia incêndios rurais. Por um lado, havia uma agricultura mais intensa. Mas havia uma coisa muito normal, que eram as queimadas de outono. Lembro-me muito bem em miúdo, quando chegávamos ao fim de setembro, princípio de outubro, com as primeiras chuvas começavam as queimadas. E isso estava muito relacionado com a agricultura. Quer com a cultura dos cereais – naquela região era sobretudo o centeio, numa ou noutra terra melhor o trigo – quer, principalmente, com o pastoreio. Porque o fogo é um elemento fundamental para renovar a pastagem. Era um uso tradicional. A minha região de Castelo de Vide, embora ainda seja Alentejo, é já uma transição para a Beira, e, portanto, a propriedade é mais pequena do que de Portalegre para sul. E era habitual que os pequenos agricultores se entreajudassem. Reuniam-se e iam fazer o fogo numa determinada propriedade. Depois, no dia seguinte, os dessa propriedade iam ajudar os outros na propriedade ao lado. Naquela altura, as queimadas eram uma coisa normal [risos]. A gente via fumo e não alterava nada. Pensava-se: “mais uma queimada”. Com a saída das pessoas da região, a agricultura reduziu-se muito. Julgo que na minha infância Castelo de Vide teria entre 7000 a 8000 habitantes e agora tem entre 2000 e 3000. Quando se reduziu, ficou concentrada sobretudo nas melhores terras. Portanto, quando começam a aparecer a serra e os afloramentos rochosos, a agricultura deixa de se fazer. E o mato começa a crescer aí com intensidade.

Ao lado temos a serra de São Mamede, onde ainda há menos agricultura e onde houve arborizações feitas pelos Serviços Florestais e por particulares. E, portanto, o coberto da serra transformou-se muito. Há uma

transformação que eu acho que é muito importante do ponto de vista dos incêndios, que é o facto de o pinheiro-bravo ser muito fácil de cultivar. Basta deitar a semente ao chão e depois ele cresce. E isso tem levado a que, em algumas zonas, as manchas de pinheiro-bravo tenham alastrado. Por outro lado, muitas vezes as zonas de solos mais pobres estão cheias de esteva ou de outros matos, mas principalmente a esteva. É curioso, não sei se alguma vez experimentaram pôr um ramo de esteva ao lume. Custa muito a começar a arder, está ali que tempos, depois começa a libertar aquelas essências oleosas e, de repente, “explode”. Como, aliás, as oliveiras e os zambujeiros, que também explodem de repente. Estão ali que tempos a suportar o fogo e quando chega ao limite em que se incendiam os óleos, é mesmo um estouro.

FA: Mais tarde veio para Lisboa e fez a sua formação em silvicultura no Instituto Superior de Agronomia, na década de 1960. Qual foi a sua motivação inicial? E porquê o estudo do recenseamento de aves como tese de licenciatura?

JFB: Desde criança que sempre gostei muito de aves. E para as observar usava um processo pouco canónico, uma espingarda de pressão de ar. Quando abatia um pássaro, levava-o para casa, estudava-o, via a plumagem. E tive um professor muito importante, que era um pastor, analfabeto, que quando eu comecei a falar com ele, com uns 6 ou 7 anos, dizia que tinha 90 anos. Morreu quando eu tinha 20 e poucos anos... Era um homem muito interessante, desprendido e sábio. Foi ele que me começou a ensinar as aves. Naquela altura, em Portugal, praticamente não havia publicações sobre ornitologia. A única coisa que existia era o livro do rei D. Carlos, que cobre só uma parte das aves de Portugal. Mas era a única coisa que havia em português e que era, para mais, de difícil acesso. Depois começaram a aparecer os guias de aves em inglês. Em 1962, quando estava no segundo ano de agronomia, chumbei. Foi o ano das greves [estudantis] e foi o único chumbo da minha vida. Não tivemos aulas até maio, a época de exames foi mesmo uma catástrofe. A minha mãe tinha ficado viúva com 38 anos e eu tive uma certa vergonha. Então fui bater à porta dos Serviços Florestais e consegui lá emprego. O diretor dos serviços de caça, dentro dos Serviços Florestais, de quem depois me tornei muito amigo, o Engenheiro Saldanha Lopes, ele próprio interessava-se por aves. E isso foi o meu início nos Serviços Florestais, onde montei um sistema de avaliação das migrações das aves com fichas perfuradas.

Depois entusiasmei-me pelo tema e tive a ideia, que toda a gente achava muito fantasista, de fazer a minha tese sobre censos de aves. O meu professor era o Professor Baeta Neves. Tinha vários, mas o Professor Baeta Neves entusiasmava-se muito com o meu próprio entusiasmo pela conservação da natureza e pela ornitologia. A ornitologia era uma coisa que ele não dominava e achava

interessante que eu me dedicasse a um tema que ele abordava pouco. Mas ele, ao princípio, achou estranho. Lembro-me muito bem, acho que estava disposto a dizer-me que não. Mas fiz esse trabalho, que ele depois avaliou com 19 valores. E eu fiquei muito “babado”. Pronto, é um pouco o meu início.

FA: Tendo em conta esse percurso inicial, como é que o fogo surge como objeto de interesse científico?

JFB: O fogo surge de uma maneira muito diferente. Nos Serviços Florestais eu era normalmente incumbido de contactar as pessoas de língua inglesa que vinham a Portugal. O que eu gostava imenso, porque através dessa função conheci uma data de gente interessante. O primeiro de quem fiquei amigo e que acompanhei durante mais de um mês no norte de Portugal foi o Professor David Klein, que era professor de ecologia na Universidade de Fairbanks.² Um dia estávamos, salvo erro, no Soajo. Uma tarde de setembro, daquelas muito bonitas com um sol poente. E estávamos a observar as vacas, as pessoas no campo, e havia uma queimada. Eu voltei-me para o Klein e disse-lhe: “Sabe, só é pena é que eles queimem tanto”. Ele olhou para mim e disse: “Tanto? Achas que se eles queimassem demais sobreviviam?” Na cabeça de um silvicultor português daquela época foi uma surpresa. O fogo era o inimigo número um dos silvicultores e só se falava do fogo numa perspectiva de incêndio. Ele depois perguntou-me se alguma vez tinha ouvido falar no Komarek e que eu tinha que o conhecer. Passado um mês, recebi um telegrama do Ed Komarek³, a dizer que ia passar em voo da Índia para a América, mas que o Klein lhe tinha falado e ele tinha pedido para parar em Lisboa para me conhecer. Então fui ter com ele ao hotel. Nunca era ele sozinho, era ele e a Betty, o casal Komarek. Demos a primeira volta pelo país e aí acabou por nascer uma grande amizade. E eu aprendi imenso, porque eram duas pessoas fantásticas, humana e cientificamente.

FA: Pode então dizer-se que o seu interesse pelo fogo surge de uma maneira circunstancial. Quem é que se ocupava de incêndios no Instituto Superior de Agronomia?

JFB: No curso de agronomia, ninguém. Na cadeira dedicada à silvicultura falava-se vagamente que um dos problemas das florestas eram os incêndios. O Professor Azevedo Gomes, que era um enormíssimo professor, não me lembro de o ter ouvido referir-se a incêndios. O Professor Baeta Neves, que era mais ligado à Proteção da Natureza, preocupou-se mais com os incêndios. Aliás, escreveu várias coisas sobre incêndios. Mas o tema do fogo como elemento natural, em agronomia, não era coisa

que se conhecesse. Eu estava em agronomia, chumbei em 1962 e mudei depois para o curso de silvicultura. Durante os três anos até 1965, quando me formei, o tema dos incêndios não foi especialmente discutido.

Miguel Carmo (MC): Na nossa investigação cruzámo-nos com o trabalho do Engenheiro Bello Dias durante a década de 1950, da Direcção Geral de Serviços Florestais e Aquícolas, conheceu-o?

JFB: O Bello Dias foi meu colega. Era mais velho que eu uns 12 anos, por aí. E era a pessoa nos Serviços Florestais que estava encarregue de fazer os relatórios dos incêndios, de recolha das áreas ardidas. Era ele que compilava todos os dados que havia sobre os incêndios em Portugal. Portanto, a visão dos Serviços, era muito a perspectiva do fogo como elemento inimigo do [engenheiro] florestal. A chegada do Komarek foi, na minha cabeça, uma revolução.

MC: E como é que essa geração mais antiga de engenheiros silvicultores lidou com as ideias do Komarek?

JFB: Eu acho que aquela geração mais velha do que eu ficou muito de pé atrás. Olhavam para as ideias do Komarek com uma certa distância. Dos mais velhos não foram muitos os que aderiram. Acho que a ideia do incêndio infernal lhes estava de tal maneira incutida que tiveram dificuldade em digerir as novas ideias. Dos mais velhos, houve um que aderiu imediatamente, que foi o Joaquim Moreira da Silva, que nessa altura era chefe da circunscrição do Porto. Achou logo que o Komarek trazia uma lufada de ar fresco e uma ideia completamente nova sobre a floresta. E também o Lino Teixeira, que era administrador em Arganil, que, não com tanto entusiasmo como o Moreira da Silva, achou que as ideias do Komarek davam que pensar e que havia que reformular a visão que havia nos Serviços Florestais relativamente aos incêndios.

MC: Lembra-se se houve algum seminário, algum encontro, onde outras pessoas conheceram o Komarek?

JFB: Sim, sim. Sempre que cá tínhamos estrangeiros, achava que era muito egoísmo andar só eu com eles. De maneira que, como estava nos Serviços Florestais e no Instituto de Agronomia, tinha normalmente facilidade de reunir pessoas e pô-las a falar. E fiz isso com o Komarek, sempre que ele veio a Portugal. E com o David Klein. Normalmente conseguia que eles falassem no Instituto de Agronomia e, sempre que possível, nos Serviços Florestais.

Inês Gomes (IG): Antes da vinda do Komarek, como é que os silvicultores e os Serviços Florestais lidavam com o uso do fogo pelas populações?

JFB: Eu diria mal. Mas se calhar estou a ser um bocadinho injusto. Se ler o livro do Aquilino Ribeiro, *Quando os Lobos Uivam*, aquilo que a opinião pública retirou desse livro é que a população tinha os silvicultores como grandes inimigos. Não é verdade. No livro há um silvicultor que

² David Robert Klein (1927-2020), ecologista estadunidense da Universidade de Alaska Fairbanks.

³ Edwin V. Komarek (1909-1995) foi um biólogo e ecologista que desempenhou um papel central na fundação da Estação de Investigação de Tall Timbers, na Flórida. É também reconhecido como um dos principais defensores dos benefícios ecológicos do fogo.

é amigo das populações e há outro que é mal visto pelas populações. E isso era a realidade. Havia colegas meus, talvez até porque tivessem raízes mais perto da terra, que tinham muito boa ligação com os locais. Havia outros que tomaram uma atitude, que eu acho que foi infeliz, que era uma atitude repressiva. A primeira coisa que faziam quando chegavam às suas circunscrições era falar com a Guarda Nacional Republicana e dizer que os fogos estavam proibidos. Houve sítios onde a chegada de alguns silvicultores criou atritos locais. E, criando atritos, aumentam os fogos. Mas acho que não foi a regra. Penso que não terá sido a regra. Mas sei que havia muitos colegas que entendiam a necessidade que as pessoas tinham de usar o fogo e que tentavam que as coisas se fizessem sem que prejudicassem as arborizações.

FA: Nas pesquisas que realizámos no Instituto Superior de Agronomia encontrámos três teses de licenciatura, do final da década de 1970, que abordam o fogo como ferramenta para melhorar o habitat cinegético, melhorar as pastagens e prevenir grandes incêndios. Parece-lhe que estas teses poderão ser um reflexo da influência dessas visitas de Edwin e Betty Komarek a Portugal?

JFB: Penso que sim. O Komarek era de uma inteligência fulgurante. Era uma pessoa que entusiasmava quem o ouvia. Há uma coisa que é certa e que se deve a ele, que é a viragem do fogo como inimigo para o fogo como elemento ecológico presente que é indispensável considerar. Tenho ideia de que uma das pessoas que foi mais tocada pelo Komarek foi o Francisco Castro Rego. E isso influencia logo Vila Real [UTAD]. Também houve pessoas em Coimbra e lembro-me até que se fizeram ensaios de fogo controlado na Lousã. Mas não sei quem lá estava. A minha memória é fraca.

FA: Mas, portanto, não seria abusivo dizer que a constituição desse novo campo de estudos entre os silvicultores portugueses acaba por estar associada a esta mudança de perspetiva?

JFB: Sim. E claramente ligada às visitas quer do David Klein, quer do Komarek. O David Klein com uma abordagem mais geral, mas muito interessante, uma visão ecológica, que não existia muito entre os colegas silvicultores. Havia mais a visão da arborização, da plantação de árvores. A visão da integração num panorama ecológico não era tão frequente. E acho que quer as visitas do Klein e do Komarek, quer a influência do Professor Baeta Neves, foram muito importantes nesse sentido. E também do Professor Azevedo Gomes.

IG: E o Engenheiro Lagrifa Mendes?

JFB: O Lagrifa tem um papel determinante. Foi o responsável pela criação do Parque Natural do Gerês, que é inaugurado em 1970, no Ano Europeu da Conservação da Natureza. O Lagrifa foi o primeiro diretor de um parque natural em Portugal. E é o Lagrifa que traz a Portugal o

David Klein. Porque se tinham conhecido num encontro da FAO [Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura] e o Lagrifa tinha ficado muito impressionado com as ideias dele, por isso convidou-o para vir cá. O Lagrifa, quando vinha aos Serviços Florestais, os colegas estavam todos em tarefas burocráticas, mas eu estava agarrado aos livros de ornitologia. E ele achava muita graça, chamava-me “meu cientistazinho”. E vinha ver o que é que eu estava a fazer. Quando o Klein chegou ao Gerês, ele telefonou ao meu diretor de serviço, o Saldanha Lopes, e disse “manda-me aí o meu cientistazinho para ele servir de intérprete”. E eu fui para o Gerês servir de intérprete ao Klein.

IG: Há pouco falou do Joaquim Moreira da Silva. Numa das suas conferências, em 1981, intitulada “Alguns aspetos ecológicos e sociais relacionados com o fogo”, ele fala muito da importância do conhecimento local e da necessidade de se realizarem inquéritos para recuperar o conhecimento tradicional do fogo que se estava a perder. Tem ideia se esses inquéritos alguma vez foram feitos?

JFB: Não sei. Isso quem poderá dizer é a filha do Moreira da Silva. Sei que o Komarek insistia muito nisso. Ele dizia que “os mais velhos de certeza que sabem, vão aprender com eles como é que devem fazer”. É uma coisa que o Komarek chamava muito a atenção. Ele dizia: “Eu sei como é que se faz na minha terra. Mas a vossa vegetação é diferente. Vocês têm que aprender a fazer com a vossa vegetação e com as vossas épocas do ano”. Por exemplo, eu fiz queimadas com ele na Georgia [EUA] e, em março, assim que a chuva acabava e começava a primavera, eles faziam as queimadas. Mas ele aqui aconselhava-nos a fazer sobretudo as queimadas de outono. Porque aqui as queimadas da primavera, se se fazem fora da época, matam as plantas que já estão a nascer. Em Portugal, as queimadas da primavera podem fazer rarear várias espécies vegetais. Ele aconselhava-nos a queimar em outubro.

FA: No programa televisivo que coordenou, na RTP, na década de 1990 [*Matas, Bosques e Brenhas: Florestas Portuguesas*], refere que apesar desta mudança de sensibilidades, nunca se impôs verdadeiramente a prática do fogo controlado como técnica generalizada nos Serviços Florestais. Porquê?

JFB: Tenho uma experiência um bocadinho anedótica com o meu colega Lino Teixeira, que era administrador florestal em Arganil. Como disse anteriormente, quando o Komarek ou o Klein vinham, eu tentava juntá-los com mais pessoas. Um dia reunimos várias pessoas em Mafra, entre as quais estava o Lino Teixeira, e fomos todos para o campo. E eu pedi à Betty para nos mostrar como é que se usava a *drip torch*. Estava a chover, mas eu pedi para pôr só um bocadinho para eles verem. Fez-se uma linha de fogo. Claro que ardeu muito pouquinho. Foi tudo para a frente e o Lino Teixeira ficou para trás. Estava

a chover, mas ficaram umas chamas e o Lino Teixeira estava com medo de fazer um incêndio e foi apagar. Não fosse Mafra arder. De facto, a conceção que os Serviços Florestais tinham do fogo era assim uma coisa...

FA: Verdadeiramente, nunca se impôs o uso do fogo controlado.

JFB: Eu acho que foi sobretudo o Moreira da Silva que, de facto, fez uso do fogo controlado. Nós fizemos em Mafra. Usei, sempre que pude, fogo em Mafra. Até fui chamado ao diretor-geral porque tinham telefonado da Guarda Republicana de Sintra para os Serviços Florestais, a dizer que estava um engenheiro silvicultor a fazer fogo em Mafra.

MC: Consegue descrever o fogo controlado que faziam em Mafra? Como é era o procedimento?

JFB: Em Mafra havia um guarda-florestal, que era o chefe dos guardas na tapada, o mestre Oliveira. E um dia cheguei ao pé dele e disse que ia fazer um fogo. Ele respondeu-me: “Dentro da tapada? Não me desgrace!” Não me esqueço da frase dele. “Não me desgrace!” Eu disse-lhe que ia ver que até era bom. E cheguei à conclusão, experimentando, que na tapada de Mafra, no final de setembro, mesmo antes de chover, as encostas viradas a norte, ou viradas ao mar, é extremamente difícil pô-las a arder. O que para o mestre Oliveira foi uma surpresa. Ele, de facto, ficou surpreendido, porque em alguns sítios não conseguíamos fazer queimadas. Portanto, o nosso bombeiro é a própria geografia. E isso é muito difícil de meter na cabeça das pessoas. As pessoas do campo sabem. Mas os silvicultores não sabem.

MC: E qual era a opinião do Klein e do Komarek sobre os projetos de arborização portugueses? Tinham um discurso sobre isso?

JFB: Eles achavam um disparate as plantações maciças de pinheiro-bravo. Achavam que isso era a origem dos incêndios. De facto, em sítios onde o fogo ainda é utilizado como ferramenta agrícola, como é que as pessoas do campo se libertam dos silvados? Mesmo que sejam os silvados agarrados a um muro. Queimando. Portanto, o fogo é tão utilizado como a enxada ou como o machado na maior parte do nosso território. Naquela altura era, hoje menos. O fogo estava sempre presente. Se a silva está encostada a uma mancha florestal, que são mil hectares seguidos de pinheiro, o culpado do grande incêndio é o homem que vai tirar as silvas da horta? Ou é quem lá pôs mil hectares de pinhal?

FA: Na mesma série na RTP referia ainda a questão fundiária e o abandono rural como aspetos centrais no aumento dos grandes incêndios. Ainda hoje considera que são causas importantes?

JFB: Eu hoje estou menos informado do que estava naquela época. Mas julgo que alguns problemas, provavelmente, agravaram-se. Porque o grande problema a norte do Tejo é o minifúndio. As pessoas

não têm rendimento do minifúndio, emigram, e fica uma terra para ali. Às vezes, quando os filhos voltam, é muito frequente não saberem que a terra lhes pertence. Isto é frequente nas Beiras e em algumas zonas de Trás-os-Montes, do Minho. E o que é que acontece aí? Se há pinheiros ao lado, nascem pinheiros lá. Mesmo não havendo pinheiros, nascem sempre matos e esteva. Portanto, as condições para arder são gravíssimas.

MC: Voltando à sua infância em Castelo de Vide, acompanhou alguma queimada nessa altura? Viu como é que se fazia? Qual era a lógica subjacente?

JFB: Acompanhei algumas, relativamente de perto. Na minha juventude havia mais gado e havia mais agricultura do que há hoje em dia. Mas, apesar de tudo, havia sempre uns sítios com muitos afloramentos rochosos, onde os solos são fracos. E a tendência nesses sítios é para crescer o mato. O mato pode ser relativamente controlado até aos 2, 3 ou 4 anos. A partir daí o gado deixa de o conseguir controlar e, portanto, é a altura em que as pessoas utilizam o fogo. E é relativamente fácil. Sobretudo, naquelas zonas em que as áreas de mato são circundadas por agricultura, aí é relativamente fácil fazer queimadas no outono. As pessoas em Castelo de Vide não queimam na primavera. Deve haver um conhecimento qualquer, transmitido de geração em geração. Mas ali nunca se queima na primavera. E, de facto, os cientistas confirmam que as queimadas na primavera ali diminuem a variedade da vegetação. Portanto, é um conhecimento ancestral. Aconselhava-vos a visitarem zonas onde se façam queimadas no outono e a visitarem-nas uma ou duas semanas depois. Sobretudo depois das primeiras chuvas. Porque a riqueza da vegetação que vem a seguir ao fogo é, de facto, impressionante. Para já, a primeira consequência é que, com a queima, as cinzas todas caem no solo e todos os nutrientes que estavam retidos na vegetação, assim que vêm as primeiras chuvas, são incorporados no solo. É uma fertilização. O fertilizante mais antigo que os gregos usavam já eram as cinzas. As cinzas da vegetação vão enriquecer o solo. Por outro lado, há uma alteração completa dos cobertos, porque o que estava à sombra passa a receber luz. Outra alteração é que tudo quanto tinha sementes, deixou-as cair no solo. Portanto, a seguir a um fogo, é muito interessante olhar para a terra e ver o que está a acontecer. Os primeiros a responder normalmente são os trevos. Começa a aparecer trevo em todo o lado. Depois vêm as gramíneas. O que, aliás, é muito interessante, porque essas gramíneas são úteis para uma queimada futura, pois, se não se deixar o mato chegar muito alto, as gramíneas que resultaram do fogo anterior são matéria combustível suficiente para fazer progredir uma queimada ao fim de três ou quatro anos.

FA: Para terminar, quero agradecer-lhe, em nome desta equipa, da Inês, do Miguel e da Luísa Homem, a forma simpática e muito generosa como nos recebeu.

JFB: Eu é que vos agradeço, porque acho que é um tema muito importante para levar ao público. Acho que é importante conseguir esta mudança de que o fogo é um elemento da nossa ecologia, que o fogo está sempre presente entre nós e existirá sempre. E mais, que seremos completamente estúpidos se não o considerarmos como um aliado. Temos que o considerar como um aliado. Como alguém diz: como inimigo, é o pior dos inimigos. Mas como aliado, em certas circunstâncias, é o melhor dos aliados. Encarar o fogo como um elemento que faz parte da ecologia, que faz parte do sistema natural e que nós podemos utilizar em nosso benefício, desde que tenhamos inteligência para isso, acho fundamental.

**"A economia de montanha vivia sobretudo do pastoreio"
Entrevista com João Castro Caldas**

Miguel Carmo (MC): Bom dia. O primeiro grupo de questão, a que chamámos notas biográficas, tem por objetivo recuar à sua infância e juventude e perceber se nessa fase da sua vida houve algum tipo de relação com o fogo, nomeadamente em Arcos de Valdevez que identifica como as suas raízes nas *Crônicas em Terras de Valdevez* [2021].

João Castro Caldas (JCC): Eu nasci em Lisboa, em 1946, e vivi em Lisboa a vida toda. Mas vivo nos Arcos de Valdevez há dez anos e a família do lado do meu pai era toda de lá. São raízes fortes e também raízes associadas às férias grandes de verão, que incluíam garantidamente os meses de Julho, Agosto e Setembro. Do lado materno, íamos para a Lousã, que também tem muito que se lhe diga em matéria de fogos. Era um mês na Lousã, um mês em Arcos de Valdevez e um mês na praia. Durante a minha vida só houve um verão que eu não fui aos Arcos. A partir de 1951, 1952, quando começo a ter consciência, lembro-me das queimadas, que se viam ao longe nas serras. Via-se arder e o fumo, mas ficava tudo pacífico na vila, não havia toques para bombeiros, nem coisa nenhuma. Era um assunto dos montanheses, que geriam o fogo e a queimada que tinham feito. Sobretudo, nunca havia chamada de bombeiros. E não tenho nenhuma memória de ver um fogo urbano, nunca me aconteceu.

Na vila da Lousã, no sopé da serra, viam-se as aldeias lá em cima, espalhadas pela serra. Uma memória que guardo da infância é a iluminação a chegar às aldeias e quando chegou à última já não havia nenhum habitante. Já tinham fugido todos. Esses montanheses da Lousã tinham uma economia assente no fabrico de carvão, faziam e vendiam carvão. Portanto, os fogos eram comuns e nunca ninguém dizia: "Olha um fogo". Diziam: "Olha uma queimada".

MCC: Essas queimadas tinham um momento do ano em que ocorriam?

JCC: O momento do ano era quando eu estava de férias, o resto do tempo não sei [risos]. A principal função destas queimadas era a regeneração dos pastos, quando ainda havia economias de pastagem na serra. Nos Arcos, que é o que eu conheço melhor, a economia de montanha vivia sobretudo do pastoreio do gado. O milho dificilmente chegava lá acima, o cereal dominante devia ser o centeio e o vinho também parava a determinada cota [de altitude]. Dentro das casas das pessoas, quando ainda não havia botijas de gás, ardiam os matos e lenhas da serra, quer para produzir calor, quer para cozinhar. Além disso, os matos eram usados para fazer os estrumes. Portanto, toda a carga combustível era consumida pelas comunidades agrícolas, montanhesas e pastoris. Havia muito pouco para arder.

A florestação ia avançando, mas relativamente devagar. Aliás, contaram-me que o Engenheiro Silvicultor responsável pela arborização tinha instruções para arborizar até uma determinada cota e depois ia ter com as populações para dialogar e dizia sempre que era mais para baixo, que eram as instruções de Lisboa que tinha recebido e depois em discussão chegavam à cota obrigatória com as populações agradecidíssimas com o Sr. Engenheiro que tinha enganado as pessoas de Lisboa.

MC: A arborização que refere começou quando?

JCC: O que está escrito é que começa a partir dos anos 1930, depois há o *Reconhecimento dos Baldios do Continente* [1939]. Portanto, na década de 1950 estava a caminhar essa florestação. Mas não tem nada a ver com a paisagem que se vê hoje, que é muito mais desordenada. Na verdade, hoje no verão parece-me perigoso subir lá acima, à zona da serra, pois há uma carga combustível brutal que está ali à espera de uma faísca para arder. O que as populações consumiam era imenso, tinha de ser. Aquilo era densamente povoado, no inverno tinham que se aquecer e todos os dias tinham de cozinhar e o gás ainda não tinha lá chegado.

MC: Em que ano começou a licenciatura em agronomia?

JCC: Em 1965.

Frederico Ágoas (FA): Lembra-se se, por essa altura, estes usos tradicionais do fogo que tem vindo a referir eram discutidos no âmbito da agronomia?

JCC: Vocês dificilmente imaginarão o que era o ensino no Instituto Superior de Agronomia em 1965. A maioria dos mestres dava as aulas a ler as sebatas que tinham sido preparadas por eles. O ensino era muito pouco estimulante no Instituto. Guardo boa memória dos professores António Manuel Azevedo Gomes e António Monteiro Alves na cadeira de Silvicultura Geral, que era a única sobre silvicultura no curso de agronomia. Mas não tenho ideia de que se falasse de fogo, nem na Silvicultura Geral, nem na cadeira de Agricultura lecionada por Ário de Azevedo. Não recordo.

MC: O professor dedicou uma parte importante do seu trabalho aos regimes de parceria nas explorações do sul [e.g. *Terra e trabalho: parcerias e parceiros*, 2001], onde identifica o papel decisivo dos seareiros nas arroteias e desbravamento de terras com recurso ao fogo. Refere, por exemplo, que roçavam e queimavam o mato que vendiam depois de fazerem carvão.

JCC: É evidente que as arroteias da Campanha do Trigo foram todas feitas com fogo. E com base nos seareiros.

MC: E depois da arroteia, dos terrenos estarem libertos dessa biomassa combustível, tem ideia se o fogo permaneceu como ferramenta neste tipo de exploração?

JCC: Não tenho conhecimento direto, mas tenho conhecimento do que aparecia escrito nas monografias. O fogo era importante para regenerar. Há escritos sobre isso, mas não tenho essa vivência.

FA: Na década de 1960 começam a aparecer alguns incêndios de relevo, que despertam a atenção das autoridades públicas. Depois, na década de 1970, identificámos algumas teses de licenciatura em silvicultura, no Instituto Superior de Agronomia, que procuravam recuperar os usos tradicionais do fogo como ferramenta de gestão silvícola e cinegética. Lembra-se se houve algum reflexo desta mudança no campo da agronomia?

JCC: Não me lembro. Penso que seria uma conversa sobretudo entre silvicultores. O engenheiro silvicultor tinha um poder quase militar localmente, os guardas florestais faziam continência ao engenheiro silvicultor. Portanto, eram eles, de facto, os guardiões do fogo. Havia uma implantação efetiva dos Serviços Florestais no terreno. Ainda não eram os bombeiros. Depois, enquanto houve populações no campo, os fogos eram também e sobretudo um problema das populações.

FA: Socorrendo-se da sua experiência no Instituto e das suas vivências na Lousã e em Arcos de Valdevez, zonas que foram também arborizadas, tem memória de conflitos entre as populações e os Serviços Florestais em torno do avanço da florestação estatal?

JCC: De ouvir contar e particularmente de um engenheiro silvicultor dos Arcos que era um contador de histórias magnífico. Passei muito com ele pela serra. Do que me lembro, quando começou a chegar à opinião pública o problema dos fogos, o que as pessoas perguntavam imediatamente era: “Quem é que pegou fogo a isto?” Não tendo noção que a carga combustível era agora muito maior, assim como o risco de incêndio. O primeiro grande incêndio que marcou muito a opinião pública foi o da serra de Sintra [em 1966]. Porque era a serra de Sintra, ao lado de Lisboa, e morreram militares no combate. Mas depois só com o 25 de Abril [de 1974] é que me lembro de se começar a falar muito

dos incêndios. No verão quente de 1975, em que foram incendiadas sedes de partidos políticos, era difícil que os incêndios florestais não fossem também associados à luta política. Qualquer coisa que acontecesse era associada ao confronto político. Aliás, a questão foi muito politizada. Uns diziam que eram os comunistas, outros diziam que eram os fascistas, o fogo posto era a questão central. Depois houve a fase de acusar os madeireiros, que supostamente poriam fogo para comprar a madeira queimada.

FA: Não se poderá dizer que os fogos da década de 1950 e 1960, na luta em torno dos baldios, era também politizada?

JC: Eu acho que não era politizado, era sentido pelas populações. Mas, como se sabe, tudo o que era político tinha a PIDE atrás. Havia, naturalmente, técnicos que eram politizados, mas nas populações era um sentir comunitário das alterações impostas. Era sentido na pele que aquilo não dava: “Se põem árvores, não há rebanho, se não há rebanho, para onde é que eu vou?” Os rebanhos e as folhas de cultura, que normalmente também existiam nos baldios.

MC: Pensando que uma das formas de olhar para o problema dos incêndios é olhar para a transformação agrária e rural que mudou a face do interior do país, quais poderão ser hoje os contributos das ciências agronómicas?

JCC: Acho que há aí duas vertentes. Essa que já foi referida do abandono, das pessoas terem ido embora e terem deixado de utilizar a matéria combustível que usavam anteriormente. E a outra são as alterações climáticas, que com certeza também devem ter influência no regime de incêndios. O que eu acho é que sem pessoas a viver no território é difícil gerir o território. Sem gente é muito difícil um território defender-se dos incêndios, a não ser por técnicas florestais. Tenho conhecimento de áreas florestais nos Arcos em que um rebanho de cabras é extremamente eficaz.

FA: Quando se refere o êxodo rural português, normalmente fala-se de um processo incontornável que acompanhou a modernização do país e da própria Europa, mas não poderíamos dizer também, tendo em conta o conflito entre o povoamento florestal do Estado Novo e as populações serranas que uma parte dessas populações saiu porque foi expulsa?

JCC: Foi expulsa, efetivamente. Mas essa expulsão acelerou um processo, porque as pessoas acabariam por sair se tivessem essa oportunidade. Porque eram vidas muito duras e muito difíceis. Fala-se sempre muito dos assalariados rurais alentejanos, dos temporários, em que há descrições de aldeias onde a população toda, durante o verão, estava deitada com água ao lado e não se mexia para não gastar energias, devido à fome. Mas no norte e no centro não era diferente, até podia ser pior. O que

sobrava de uma agricultura familiar no norte não era nada. Era tudo consumido. Era muito difícil. Portanto, essa migração foi por impossibilidade de continuar com esses modos de vida. Hoje em dia, quando se fala muito de regresso a sistemas de produção antigos, temos que considerar que aquilo era extremamente pesado. Portanto, de facto, o avanço da floresta sobre os baldios expulsou, mas expulsou uma população que estava disposta a abandonar o campo logo que pudesse.

MC: Essa tensão entre fugir e ser expulso é bastante interessante do ponto de vista da análise histórica. Outra forma de esclarecer o êxodo rural em Portugal seria comparar com outros contextos. No contexto europeu houve, seguramente, um esvaziamento e uma transformação agrária profunda. Mas há países que tiveram êxodos muito marcados e outros países que não. É o caso de França. Será que esta comparação nos traz alguns esclarecimentos?

JCC: A propósito disso, vou-lhes contar uma história. No final do liceu, fui numa excursão a França. E quando éramos recebidos nas aldeias e eu via o que era um *paysan* francês, pensava em Arcos de Valdevez e via a diferença. A memória que eu tenho da infância, sobretudo dos caseiros e da pequena agricultura familiar no norte, só encontrei, mais tarde, quando tive um projeto na China e conheci a China profunda. Aí encontrei aldeias que eram os Arcos da minha infância. Aqueles camponeses também estavam a trabalhar no limite da subsistência. É uma realidade que não tem nada a ver com o camponês francês.

FA: Pegando nesse arco cronológico de mais de cinquenta anos, e tendo em conta essa imagem que nos deu do Minho de meados do século XX, que diferenças é que encontrou mais recentemente quando regressou ao *Inquérito à Habitação Rural*, com Fernando Oliveira Baptista e Célia Leite Ferreira [*As Casas e as Famílias: Entre Douro e Minho depois do Inquérito Rural à Habitação Rural (1943)*, 2023]?

JCC: O *Inquérito à Habitação Rural* foi publicado em 1943, os inquéritos devem ter sido feitos em 1939, 1940. O guião do inquérito, do Eduardo A. Lima Basto, era uma coisa com um detalhe enorme, chegava aos talheres, ficava-se com um retrato completo da família. Nós conseguimos, através da Célia, que teve um papel de verdadeira detetive, localizar as casas que tinham sido inquiridas e recuperar a história das pessoas que sucederam nessas casas. O resultado foi que, se para o Lima Basto o inquérito procurava ser um retrato da maneira como se vive e, sobretudo, como se morre no campo em Portugal, este livro tornou-se num retrato de como mudou. Porque só em dois casos é que se manteve a atividade agrícola. De resto, há de tudo. Emigração, utilização da casa para turismo de habitação, uma casa que foi reconstruída e tinha um Porsche à porta. É um retrato da mudança. Não aparecem é fogos [risos].

FA: Agradecemos muito esta oportunidade. A memória viva dos usos tradicionais do fogo, no norte e no centro, assim como a sua experiência académica e científica sobre a transformação agrária no mundo rural é muito relevante para entender a história do fogo em Portugal.

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem o interesse e participação dos professores Raquel Soeiro de Brito, João Filipe Bugalho e João Castro Caldas, a quem agradecemos a possibilidade destas entrevistas. A preparação da série de entrevistas contou com a colaboração das restantes investigadoras do projeto FIREUSES, Ana Isabel Queiroz, Joana Sousa, Marta Nunes Silva e Bárbara Direito. Gostaríamos de deixar um agradecimento especial à realizadora Luísa Homem, que filmou e editou as três entrevistas que podem ser vistas em versão integral na página do projeto (<https://projetos.dhlab.fcsh.unl.pt/s/fireuses/page/entrevistas>). O projeto FIREUSES recebeu financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, FCT, I.P. (PTDC/HAR-HIS/4425/2021) durante o período 2022-2025.



VADEMECUM DE MEDICINA DE CATÁSTROFE E SITUAÇÕES SANITÁRIAS EXCEPCIONAIS (SSE): POSTOS MÉDICOS AVANÇADOS

Romero Bandeira

Coordenador do Grupo de Medicina de Catástrofe da RISCOS (MD PhD) (Portugal)

SFMC-Société Française de Médecine de Catastrophe, SEMSP-Société Européenne de Médecine des Sapeurs-Pompiers

ORCID 0000-0001-5444-4297 hmedcat@gmail.com

O VADEMECUM de Medicina de Catástrofe editado pela Société Française de Médecine de Catastrophe (SFMC), é um guia notável no âmbito da Medicina de Catástrofe. A sua 2ª edição, consta de 127 páginas distribuídas por 50 capítulos conforme o plano da obra que se explana em anexo, devidamente tratados por especialistas da SFMC. Traduzido em várias línguas, a Associação RISCOS encarregou-se da edição Portuguesa que se apresentará ao público em formato de papel e digital, ao mais breve, Se Deus Quiser.

O capítulo aqui vertido como exemplo, atinente aos Postos Médicos Avançados (PMA) elucida-nos com clareza meridiana acerca da relevância do PMA. A título de exemplo, analisemos:

- No dia 3 de setembro de 2025 aconteceu o acidente do Elevador da Glória em Lisboa que *a priori* teria causado 15 mortos e 18 feridos, mas *a posteriori* os números fixaram-se em 16 mortos e 23 feridos. Inclusive e infelizmente neste *statu quo*, um cidadão alemão foi incluído entre as vítimas mortais, porém, estava vivo e em observação hospitalar. Ora, a traçabilidade das vítimas não deve falhar. O PMA não é a “tenda amarela ou cinzenta” padronizada, montada e funcionando sempre do mesmo modo. Como dizem alguns autores, não é um fim em si mesmo, mas sim uma estrutura montada segundo conceitos estratégicos bem definidos e que se revelem taticamente eficientes, no terreno;
- No caso de um Acidente Catastrófico de Efeitos Limitados (ACEL), segundo a doutrina francesa, o PMA deve ser montado no terreno, mas como em tudo há exceções, por exemplo nunca pode servir para atrasar a evacuação das vítimas. No caso vertente, no momento da tragédia, não se sabiam entre outras coisas: o número de vítimas, como iriam decorrer os trabalhos de desencarceramento, se os hospitais de retaguarda estavam todos no mesmo nível de prontidão, o local não era inseguro, entre outras variáveis.

O PMA é um conceito estratégico bem definido que se deve consubstanciar na prática por uma estrutura tática polivalente e multiforme. Torna-se consensual que “o PMA não é um fim em si mesmo; é um instrumento de regulação e ordenamento sanitário, ou seja, um PMA só faz sentido se acrescentar valor clínico ou organizacional”.

Face aos relatos havidos através da comunicação social, cremos que poderão ter havido evacuações “selvagens” que se não aconteceram na asserção exaustiva do termo, pelo menos foram desordenadas, levadas a cabo segundo critérios avulsos, sem consistência clínica e avaliação diagnóstica capaz.

Claro que não está em causa a capacidade, a coragem, o empenhamento, a rapidez de intervenção, a humanidade, o respeito pelas vítimas demonstrado à saciedade pelas Equipas de Socorro.

Mas, neste caso concreto, coloca-se uma questão pertinente:

- As funções que um PMA deveria cumprir, foram-no?

Nesta ordem de ideias, cremos que a leitura atenta deste capítulo do VADEMECUM será fundamental e altamente esclarecedora, para acções presentes e futuras.

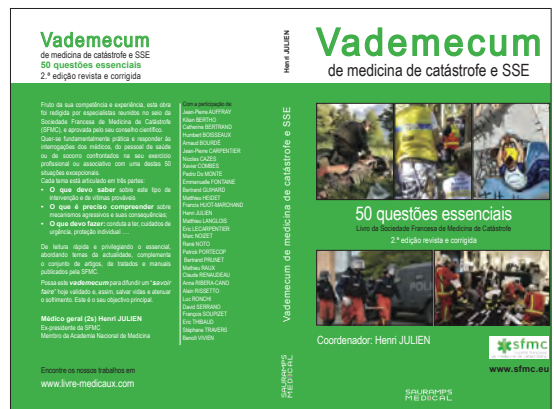


Fig. 1 - Frontispício da obra “VADEMECUM Medicina de Catástrofe e das Situações Sanitárias Excepcionais (SSE)”.
Fig. 1 - Frontispiece of the book “VADEMECUM Disaster Medicine and Exceptional Health Situations (SSE)”.

Sumário

Prefácio.....	7
Lista de autores e agradecimentos.....	8
Esclarecimento.....	9
Introdução à medicina de catástrofe11	
1. Catástrofes SSE e medicina de catástrofe.....	12
2. Ética, deontologia em situações de catástrofe.....	14
3. Aspectos médico-jurídicos.....	16
4. Médicos e os órgãos de comunicação social em situações de catástrofe.....	18
Organização de socorros e cuidados21	
5. Plano ORSEC-NOVI.....	22
6. Plano Branco, situações sanitárias excepcionais.....	24
7. Cadeia de socorros em Medicina de Catástrofe.....	26
8. Director dos Socorros Médicos (DSM).....	28
9. Primeiro médico nos locais de catástrofe.....	30
10. Papel do Director Médico de Crise Intra hospitalar.....	32
11. Triagem em Medicina de Catástrofe.....	34
12. Postos Médicos Avançados (PMA).....	38
13. Ponto de Reagrupamento das Vítimas (PRV).....	40
14. Socorros para feridos e captura de reféns.....	43
15. Segurança médica em grandes eventos.....	46
Riscos catastróficos49	
16. Sismos destruidores.....	50

5

17. Ciclones.....	52
18. Erupções vulcânicas.....	54
19. Vagas de frio.....	56
20. Ondas de calor.....	58
21. Catástrofes e epidemias.....	60
22. Fogos em habitação.....	62
23. Intoxicações por fumos de incêndios.....	64
24. Explosões.....	66
25. Acidentes nucleares e radiológicos.....	68
26. Acidentes de circulação com vítimas múltiplas.....	70
27. Acidentes ferroviários.....	72
28. Risco químico de guerra.....	74
29. Fogos florestais.....	76
Técnicas de medicina de catástrofe79	
30. Princípios de medicalização na frente.....	80
31. Regulação em situação de crise e de catástrofe.....	82
32. Síndrome de crush.....	84
33. Blast.....	87
34. Feridas balísticas: princípios de atuação.....	90
35. Damage control.....	92
36. Preenchimento vascular em situação de catástrofe.....	94
37. Analgesia, procedimento de sedação.....	96
38. Salvamento e Desencarceramento (SD).....	98
39. Amputação de libertação.....	100
40. Situações de catástrofe e impacto psíquico.....	102
41. Acolhimento de pacientes CoVID 19 nas urgências.....	104
42. Descontaminação em massa.....	106
43. Descontaminação de urgência.....	108
44. Crianças e catástrofes.....	110
45. Apoio farmacêutico em medicina de catástrofe.....	112
46. Antídotos para riscos radiológicos e químicos.....	114
47. Posto Sanitário Móvel (PSM).....	118
48. Equipamento de protecção individual para os intervenores.....	122
49. FMA, SINUS e traçabilidade perante uma catástrofe.....	124
50. Transmissões em situações de catástrofe.....	126

6

Fig. 2 - Índice geral da obra "VADEMECUM Medicina de Catástrofe e das Situações Sanitárias Excepcionais (SSE)".

Fig. 2 - General index of the book "VADEMECUM Disaster Medicine and Exceptional Health Situations (SSE)".

12 Postos Médicos Avançados (PMA)

Autor: Stéphane TRAVERS

O que é preciso saber:

O Posto Médico Avançado (PMA) é o local de reagrupamento e medicalização das vítimas em situação de catástrofe. A sua denominação primitiva Centro de Triagem e Cuidados. A escolha da sua localização deve conciliar:

- Segurança porque qualquer deslocamento secundário do PMA será potencialmente prejudicial para os pacientes;
- Acessibilidade para permitir o transporte fácil desde a frente até uma evacuação rápida para os hospitais;
- Ergonomia para permitir a realização de cuidados de qualidade (iluminação...) e a protecção dos doentes (frio, intempéries...);
- Proximidade do local de levantamento (respeitando os requisitos de segurança).

O PMA é, sempre que possível, único para facilitar a gestão do fluxo das vítimas. Em função da extensão e/ou do tipo de catástrofe (sismo, atentados multilocais, incêndios major, ...), pode por vezes ser necessário criar vários PMAs.

Cada PMA é colocado sob a responsabilidade de um médico chefe do PMA, ele mesmo sob os ordens do director de socorros médicos.

O que é preciso compreender:

Numa situação de catástrofe, o número de vítimas excede muitas vezes (temporariamente ou não) os recursos imediatamente disponíveis. **Reagrupar as vítimas permite otimizar a acção das equipas de socorro**^{1,2}.

O primeiro lugar de concentração é muitas vezes chamado de ponto de reagrupamento das vítimas (PRV). Denomina-se PMA logo que este lugar é medicalizado por equipas médicas pré hospitalares e dotado do suporte logístico necessário.

A organização do PMA deve permitir:

- Um ponto de entrada único facilitando a categorização das vítimas em Urgências Absolutas (UA) e Urgências Relativas (UR);
- A instalação de duas zonas dedicadas pacientes UA e UR;
- Um lugar de saída única com um secretariado de saída, regulação médica e traçabilidade das evacuações. O PMA é um «conceito» que adaptável à natureza das vítimas e às condições confinantes³;
- Um café, um restaurante, uma plataforma, um hall de gare ou um ginásio (dotado se possível de duas portas para entrada e saída se possível) são boas escolhas na cidade;

1. René Noto, Pierre Huguenard, Alain Larcen. Poste médical avancé. Médecine de catastrophe. Paris: Editions Masson; 1987.
2. Henri Julien, Jean-Marc Philippe. Poste médical avancé. Manuel de médecine de Catastrophe. Paris: EG Lavoisier 2017: 176-190.
3. Lionel Lambaut et al. Le Poste Médical Avancé (PMA). Journal Européen des urgences et de réanimation 2016. Disponible sur: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jereu.2016.05.003>

38 **Organização de socorros e cuidados**

- Um hall de um edifício ou uma simples área ao ar livre pode ser suficiente para uma rápida triagem e evacuação das vítimas;
- Unidades móveis (tendas ou outras) podem ser úteis em mau tempo ou durante a noite, se não houver infraestruturas imediatamente disponíveis no local e se pudermos ser instaladas rapidamente para não atrasar evacuações urgentes⁴.

Dois armadilhas devem ser absolutamente antecipadas:

- **Apenas as vítimas que necessitam de cuidados médicos devem ser atendidas no PMA.** As vítimas implicadas no acidente devem ser reagrupadas e cuidadas num local separado na proximidade (Ponto de Reagrupamento dos Implicados);
- **A criação de um PMA nunca deve nunca atrasar a evacuação das vítimas.**

Toda a UE (ferido hemorrágico em primeiro lugar) deve aceder ao bloco cirúrgico o mais rapidamente possível (bem antes da "golden hour", se possível!). Segundo a situação, este tipo de feridos beneficiará de uma avaliação muito rápida no PMA ou de uma evacuação medicalizada sem passar pelo PMA (mas assegurando a sua traçabilidade pela recolha no secretariado do PMA do nome (ou pelo menos do número) do paciente ou do seu destino).

O que é preciso fazer:

- **Equipas de primeiros socorros:** Reagrupar as vítimas em segurança, separar UA e UR e iniciar os primeiros cuidados;
- **Primeira equipa médica:** confirmar o local do PMA, organizar o seu funcionamento e começar os cuidados médicos, iniciar uma lista única de vítimas, atribuir missões às equipas socorristas e médicas logo que elas se apresentem no terreno (levantamento, cuidados no PMA, evacuação...);
- **Médicos e enfermeiros afectos ao PMA:** assegurar os cuidados em função de uma ou várias vítimas em zona UA ou UR. Adaptar o tempo, os gestos e os meios para permitir a supervisão e a qualidade dos cuidados em benefício do maior número possível. Completar uma ficha médica avançada para cada paciente. Transmittir ao médico chefe do PMA e/ou ao médico regulador os elementos que permitam um destino adequado. Assegurar a rápida evacuação dos doentes;
- **Director dos Socorros Médicos (DSM):** Confirmar ou designar um médico chefe do PMA, atribuir-lhe os meios necessários (equipas de socorristas, equipas médicas, meios logísticos, transmissões, ...), assegurar-se do bom funcionamento do PMA e da rapidez das horas de levantamento e evacuação (especialmente para os feridos graves). Informar e solicitar recursos ao comandante das operações de socorro e às diferentes autoridades envolvidas (sala de crise, regulação, ...);
- **Médico Chefe do PMA:** Organizar a categorização das vítimas à entrada do PMA, designar equipas médicas para as zonas UA e UR (ter em conta as competências de cada uma). Assegurar-se da qualidade dos cuidados, da rápida atribuição dos destinos e da traçabilidade das evacuações (lista única) ao passar pelo secretariado de saída. Conservar uma ligação permanente com o oficial de levantamento a montante, o oficial do PMA no seio do PMA e com o oficial de evacuação e o médico regulador a jusante. Solicitar os meios necessários ao DSM. Informar o DSM ao longo de toda a intervenção;
- **Despachante:** Atribuir os destinos hospitalares a cada doente (individualmente ou por grupos de doentes). Assegurar-se que nenhuma evacuação de doentes seja atrasada devido à falta de destino.

4. Frédéric Achet, Jean-Pierre Maistre, Claude Laperdy et al. Organisation des secours médicaux lors de catastrophes à effets limités en milieu urbain. Ann Fr Anesth Reanim. 2003; 22: 5-11.

39 **Organização de socorros e cuidados**

Fig. 3 - Postos Médicos Avançados (PMA).

Fig. 3 - Advanced Medical Posts (AMP).

VADEMECUM DE MEDICINA DE CATÁSTROFE E SITUAÇÕES SANITÁRIAS EXCEPCIONAIS (SSE):
TRIAGEM DE MEDICINA DE CATÁSTROFE

Romero Bandeira

Coordenador do Grupo de Medicina de Catástrofe da RISCOS (MD PhD) (Portugal)

SFMC-Société Française de Médecine de Catastrophe, SEMSP-Société Européenne de Médecine des Sapeurs-Pompiers

ORCID 0000-0001-5444-4297 hmedcat@gmail.com

A divulgação do VADEMECUM de Medicina de Catástrofe que a Associação RISCOS entendeu, por bem, traduzir para Português e que os interessados poderão facilmente aquilatar da sua importância analisando as páginas 35 a 37, que se anexaram para uma mais fácil consulta subjazem neste *statu quo* não só os conceitos de “urgência” e “ emergência”, mas também os de “pré- hospitalar” e “extra-hospitalar”.

Desde o Renascimento que o conceito hospitalocêntrico, em matéria de cuidados de saúde se tem vindo a alicerçar cada vez com mais veemência; tenhamos em vista as Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), pese embora o facto de as pautas da saúde neste âmbito, serem organizadas de acordo com as respectivas políticas, mas nunca deixando o hospital de centralizar a polarização *major* dos cuidados de saúde. Assim os conceitos de urgência “pré-hospitalar” e “extra-hospitalar”.

Assim, toda a urgência pré-hospitalar é extra-hospitalar, mas nem toda a urgência extra-hospitalar é pré-hospitalar. Nunca nos podemos esquecer que podem ser urgências absolutas ou relativas não culminando forçosamente num serviço de urgência hospitalar, quer porque a situação clínica foi resolvida, quer porque o doente acabou por falecer.

Não se trata de pura discussão académica, na medida em que há que colocar em evidência a capacidade resolutive de situações clínicas fora do hospital e não apenas na plataforma terapêutica prévia ao hospital.

Muitas vezes enfatizo, a postura de Corominas, um linguista notável, quando diz que a palavra emergência não passa de um anglicismo grosseiro. Claro que há excepções, ficando correctamente dito INEM, porque as emergências médicas surgem ou surdem, mas umas podem ser urgências absolutas e outras relativas, conforme nos ensina a Sociedade Francesa de Medicina de Catástrofe (SFMC).

A triagem para univítimas é profundamente diferente duma triagem para polivítimas e então na prestação

de cuidados, será, em princípio, toda uma equipa diferenciada para a univítima, e por vezes um só profissional de saúde para uma situação com polivítimas. Os próprios sistemas específicos de triagem têm as suas fragilidades e no caso do *Simple Triage and Rapid Treatment* (START) que assenta basicamente numa classificação dicotómica na qual a vítima, anda ou não anda; a vítima pode não andar, por ter uma ruptura dum tendão de Aquiles, sem qualquer perigo de vida, ou poder andar e ter em curso uma laceração dum vaso sanguíneo e que em pouco tempo possa vir a sofrer um choque hemorrágico.

Como facilmente se compreende, estamos hoje numa “aldeia global” e perante as situações de catástrofe quer a nível nacional quer a nível internacional devemos falar uma linguagem tanto quanto possível comum. Como referem alguns autores, neste caso “uma classificação não é apenas uma terminologia, é praticamente uma instrução de acção”.

Porém, como sabemos e no caso da Medicina de Catástrofe é sabido e consabido que quando existem polivítimas, há necessidade duma triagem clara, precisa e concisa, a qual não se compadece com posturas ou modas, em conceitos e palavras, porque os neologismos são interessantes e importantes mas não podem, porém, concorrer para por em causa a vida dos doentes. Não devemos permitir que um algoritmo de triagem se venha a transformar num mistifório funcional.

Neologismos arreigados na linguagem diária, tanto científica, como de divulgação, que podem configurar um certo tipo de iliteracia, até não seriam graves caso não estivessem em causa a vida e o bem-estar das Pessoas.

A tradução deste Manual da SFMC impôs-se-nos pelo seu rigor científico ditado pela experiência no terreno, com base numa Filosofia Médica que nos expõe a funcionalidade interserviços da França, no âmbito da Saúde, como exemplo.

11 Triagem de Medicina de Catástrofe

Autores: Henri JULIEN, Bertrand PRUNET

O que é preciso saber:

A triagem, primeiramente militar, foi adaptada às urgências colectivas civis. A impossibilidade de tratar imediatamente todas as vítimas (desequilíbrio entre necessidades e meios, necessidade de gerir a penúria) obriga a priorizar os mais graves, o interesse colectivo prima sobre o individual. Primitivamente realizado à entrada do posto médico avançado (PMA), é hoje sequencial, iniciada no levantamento e finalizada no hospital. A triagem é evolutiva, revista em função da evolução clínica, adaptada ao tipo de lesão e à capacidade de acolhimento. Um suporte físico ou numérico assegura visibilidade e traçabilidade.

O que é preciso compreender:

Quais são os quatro objectivos da triagem?

- Estabelecer uma prioridade de tratamento: identificar e gerir com a maior brevidade possível aqueles para os quais os cuidados têm uma importância vital e que não podem esperar;
- Constituir grupos homogêneos de vítimas: para aumentar a eficácia das equipas insuficientemente numerosas: urgentistas e cirurgiões para os mais graves, e para os restantes cuidados correntes adaptados;
- Gerir os fluxos de vítimas: as vítimas serão evacuadas de forma racional e temporizada por uma regulação respeitando a hora de ouro e preparando o acolhimento hospitalar;
- Para assegurar conjuntamente os gestos que salvam: o acto de diagnóstico deve ser acompanhado de gestos de socorros e cuidados necessários adaptados à competência do triador.

Quais são os critérios de triagem? Eles têm em conta:

- A gravidade do estado clínico:
 - o estado funcional define duas categorias: risco vital imediato ou potencial, nenhum prognóstico vital (estado de consciência (via aérea), da ventilação, da circulação e da sua evolutividade).
- Especialização do triador:
 - Iniciada pelos cirurgiões a triagem é assegurada pelos urgentistas, psiquiatras, pediatras e especialistas em queimaduras propuseram os seus critérios. No terreno, os primeiros socorristas e paramédicos utilizam critérios simplificados.
- A organização da cadeia de socorros e cuidados:
 - Os critérios são diferentes se se trata de um campo de batalha (organização OTAN: níveis 1-2 e 3) ou catástrofes civis (organização tipo SAMU); de acordo com o tempo de evacuação e a capacidade do quadro técnico de acolhimento; adaptados se há descontaminação, cirurgia longa ou complexa.

Quais são os sistemas implementados?

A triagem clássica efectuada por um médico experiente: Quatro categorias reagrupadas em duas famílias foram implementadas a partir do estado funcional, o prognóstico, as modalidades de evacuação (ver Tabela 1):

- Urgências Extremas - UE: em perigo de morte, necessitando de cuidados imediatos: transporte medicalizado para um bloco operatório com reanimação.

1. A. Ricard-Hibon et al. Triage et identification des victimes : de la clinique aux implications médico-légales et éthiques. Urgences et situations d'exception. Journales Scientifiques de la SFMU - Lyon 2009 Société Française d'Éditions Médicales, 2010.
2. Henri Julien – Triage des victimes en situation d'urgences collectives. In Manuel de médecine de catastrophe. Lavoisier Médical. Paris 2017 : 157-175.

- U.1: Perigo de morte por perturbações irreversíveis rápidas: Cirurgia antes de 6 h após reanimação eficaz. Evacuação medicalizada.

Estas duas categorias são as **Emergências Absolutas**, de cor **vermelha**. Prioridade Vermelha 1 ou Imediata dos anglosaxons.

- U.2: Não imediatamente em perigo, tratamento deferível 18 h: feridos sérios, necessitando de uma hospitalização: evacuação por ambulância medicalizada ou não: fracturas de diáfises fechadas, feridas das partes moles, T.C. conscientes.
- U.3: Tratamento diferido por 36 horas: feridos ligeiros com cuidados ambulatoriais Transporte em ambulância, se possível.

Estas duas categorias constituem **Urgências Relativas**, **amarelo**. Amarelo: Prioridade 2 ou atrasado, A cor **verde**, atribuída aos implicados (verde: mínimo ou não-urgente), que pode necessitar de pequenos cuidados e acompanhamento de eventuais evoluções psicológicas.

Este quadro é geralmente completado por:

- **Urgências funcionais**: olhos, mãos, rosto e mandíbula, classificados como **vermelhos**;
- **Urgências Potenciais**: *blasted* pulmonar, *Crush*, intoxicados... classificados amarelo com vigilância.

Pré-triagem realizada por uma pessoa não médico:

Esta é a **Simple Triage and Rapid (START)**, adoptada e generalizada pela OTAN e OMS que define categorias sobre dados clínicos simples, aos quais atribui uma cor e um CAT (ver Tabela 2):

Completado por gestos de salvamento: controle de hemorragias, prevenção da hipotermia, descontaminação seca, etc., o START é uma pré triagem na cadeia em pré hospitalar civil.

As Triagens especializadas:

• A Triagem OTAN dos feridos de:

Adaptada aos combates de baixa intensidade, ela privilegia a rapidez de evacuação, tendo em conta a cadeia de cuidados e de evacuação militar (níveis 1, 2 e 3). Baseada em dois critérios: sinais funcionais, importância dos cuidados (reanimação e cirurgia), distingue:

- **Urgências absolutas** classificadas como α ou T1, Imediatas;
- **Urgências relativas**, β ou T2. Diferidas;
- Feridos ligeiros ou estropeados, T3, Mínimo;
- Paciente muito gravemente ferido com hipótese de sobrevivência muito limitada: Urgência ultrapassada, T4, Expectante.

• Triagem dos queimados:

Os especialistas propõe uma classificação das queimaduras de 2º e 3º graus:

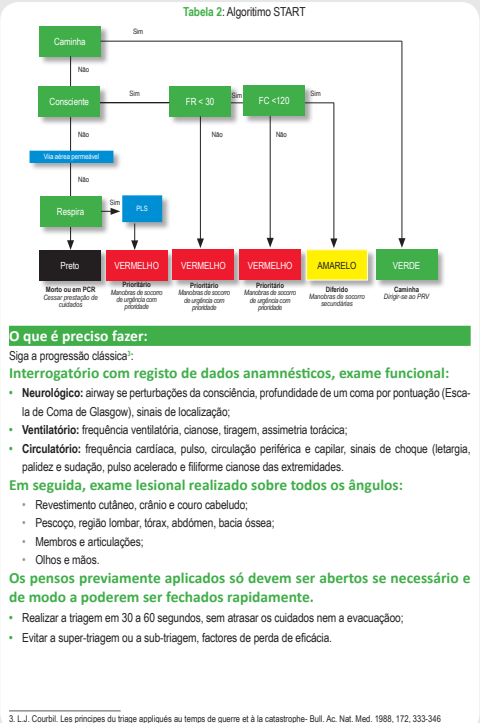
- Queimadura > 50%: **Extrema Urgência, vermelha**;
- Queimadura entre 15 e 50%: **1ª urgência, vermelha**;
- Queimadura menos de 15%: **segunda emergência, amarelo**.

Ter em conta as queimaduras do aparelho respiratório, as zonas de pregas, da face e do pescoço...

• A triagem proposta pelos psiquiatras:

Toda a pessoa perigosa para os outros ou para si própria: primeira urgência, **vermelha**.

Tabela 1: Triagem de evacuação.		
CATEGORIA	TIPO DE LESÃO	EVACUAÇÃO
URGENCIAS ABSOLUTAS	Extrema Urgência (EU) Vítimas em perigo de morte imediata • Insuficiências cardio-circulatórias (politraumatismo, síndromes de esmagamento...) • Hemorragia graves incontroláveis (abdominais, vasculares, não garrotáveis...) • Asfixias (feridos do tórax, cervico-maxilo-faciais) • Traumatismos cranianos	Prioridade após reanimação eficaz
	PRIMEIRA URGENCIA (E1) Vítimas graves ameaçadas por descompensação de uma função vital (choque, insuficiência respiratória, neurológica ou por sépsis). • Ferimentos tóxicos ou gasosos não asfixiantes • Feridas Vasculares garrotáveis • Traumatismo craniano sem sinais de localização • Fracturas abertas e feridas osteoarticulares • Síndrome de compressão • Queimaduras profundas entre 15 e 50% • Hipotermia < 22°C	Rápida para os hospitais próximos, após condicionamento preciso por estrada ou helicóptero
	URGENCIAS FUNCIONAIS (UF) Lesões caracterizadas pela sua topografia (olho, rosto, mão), ausência de um prognóstico vital, possibilidade de impacto funcional e estético: • Ferida penetrante do olho • Traumatismos marcantes das extremidades • Queimaduras circulares dos membros e das mãos • Traumatismos maxilo faciais	Rápida para os hospitais próximos, em departamentos especializados, após condicionamento preciso por estrada ou helicóptero, com U1, tanto quanto possível
Urgências Relativas	Urgências Potenciais (UP) Lesões susceptíveis de agravamento quer inopinadamente quer em função do transporte inesperadamente ou quer como resultado do transporte: • Traumatismos crânio encefálicos • Traumatismos tóxicos ou abdominais • Suspeição de "blat" pulmonar ou abdominal • Lesões por soterramento	Para os hospitais, cujo momento deve ser discutido em função do número de vítimas e das possibilidades de evacuação
	Segunda Urgência (U2) Vítimas pouco graves cujo tratamento cirúrgico das lesões pode ser efectuado dentro de 12-24 horas: • Fracturas das diáfises, fechadas • Feridas das partes moles (excepto nádegas e perineo) • Traumatismo craniano consciente • Queimaduras <15% • Intoxicação por inalação com desaparecimento da sintomatologia neurológica e respiratória	Menos urgente, para os hospitais mais afastados por via aérea, ferroviária ou rodoviária
	Tercera Urgência (U3) Feridas ligeiras caracterizadas por ausência de evolutividade , a possibilidade de evacuação num período >18 horas e sem recurso a uma medicalização de transporte: • Traumatismos fechados (entorses, contusões) • Pequenas feridas contusas • Queimaduras superficiais < 15% • Desambulantes e implicados	Transporte não urgente, não medicalizado, realizado em função dos meios disponíveis
	Urgências Ultrapassadas (UU) Lesões gravíssimas não podendo ser tratadas imediatamente e com poucas hipóteses de sobrevivência	Sem evacuação, medidas de "acompanhamento"





RISCOS

territorium 33 (I), 2026, 106-108

journal homepage: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/>

DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_33-1_11

Recensão / Review



106

MORRO DA CONCHA, O TESOURO E O MONSTRO: HISTÓRIAS POPULARES DA BARRA DO JUCU (VILA VELHA, ES)

Teresa da Silva Rosa

Núcleo de Estudos Urbanos e Socioambientais/NEUS (Brasil)
ORCID 0000-0001-6613-5088 tsrosaprof@gmail.com

Homero Bonadiman

Prefeitura Municipal de Vila Velha (Brasil)
ORCID 0009-0004-5228-7397 bonadimangalveas@gmail.com

André Vianna Nascimento

FACELI (Linhares, ES) (Brasil)
Núcleo de Estudos Urbanos e Socioambientais/NEUS
ORCID 0000-0002-9429-231X andreviannan@gmail.com

Melissa Ramos da Silva Oliveira

Universidade Vila Velha, Núcleo de Estudos Urbanos e Socioambientais/NEUS (Brasil)
Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Cidades
ORCID 0000-0002-8529-5180 melissa.oliveira@uvv.br

“Morro da Concha, o Tesouro e o Monstro: histórias populares da Barra do Jucu (ES)” é um livro digital fruto de trabalho coletivo a partir da colaboração e do intercâmbio entre a população local e a equipe de pesquisadores do Núcleo de Estudos Urbanos e Socioambientais (NEUS). A rica e ativa participação da comunidade deste bairro da cidade de Vila Velha (Espírito Santo, Brasil) foi essencial: da comunidade escolar da UMEF Tuffy Nader através de seus alunos do 8º e 9º anos, cujos desenhos premiados em atividade pedagógica de educação ambiental, ilustram várias partes do livro; aos verdadeiros guardiões do patrimônio barrense, os recordadores, representantes de seus diversos movimentos sociais, com os seus vários relatos registrados por projetos de pesquisa e trabalhos de campo realizados em colaboração com os nossos pesquisadores (fig. 1).

Neste sentido, este livro é da comunidade!!! E não dos autores, na acepção estrita desta palavra no meio científico. Autor é cada sujeito desta comunidade tradicional de Vila Velha-ES que, no seu complexo Caminhar, é capaz de tecer as diferentes malhas e relações que surgem cotidianamente na experiência viva do território. Nós, pesquisadores, somos, assim, apenas mensageiros de suas experiências, que, graças à escuta atenta e aguçada do território, fomos capazes de registrá-las e trazê-las para esta obra digital. Desde o início, cada membro desta equipe teve clara a responsabilidade em favor das tradições territoriais como princípio orientador de modo a contribuir para preservar, respeitosamente, os Caminhos como patrimônio cultural e ambiental local, fundamental para a identidade coletiva e individual. Deliberadamente, adotamos, na redação do texto, estratégias facilitadoras para atrair o maior público em potencial: a população da Barra.



Fig. 1 - Frontispício da obra “Morro da Concha, o Tesouro e o Monstro: histórias populares da Barra do Jucu (ES)”.

Fig. 1 - Frontispiece of the book “Morro da Concha, the Treasure and the Monster: popular stories from Barra do Jucu (ES)”.

O uso da linguagem menos acadêmica neste resgate da história de vida coletiva e individual experienciada por tantos personagens barrenses e não barrenses não é anódino. Iniciando no texto sobre o Morro da

Concha, os contos populares do Tesouro e do Monstro empregam, algumas vezes, vocábulos mais locais e, em outros momentos, mais acadêmicos com um duplo intuito respectivamente. Por um lado preservá-los como elementos da memória territorial visto que a língua é uma dimensão que interage com o tempo histórico, em momentos, chegando a “se perder” certas especificidades, impactando, vulnerabilizando um fator marcante da sua identidade local. Por outro lado, a introdução de termos do registro mais científico é uma forma de estimular a curiosidade da busca pelo seu significado, enriquecendo o cabedal vocabular de cada sujeito - na contramão do que assistimos nas redes sociais na era da conectividade (fig. 2).

A pré-ocupação na diagramação foi outra estratégia empregada para atrair a atenção do leitor. Da escolha de cores, significando um novo tema; passando pelos desenhos dos alunos premiados da citada escola “Tuffy” entre outros registros imagéticos; até as caixas de diálogo como espaços textuais explicativos de modo a se compreender aspectos territoriais relevantes. O conjunto destas estratégias teve o intuito de dar uma certa fluidez e um certo ritmo ao texto, dando, ao leitor, várias oportunidades para uma “parada para a reflexão” (fig. 2). Uma outra estratégia adotada foi a criação de um personagem: o prof. Merão. Ele ajuda a conduzir o

leitor pelo texto atravessado por registros linguísticos e imagéticos variados e por interrogações de modo a fazer o leitor “entrar” dentro do universo das aventuras relatadas: o Tesouro e o Monstro.

Enfim, a elaboração deste livro foi uma Caminhada coletiva. Ajustes de várias ordens foram necessários de modo a tornar o livro não um produto, mas um presente da e para a Comunidade da Barra do Jucu! Através desta nossa experiência, procuramos expressar todo o nosso respeitoso reconhecimento e o inestimado valor de cada momento da colaboração dos Barrenses.

Cabe mencionar que este livro digital é fruto de escolhas teórico-metodológicas de um Caminhar de longo prazo de todos os pesquisadores desta equipe. Ressaltamos, porém, o papel de dois projetos de pesquisa: “Atores, discursos e redução de riscos de desastres em Vila Velha (ES)” (financiamento do CNPq por meio do Edital nº 4/2021 - Bolsas de Produtividade em Pesquisa - PQ) desenvolvido entre 2022 e 2025; e “História socioambiental e cultural do território do baixo Rio Jucu”, investigação conduzida, entre 2022 e 2024, por Homero Bonadiman Galvêas, que se tornou a sua dissertação de mestrado. Como dito acima, esta equipe do NEUS teve papel ativo, desde o início, na condução da participação dos recordadores e da escuta das narrativas sobre as histórias de vida coletivas por estes guardiães das tradições da Barra do Jucu.



Fig. 2 - Exemplo da linguagem e diagramação da obra "Morro da Concha, o Tesouro e o Monstro: histórias populares da Barra do Jucu (ES)".

Fig. 2 - Example of the language and layout of the book "Morro da Concha, the Treasure and the Monster: popular stories from Barra do Jucu (ES)".

A complexidade da realidade local orientou a lente teórico-metodológica-analítica, trazendo elementos da teoria da Complexidade, da Sociologia dos riscos de desastres inspirados pelo pensamento Decolonial para nos auxiliar na leitura e na compreensão dos processos de construção, tanto das vulnerabilidades diante da expansão do desenvolvimentismo em territórios periféricos do Sul Global na contemporaneidade; e como da construção da sua resiliência territorial e de seus movimentos de resistência em favor da preservação da cultura nativa frente àquela expansão. Para isso, múltiplos procedimentos metodológicos qualitativos foram empregados no campo com o intuito de mapear as especificidades deste território resguardando a sua complexidade: rodas de conversa, entrevistas semi estruturadas, percursos guiados, cartografia dos lugares de memória, levantamento imagético e bibliográfico entre outros. Fundamentalmente, fomos orientados pelo princípio da Interdisciplinaridade a fim de proceder a aproximação do território, cuja realidade se revela como um jogo de forças desiguais que, infelizmente, se situam, na história da construção do Sul Global, gerando mais conflitos e não muita cooperação entre os atores sociais.

Nesta perspectiva, o território foi abordado como o palco de um real teatro desde os tempos pré coloniais, onde cenas de uma relação de injustiça e de apagamento do Outro-diferente se desenrolaram pelas mãos dos europeus colonizadores durante vários séculos. Em tempos mais recentes, a exploração colonial da diversidade dos elementos naturais - onde se inserem os elementos da própria dimensão humana - se perpetua com a (nova) inserção destes territórios na racionalidade do capital e do mercado através do desenvolvimentismo. No território, isso se configura em ameaças às condições de sobrevivência de todas as espécies, inclusive a espécie humana. Em outras palavras, a ameaça vai se transformando em risco concreto, em situações de desastres de diferentes escalas e de diversas naturezas e matizes que afetam não somente populações mais vulneráveis, mas a Humanidade no seu conjunto, lidar com a complexidade dos múltiplos desastres no cotidiano, criando espaço ou para uma adaptação subjugada ou para uma resistência ativa. Expostas aos impactos de projetos desenvolvimentistas vários, as populações historicamente vulnerabilizadas clamam por ações de resiliência das suas comunidades . A Barra fez a

sua escolha pela resistência ativa apesar de se observar uma dissonância entre este clamor e os posicionamentos de poderes públicos.

Neste contexto, o território da Barra do Jucu é um recorte, geograficamente falando, de algo que se passa em escala planetária. Recorte este que facilita ajustar o foco da lente de pesquisadores com interesse em compreender o processo de vulnerabilização das comunidades humanas e de fragilização dos ecossistemas. O cotidiano de tais comunidades retrata uma problemática inerentemente complexa. O campo dos projetos de pesquisa e de extensão tem mostrado a atuação do poder público em territórios periféricos. Se, de um lado, ele não consegue responder como se espera; de outro, as comunidades têm suas próprias estratégias: umas trazidas por via de políticas públicas - que nem sempre respeitam a diversidade territorial - outras, pela via da experiência coletiva e/ou individual tecida cotidianamente seja ancestral seja contemporânea.

Com o seu conteúdo, este livro digital pretende se encaixar como contribuição na segunda via. O registro escrito e imagético dessas histórias populares da Barra do Jucu busca reforçar os laços entre os membros da comunidade pela via do respeito à memória como fruto do experimentar o cotidiano coletiva e individualmente. Com a preservação do patrimônio imaterial específico deste território nele exposto, o livro contribui para a construção da resiliência comunitária como parte de uma estratégia local de gestão de redução de riscos de desastres em geral desconsiderada pelas políticas públicas. Diferentemente das ações propostas (ou impostas?) pelo poder público, o vivenciar o território é saber lidar com a intrincada rede de interconexões de seus vários elementos constitutivos. É o experimentar a sua complexidade, buscando, na observação da sua organização sistêmica, tecer possibilidades de superação dos desafios postos pelas suas especificidades.

Graças à colaboração de agentes sociais locais, o “Morro da Concha, o Tesouro e o Monstro: histórias populares da Barra do Jucu (ES)” está disponibilizado no site do Ateliê Galvêas (<http://www.galveas.com>) e no do Museu Vivo da Barra do Jucu (<https://museuvivodabarradojucu.com.br/>).

Boa leitura!

Agradecimentos: CNPq, FAPES, CAPES, UVV.

NOTA DE ABERTURA / INTRODUCTORY NOTE

António Vieira	3
----------------------	---

ARTIGOS / ARTICLES

Tayse Lima de Brito Guimarães, Thamires Oliveira do Bomfim, Rafael Oliveira Franca Rocha, Édico de Oliveira Gomes e Rosângela Leal Santos Queimadas na Caatinga: uma análise das áreas afetadas na Bahia (1993-2023)	5	109
Luis Araújo Santos, António Correia, Paulo Coelho e Teresa Fragoso Effects of wildfires on soil identification and mechanical properties	17	
Rui Pinto, Ana Sá e Susana Fonseca Monitorização pós-fogo e recuperação de áreas ardidas: os projetos REACT more e POST-FIRE FAMA	29	
Jhonathan Lima de Souza, José Marandola, Ana Caroline Damasceno Souza de Sá, Aline Pascoalino e Vinnícius Vale Dionízio França Vinny Distribuição espacial do sistema público de hidrantes em Natal/RN: riscos tecnológicos e vulnerabilidades híbridas ...	43	
Joana G. Jesus, Helena Trindade, Cristina Máguas e Florian Ulm De resíduo a recurso: uma estratégia para valorizar a biomassa da invasora <i>acacia longifolia</i>	59	

NOTAS / NOTES

Mário Talaia Índice de sensação térmica como indicador de previsão de risco de incêndio: estudo de caso	69
Laura García-España Soriano, Juan Jose Lull, Cristina Lull Noguera, Maria Desamparados Soriano e Josep Llinares Creación de una app para situar y localizar zonas con riesgo de incendios forestales	83

ENTREVISTAS /INTERVIEWS

Miguel Carmo, Frederico Ágoas, José Miguel Ferreira e Inês Gomes História e memória do lugar do fogo nas ciências do território em Portugal: Três entrevistas com Raquel Soeiro de Brito, João Filipe Bugalho e João Castro Caldas	89
--	----

NOTÍCIAS / NEWS

Romero Bandeira <i>Vademecum</i> de Medicina de Catástrofe e Situações Sanitárias Excepcionais (SSE): Postos Médicos Avançados	102
Romero Bandeira <i>Vademecum</i> de Medicina de Catástrofe e Situações Sanitárias Excepcionais (SSE): Triagem de Medicina de Catástrofe	104

RECENSÕES / REVIEWS

Teresa da Silva Rosa, Homero Bonadiman, André Vianna Nascimento e Melissa Ramos da Silva Oliveira Morro da Concha, o tesouro e o monstro: histórias populares da Barra do Jucu (Vila Velha, ES)	106
--	-----



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA

1 2



9 0



IMPRESA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS