

# territorium • 28(II)

Revista Internacional de Riscos | International Journal of Risks

## A Ciência e a Redução do Risco

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

2021

(Página deixada propositadamente em branco)

# **territorium 28 (II)**

A Ciência e a Redução do Risco  
Science and Risk Reduction

Julho - Dezembro  
2021

**FICHA TÉCNICA**

**Proprietário / Proprietor**

RISCOS<sup>o</sup> - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

**Redação e administração / Editing and administration**

(Toda a correspondência deve ser dirigida a;  
Letters should be addressed to):

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

**Fotografia da capa / Cover photo**

Estação Geológica na Montanha Altai  
*Altai Mountain Geological Station*

**Fotografia / Photo:** by mikbober via Pixabay

**Edição / Edition**

RISCOS<sup>o</sup> - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança  
IUC<sup>o</sup> - Imprensa da Universidade de Coimbra

**Paginação / Formatting and Layout**

Mestre Fernando Félix

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

Jean Burrows

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

**Venda** (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:**

Simões & Linhares, Lda.  
Rua do Fetal, Lote 5, 3020-923 Coimbra

**Periodicidade / Periodicity**

Semestral / Biannual

**Tiragem / Print run**

200 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

As plenas manifestações de risco, independentemente de algumas delas serem mais violentas do que outras, acarretam sempre consequências nefastas que, por vezes, são catastróficas, e, nestes casos, provocam danos severos e avultados prejuízos materiais nos bens e haveres dos seres humanos e, não raras vezes, ceifam-lhes dezenas, centenas ou até milhares de vidas, que se traduzem em vítimas mortais, acompanhadas de inúmeros feridos graves e, ainda, de maior número de feridos ligeiros.

Ora, uma das formas de reduzir os efeitos destas plenas manifestações de riscos é a de aumentar o conhecimento que sobre elas a ciência pode proporcionar e a de aplicar esse saber tanto ao estudo dos processos que caracterizam os vários fenómenos desencadeadores dos diferentes tipos de riscos, como, sobretudo, à análise, avaliação e redução das vulnerabilidades existentes, quer nas áreas onde eles se podem manifestar, quer nas populações que sofrerão diretamente os seus efeitos, solução esta que, como é sabido, é particularmente eficaz na redução do risco.

Deste modo, tendo em conta que a ciência pode contribuir para melhorar o conhecimento das diferentes situações de crise e que esses saberes contribuirão para criar sociedades mais resilientes, ou seja, mais preparadas para reduzir as consequências das plenas manifestações de risco, entendemos promover um Congresso Internacional para debater o papel da Ciência na Redução do Risco.

De entre os vários temas nele apresentados, alguns deles foram transformados em artigos científicos e submetidos à Territorium. Depois de revistos por pares, onze foram aceites para publicação. Uns são de natureza mais teórica, designadamente os que tratam da avaliação do risco, da perceção de riscos naturais ou da educação para o risco, enquanto que os outros são de aplicação mais prática, tanto à escala regional, como à escala local, constituindo casos de estudo e exemplos do modo como a ciência pode contribuir para a redução do risco, na sequência da manifestação de diferentes processos, tais como: sismos, vulcões, mudanças climáticas, secas, inundações, furacões, tempestades e, até mesmo, terrorismo.

Estamos certos de que também este volume da Territorium contribuirá para demonstrar que a ciência pode e deve desempenhar um importante papel tanto na redução do risco como na educação para o risco, criando oportunidades para tornar as sociedades mais resilientes.

#### INTRODUCTORY NOTE

Full manifestations of risk, regardless of whether some are more violent than others, always have harmful consequences and some of them can be catastrophic. In those cases the result is severe damage and major material losses to the goods and possessions of human beings and they quite often claim dozens, hundreds or even thousands of lives, and these fatalities may well be accompanied by countless serious injuries and a still greater number of minor injuries.

Now, one way to reduce the effects of these full manifestations of risks is to increase the knowledge that science can provide about them. This knowledge should then be applied both to the study of the processes that characterize the various phenomena that trigger the different types of risk, and, above all, to the analysis, assessment and reduction of existing vulnerabilities, both in the areas where they can manifest themselves and in the populations that will directly suffer their effects. This solution is known to be particularly effective in risk reduction.

Thus, bearing in mind that science can contribute to improve knowledge of different crisis situations and that this knowledge will help to create more resilient societies, that is, societies better prepared to reduce the consequences of full manifestations of risk, we intend to promote an International Conference to discuss the role of Science in Risk Reduction.

Of the various topics presented in it, some were turned into scientific articles and submitted to Territorium. After peer reviews, eleven were accepted for publication. Some are of a more theoretical nature, particularly those dealing with risk assessment, perception of natural risks or education for risk, while the others are more geared for practical application, both at regional and local levels. They constitute case studies and examples of how science can play a part in risk reduction, following the manifestation of various processes such as earthquakes, volcanoes, climate change, droughts, floods, hurricanes, storms and even terrorism.

We are certain that this volume of Territorium will also help to demonstrate that science can and should play an important role in both risk reduction and risk education, creating opportunities to make societies more resilient.

(Página deixada propositadamente em branco)



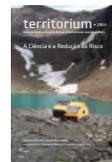
RISCOS

territorium 28 (II), 2021, 5-12

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

DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-2\\_1](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_1)

Artigo científico / Scientific article



CAMBIO CLIMÁTICO Y RIESGOS EN EL ÁMBITO MEDITERRÁNEO.  
LA NECESIDAD DE ADAPTACIÓN\*

CLIMATE CHANGE AND RISKS IN THE MEDITERRANEAN REGION.  
THE NEED TO ADAPT

Jorge Olcina Cantos

Universidad de Alicante (España)

ORCID 0000-0002-4846-8126 [jorge.olcina@ua.es](mailto:jorge.olcina@ua.es)

*“Sin evocar las concepciones deterministas...la civilización mediterránea debe ciertamente mucho a la lucha contra la naturaleza, que ha impregnado a los hombres dureza y tenacidad”*  
Orlando Ribeiro, Mediterráneo (1962).

RESUMEN

El cambio climático es un proceso planetario que está manifestando efectos importantes en algunas regiones del mundo. La región mediterránea es un laboratorio privilegiado para el estudio del calentamiento de la atmósfera. Junto a la subida constante de la temperatura, registrada en las últimas décadas, el problema principal es el incremento en la frecuencia de desarrollo de eventos atmosféricos extremos que suponen un aumento del riesgo en el territorio. El territorio y las sociedades ibéricas deben adaptarse a los efectos del cambio climático. Las ciudades y las actividades económicas tienen que planificar su desarrollo futuro bajo los supuestos previstos en la modelización climática. Este es el reto más importante en la región mediterránea a lo largo del presente siglo.

**Palabras clave:** Cambio climático, riesgos, región mediterránea, adaptación.

ABSTRACT

Climate change is a planetary process that is having important effects in some regions of the world. The Mediterranean region is an excellent laboratory for studying global warming. Along with the constant rise in temperature recorded in recent decades, the main problem is the increase in the frequency of development of extreme atmospheric events that will increase risk condition in the region. The Iberian territory and its societies must adapt to the effects of climate change. Cities and economic activities have to plan their future development under the assumptions envisaged in climate modelling. This is the most important challenge facing the Mediterranean region throughout this century.

**Keywords:** Climate change, climatic risk, Mediterranean region, adaptation.

\* O texto deste artigo corresponde à conferência de abertura do V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 23-01-2021, sujeito a revisão por pares a 05-02-2021 e aceite para publicação em 10-05-2021. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

### Introducción: La “mediterráneización” del cambio climático

El Mediterráneo es un escenario principal del proceso actual de cambio climático a escala planetaria. Los acelerados cambios ambientales y sociales que se viven desde mediados del siglo XX en la ribera de este mar de historia convierten a la cuenca del Mediterráneo en un ámbito geográfico altamente vulnerable ante los efectos del calentamiento climático. El Mediterráneo es una región-riesgo, un espacio geográfico donde confluye elevada peligrosidad natural y un grado de ocupación humana muy intenso, desde época histórica, que ha implantado actividades, infraestructuras y núcleos urbanos en áreas poco aptas. Ello ha elevado la exposición a los peligros naturales de manera importante, convirtiendo a la región mediterránea en un laboratorio privilegiado de los procesos de riesgo, que requiere de actuaciones de adaptación que reduzcan los efectos actuales y previstos de los eventos extremos en el contexto de cambio climático. No es algo nuevo. Estas tierras han vivido momentos históricos de crisis -climáticas, geológicas, políticas, socioeconómicas- y ha sabido sobreponerse. Es lo que Norwich (2008) califica como el “milagro” del Mediterráneo que lo hace “único” en nuestro planeta: esa capacidad de sus gentes para convivir en un medio difícil dando lugar a civilizaciones diversas cuya impronta se manifiesta en la actualidad. Preocupa ahora este episodio ambiental complejo -calentamiento atmosférico- por los efectos desfavorables que está teniendo en sus territorios y sociedades. Y que pueden ir a más. Es el inicio de una nueva era, un nuevo reto para el Mediterráneo.

El cambio climático actual es un proceso de anormal calentamiento térmico de la troposfera terrestre (peligro) generado por la emisión de gases de efecto invernadero procedentes, principalmente, de la combustión de fuentes de energía fósil. Como hipótesis de trabajo se institucionaliza, oficialmente, a finales de los años ochenta del pasado siglo, aunque desde finales del siglo XIX algunos autores ya señalaban la relación entre la presencia de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre y su posible efecto en las temperaturas.

En la actualidad es un proceso avalado científicamente por los datos climáticos y los efectos ambientales ya notables en algunos espacios geográficos del planeta. Pero debe seguir considerándose una hipótesis de trabajo con algunas incertidumbres por analizar debido al carácter caótico del propio funcionamiento de la atmósfera terrestre. Ello implica la necesidad de profundizar en la investigación de los efectos regionales del calentamiento climático actual. En nuestro caso, muy especialmente en el ámbito mediterráneo.

La relación entre incremento de la presencia de gases de efecto invernadero en la troposfera terrestre y aumento progresivo de la temperatura del aire es innegable.

Se sustenta en el hecho de que estos gases de origen antrópico están modificando el balance energético de nuestro planeta, que es la pieza clave del funcionamiento del sistema climático terrestre.

La solución principal para esta cuestión es evidente: disminuir la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Pero ello implica un cambio importante, sustancial en numerosos países y regiones, en el modelo de abastecimiento energético para el desarrollo de las actividades económicas, para el funcionamiento de las áreas urbanas y para la movilidad, que no es posible asumir en el corto plazo o es rechazado, directamente, por algunos de ellos. Pero es la única salida posible, razonable. Malm (2018) señala, acertadamente, que por cada año en que se pospongan las acciones para conseguir una economía mundial descarbonizada, la sombra del calentamiento se extenderá hacia el futuro, más impactos llegarán a ser inevitables, más “tormentas” nos afectarán. Es un golpe fundamental en el funcionamiento de la nueva era denominada Antropoceno, que justifica su denominación justamente en el despilfarro contemporáneo de los productos derivados del petróleo.

El ámbito mediterráneo es, como se ha señalado, uno de los escenarios mundiales de repercusión importante del proceso actual de calentamiento planetario (Cramer *et al.*, 2018), debido a su carácter de región de frontera entre lo tropical y lo polar. El cambio climático está adquiriendo aquí, además, unos rasgos propios que permiten hablar de una “mediterraneización” de esta coyuntura climática actual, debido al propio calentamiento del mar Mediterráneo (CEAM, 2020), que está alterando los procesos atmosféricos: intensificación de lluvias, incremento de noches tropicales, mayor frecuencia de eventos extremos. Un clima, en suma, térmicamente menos confortable y con más episodios meteorológicos que generan daños (fig. 1).

Las sociedades de la cuenca del Mediterráneo son sociedades de riesgo, acostumbradas a un medio físico con manifestaciones, a menudo, hostiles (inundaciones, sequías, temporales, sismicidad, vulcanismo). Históricamente han tenido que adaptarse a estas condiciones para desarrollar sus actividades e implantar sus viviendas. Hasta mediados del siglo pasado ha habido una actuación respetuosa de los habitantes del Mediterráneo a su medio natural. Desde entonces, la situación ha cambiado. El resultado es un incremento importante de la condición de riesgo en la cuenca del Mediterráneo, especialmente en su ribera europea, donde la transformación del medio físico ha sido más intensa.

Y a ello se suma, en las cuatro últimas décadas el efecto de un proceso planetario de calentamiento atmosférico de causa antrópica, como se ha señalado, con rasgos propios en la región mediterránea. Un efecto que incrementa, aún más, el riesgo existente debido al aumento de la peligrosidad climática.

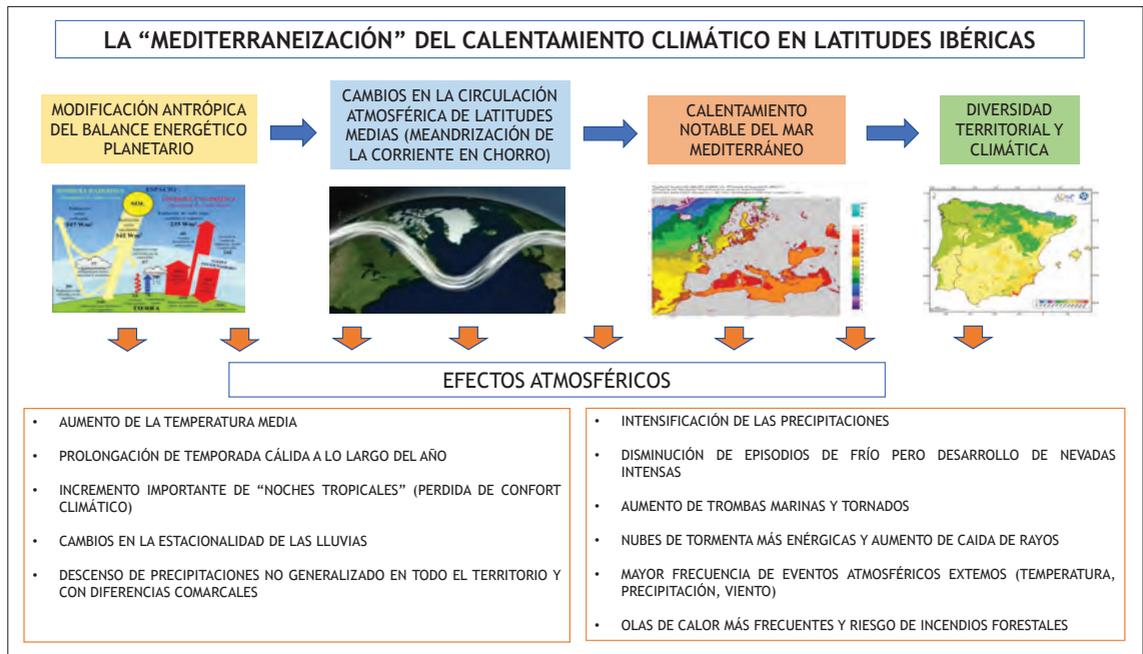


Fig. 1 - La singularidad del cambio climático en el ámbito mediterráneo.

Fig. 1 - The uniqueness of climate change in the Mediterranean area.

El cambio climático actual es una etapa histórica más en el proceso de convivencia de las sociedades mediterráneas con su medio natural. Pero es seguramente su etapa más compleja, más incierta, más exigente, en el marco de una economía con capacidad para adaptarse, pero poco proclive a cambios que alteren el nivel de riqueza alcanzado. Pero la adaptación necesaria para reducir los efectos del cambio climático actual implica cambios profundos económicos y territoriales en los próximos años.

- Hay una serie de procesos atmosféricos, relacionados con los elementos climáticos principales (temperaturas, precipitaciones, vientos) que manifiestan ya los efectos del calentamiento climático en la región mediterránea: Cambios en las precipitaciones: disminución general de cuantía, aunque con matices comarcales; cambios en estacionalidad con lluvias menos abundantes en primavera y más abundantes en otoño; intensificación horaria de las lluvias, lo que convierte a estas precipitaciones en lluvias que generan daños allá donde caen, como estamos viendo en los últimos años;
- Cambios en las temperaturas: subida de temperatura media, siguiendo el proceso que se experimenta en el conjunto del planeta; aumento notable de las "noches tropicales" (noches con más de 20° C) que se han multiplicado por cuatro o cinco, según las localidades, desde 1980 a la actualidad. Esto supone una pérdida de "confort térmico" especialmente durante los meses de verano;

- Incremento en la frecuencia de desarrollo de eventos atmosféricos extremos: lluvias torrenciales, temporales de viento y oleaje en la línea de costa, olas de calor tormentas de granizo, sequías más cortas en su duración, pero más intensas.

Este último aspecto tiene un impacto más directo sobre la vida de las personas y tiene un coste económico inmediato. Y supone el problema principal para las próximas décadas si se incrementa la frecuencia de desarrollo de los mismos.

#### Cambio climático y extremos atmosféricos en latitudes mediterráneas

El proceso de calentamiento climático actual va a tener efecto directo en ocurrencia más frecuente de eventos atmosféricos extremos. La alteración en la circulación atmosférica resulta manifiesta, especialmente en el hemisferio norte, debido al mayor efecto que está teniendo el calentamiento especialmente en latitudes polares y subpolares. Este hecho estaría vinculado con la pérdida de velocidad de la corriente en chorro (en este caso, el jet polar del hemisferio norte) que causaría un importante incremento de episodios adversos (olas de calor y de frío, sequías intensas y lluvias torrenciales) en latitudes medias, donde se localiza el ámbito mediterráneo. De manera que se estaría ocasionado por el registro de un menor gradiente térmico entre las franjas de latitud como consecuencia del calentamiento global, que implicaría una menor velocidad de la corriente en chorro. Algún estudio ha señalado que la velocidad media de la

corriente en chorro polar se habría reducido un 14% desde 1980 (Francis y Vavrus, 2012; Martín León, 2019). Esto implica una mayor ondulación del chorro, es decir, la generación más frecuente de ondas planetarias (crestas y vaguadas) con desplazamientos más rápidos de masas de aire cálido hacia latitudes septentrionales y de aire polar o ártico hacia el sur. Muñoz *et al.* (2020) ha confirmado, recientemente, el aumento de la circulación atmosféricas de “gota fría” en latitudes medias planetarias, que en hemisferio norte habría supuesto un incremento del 20% desde 1960 a 2017. Además, en el sector europeo de las latitudes medias, las zonas donde se habría concentrado la instalación de estas depresiones aisladas en niveles altos de la atmósfera corresponderían a Golfo de Cádiz y al Mediterráneo Occidental en su conjunto.

Los efectos del calentamiento climático en la circulación atmosférica en latitudes ibéricas van a originar, como señalan los modelos de cambio climático, un incremento en los eventos extremos relacionados con el incremento de temperatura y el mayor número de situaciones de inestabilidad atmosférica (borrascas enérgicas). La figura adjunta muestra la relación de episodios extremos que van a aumentar su frecuencia de desarrollo en las próximas décadas en el ámbito ibérico (fig. 2).

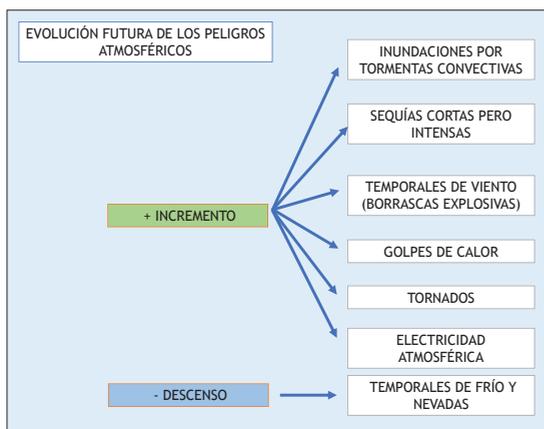


Fig. 2 - Evolución futura de los peligros atmosféricos en latitudes medias.

Fig. 2 - Future evolution of atmospheric hazards in mid-latitudes.

Esto va a tener una incidencia directa en la gestión de las emergencias, que deben adaptar sus protocolos a la nueva realidad climática (TABLA I).

TABLA I - Efectos del cambio climático en la génesis de extremos atmosféricos y relación con protección civil.

TABLE I - Effects of climate change on the genesis of atmospheric extremes and relationship with civil protection.

| Cambio en los elementos climáticos | Efectos en la protección civil            |
|------------------------------------|-------------------------------------------|
| Subida de temperaturas             | Incendios forestales violentos            |
|                                    | Golpes de calor (salud)                   |
| Cambios en las precipitaciones     | Inundaciones por lluvias de intensidad    |
|                                    | Sequías intensas (abastecimiento de agua) |
| Temporales de viento               | Temporales en la costa                    |
|                                    | Incendios forestales                      |

La mayor frecuencia, ya registrada, de episodios de calor extremo en los meses cálidos del año es un factor de peligrosidad añadida para la génesis de incendios forestales. El registro de grandes incendios en los últimos años ha aumentado en relación con la permanencia, durante más días, de condiciones de alta temperatura idónea para la extensión de los fuegos. Por su parte, el confort climático estival se ha deteriorado por el incremento de las noches tropicales, muy especialmente en el litoral mediterráneo de la península Ibérica, debido al calor acumulado en las aguas de dicho mar.

El cambio en las precipitaciones -cuantía anual, intensidad horaria, estacionalidad- es otro de los elementos destacados para el incremento del riesgo. Los modelos climáticos señalan una reducción en el volumen anual de lluvias, en todas las demarcaciones hidrográficas ibéricas salvo las cantábricas. Por su parte, se ha comprobado ya la reducción de lluvias primaverales en la mitad este de la península Ibérica y el aumento de las otoñales, que tienen un carácter más torrencial. Catto *et al.* (2019) han señalado la alteración que se estaría produciendo en las borrascas de estructura frontal de latitudes medias a causa del calentamiento atmosférico, con reducción de la sección “precipitable” en su estructura y la intensificación de las lluvias que se producen en ellas.

Finalmente, el calor acumulado en las cuencas oceánicas que bañan la península Ibérica supone un factor de peligrosidad natural añadida al propio calentamiento de la atmósfera, debido al almacenamiento de energía que ello supone y la posibilidad de su transferencia al aire. Un proceso que tiene, como se ha señalado, un doble efecto: mantenimiento de las temperaturas-especialmente las mínimas- en registros por encima de lo normal e intensificación de mecanismos de inestabilidad atmosférica (calor latente) por transferencia térmica directa agua-aire (calor sensible).

**La necesidad de adaptación**

El territorio mediterráneo y, muy especialmente, sus ciudades deben adaptarse ante el cambio climático y apostar por los principios de la economía circular como ejes básicos de planificación territorial y económica. La acción política por parte de los gobiernos, en cualquier escala, debe partir de la consideración de la lucha contra el cambio climático como principio rector principal. Las

políticas de cambio climático implican medidas que afectan, directa o indirectamente, a todas las áreas de gobierno, de ahí la necesidad de jerarquía y coordinación de las mismas por parte de un departamento exclusivo dedicado a políticas de cambio climático y/o medio ambiente en general.

Resulta prioritaria la elaboración de planes de adaptación al cambio climático en las escalas regional y local. Especialmente interesante es el diseño de actuaciones en la escala local porque es la más próxima a la ciudadanía y donde la implicación de las esferas pública y privada puede ser más efectiva. Estos planes de adaptación deben incorporar medidas de ordenación territorial (diseño urbano), de cambios en los sectores económicos, de movilidad sostenible, de educación ciudadana y de comunicación a la población. La implementación de las acciones contenidas en los planes de adaptación en la escala local tiene en las ordenanzas municipales un eficaz procedimiento jurídico-administrativo. Estos planes se deben elaborar bajo los principios de territorios de “emisiones cero” y de “economías sin carbono” que ya se están desarrollando en regiones y ciudades de países avanzados. Y deben tener un sistema transparente de seguimiento a partir de elaboración de informes de estado y del establecimiento de un sistema de indicadores.

Es necesario adaptar la planificación y gestión del agua a los escenarios de cambio climático. Los Planes Hidrológicos (de demarcación y de escala estatal) deben abandonar las medidas de oferta, como criterio de planificación, y centrarse en la gestión de los recursos propios en un territorio y en la demanda existente. En un contexto de cambio climático, con reducción de precipitaciones o, en el mejor de los casos, con alteración significativa de regímenes de lluvia, los trasvases de agua quedan en cuestión. Por el contrario, la planificación basada

en la gestión eficaz de los recursos existentes y en la incorporación de recursos no convencionales (depuración y desalación) son medidas racionales y realistas para la garantía de los abastecimientos. La reducción de costes del agua para uso agrario puede producirse, bien por la subvención directa por parte de las administraciones estatal y regional o bien por el establecimiento de sistemas de compensación entre la ciudad y el campo, a través del mecanismo del canon de saneamiento, depuración, al que habría que incorporar la tasa por desalación. Es importante que los municipios elaboren planes de gestión de sequía para escenarios de cambio climático.

Las ciudades deben adaptar sus sistemas de alcantarillado al tipo de precipitaciones (más intensa) que se está ya registrando en la región mediterránea. En definitiva, se trata de instalar sistemas de drenaje sostenible (tanques de tormenta y parques inundables). Un ejemplo interesante es el parque inundable de La Marjal (Playa de San Juan, Alicante) que funciona como habitualmente zona de recreo para la ciudad, transformándose en embalse de retención de aguas pluviales con ocasión de lluvias intensas (fot. 1).

En general, la planificación territorial y urbana debe adaptarse al cambio climático, a partir del empleo de la herramienta de “infraestructura verde” (fig. 3). Los aspectos que de forma específica debe incorporar la infraestructura verde en la planificación urbana y territorial para reducir los efectos del calentamiento climático son los siguientes: a) aumento de temperaturas y pérdida del confort térmico, cuyos efectos pueden mitigarse a partir de medidas de diseño urbano como el aumento de parques públicos, de espacios verdes en viviendas (terrazas y fachadas verdes): b) subida del nivel del mar en áreas litorales, cuyos efectos deben reducirse con acciones estructurales, en algunos casos,



Fot. 1 - Parque La Marjal (Alicante) un ejemplo de adaptación urbana a las precipitaciones cada vez más intensas del litoral mediterráneo (Fuente: Aguas de Alicante).

Photo 1 - La Marjal Park (Alicante), an example of urban adaptation to increasingly intense rainfall on the Spanish Mediterranean coast (Source: Aguas de Alicante company).

y con planificación territorial (regulación de usos en la línea costera, desocupación de primeras líneas de costa). Y c) cambios en las precipitaciones, con incremento de su intensidad y de su irregularidad, lo que obliga a diseñar, como se ha señalado, espacios para el drenaje de aguas de gran capacidad, así como depósitos de almacenamiento de agua de mayor capacidad que los existentes para garantizar el abastecimiento de las demandas urbanas.

Las ciudades mediterráneas adaptadas al cambio climático deben ser entornos amables, con mayor superficie urbana de zonas verdes para mejorar la pérdida de confort térmico, con mayor amplitud de calles y avenidas, con peatonalización de centros urbanos. Deben ser ciudades que apuesten por la movilidad urbana sostenible y con emisiones cero (autobuses, taxis, tranvías), con promoción de los puntos de carga eléctrica de vehículos. Y deben ser ciudades seguras, esto es, con garantía total de aseguramiento de abastecimiento de agua por encima de la irregularidad interanual e intraanual de las precipitaciones.

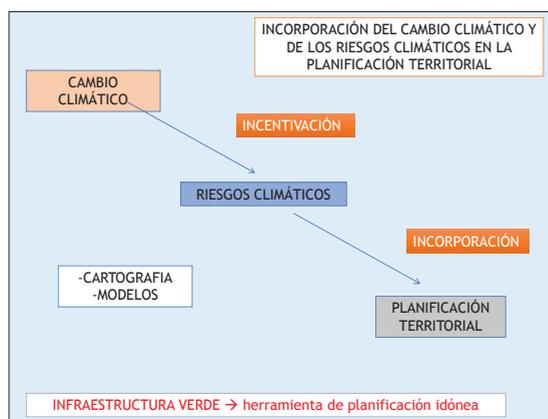


Fig. 3 - Esquema de incorporación del cambio climático y de los riesgos climáticos en la planificación territorial de los territorios mediterráneos.

Fig. 3 - Scheme for incorporating climate change and climatic risks in spatial planning for Mediterranean territories.

Los protocolos de gestión de las emergencias deben ser actualizados ante la posibilidad de fenómenos extremos más frecuentes y en cualquier época del año. Y estos protocolos deben enseñarse a la población en los territorios de riesgo, bien a través del currículo académico bien mediante campañas de comunicación del riesgo en la escala local, principalmente. La promoción del voluntariado para la gestión de las emergencias, que existe en algunos países, es una buena fórmula de implicación de la población local en las medidas de adaptación al cambio climático y sus extremos asociados.

Las actividades económicas más expuestas a los efectos del calentamiento climático (agricultura y turismo) deben comenzar a elaborar programas de adaptación a corto y medio

plazo. Estas acciones deben verse como una oportunidad de desarrollo económico, como se ha señalado, evitando los enfoques catastrofistas en la elaboración de las medidas a realizar. En agricultura, por ejemplo, debe contemplarse el cambio en los ciclos de cultivo y, en algunos casos, de sustitución de variedades. La investigación agronómica va a resultar fundamental para la adaptación de cultivos a las condiciones climáticas previstas en los modelos. En áreas con reducción prevista en las precipitaciones, la agricultura de secano deberá apoyarse en dotaciones de agua de apoyo para mantener las producciones. La eficiencia en el uso de agua debe ser prioridad, por su parte, en la agricultura de regadío. Por su parte, la modalidad de turismo de sol y playa tendrá que adaptar sus temporadas a los cambios en las temperaturas. Además, el calentamiento del agua que se registra en algunos mares, como el Mediterráneo, permitirán alargar la temporada de baños. Esto va a suponer cambios en el calendario laboral a favor de una mayor flexibilidad. El turismo basado en la nieve también deberá adaptar la temporada a la reducción, ya registrada, en el calendario y volúmenes de nieve, así como su reconversión a estaciones de montaña en sentido amplio, con oferta de actividades complementarias a la práctica del esquí. La industria basada en materias primas procedentes de transformación de combustibles fósiles debe reflexionar sobre su mantenimiento futuro en el marco de economías descarbonizadas. Las industrias del frío tendrán un desarrollo importante, así como la basada en la promoción de las energías limpias. La industria textil deberá adaptar sus producciones a un escenario climático con menos frío y más calor.

La educación en cambio climático y en la gestión del riesgo y de la emergencia debe incorporarse a los currículos de los niveles de enseñanza no universitaria. Algunos países ya lo han desarrollado -p.e. Italia- como asignaturas específicas o como contenidos dentro de materias de ciencias sociales o conocimiento del medio. O se pueden desarrollar como programas de enseñanza transversal (enseñanza por proyectos) en cambio climático y sus efectos entre diversas asignaturas en los diferentes cursos académicos.

## Conclusiones

El clima actual en la península Ibérica ya no es el mismo de hace tres décadas. Es un hecho constatado con datos científicos. El efecto del calentamiento climático planetario en las escalas regionales ha pasado de ser un tema de creencias a una cuestión de evidencia científica basada en registros instrumentales. La modificación en los elementos climáticos principales (temperaturas, precipitaciones) es un hecho avalado por los datos de observatorios meteorológicos ibéricos. Y a ello se une el cambio en la circulación atmosférica general que ya muestra síntomas en latitudes medias.

En este escenario, y debido a los escasos avances en materia de mitigación, de reducción de emisiones a nivel planetario, la adaptación de los territorios y las actividades económicas al cambio climático se presenta como un reto para la consolidación de una apuesta necesaria por la sostenibilidad territorial que debe ser el principio rector de planes y programas territoriales en las próximas décadas, en el marco del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y de la estrategia europea de descarbonización de la economía con horizonte 2050. La consideración del medio natural, en su comportamiento normal y extremo, es un principio de actuación ética irrenunciable de las sociedades que pretenden vivir en armonía con su territorio, desarrollando sus potencialidades, pero sin exceder sus límites y anticipándose a las incertidumbres de sus rasgos climáticos.

El cambio climático va a ser, por tanto, el gran eje de políticas públicas y actuaciones privadas del siglo XXI. No queda otra. Hay que ir desarrollando acciones orientadas a la reducción de los efectos señalados en la modelización climática. La región mediterránea es un espacio geográfico especialmente sensible a los efectos del cambio climático que ya manifiesta alteraciones en los elementos del clima, en la distribución de especies vegetales, especialmente en áreas de montaña, en algunas producciones agrarias (viñedo). La adaptación al cambio climático es una acción urgente en el mundo mediterráneo, una exigencia ciudadana, una responsabilidad política.

### Bibliografía

AEMET (2019). *Proyecciones climática para el siglo XXI en España*. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: [http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat) Última consulta: 27/01/2020 [En Línea].

Braudel, F. (1998). *Memorias del Mediterráneo*. Madrid. Ed. Cátedra, 384 p.

Calvo, F. (2001). *Sociedades y territorios en riesgo*. Barcelona, Ediciones del Serbal.

Catto, J. L., Ackerley, D., Booth, J. F., Champion, A. J., Colle, Brian A., Pfahl, S., Pinto, J. G., Quinting, J. F., Seiler, C. (2019), The Future of Midlatitude Cyclones, *Current Climate Change Reports*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40641-019-00149-4>

CEDEX (2017). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*, Madrid. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente y Ministerio de Fomento, 346 p.

CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES DEL MEDITERRÁNEO - CEAM (2020). *Mediterranean SST report (Summer 2020)*. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13817.70243>

Cramer, W., Guiot J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, M. C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M.N., Xoplaki, E. (2018) Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8, 972-980. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>

Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (2019) *Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. A preliminary assessment by the MedECC Network Science-policy interface - 2019*. Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change (MedECC) supported by the Union for the Mediterranean and Plan Bleu (UNEP/ MAP Regional Activity Center). Disponible en: [https://ufmsecretariat.org/wp-content/uploads/2019/10/MedECC-Booklet\\_EN\\_WEB.pdf](https://ufmsecretariat.org/wp-content/uploads/2019/10/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf). Consultado: abril 2020

Francis, F. A. and Vavrus, S .J. (2012). Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes, *Geophysical Research Letters*, vol. 39, L06801. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012GL051000>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC (2014). *Climate Change 2013 and Climate Change 2014* (3 vols.). Available on: <http://www.ipcc.ch/>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC (2018). Special Report on *Global Warming of 1.5°C*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5). Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Martín León, F. (2019). Los inviernos serán más cálidos, pero también con irrupciones más frías, en *Revista del Aficionado a la Meteorología*, febrero. Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/507091/los-inviernos-seran-mas-calidos-pero-tambien-con-irrupciones-mas-frias/>

Norwich, J. J. (2008). *El Mediterráneo. Un mar de encuentros y conflictos entre civilizaciones*, Barcelona, Ed. Ariel., 700 p.

Olcina Cantos, J. (2008). El Mediterráneo, región-riesgo: una visión desde España. En: *España y el Mediterráneo, una reflexión desde la geografía española*: aportación española al XXXI Congreso de la Unión Geográfica Internacional (Túnez). Madrid: Comité Español de la Unión Geográfica Internacional, 29-34

Olcina Cantos, J. (2020). Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Oportunidades para la geografía, *Documents de Anàlisi Geogràfica*, 66/1, 159-182.

Olcina Cantos, J. y Moltó Mantero, E. (eds.) (2019). *Climas y tiempos del País Valenciano*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 180 p. ISBN: 978-84-9717-659-0.

Olcina Cantos, J., Serrano-Notivoli, R., Miró, J., Meseguer-Ruiz, O. (2019). Tropical nights on the Spanish Mediterranean coast, 1950-2014. *Climate Research*, 78 (3), 225-236.

Romero, J. y Olcina Cantos, J., (eds.) (2021) *Cambio climático en el Mediterráneo. Procesos, riesgos y políticas*. Valencia. Ed. Tirant lo Blanc.

Tamayo Carmona, J. y Núñez Mora, J. A. (2020). Precipitaciones intensas en la comunidad valenciana. Análisis, sistemas de predicción y perspectivas ante el cambio climático en *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (coord. por Inmaculada López Ortiz, Joaquín Melgarejo Moreno). Universidad de Alicante, 49-62.



RISCOS



TRENDS OF CHANGE IN PRECIPITATION AND IN DROUGHT SUSCEPTIBILITY AS ASSESSED BY THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) IN NORTHEAST PORTUGAL

TENDÊNCIAS DE MUDANÇA NA PRECIPITAÇÃO E NA SUSCEPTIBILIDADE À SECA AVALIADA PELO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NORMALIZADA (SPI) NO NORDESTE DE PORTUGAL

13

Ana Caroline Royer

Polytechnic Institute of Bragança, Mountain Research Centre (Portugal)

ORCID 0000-0002-0746-185X [ana.royer@ipb.pt](mailto:ana.royer@ipb.pt)

Tomás de Figueiredo

Polytechnic Institute of Bragança, Mountain Research Centre (Portugal)

ORCID 0000-0001-7690-8996 [tomasfig@ipb.pt](mailto:tomasfig@ipb.pt)

Felícia Fonseca

Polytechnic Institute of Bragança, Mountain Research Centre (Portugal)

ORCID 0000-0001-7727-071X [ffonseca@ipb.pt](mailto:ffonseca@ipb.pt)

Fabiana Costa de Araújo Schütz

Federal Technological University of Paraná  
Academic Department of Environmental and Biological Sciences (Brazil)

ORCID 0000-0002-3424-1561 [fabianaschutz@utfpr.edu.br](mailto:fabianaschutz@utfpr.edu.br)

Zulimar Hernández

Mountains of Research Collaborative Laboratory (Portugal)

ORCID 0000-0002-7790-8397 [zhernandez@morecolab.pt](mailto:zhernandez@morecolab.pt)

ABSTRACT

Much of NE Portugal is an area of arid zones with moderate to severe susceptibility to desertification and drought. A single and coupled trend analysis of precipitation and SPI drought index was performed in six weather stations in NE Portugal (representative of the regional climate domains), over a seventy-year time series (1931-2000). Precipitation over the study period decreased at most stations, with a more pronounced trend in the wetter areas, whereas in the semiarid areas an increase in precipitation was found. As well as the frequency of months with severe and extreme drought, the frequency of dry and wet months increased when the SPI timescale increased (1 to 6 months) and when a more recent computation period is considered (1931-1960 to 1971-2000). The results highlight a tendency for precipitation extremes to occur in NE Portugal. The general development of trends in precipitation and drought reported in this study confirm a progressive severity in the susceptibility to desertification affecting NE Portugal.

**Keywords:** Climate variability, time trends, drought and desertification, precipitation extremes.

RESUMO

As zonas áridas ocupam boa parte do NE Portugal, região de moderada a severa suscetibilidade à desertificação e seca. A análise de tendência da precipitação, isolada e combinada, e do índice de seca SPI foi realizada em seis estações meteorológicas no NE Portugal (representativas dos climas regionais), no período 1931-2000. A precipitação diminuiu na maioria das estações, de modo mais pronunciado nas áreas mais húmidas, enquanto nas do semiárido se verificou um aumento na precipitação. Tal como no caso da frequência de meses com seca severa e extrema, a frequência de meses secos e húmidos aumentou com o aumento da escala de tempo do SPI (de 1 a 6 meses) e considerando o período de cálculo mais recente (de 1931-1960 a 1971-2000). Os resultados evidenciam uma tendência para o aumento da ocorrência de extremos de precipitação. Estas tendências de mudança na precipitação e seca confirmam um aumento da severidade na suscetibilidade à desertificação que afeta o NE Portugal.

**Palavras-chave:** Variabilidade climática, tendências temporais, seca e desertificação, precipitações extremas.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 23-02-2021, sujeito a revisão por pares a 10-03-2021 e aceite para publicação em 18-05-2021. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introduction

Changes in global climate are being reported and future climate scenarios keep alerting to relevant changes in mean air temperature and rainfall amounts and distribution patterns (IPCC, 2014). Uncertainties persist in what regards projections of future climate precipitation amounts but such projections consistently point out future increase in precipitation variability. As so, actual precipitation extremes are expected to increase in frequency in the future and future extremes are expected to increase in magnitude as compared to the actual ones. As a consequence, droughts and flood events are expected to occur more frequently and with higher magnitude than in present time, prospecting potentially damaging impacts of climate change. Variability of weather conditions increased in recent years, and if this trend persists in the near future, higher frequency and severity of extreme events are expected, namely an extension of drought periods. Apart from the global scale evidence, for mainland Portugal the scenario of widened precipitation extremes also applies (SIAM2, 2006; Costa *et al.*, 2012; APA, 2015; EEA, 2021; Fraga *et al.*, 2017; Fraga *et al.*, 2021).

As a present evidence of the global temperature rise projections (IPCC, 2014), southern Europe has experienced an increase of drought frequency and severity (Vicente-Serrano *et al.*, 2014; Gudmunsson and Seneviratne, 2015), more pronounced in the Mediterranean regions (Hoerling *et al.*, 2012; Spinoni *et al.*, 2017; Spinoni *et al.*, 2019; Giorgi and Lionello, 2008). Understanding drought phenomena, their monitoring, identification and prediction, help mitigating drought effects around the world, and particularly in arid environments and in the Mediterranean drylands.

As a complex phenomenon, there is not a universal concept to define drought. In general terms, drought is understood as a natural phenomenon associated with water scarcity due to natural precipitation variability, to which has to be added an insufficient supply by water provision human-made structures (Wilhite, 1992). Each drought event should be defined according not only to the climatic characteristics of the area but also to the impacts that it causes (Wilhite, 1992; Wilhite *et al.*, 2007). In this sense, droughts are commonly classified in four types, according to its duration and related impacts: meteorological, hydrological, agricultural and socioeconomic drought (Wilhite and Glantz, 1985; Wilhite, 1992).

Many drought indexes have been developed worldwide, for a particular or large-scale climatic region, using different data sources. Most drought indexes are based on meteorological parameters, e.g. precipitation, temperature, evapotranspiration, while others include also soil moisture. Studies using remote sources, single or combined with ground data sources, visibly progressed

in the last decade (Nicolai-Shaw *et al.*, 2017; Wei *et al.*, 2021). On the thematic of drought and desertification, review works describing and comparing the existing drought indicators have also been published in the last decade (Cherlet *et al.*, 2018; Fernandes e Heinemann, 2009; Svoboda and Fuchs, 2017; Zargar *et al.*, 2011).

To characterize meteorological droughts around the world, the Lincoln Declaration on Drought Indices, approved in 2009 by experts of the United States National Drought Mitigation Center (NDMC), the World Meteorological Organization (WMO), the United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the School of Natural Resources of the University of Nebraska, the United States Department of Agriculture (USDA) and the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), recommended the use of Standardized Precipitation Index (SPI) by each National Meteorological and Hydrological Services (WMO, 2012, p. 1; Hayes *et al.*, 2011, p. 488).

The SPI was developed by McKee *et al.* (1993). It requires only precipitation as input data, and it was designed to detect precipitation deficit at multiple timescales (1 to 48-month), an advantage that recommended its wide application. In fact, once SPI is a normalized or standardized index, it has wide applicability and may allow comparison between distinct climate regions around the world (Svoboda and Fuchs, 2017). As pointed out by several studies, SPI's representation of actual drought conditions is more consistent for short-medium timescales than for the larger ones (Vicente-Serrano e López-Moreno, 2005; Tirivarombo *et al.*, 2018). SPI was used in several contexts within the drought and desertification thematic, approaches covering drought forecasting (Mishra and Desai, 2005; Cancelliere *et al.*, 2007) drought monitoring (Tirivarombo *et al.*, 2018), and drought prediction, in this case using Markov Chains to predict SPI Drought Class transition (Steinemann, 2003; Paulo *et al.*, 2005; Paulo and Pereira, 2007; Avilés *et al.*, 2016). As well, SPI was applied in the hydrological context, for example to investigate reservoir effect on catchment response as represented by the streamflow series (Serra, 2014).

Drought characterization by IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) uses PDSI - Palmer Drought Severity Index, developed by Palmer in 1965, which is based on precipitation and temperature data, although IPMA is also applying SPI in internal research projects, following WMO recommendations. Some studies using SPI and PDSI have been conducted in Southern Portugal, as in the Alentejo (Paulo and Pereira, 2006), Algarve and Baixo Alentejo regions (Pulido-Calvo *et al.*, 2020). However, no specific study applying SPI is reported for the Northeast (NE) region of Portugal. For example, Paulo *et al.* (2016) carried out an analysis using SPI in several locations across Portugal, but none was located

in the NE region. Some approaches assessing the spatial variability of precipitation and drought events in Portugal are reported in literature, commonly using one type of cluster analysis to define homogeneous regions in what regards the studied parameters (Santos, *et al.*, 2010; Moreira *et al.*, 2015).

Much of Trás-os-Montes mountain region, NE Portugal, are drylands enduring soil degradation processes, therefore facing medium to high susceptibility to desertification and drought (Figueiredo *et al.*, 2015b). The Intermunicipal Plans for Adaptation to Climate Change of Terra Quente Transmontana and Terra Fria Transmontana (PIAAC\_TQT, 2018; PIAAC\_TFT, 2018) identified the main climate vulnerabilities to which the NE territory is susceptible, which include excessive precipitation events, heat waves and droughts, while minor expression was assigned to strong winds, cold waves, frosts and fog. Some of these vulnerabilities play also an essential role on wildfire occurrence, a hazard with potential and actual negative impacts on natural resources in this region, which increased frequency has been reported (Cavalli, *et al.*, 2019; Figueiredo *et al.*, 2014). Due to this critical scenario, typical of the Mediterranean mountains, it is important to monitor drought and study changes in climate patterns, supported in long term data series. In this line, the present study aimed at analyzing temporal change trends in precipitation and drought events over 70 years in the last century in the northeast (NE) Portugal. Moreover, an analysis was carried out on the extension of drought periods in the region, using SPI generated by long term precipitation series of representative weather stations.

### Methodology

The natural susceptibility of the study area, NE Portugal, increased by past and present human activities, has been already reported in literature. The Soil Map of Northeast of Portugal indicates that 60% of the territory (1.309 million ha) corresponds to degraded soils (Agroconsultores and Coba, 1991). Major soils that cover this surface are Leptosols (72%), with incipient profile development (Figueiredo, 2013). They are shallow, acid, present high stoniness and low organic matter content, limiting soil water storage, therefore conditioning land use options.

An analysis on Soil Degradation Risks and Status conducted by Figueiredo *et al.* (2015b) reveals that in 38% of the area soils depict a degradation status, which is qualified as extreme in 12%, very severe in 10% and severe in 16% of the area. Soils under severe risk of soil degradation, yet not degraded, occupy 9% of the territory, while the remaining areas present a minimum to moderate soil degradation risk. A large part of the degraded soils is concentrated in desertification susceptibility areas, defined according to the aridity index (Figueiredo *et al.*, 2015b).

The aridity index (AI) corresponds to the ratio between annual Precipitation and potential evapotranspiration, with four classes of AI observed in NE territory: Semiarid ( $0.2 < AI < 0.5$ ), dry-subhumid ( $0.5 < AI < 0.65$ ), wet sub-humid ( $0.65 < AI < 1$ ) and humid ( $AI > 1$ ) (PANCD, 2011). These climate classes are used for desertification susceptibility purposes, the semiarid corresponding to severe susceptibility and the dry sub-humid to moderate susceptibility. According to Köppen Climate Classification, NE Portugal fits in the Csa and Csb climates, both Mediterranean with dry, hot summer (Csa) in the south, and mild dry summer (Csb) in the north and extreme northeast of the region (Köppen, 1936; IPMA, 2021). Agroconsultores and Coba (1991) apply a regional climatic classification based on mean annual temperature and mean annual precipitation, following Gonçalves's works (Gonçalves, 1985a, 1985b), which divided the NE territory, known as Trás-os-Montes, in *Terra Fria (Cold Land)*, *Terra Quente (Warm Land)* and *Terra de Transição (Transition Land)*. These two classifications fairly match with that based on AI and so they may also be used to roughly identify areas with severe susceptibility to desertification in NE Portugal. In fact, most of the semiarid and dry sub-humid areas fall in Gonçalves Terra Quente climate classes (Royer, 2019).

The analysis was carried out on six selected weather stations considered representative of the climatic domains of the study area, NE Portugal (fig. 1, TABLE I). These weather stations are part of the meteorological monitoring network of SNIRH - *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos* - available online at <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>. Double mass analysis (Linsley *et al.*, 1982; Arikan and Kahya, 2019) showed no break in the cumulative plot of paired weather stations monthly precipitation series for the study periods defined, and the correlation between all paired series ranged from 0.995 to 0.999, with a median of 0.999, therefore indicating the homogeneity of the data series analyzed in this study. The precipitation change trends over time were carried out with annual mean values of two reference periods: the decades and the thirty-year climatological normal. Moreover, an interannual analysis was performed by selecting two key months: the months with the highest and lowest precipitation of the hydrological year (October to September). In both cases, the temporal evolution of the coefficient of variation (standard deviation / average) of the precipitation series was also assessed, together with the influence of terrain variables on precipitation temporal trends derived for each weather station.

SPI computation requires precipitation monthly series as input data. For each station, the climatological normal periods with complete data series were identified and SPI was computed for each one of the thirty-year

periods indicated in TABLE I. In some stations, the last climatological normal period (1971-2000) was not available for SPI computation, due either to weather station deactivation or to gaps in the series. Gaps in the 2001-2010 decade also recommended not to include the 1981-2010 normal in the analysis.

Data treatment software used in this study included Excel, to organise input datasets, and SPIGenerator software v. 4.0 (made available by the National Drought Mitigation Center (NDMC) at <https://drought.unl.edu/>

[droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx](https://droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx)), to obtain the SPI monthly series. SPI adjusts data from a historical rainfall series through a gamma probability distribution, which is then transformed into a Standardized Gaussian distribution. Since it is based on the precipitation probability distribution and this is a standardized distribution, SPI can equally represent drier and wetter climate zones. Thus, comparisons between different locations worldwide can be established. According to WMO (2012), SPI central class corresponds to normal

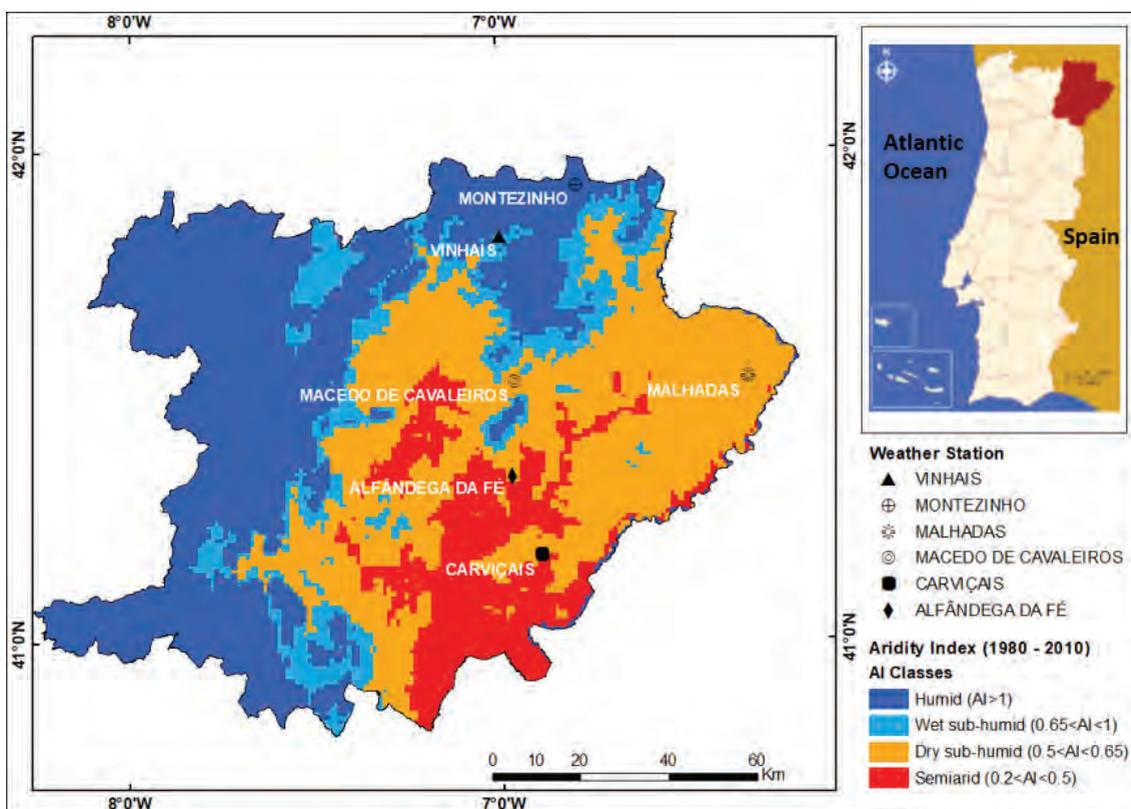


Fig. 1 - Location of the weather stations in the NE Portugal climate regions defined according to Aridity Index (1980-2010) classes (Data Source: SNIG and SNIRH. Coordinate system: ETRS89/PT-TM06).

Fig. 1 - Localização das estações meteorológicas nos domínios climáticos do NE de Portugal definidos de acordo com as classes do Índice de Aridez (1980 -2010) (Fonte de dados: SNIG e SNIRH. Sistema de coordenadas: ETRS89/PT-TM06).

TABLE I - Characteristics of the selected weather stations in NE Portugal.

TABELA I - Características das estações meteorológicas selecionadas no NE de Portugal.

| Weather Station      | Elevation (m) | Lat (°N), Long (°W)  | AI Class     | Available monthly precipitation data (climatological normal) |
|----------------------|---------------|----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------|
| Alfândega da Fé      | 558           | 41.34, -6.966        | Semiarid     | 1931-1960, 1951-1980 and 1971-2000                           |
| Carviçais            | 611           | 41.179, -6.89        | Semiarid     | 1931-1960, 1951-1980 and 1971-2000                           |
| Macedo de Cavaleiros | 551           | 41.532973, -6.958648 | Dry subhumid | 1931-1960, 1951-1980 and 1971-2000                           |
| Malhadas             | 780           | 41.537429, -6.326417 | Dry subhumid | 1931-1960 and 1951-1980                                      |
| Vinhais              | 636           | 41.827975, -6.993837 | Wet subhumid | 1931-1960, 1951-1980 and 1971-2000                           |
| Montezinho           | 1159          | 41.932, -6.785       | Humid        | 1931-1960 and 1951-1980                                      |

average precipitation, while negative SPI values indicate lower than median precipitation and positive values indicate higher than median precipitation (TABLE II). The SPI timescale corresponds to the number of months chosen for accumulating the monthly precipitation, e.g., to obtain the SPI-3 of March, rainfall from January to March is summed up. The SPI timescales represent the longer-term precipitation anomalies, intended to help assessing drought severity. McKee *et al.* (1993) suggest input precipitation series with at least 30 years records, once more extended input data series provides more reliable SPI values.

The methodology applied on drought temporal trend analysis is presented in a scheme (fig. 2). Firstly, monthly SPI values were calculated for each climatological normal (30 years) and then classified according to TABLE II. The timescales calculated in this study were SPI 1, SPI 3 and SPI 6 month. After this step, the periods overlapping two consecutive climatological normal periods were analysed, the SPI class frequencies issued from each one of the two overlapped normal periods being compared. Overlapped periods correspond to the 1951-1960 and 1971-1980 decades, summing a total of 120 months each period. For each one of these decades, the three selected SPI timescales were correlated by linear regression.

TABLE II - Classes of Standardized Precipitation Index (SPI) according to McKee *et al.*, 1993.

TABELA II - Classes do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) segundo McKee *et al.*, 1993.

| SPI value    | Legend | SPI Classes    | Aggregated classes |
|--------------|--------|----------------|--------------------|
| > 2.0        |        | Extremely wet  | Wet months         |
| 1.5 a 1.99   |        | Very wet       |                    |
| 1.0 a 1.49   |        | Moderately wet |                    |
| -0.99 a 0.99 |        | Near normal    | Normal months      |
| -1.0 a -1.49 |        | Moderately dry | Dry months         |
| -1.5 a -1.99 |        | Severely dry   |                    |
| 4< -2.0      |        | Extremely dry  |                    |



Fig. 2 - Scheme of the analysis of overlapped periods, using the SPI class frequencies as metrics.

Fig. 2 - Esquema da análise de períodos coincidentes usando como métrica as frequências das classes de SPI.

## Results and Discussion

### Change trends in precipitation

Mean annual precipitation in the selected weather stations for the whole study period (1931-2000), which shows the strong altitudinal influence in precipitation

distribution in NE Portugal (fig. 3). For the selected stations, mean annual precipitation is positively correlated with elevation ( $r^2 = 0.63$ ) and latitude ( $r^2 = 0.72$ ). The correlation between those variables is often reported. For the NE region, Figueiredo *et al.* (1990) obtained determination coefficients ( $r^2$ ) of 0.513 between annual precipitation and elevation, and of 0.430 between annual precipitation and latitude. Besides, mapping exercises of the regional climates distribution was very much supported on the altitudinal gradients of temperature and precipitation observed throughout this region (Gonçalves, 1985a; Agroconsultores and Coba, 1991). The effect of longitude on precipitation reflects continentality, a factor that may explain mean annual precipitation at Malhadas as compared with that at Vinhais (respectively below and above the expected from the altitudinal gradient). Malhadas is the most eastern inland station, under the continental influence of the Iberian Meseta, whereas Vinhais is the most western one, still receiving the Atlantic influence (Gonçalves *et al.*, 2016).

To explore the precipitation temporal pattern of evolution in each station throughout the whole study period, annual precipitation averages for three periods of climatological normal (1931-1960, 1951-1980, 1971-2000) and their overlapped decades: 1951-1960 and 1971-1980 are presented (fig. 4).

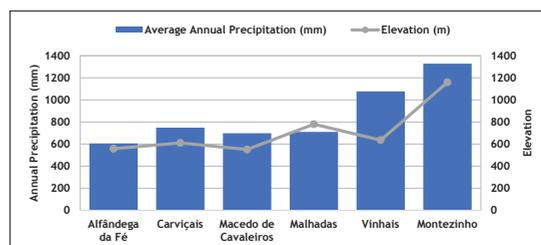


Fig. 3 - Mean Annual Precipitation of the study period (1931-2000) for each station and its respective elevation.

Fig. 3 - Precipitação média anual do período de estudo (1931-2000) para cada estação e sua respectiva altitude.

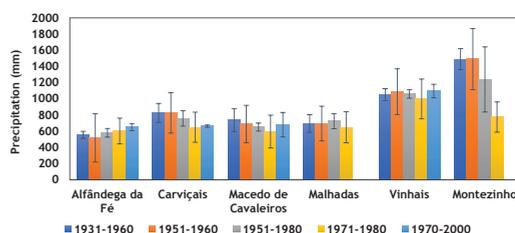


Fig. 4 - Annual precipitation (mean and standard deviation) in the climatological normal and overlapped decades for the selected NE weather stations.

Fig. 4 - Precipitação anual (média e desvio padrão) nas normais climatológicas e nas décadas de sobreposição para as estações meteorológicas selecionadas no Nordeste de Portugal.

The NE Portugal presents sharp climatic contrasts, well represented in fig. 3, and fig. 4 depicts annual rainfall

evolution during the study period. The highest mean annual precipitation is found in Montezinho, falling in the Humid climatic domain, followed by Vinhais, representing the wet sub-humid. In Montezinho, rainfall decreased over time, while in Vinhais no consistent change trend is noticed, positive or negative. The semiarid conditions are represented by Alfândega da Fé and Carviçais, which depict opposite change trends along study period, Alfândega da Fé with a slight increase in mean annual precipitation and Carviçais with a decrease. In Macedo de Cavaleiros the mean annual precipitation steadily decreased since 1931-1960, rising up in the last climatological normal period (1971-2000). The standard deviation is higher in the overlapped decades, as well as the coefficients of variation, once they represent just a 10 years series, while the climatological normal periods represents a 30 years period. Considering the coefficients of variation (CV) just for the three climatological normal periods, Carviçais, Alfândega da Fé and Malhadas presented a decrease in the CV from the latest to the most recent thirty-year period, while for the remaining stations the CV risen over time.

The months with the highest and the lowest precipitation of each hydrological year (October from September) were selected to analyze the temporal change trends that occurred along the study period in the wettest and the driest seasons, respectively. As expected in a Mediterranean domain, the wettest month was January (more frequently) or December, and the driest was August. The evolution of the mean monthly precipitation (fig. 5 and fig.6) for each station are subject to analysis, considering the same periods identified in fig.4.

Except for Alfândega da Fé and Malhadas, January average precipitation was lower in more recent years as compared to the first climatological normal period (fig. 5). While in most stations no consistent change trend was observed over time, Montezinho had a steady decrease in average precipitation along the study period. Largest decreases from the first to last computation period were 47 mm in Montezinho and 30 mm in Carviçais. Macedo de Cavaleiros presents a roughly continuous decrease along the study period. On the contrary, January mean rainfall in Alfândega da Fé increased, a trend roughly followed also in Malhadas.

Only the stations located in humid and wet sub-humid domains present mean rainfall above 20 mm in August (fig. 6). Except for Alfândega da Fé, the mean August precipitation decreased over time; although a slight increase is observed in the last climatological normal period of the 20<sup>th</sup> century. It is noteworthy the substantial decrease in August' mean rainfall in Montezinho along the study period, which ends in 1980 in this station as well as in that of Malhadas. All stations, except Alfândega da Fé, present an increase in the CV of the August precipitation

series along the century. For January, the CV has an opposite temporal change trend, depicting a reduction in all six stations.

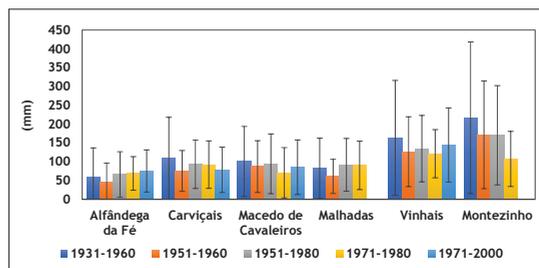


Fig. 5 - Mean monthly precipitation for January for the climatological normal and overlapped decades.

Fig. 5 - *Precipitação média mensal do mês de Janeiro para as normais climatológicas e as décadas de sobreposição.*

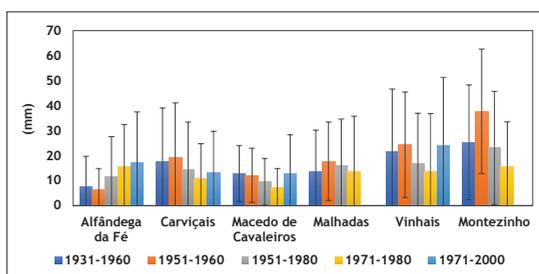


Fig. 6 - Mean monthly precipitation in August for the climatological normal and overlapped decades.

Fig. 6 - *Precipitação média mensal do mês de agosto para as normais climatológicas e as décadas de sobreposição.*

This overview reveals a tendency to both extremes, above-normal precipitation and scarce precipitation periods. For wet regions, in Terra Fria Transmontana, represented by Montezinho and Vinhais in this study, the reduction of the precipitation seems to be most expressive. For drylands, a contradictory behaviour between representative stations was detected. According to the precipitation anomaly analyzed in the Intermunicipal Climate Change Adaptation Plan for Terra Quente Transmontana (PIAAC\_TQT, 2018), it is expected an increase of mean annual precipitation values for Alfândega da Fé and Macedo de Cavaleiros, especially on the highlands, namely on Serra de Bornes (1200 m elevation). This rise in precipitation represents an increase in intense rainfall episodes (PIAAC\_TQT, 2018, p. 67). This same report reveals an increase in the projected annual precipitation as compared to the actual amounts, although a decrease in the mean number of days with precipitation higher than 1 mm for spring, autumn and summer is also projected. The combined projections suggest an increase in extreme rainfall events, i.e. more erosive rains will be expected (PIAAC\_TFT, 2018). It should be emphasized that the uncertainty associated with the predictions of precipitation anomalies is substantially higher than of temperature, as highlighted in those studies (PIAAC\_TFT, 2018; PIAAC\_TQT, 2018).

According to Costa *et al.* (2012), NE Portugal may be an exception in the national territory, since the future projections of regional climate models reveal an overall drying trend across Portugal, while a precipitation increase is projected over NE Portugal, concentrated in winter. Moreover, as also projected, an increase is expected in the numbers of extreme precipitation events and its contribution to the seasonal totals in winter and spring. As such contributions compensate the decrease in the drier seasons mean precipitation, in the future regional climate higher than actual annual precipitations are therefore expected (Costa *et al.*, 2012).

#### *SPI change trends*

As mentioned before, SPI identifies the wet and dry months of a long-term monthly precipitation series, following the classification presented in TABLE II. The frequency of wet, normal and dry months were analyzed in all selected weather stations, according to the methodological approach presented in fig. 2. As an example with Vinhais, Malhadas and Montezinho data, the number of months of the 10-year series (120 months) classified as wet, normal or dry according to the SPI classes are presented (fig. 7). The 10-year series correspond to the overlapped years of two consecutive climatological normal periods. Moreover, each graph of fig. 7 depicts paired columns for each SPI timescale (1 month, 3 months and 6 months), which represent the SPI frequency class distribution when computed with the precedent and with the sequent thirty-year long data series, overlapped in the mentioned decade.

Montezinho depicts a decrease in the number of months classified as dry, when comparing an earlier with a more recent 30-year computation period, and when comparing a shorter with a longer SPI timescale. This matches the trend observed for August precipitation shown in fig. 6. Carviçais has a similar SPI class frequency distribution, in this case with a more clear increase in wet months at the expenses of the normal and dry months' frequencies. Malhadas shows a different SPI class distribution, with a decrease in the number of normal months at the expenses of the extreme classes, when comparing SPI timescales and computation period, earlier or more recent. However, while the number of wet months decreases, the opposite is found in the number of dry months. For Vinhais, Alfândega da Fé and Macedo de Cavaleiros, the number of both dry and wet months increased as a result of the two effects being analyzed: towards a more recent SPI 30-year period and towards a longer timescale. This same pattern of SPI class frequency distribution is exacerbated when considering the second and more recent overlapped period (1971-1980) (fig. 7). In summary, there is a general and noticeable tendency towards the increase in SPI extreme classes throughout the 70-years study period.

Furthermore, the SPI for the two overlapped periods were confronted by linear regression considering the same SPI timescale and the respective climatological normal. Regression functions obtained relate 120 paired sets of monthly SPI data in each overlapped decade, the ones issued from the earlier 30-year period (x) and the other issued from the more recent one (y). For most of the selected stations, the slopes of the regression line and the determination coefficients obtained in each case (TABLE III) tend to increase as the timescale increases, for the same overlapped decade. In other words, the SPI data distribution of each series is changed from the earlier to the more recent overlapped decade, and the regression parameters change so as to fit the more frequent extremes in more recent periods.

Focusing the analysis on the dry months, three stations were selected as example (fig. 8), where the earlier aggregated SPI classes are now presented as defined in TABLE II. As drought severity depends on duration, intensity and geographical extent of a specific event (Wilhite and Glantz, 1985), at longer timescales the SPI responds more slowly to short term precipitation changes because the precipitation of the following month has less impact in the index. Hence, drought conditions assessed by SPI6 tend to persist with higher severity (McKee *et al.*, 1993), summing up a larger number of months as compared to shorter timescales. In this study, this can be observed in both overlapped decades for Vinhais and Alfândega da Fé. Actually, Vinhais stands as a good example to show the SPI trend towards the extremes from earlier to more recent times, as in the more recent precipitation series more months are classified in the dry classes. It is important to remind that Vinhais falls in the wet sub-humid climatic domain. For the semiarid Alfândega da Fé, the same pattern was found, however, more pronounced in the first overlapped decade (1951-1960) since for the overlapped decade 1971-1980 fewer months are included in SPI dry classes. This may be explained by the increase in rainfall amounts recorded in Alfândega da Fé, as discussed in the previous subsection (PIAAC\_TQT, 2018). However, the opposite pattern is observed for Macedo de Cavaleiros, where the more recent overlapped period includes much more severe drought episodes than the earlier overlapped period (fig. 8). In this context, Kovacs *et al.* (2014) stress that increases in rainfall amounts alone do not necessarily lead to less severe hydrological drought conditions and higher soil moisture because of the rise in actual evapotranspiration. In fact, the extremely dry periods for Macedo de Cavaleiros station are more frequent in the more recent overlapped decade (1971-2000).

#### *Precipitation variability and drought in NE Portugal*

A drought episode reflects a below-average rainfall expected for a region. Thus, to illustrate the relation between the precipitation amounts and SPI values

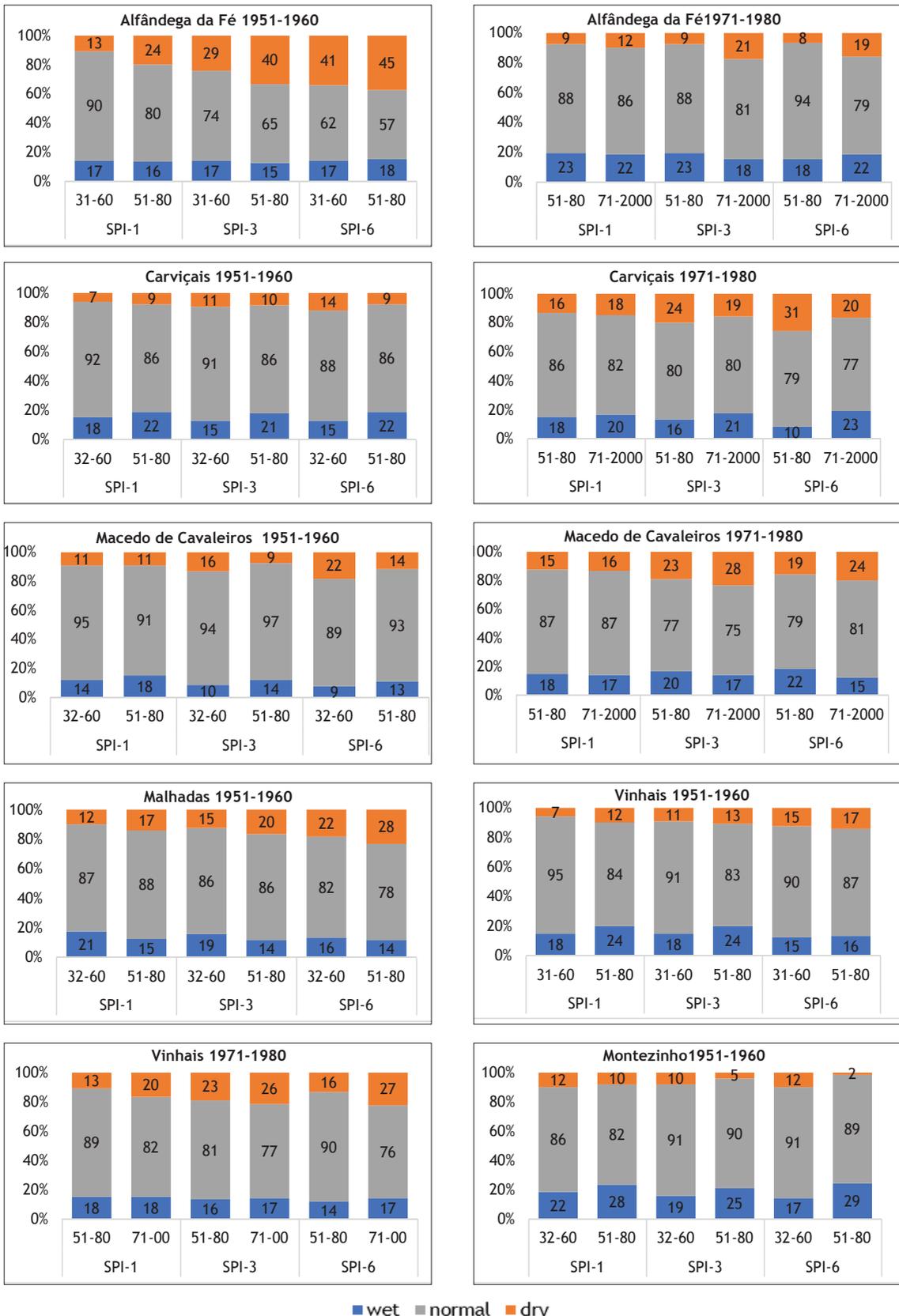


Fig. 7 - SPI aggregated class frequency for overlapped decades of the precipitation series of Alfândega da Fé, Carviçais, Macedo de Cavaleiros, Malhadas, Vinhais and Montezinho (number of months in columns, in a total of 120 months).

Fig. 7 - Frequência de classes agregadas de SPI para as décadas coincidentes das séries de precipitação de Alfândega da Fé, Carviçais, Macedo de Cavaleiros, Malhadas, Vinhais e Montezinho (número de meses nas colunas, num total de 120 meses).

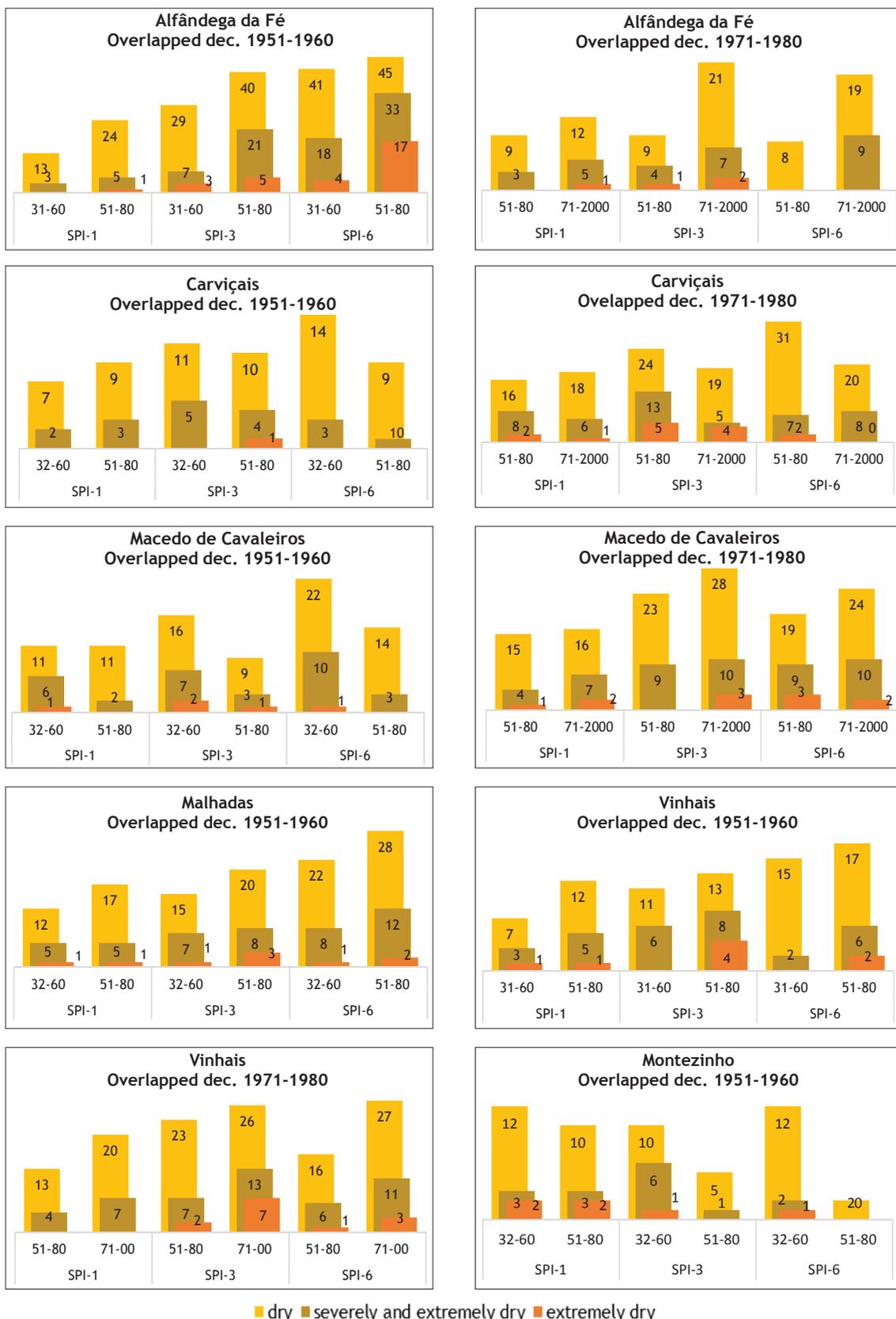


Fig. 8 - SPI class frequency of dry months in the overlapped decades at the Alfândega da Fé, Carviçais, Macedo de Cavaleiros, Malhadas, Vinhais and Montezinho (number of months in columns, in a total of 120 months).

Fig. 8 - Frequência de classes de SPI nos meses secos das décadas coincidentes nas estações Alfândega da Fé, Carviçais, Macedo de Cavaleiros, Malhadas, Vinhais e Montezinho (número de meses nas colunas, num total de 120 meses).

TABLE III - Regression parameters for the SPI series of the overlapped periods for the studied stations.

TABELA III - Parâmetros de regressão das séries de SPI para os períodos de sobreposição das estações estudadas.

| Weather station      | Parameter      | Overlapped decade 1951-1960 |       |       | Overlapped decade 1971-1980 |       |       |
|----------------------|----------------|-----------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
|                      |                | SPI 1                       | SPI 3 | SPI 6 | SPI 1                       | SPI 3 | SPI 6 |
| Alfândega da Fé      | r <sup>2</sup> | 0.895                       | 0.933 | 0.920 | 0.832                       | 0.835 | 0.777 |
|                      | b              | 0.995                       | 1.110 | 1.135 | 0.975                       | 1.014 | 1.113 |
| Carviçais            | r <sup>2</sup> | 0.920                       | 0.921 | 0.881 | 0.851                       | 0.868 | 0.845 |
|                      | b              | 0.998                       | 1.032 | 1.000 | 0.934                       | 0.924 | 0.974 |
| Macedo de Cavaleiros | r <sup>2</sup> | 0.834                       | 0.827 | 0.840 | 0.869                       | 0.859 | 0.831 |
|                      | b              | 0.892                       | 0.874 | 0.920 | 0.917                       | 0.927 | 0.852 |
| Malhadas             | r <sup>2</sup> | 0.915                       | 0.924 | 0.882 | -                           | -     | -     |
|                      | b              | 0.961                       | 0.980 | 0.989 | -                           | -     | -     |
| Vinhais              | r <sup>2</sup> | 0.873                       | 0.956 | 0.933 | 0.874                       | 0.888 | 0.889 |
|                      | b              | 1.009                       | 1.084 | 1.108 | 0.970                       | 1.028 | 1.116 |
| Montezinho           | r <sup>2</sup> | 0.921                       | 0.813 | 0.709 | -                           | -     | -     |
|                      | b              | 1.011                       | 0.940 | 0.908 | -                           | -     | -     |

obtained for each station, the precipitation threshold to wet, normal and dry SPI categories are presented (fig. 9), considering the two overlapped periods as indicated before. As expected, Montezinho presents the highest mean monthly precipitation required to reach a certain SPI class, as compared to the other stations, 206 mm for wet and 59 mm for dry periods. On the contrary, the lowest rainfall threshold are found in Alfândega da Fé, 81 mm and 14 mm for wet and dry months, respectively. Rainfalls required to qualify a month as 'normal' are around 50 mm for most stations, the higher values being found in stations located in the wet sub-humid and humid climatic domains. Moving from 1951-1960 to 1971-1980 overlapped decades, the precipitation amount required to assign a month to a certain SPI class is slightly reduced for at least one of the extreme classes. For Vinhais, Carviçais and Macedo de Cavaleiros, the mean monthly precipitation threshold decreases from the earlier to the more recent overlapped decade, either for wet or for dry SPI classes. In southern weather stations in Portugal, Paulo *et al.* (2016) also observed this trend, since the precipitation thresholds for a given drought class in a more recent SPI computation period were lower than the threshold in the precedent period. Although those evidences are not statistically significant, they might be one more element confirming the actual trend towards precipitation extremes, which is a persistently outlined scenario in climate change projections.

The analysis presented above alerts to a potential increase in desertification susceptibility in NE Portugal. Not just the semiarid regions have been increasing severity in desertification susceptibility, but also other wetter areas evolved to dry subhumid (PANCD, 2011; Figueiredo *et al.*, 2015a). That is precisely the case of Macedo de Cavaleiros station, when comparing the AI index computed for the 1960-1990 and 2000-2010 periods: In the first period, it is classified as humid and in the second period as dry sub-humid according to

the aridity index based climate classification (PANCD, 2011). The same change in AI class occurred in Malhadas (wet subhumid to dry subhumid), Vinhais (humid to wet subhumid) and Carviçais (wet subhumid to semiarid) (PANCD, 2011). Seemingly, an annual precipitation decrease through time could justify the decrease in AI, but this was not consistently observed in the whole region, as described above when analyzing precipitation trends. The main outcome of this analysis was a trend towards the extremes in precipitation and SPI. The contribution of evapotranspiration changes to the AI trend could be related to the more widely reported positive change trend in temperature. However, this line was not explored in the present research.

In any case, the relationships being explored are complex and the interpretation of research results is not always straightforward, for which may also contribute topoclimatic effects, especially relevant in mountain areas as NE Portugal. The study by Paulo *et al.* (2012) may be taken as an example to this respect. These authors compared four drought indices in 27 weather stations across Portugal and did not find a significant relationship between the aridity index and the climate change trend observed in their work. Also, Paulo *et al.* (2016) did not detect a typical pattern of drought aggravation in their study across Portugal; however, they pointed out the need for revisiting and updating the definition of 'normal' conditions that are a key reference for detecting relevant or significant changes. This is not only because of precipitation changes through time, as part of its inherent variability, but also because more data are available as data series grow in extent.

Differences in drought variability patterns suggest splitting Continental Portugal in two sub-regions (Martins, *et al.*, 2012; Moreira *et al.*, 2015; Santos, *et al.*, 2010). Analyzing the spatial drought variability based on SPI and applying principal component analysis,

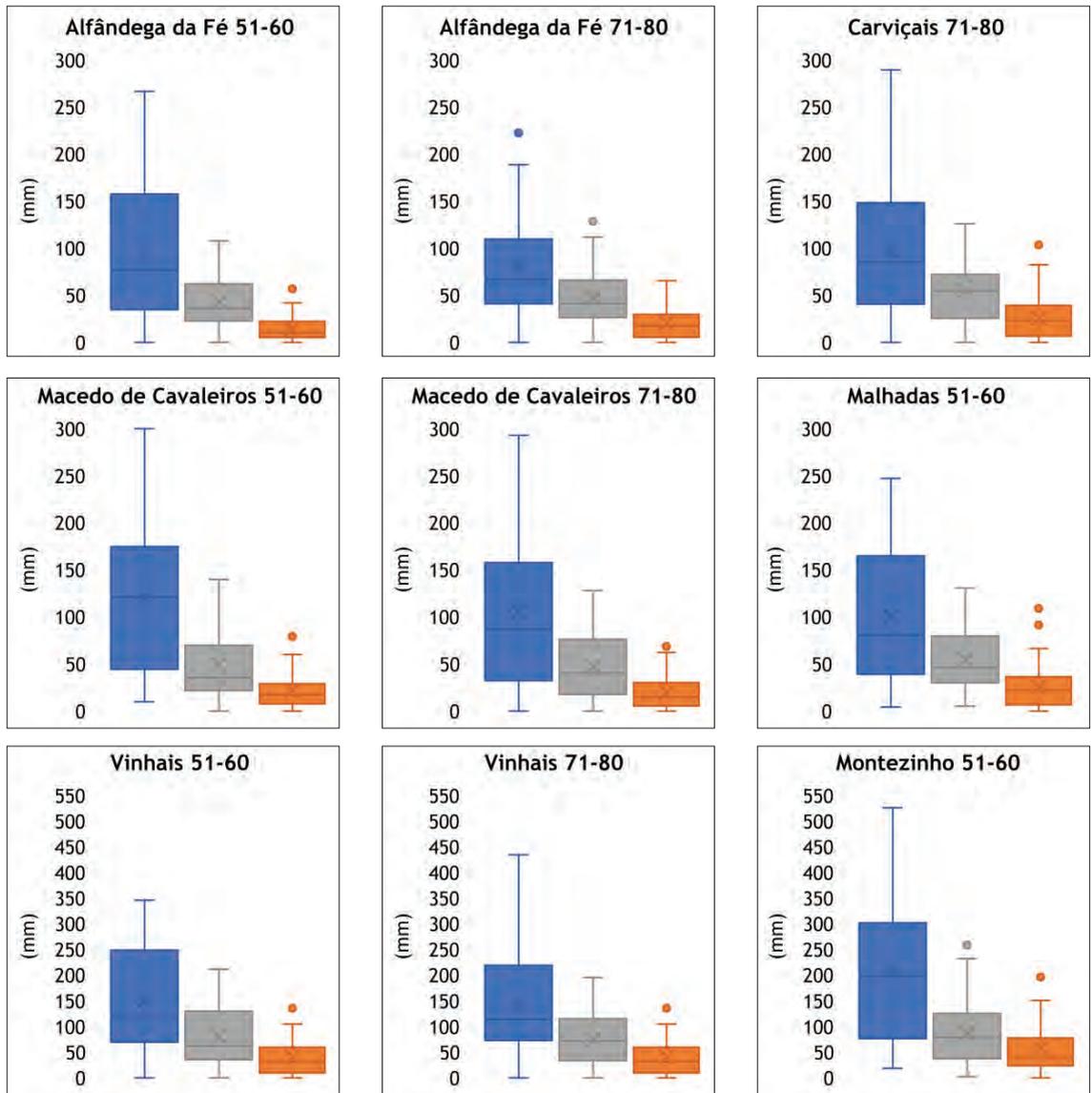


Fig. 9 - Monthly precipitation distribution for months classified as wet, normal, and dry according to SPI (boxplots presenting average, quartiles, extreme percentiles and outliers).

Fig. 9 - Distribuição da precipitação mensal para os meses classificados pelo SPI como húmidos, normais e secos (média, quatis, percentis extremos e valores aberrantes apresentados em boxplot).

Razieri *et al.* (2015) indicate a slight increase in the drought variability complexity for longer than shorter SPI timescales in Centre-Eastern Portugal, a third sub-region to be considered apart from the other two. The trend analysis across Portugal performed by Moreira *et al.* (2012) and by Martins *et al.* (2012) detected no evidence of either increase or decrease in drought severity and occurrence, considering the two sub-regions North-Western and Southern Portugal. However, in Moreira *et al.* 2012, no weather stations located in the NE Portugal were included in the analysis. In a recent study of precipitation extremes trends' projections, Santos *et al.* (2019) concluded that the maximum number of consecutive dry

days for the Trás-os-Montes regions tends to increase, in addition to the maximum number of consecutive wet days (Santos *et al.*, 2019).

Along the present study, change trends occurring in NE Portugal, concerning precipitation and drought, were identified and discussed, using a point approach based on weather stations representative of the different climatic domains prevailing in the region. This is understood as a contribution to address prospected challenges in regional water resources management in a changing environment and to consider in regional plans of adaptation to climate change as PIAAC\_TQT (2018), PIAAC\_TFT (2018) and Instituto da Água (2001).

## Conclusion

A single and coupled trend analysis of precipitation and SPI drought index was performed in six weather stations in NE Portugal, along a seventy-year time series. This included three climatological normal periods (1931-1960, 1951-1980 and 1971-2000), with two overlapped decades (1951-1960 and 1971-1980). The selected weather stations are representative of the climatic domains found in the region, ranging from semiarid to humid.

Precipitation over the last century study period tends to decrease in most weather stations. This trend is more pronounced in stations located in wetter areas. On the contrary, one station located in the semiarid shows an increase in mean annual precipitation and for the months with related highest and lowest precipitation (January and August, respectively), which is in agreement with future climate projections for the region (PIAAC\_TQT, 2018; Costa *et al.*, 2012). The decrease in mean rainfall amounts observed in stations located in wet subhumid and dry subhumid areas matches with reported changes in the aridity index in the same areas.

SPI was computed for some stations in the NE Portugal and allowed to assess drought frequency and severity across the study area. SPI class frequency analysis in the overlapped periods enabled to detect temporal changes in the proportion of dry, normal and humid classes. As SPI timescale increases (1 to 6 months) and a more recent climatological normal is taken as input data (1931-1960 to 1971-2000), the frequencies of dry and wet months in the overlapped periods increased, at the expenses of the frequency of normal months. Frequencies of months with severe and extreme drought during the overlapped periods increased as well, more visibly for the SPI 3-month timescale and for stations located in dry sub-humid and semiarid climatic domains. Globally, results highlight a tendency towards the occurrence of precipitation extremes in NE Portugal. Both extremes conditions, wet and dry, are damaging in frequency. These statistically driven findings agree with currently reported climate change projections, yet with a larger uncertainty when comparing precipitation with temperature.

Climate change projections are likely to have impacts on water resources availability, therefore, pointing out the need for tuned management of natural water bodies or reservoirs (Andrade *et al.*, 2011). Water scarcity (or excess) is a critical limitation to crop productivity and the agricultural product in Portugal, affecting crops as vines and olives, among others cultivated in NE Portugal (Yang *et al.*, 2020). Moreover, changes in precipitation temporal variability and seasonal distribution also have consequences to wildfire hazard (Costa *et al.*, 2012).

The general change trends in precipitation and drought reported in the study confirm a progressive severity in the susceptibility to desertification actually affecting NE Portugal.

## Acknowledgements

The authors are grateful to the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for financial support by national funds FCT/MCTES to CIMO (UIDB/00690/2020). This research was partially funded by the EU FEDER Fund, through the POCTEP programme funding the TERRAMATER (grant0701\_TERRAMATER\_1\_E) research project. Furthermore, Royer A.C.'s contribution to the research was partially financially supported by the Instituto Politécnico de Bragança through the Double Diploma MSc programme in Environmental Technology with the Technological Federal University of Paraná, Brazil.

## Bibliographic references

- Agroconsultores and Coba (1991). *Carta dos Solos, Carta do Uso Actual e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal*. (PDRITM, Ed.). Vila Real: Universidade de Trás-os-Monstes e Alto Douro.
- Andrade C., Santos J. A., Pinto J. G., Corte-Real J. (2011). Large-scale atmospheric dynamics of the wet winter 2009-2010 and its impact on hydrology in Portugal. *Clim Res*, 46, 29-41. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00945>
- APA (2015). *Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAAC 2020)*. Agência Portuguesa do Ambiente., Portugal, 2015.
- Arikan, B. B., Kahya, E. (2019). Homogeneity revisited: analysis of updated precipitation series in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 211-220. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2368-x>
- Avilés, A., Célleri, R., Solera, A., Paredes, J. (2016). Probabilistic Forecasting of Drought Events Using Markov Chain- and Bayesian Network-Based Models: A Case Study of an Andean Regulated River Basin. *Water*, 8(2), 37. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w8020037>
- Cancelliere, A., Di Mauro, G., Bonaccorso, B., Rossi, G. (2007). Drought forecasting using the Standardized precipitation index. *Water resources management*, 21(5), 801-819.
- Cavalli, A., Figueiredo, T. de, Fonseca, F., Hernández, Z. (2019). Incêndios e áreas aridas nos últimos 25 anos do distrito de Bragança, Portugal: análise e estimativa de consequências para o recurso solo. *Territorium - Revista Internacional de Riscos*, 26:1, ISSN 1647-7723, 123-132. DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_26-1\\_9](https://doi.org/10.14195/1647-7723_26-1_9)
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. (Eds). (2018). *World Atlas of Desertification. Publication Office of the European Union, Luxembourg* (Vol. 3). London. DOI: <https://doi.org/10.2760/9205>
- Costa A., Santos J., Pinto J. (2012). Climate change scenarios for precipitation extremes in Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 108 (1-2), 217-234
- EEA - EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2021). *Climate Adapt Database - Portugal*. Retrieved at may 16<sup>th</sup>, 2021, from <https://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries/portugal>
- FAO/UNESCO (1988). *Soil Map of the World, Revised Legend*. Rome: FAO.

- Fernandes, D. S., Heinemann, A. B. (2009). *Índices para a Quantificação da Seca*. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Figueiredo, T. de, Gonçalves, D. (1990). A Erosividade da Precipitação no Interior de Trás-os-Montes: distribuição espacial do factor R da Equação Universal de Perda de Solo estimado por modelo de Arnoldus. *Pedon*, 9, 136-161.
- Figueiredo, T. de (2013). *Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano*. (Instituto Politécnico de Bragança, Ed.) (84th-Série ed.). Bragança.
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F., Pinheiro, H. (2014). Fire hazard and susceptibility to desertification: a territorial approach in NE Portugal. In: *Multidimensão e territórios de risco*. RISCOS, Coimbra, 117 - 121.
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F., Hernández, Z. (2015a). Uso da terra e riscos de degradação do solo no Nordeste de Portugal: mudanças nas últimas décadas. *Encontro Anual Das Ciências Do Solo*, 63-69.
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F., Nunes, L. (2015b). Os solos e a suscetibilidade à desertificação no NE de Portugal. In T. de Figueiredo, F. Fonseca and L. Nunes (Eds.), *Proteção do Solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças*, Bragança, ESA/IPB, 87-100.
- Fraga, H., Atauri, I. G. D., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Santos, J. A. (2017). Viticulture in Portugal: A review of recent trends and climate change projections. *OENO One*, 51, 61-69.
- Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L., Santos, J. A. (2021). Mediterranean olive orchards under climate change: A review of future impacts and adaptation strategies. *Agronomy*, 11(1), 56.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11010056>
- Giorgi F, Lionello P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet. Change* 63(2), 90-104.
- Gonçalves, D. A. (1985a). *A Rega de Lima no Interior de Trás-os-Montes (Alguns aspectos da sua energética)*. Vila Real. Instituto Universitário de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Gonçalves, D. A. (1985b). *Contribuição para o Estudo do Clima da Bacia Superior do Rio Sabor. (Influência da Circulação Geral e Regional na Estrutura da Baixa Atmosfera)*, Vila Real, Inst. Univ. de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Gonçalves, D., Figueiredo, T. de, Ribeiro, A. C., Leite, S. M. (2016). A geografia e o clima das montanhas ibéricas. In Azevedo, J., Cadavez, V., Arrobas, M., Pires, J. (Eds.) *Sustentabilidade da Montanha Portuguesa: Realidades e Desafios*. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 39-57.
- Gudmundsson L, Seneviratne SI. (2015). European drought trends. *Hydrol. Sci.* 369, 75-79.
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N. Widhalm, M. (2011). The Lincoln declaration on drought indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. *American Meteorological Society*, (April), 485-488.
- Hoerling M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T., Pegion, P. (2012). On the increased frequency of Mediterranean drought. *J. Clim.* 25(6), 2146-2161.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H. (1982). *Hydrology for engineers*, 3<sup>rd</sup> ed. McGraw-Hill Book Company, London.
- INSTITUTO DA ÁGUA (2001). Plano de *Bacia Hidrográfica do Rio Douro, Relatório final*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014). Climate Change (2014): *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
- IPMA - INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA (2020). *Monitorização da Seca. Resumo e Introdução*. Retrieved at November 24, 2020, from <http://www.ipma.pt/pt/oclima/observatorio.secas/>
- IPMA - INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA (2021). Climate Normals. Retrieved at feb 8<sup>th</sup>, 2021, from <https://www.ipma.pt/en/oclima/normais.clima/>
- Köppen, W. (1936). Das geographische system der Klimate [On a geographic system of climate]. In W.Köppen and G. Geiger (Eds.), *Handbuch der Klimatologie*, Gebr, Bontraerger, [Handbook of Climatology], 1.C, 1-44.
- Kovats, R.S., R. Valentini, L.M. Bouwer, E. Georgopoulou, D. Jacob, E. Martin, M. Rounsevell, Soussana J.-F. (2014). *Europe. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V. R., C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, L. L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1267-1326.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Eighth Conference on Applied Climatology*, 105(6), 17-22.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/jso.23002>
- Mishra, A. K., Desai, V. R. (2005). Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(5), 326-339.
- Moreira, E. E., Martins, D. S., Pereira, L. S. (2015). Assessing drought cycles in SPI time series using a Fourier analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(3), 571-585.
- Moreira, E. E., Mexia, J. T., Pereira, L. S. (2012). Are drought occurrence and severity aggravating? A study on SPI drought class transitions using log-linear models and ANOVA-like inference. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 3011-3028.
- Nicolai-shaw, N., Zscheischler, J., Hirschi, M., Gudmundsson, L. I., Seneviratne, S. (2017). A drought event composite analysis using satellite remote-sensing based soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 203, 216-225.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.014>
- PANCD - PROGRAMA DE ACÇÃO NACIONAL DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO (2011). Ponto Focal Nacional da Comissão das Nações Unidas de Combate à Desertificação, Lisboa.

- Paulo, A. A., Ferreira, E., Coelho, C., Pereira, L. S. (2005). Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning. *Agricultural Water Management*, 77, 59-81.
- Paulo, A. A., Pereira, L. S. (2006). Drought Concepts and Characterisation: Comparing Drought Indices Applied at Local and Regional Scales. *International Water Resources Association*, 31(1), 37-49.
- Paulo, A. A., Pereira, L. S. (2007). Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chains. *Water Resources Management*, 21, 1813-1827.
- Paulo, A., Martins, D. and Pereira, L.S. (2016). Influence of Precipitation Changes on the SPI and Related Drought Severity. An Analysis Using Long-Term Data Series. *Water Resour Manage* 30, 5737-5757. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1388-5>
- Paulo, A., Rosa, R. D. Pereira, L. S. (2012). Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evaporation in Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1481-1491. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1481-2012>
- PIAAC-TFT - PLANO INTERMUNICIPAL DE ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DA TERRA FRIA DO NORDESTE TRANSMONTANO (2018). *Plano de Ação de Adaptação às Alterações Climáticas*. Associação de Municípios da Terra Fria do Nordeste Transmontano. 390 p.
- PIAAC\_TQT - PLANO INTERMUNICIPAL DE ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DA TERRA QUENTE TRANSMONTANA (2018). *Plano de Ação de Adaptação às Alterações Climáticas*. Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana. 425 p.
- Pulido-Calvo, I., Gutiérrez-Estrada, J. C., Sanz-Fernández, V. (2020). Drought and Ecological Flows in the Lower Guadiana River Basin (Southwest Iberian Peninsula). *Water*, 12(3), 677. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w12030677>
- Raziei, T., Martins, D.S., Bordi, I., Santos, J.F., Portela, M.M., Pereira, L.S., Sutura, A. (2015). SPI Modes of Drought Spatial and Temporal Variability in Portugal: Comparing Observations, PT02 and GPCC Gridded Datasets. *Water Resour Manage* 29, 487-504. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0690-3>
- Royer, A. C. (2019). *Carcaterização e efeito de períodos de seca e da aridez na suscetibilidade do solo à erosão hidrica no NE Portugal (Master dissertation in Environmental Technology)*. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10198/19513>
- Santos, J.F., Pulido-Calvo, I., Portela, M.M. (2010). Spatial and temporal variability of droughts in Portugal. *Water Resources Research*, 46. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009WR008071>
- Santos, M., Fonseca, A., Frago, M. Santos, J. A. (2019). Recent and future changes of precipitation extremes in mainland Portugal. *Theor Appl Climatol* 137, 1305-1319. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2667-2>
- Serra, D. da S. (2014). *Modelação de secas. Aplicação a casos de estudo (Master's Dissertation in Civil Engineering)*. Instituto Técnico de Lisboa. 98 p.
- SIAM2 - SCENARIOS, IMPACTS AND ADAPTATION MEASURES (2006). *Alterações climáticas em Portugal: cenários, impactos e medidas de adaptação*. Gradiva, Lisboa, 506 p.
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J. (2017). Pan-European seasonal trends and recent changes of drought frequency and severity. *Global Planet. Change* 148, 113-130.
- Spinoni, J., Barbosa, P., De Jager, A., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J. V., Mazzeschi, M. (2019). A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, 100593.
- Steinemann, A. (2003). Drought Indicators and Triggers: A Stochastic Approach to Evaluation. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1217-1233.
- Svoboda, M., Fuchs, B. (2017). Handbook of Drought Indicators and Indices. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315265551-12>
- Tirivarombo, S., Osupile, D., Eliasson, P. (2018). Drought monitoring and analysis: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.07.001>
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(1607-7938), 523-533. DOI: <https://doi.org/10.5194/hessd-2-1221-2005>
- Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J. M., Azorin-Molina, C., Moran-Tejeda, E., Revuelto, J., Trigo, R., Coelho, F., Espejo, F. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environ. Res. Lett.* 9(4), 044001.
- Wei, W., Zhang, J., Zhou, L., Xie, B., Zhou, J., Li, C. (2021). Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data. *Environ Sci Pollut Res.* DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12120-0>
- Wilhite, D. A. (1992). Drought. *Encyclopedia of Earth System Science*, 81-92. DOI: [https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8\\_70](https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_70)
- Wilhite, D. A., Glantz, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Drought Mitigation Center Faculty Publications*, 20, 16.
- Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., Hayes, M. J. (2007). Understanding the Complex Impacts of Drought: A Key to Enhancing Drought Mitigation and Preparedness. *Water Resources Management*, 21(5), 763-774. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5>
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2012). Standardized Precipitation Index User Guide. WMO - No 1090. Geneva, Switzerland
- Yang, C., Fraga, H., van Ieperen, W. Santos, J. A. (2020). Assessing the impacts of recent-past climatic constraints on potential wheat yield and adaptation options under Mediterranean climate in southern Portugal. *Agricultural Systems*, 182, 102844. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102844>
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(NA), 333-349. DOI: <https://doi.org/10.1139/a11-013>



RISCOS



AS CHUVAS DE VERÃO SOB A INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO, ENTRE 2005 E 2018,  
E O RISCO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO-RJ (BRASIL)\*

27

SUMMER RAINS UNDER THE INFLUENCE OF THE EL NIÑO PHENOMENON, BETWEEN 2005 AND 2018,  
AND THE RISK OF FLOODING IN THE MUNICIPALITY OF SÃO GONÇALO-RJ (BRAZIL)

**Vanessa Cristina Matos Pereira**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Mestranda de Geotecnia da PUC-Rio (Brasil)

[vanessamatos.meteorologia@gmail.com](mailto:vanessamatos.meteorologia@gmail.com)

ORCID 0000-0003-2407-3696

**Maria Luiza Félix Marques Kede**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Departamento de Geografia (Brasil)

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

ORCID 0000-0002-9465-1984

**Ana Valéria Freire Allemão Bertolino**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Departamento de Geografia (Brasil)

[anabertolino@uol.com.br](mailto:anabertolino@uol.com.br)

ORCID 0000-0002-9192-1117

**Enzo Merlim Delazeri**

Setor de Sensoriamento/Custom Maps Brasil (Brasil)

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

ORCID 0000-0002-6061-8369

RESUMO

Os casos de inundação costumam ser mais frequentes no verão na região Sudeste do Brasil, podendo ser influenciados por sistemas ou fenômenos atmosféricos que agravam os eventos. O objetivo deste estudo foi verificar a ocorrência de inundações com as chuvas de verão, sob a influência dos períodos com e sem El Niño, no município de São Gonçalo, localizado na região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. Para isso foram analisados os dados de chuva da Estação Climatológica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro entre 2005 e 2018. As análises consistiram em verificar a quantidade de eventos de chuva correspondentes às intensidades leve, moderada e forte, bem como o acumulado de chuva nos verões de cada ano, dentre os quais houve intervalos em que ocorreu o fenômeno El Niño. Os resultados contemplaram uma relação entre os registros da quantidade de inundações com os eventos de chuvas fortes (11,6%), observando que há uma suscetibilidade a inundações, pois foram registradas 82,8% de ocorrências no município somente nos anos com El Niño e 16,9% casos em anos sem El Niño.

**Palavras-chave:** Acumulado pluviométrico, precipitação, inundações, Sudeste, Variáveis naturais e sociais.

ABSTRACT

Flooding is more frequent in the summer in Brazil's Southeast region, possibly influenced by atmospheric systems or phenomena that aggravate weather events. The objective of this study was to ascertain the occurrence of flooding due to summer rainstorms under the influence of periods with and without El Niño in the municipality of São Gonçalo, in the Rio de Janeiro metropolitan region in the state of the same name. For this purpose, rainfall data were analysed from the Climatology Station of Rio de Janeiro State University between 2005 and 2018. The analyses consisted of checking the number of precipitation events classified according to intensity as light, moderate or heavy, as well as the cumulative summer rainfall each year, against the backdrop of intervals of the El Niño phenomenon. The results indicated the existence of a relationship between the number of flood events and strong rainfall (11.6%), with susceptibility to flooding, because 82.8% of the occurrences in the municipality were in years with El Niño and 16.9% of cases were in years without El Niño.

**Keywords:** Pluviometry, precipitation, floods, Southeast Brazil, natural and social variables.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 01-06-2020, sujeito a revisão por pares a 21-10-2020 e aceite para publicação em 19-05-2021. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Há inúmeras formas de se classificar os riscos, podendo estar associados a situações potenciais de perdas e danos para o homem, sendo os riscos ambientais uma classe maior de riscos, subdividindo-se em riscos tecnológicos, riscos naturais e riscos sociais. Em relação aos riscos naturais podemos considerar os riscos atmosféricos, riscos geológicos, riscos hidrológicos e riscos biológicos (Cerri e Amaral, 1998; Peixoto *et al.*, 1997; Veyret, 2007; Nunes, 2018; Lourenço, 2018).

Segundo Lourenço (2018) os riscos hidrometeorológicos estão associados a eventos meteorológicos intensos capazes de produzir precipitações severas num curto espaço de tempo em uma dada região geográfica. Esses eventos podem estar associados a episódios de inundações, de enchentes, alagamentos, entre outros, que podem causar desastres naturais. Os riscos hidrometeorológicos são de origem atmosférica, hidrológica ou oceanográfica e podem causar perdas de vidas humanas, bens materiais e transtornos socioambientais (Zanella e Olímpio, 2014, Nunes, 2018 Lourenço, 2018).

Nunes (2018) indica que o impacto dos fenômenos que ocorrem depende da presença humana, dos seus respectivos bens, bem como da capacidade da população de lidar com esses fenômenos. A autora relata ainda que as catástrofes estão relacionadas com a vulnerabilidade, que é definida pelas características ou circunstâncias de uma comunidade, ou de um sistema ou de bens que são susceptíveis de sofrer danos, sendo derivada de vários fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais. Assim, a vulnerabilidade se apresenta de forma diferenciada no espaço podendo revelar a segregação sócio-espacial e sócio-ambiental da sociedade, ou seja, a vulnerabilidade estará associada aos bens e à população distribuídas no espaço (Zanella e Olímpio, 2014).

Vulnerabilidade e risco muitas vezes estão associados às ocorrências de inundações, as quais consistem em eventos decorrentes de elevados volumes pluviométricos que ocorrem em um curto período de tempo (Dereczynski, 2017; Lourenço, 2018).

Os riscos hidrológicos relacionados à inundação estão associados ao aumento do nível da água no leito do corpo hídrico decorrentes de fortes pluviosidades (Vieira e Cunha, 2007; Soares Neto *et al.*, 2017) e que produzem grandes perdas econômicas, de bens materiais e doenças.

Segundo Pompêo (2000), Vieira e Cunha (2007) e Nunes (2018) trabalhar com riscos hidrológicos em áreas urbanizadas e áreas não urbanizadas apresenta certas especificidades. Nas áreas urbanizadas, o papel desempenhado pela população torna-se proeminente, principalmente na ocupação desordenada do espaço e na inadequação do sistema de drenagem. Além disso, a

retirada da cobertura vegetal, a impermeabilização dos canais de drenagem, as infraestruturas de drenagem ineficientes e/ou inexistentes estarão atrelados a processos de inundação. Entretanto, no contexto urbano não somente os aspectos geomorfológicos e topográficos do sítio contribuem para os processos de inundações, mas também os fenômenos e os sistemas atmosféricos. Dentre os eventos climáticos que podem intensificar a presença de chuvas, conseqüentemente os que desencadeiam os processos de inundações, estão os efeitos do El Niño, que é conhecido por elevar as temperaturas médias e o acumulado de chuva no Sudeste brasileiro.

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) ou simplesmente El Niño (quando referido a sua fase quente), passou a ser monitorado a partir da década de 50 pelo Centro de Previsões Climáticas da *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA), mas foi entre as décadas de 80 e de 90 que as discussões sobre o fenômeno se iniciaram, quando se observaram alterações na fauna marinha (Pereira *et al.*, 2019). Essa alteração se deu por conta da elevação da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que não permitia a chegada das águas profundas, frias e ricas em nutrientes, à superfície para alimentarem os corais (Rossi e Soares, 2017). No Brasil o fenômeno gera mudanças, elevando os acumulados de chuva na região Sul, enquanto no Nordeste, são agravados os polígonos da seca, devido à escassez de chuva provocada pelo fenômeno. No Sudeste, região de interesse deste estudo, as temperaturas médias são elevadas e as chuvas, conseqüentemente, são registradas em maiores acumulados e quantidades de eventos de maior intensidade (Oliveira, 2005; Reboita, 2010; Pegorim, 2015; Pereira *et al.*, 2019).

Assim, o objetivo central deste trabalho é avaliar as inundações relacionadas com as chuvas ocorridas nos verões entre os anos de 2005 e 2018 e que sofreram influências do fenômeno climático El Niño. E para isso serão consideradas as possíveis alterações na quantidade de eventos e na intensidade das chuvas, corroborando para o aumento de inundações no município de São Gonçalo, estado do Rio de Janeiro (Brasil).

### *Caracterização da Área de estudo - Município de São Gonçalo-RJ*

O município de São Gonçalo-RJ, segundo o IBGE (2010), é um dos 20 municípios mais populosos do Brasil e o segundo mais populoso do Estado do Rio de Janeiro. Com 1.084.839 habitantes (IBGE, 2019) o município possui 248,160 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018) e está mais especificamente localizado na porção leste da Baía de Guanabara (fig. 1). Nesta área, ocorre uma facilidade quanto à chegada de sistemas frontais que, conforme Oliveira-Júnior *et al.* (2017), geram influências na região, além de outros sistemas migratórios como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), frentes frias e

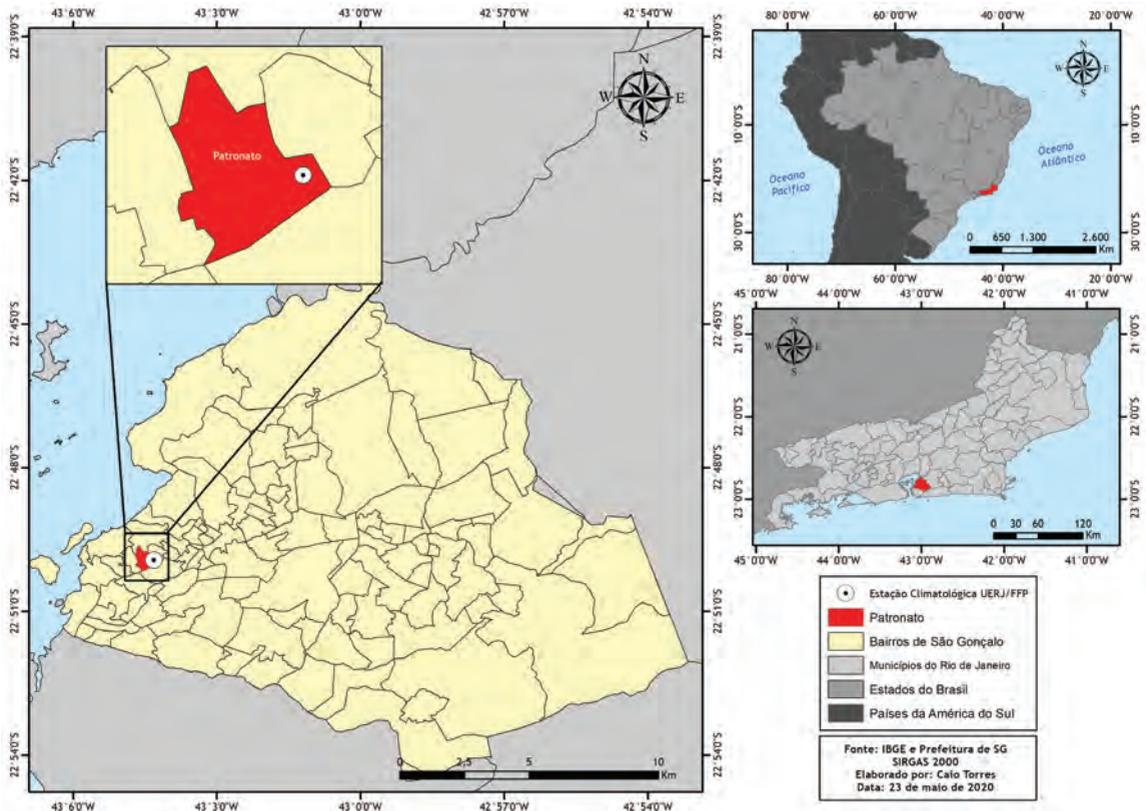


Fig. 1 - Localização do município de São Gonçalo-RJ e a Estação Climatológica Experimental Urbana (Fonte dos dados: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP).

Fig. 1 - Location of São Gonçalo-RJ city and Climatological Station (Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e sofre efeitos da maritimidade. Além disso, existe a proximidade de regiões de serra, como a Serra do Mar, o que proporciona ao local boa distribuição das chuvas pelo favorecimento da formação de nebulosidade, quando se compara às cidades continentais (Bertolino *et al.*, 2012).

O incremento populacional do município foi expressivo após a inauguração da Ponte Rio - Niterói, na década de 70, o que possibilitou a expansão de dois eixos centrais, através das Rodovias Amaral Peixoto (RJ - 106) e a Niterói - Manilha (BR - 101). Houve um aumento substancial da população do município em apenas duas décadas (TABELA I).

Estudos de mapeamentos geológicos na região foram realizados pelo DRM (1979 e 1981), por Meis (1976), Meis e Amador (1974 e 1977), Monteiro *et al.* (1974) e Ferrari

(2001). A área de estudo está inserida na folha cartográfica Baía de Guanabara que compõe, juntamente com as folhas de Maricá, Itaboraí e Petrópolis, domínios geológicos do Quaternário, Terciário, Mesozóico e Pré-Cambriano.

No município de São Gonçalo são encontrados diferentes tipos de solo, dentre eles, Argissolos Vermelho-Amarelo, solo Hidromórfico, solo Halomórfico, Neossolo, Cambissolo Háptico e Áreas de intervenções antrópicas tais como: aterro, terraplanagem e mineração (PMSG, 2008).

O relevo do município é caracterizado por três feições distintas: relevo de morros isolados, planícies flúvio-marinhas e superfícies colunares. São Gonçalo é caracterizado por um relevo de colinas, que corresponde a 35% da área total, e pela presença de maciços, tabuleiros e planícies costeiras (PMSG, 2008).

TABELA I - Taxa de crescimento da população do município de São Gonçalo no período entre 1961 e 2011.

TABLE I - Population growth rate in the municipality of São Gonçalo between 1961 and 2011.

| DESENVOLVIMENTO DA POPULAÇÃO 1960 - 2011 |         |         |         |         |         |           |
|------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| ANO                                      | 1960    | 1970    | 1980    | 1991    | 2000    | 2011      |
| POPULAÇÃO                                | 244.617 | 430.271 | 614.668 | 779.832 | 891.119 | 1.008.000 |
| TAXA DE CRESCIMENTO (%)                  |         | 75,9    | 42,9    | 26,9    | 14,3    | 4,9       |

Fonte: modificado de Mendonça, 2007 / Source: modified from Mendonça, 2007.

A região analisada possui clima quente com chuvas de verão e outono, o que permite caracterizá-la como Aw, conforme a classificação de Köppen. O período seco ocorre entre maio e outubro, com acumulados inferiores a 100 mm, e o período no qual ocorre maior quantidade de chuva se encontra entre novembro e abril, com acumulados superiores a 100 mm (Kede *et al.*, 2017). Existem trabalhos, como o de Salgado *et al.* (2007), dedicados ao estudo do comportamento da chuva nos municípios adjacentes a São Gonçalo-RJ. Os autores afirmam que a precipitação média anual nessas regiões varia entre 1.000 mm e os 2.000 mm, nas áreas onde se encontram relevos mais acentuados. Acrescentam ainda que durante a primavera e o verão ocorre a maior parte da precipitação anual, sendo 34,7% no verão e 33,4% na primavera. Silva *et al.* (2019) afirmam que os verões de São Gonçalo-RJ, que são quentes e úmidos, provocam maiores ocorrências de chuvas atípicas, que geram transtornos à população. Segundo Silva (2006), Pereira (2009), Delazeri, (2015) e Daudt (2016) tais inundações ocorrem devido às alterações geradas nas bacias hidrográficas e sub-bacias, principalmente na bacia do rio Alcântara, que é a maior por ter diversos rios que banham outros municípios e mais de 50 bairros de São Gonçalo-RJ. Essa bacia hidrográfica vem sofrendo diversos problemas relacionados com a alteração das margens dos rios que a compõem, através da remoção da vegetação do entorno das margens para destinar o solo indevidamente às construções. Tal situação promove uma maior impermeabilização das superfícies, ocasionando maiores fluxos pluviais e taxas de erosão, gerando maiores eventos de inundação na região, classificando o local como ponto de vulnerabilidade, podendo gerar riscos para os moradores.

#### *Estação climatológica experimental urbana*

Os dados para este estudo foram obtidos na Estação Meteorológica Experimental Urbana (fig. 2), através das leituras diárias feitas às 12 TMG ou 9h da manhã, horário local, localizada na Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores (UERJ/FFP), no município de São Gonçalo-RJ, que se encontra nas coordenadas 22°49'55,97''S e 43°4'25,52''W e a 20 m de altitude. O monitoramento dessa estação é realizado há 15 anos e os dados vêm sendo analisados e publicados em diversos trabalhos (Bertolino *et al.*, 2007; Silva, 2007, Pereira, 2009, Delazeri, 2015; Oliveira, 2015, Daudt *et al.*, 2016; Bertolino *et al.*, 2018; Silva, 2006; Pereira *et al.*, 2019; Tórnio, 2019).

Para a análise dos dados foram realizados tratamentos estatísticos e estudos comparativos dos valores obtidos na Estação Meteorológica e dos padrões estabelecidos pelas Normas Climatológicas do INMET para a Estação do Rio de Janeiro, que foram baseadas numa série de dados obtidos entre 1961 e 1990.

#### **Metodologia**

A metodologia implementada consistiu na realização de análises de precipitação ocorridas nos meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro, março) no município de São Gonçalo-RJ, no período de 2005 a 2018. Foram também georreferenciadas as localizações das inundações conforme os boletins de ocorrência da Defesa Civil Municipal e utilizadas imagens de satélites com a finalidade de correlacionar os eventos pluviométricos com as inundações. Essas análises possuem o objetivo de mostrar se a quantidade de eventos mensais pluviométricos totais que foram registrados possuem alguma relação com os eventos de inundações. Além disso, foram realizadas comparações entre as chuvas de verão nos anos em que ocorreu o fenômeno El Niño e nos anos em que não houve atuação do fenômeno, com o objetivo de verificar se há alguma diferença no acumulado pluviométrico, devido às influências que o fenômeno ocasiona no município em questão.

#### *a) Boletins de ocorrência e espacialização das inundações*

Os registros de inundações no município foram realizados pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de São Gonçalo-RJ e constam do Sistema de Informação da Defesa Civil (SIDE). Os dados sobre as inundações ocorridas entre o período de 2005 a 2018 foram obtidos por intermédio dos Boletins de Ocorrência da Defesa Civil de São Gonçalo, no qual constam informações referentes a coordenadas geográficas, endereço, bairro, data, hora, tipo de evento, descrição do cenário, e outras observações pertinentes ao trâmite interno da Prefeitura Municipal. Foram feitas coletas de informações para confecção de banco de dados relacionados com as inundações do município de São Gonçalo. Todos os eventos ocorridos no período em análise foram georreferenciados utilizando-se um GPS da marca "Garmin", com a finalidade de espacializar as ocorrências. Após a localização dos eventos de inundações os mesmos foram plotados temporalmente com a finalidade de se verificar a sua frequência nas bacias hidrográficas do município.

Em seguida, foi feito o tratamento de dados de chuva e a partir dessas informações foi montada uma tabela com os anos de 2005 a 2018, bem como os registros feitos em seus respectivos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro, de modo a saber quais os anos que registraram maiores ou menores quantidades de inundações, a fim de observar se esses eventos críticos possuem alguma relação com a atuação do El Niño.

#### *b) Análise das chuvas*

A análise da chuva foi feita em três etapas, sendo a primeira relacionada com a distribuição das chuvas em

períodos com e sem El Niño. Para isso, foram observados os índices ONI (*Oceanic Niño Index*), mostrando a TSM (Temperatura da Superfície do Mar) em 3 meses consecutivos, a fim de caracterizar o período como El Niño, La Niña ou situação de neutralidade. Os Índices ONI passaram a ser realizados pela NOAA na faixa 3.4 do Oceano Pacífico Equatorial (NOAA, 2019) para monitorar o aquecimento que se estende desde a região oeste, em Darwin, na Austrália, até à região leste, no Taiti, onde é possível saber se existe atuação do fenômeno por meio da elevação da TSM. Quando a mesma apresenta aumento de, pelo menos 0,5°C por mais de 3 meses consecutivos, partindo de 23,0°C (que é a TSM dentro da normalidade), passa a caracterizar a fase quente do El Niño. Para este estudo foram considerados apenas os anos que configuraram o fenômeno El Niño, que foram os anos 2005/2006, 2009/2010, 2014/2015/2016 e 2018.

No segundo momento, foram decompostos os pluviogramas diários para que dessa forma pudessem ser obtidos os eventos de chuva, comparando seus registros conforme sua intensidade, leve ( $\leq 2,5$  mm/h), moderada (entre 2,5 mm/h e 7,5 mm/h) e forte ( $>7,5$  mm/h), conforme a escala Reichardt (1987), para posteriormente conhecer a dinâmica pluviométrica em anos com e sem El Niño.

No terceiro momento foram também analisadas as frequências de acumulados pluviométricos com o objetivo de observar um possível aumento de eventos de chuva de diversas intensidades que ocorreram em anos com e sem El Niño. As frequências de chuva foram contabilizadas de acordo com a quantidade de eventos que ocorreram dentro dos intervalos entre 0-10 mm, 10 e 20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm, 40-50 mm e acima de 50 mm. E também foram relacionados os acumulados de chuva sob atuação e ausência do fenômeno, além de comparações com

os acumulados registrados pela estação meteorológica denominada Rio de Janeiro, localizada no aeroporto Santos Dumont-RJ, cujos dados constam das Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 1961 e 1990, tendo sido essas as Normais Climatológicas utilizadas.

### c) *Imagens de satélite e cartas sinóticas*

Foram utilizadas imagens de satélite dos anos de 2010, 2014 e 2016 do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE) e cartas sinóticas dos anos de 2008 e 2016 do Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN), de modo a explicar possíveis fenômenos que ocorreram e que ocasionaram algum volume pluviométrico atípico, como sistemas frontais de características frias, cavados e a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), ou que contribuíram com a redução do acumulado pluviométrico, como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

### Resultados

Os anos e classificações de intensidade do fenômeno El Niño, segundo a NOAA, são apresentados com os índices ONI maiores e menores que 0,5°C por mais de 3 meses consecutivos (TABELA II). Os índices ONI, em vermelho, caracterizam a atuação do El Niño. Pode-se observar que o ano de 2005 apresentou um curto período com TSM igual a 0,6°C, ou seja, apenas nos meses de janeiro e fevereiro. Já no ano de 2006, as alterações positivas da TSM passaram a acontecer a partir de setembro, no qual foram registrados 0,5°C, em outubro houve um aumento para 0,7°C e em novembro e dezembro foi registrado o mesmo valor de 0,9°C.

TABELA II - Índices ONI registrados nos meses e anos no período de 2005 a 2018.

TABLE II - *Oceanic Niño Indices [ONI] recorded in the months and years of the studied series from 2005 to 2018.*

| MESES/ANOS | JAN  | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEZ  |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2005       | 0,6  | 0,6  | 0,4  | 0,4  | 0,3  | 0,1  | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,3 | -0,6 | -0,8 |
| 2006       | -0,8 | -0,7 | -0,5 | -0,3 | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 0,3  | 0,5  | 0,7  | 0,9  | 0,9  |
| 2007       | 0,7  | 0,3  | 0,0  | -0,2 | -0,3 | -0,4 | -0,5 | -0,8 | -1,1 | -1,4 | -1,5 | -1,6 |
| 2008       | -1,6 | -1,4 | -1,2 | -0,9 | -0,8 | -0,5 | -0,4 | -0,3 | -0,3 | -0,4 | -0,6 | -0,7 |
| 2009       | -0,8 | -0,7 | -0,5 | -0,2 | 0,1  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,7  | 1,0  | 1,3  | 1,6  |
| 2010       | 1,5  | 1,3  | 0,9  | 0,4  | -0,1 | -0,6 | -1,0 | -1,4 | -1,6 | -1,7 | -1,7 | -1,6 |
| 2011       | -1,4 | -1,1 | -0,8 | -0,6 | -0,5 | -0,4 | -0,5 | -0,7 | -0,9 | -1,1 | -1,1 | -1,0 |
| 2012       | -0,8 | -0,6 | -0,5 | -0,4 | -0,2 | 0,1  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,2  | 0,0  | -0,2 |
| 2013       | -0,4 | -0,3 | -0,2 | -0,2 | -0,3 | -0,3 | -0,4 | -0,4 | -0,3 | -0,2 | -0,2 | -0,3 |
| 2014       | -0,4 | -0,4 | -0,2 | 0,1  | 0,3  | 0,2  | 0,1  | 0,0  | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,7  |
| 2015       | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,5  | 1,8  | 2,1  | 2,4  | 2,5  | 2,6  |
| 2016       | 2,5  | 2,2  | 1,7  | 1,0  | 0,5  | 0,0  | -0,3 | -0,6 | -0,7 | -0,7 | -0,7 | -0,6 |
| 2017       | -0,3 | -0,1 | 0,1  | 0,3  | 0,4  | 0,4  | 0,2  | -0,1 | -0,4 | -0,7 | -0,9 | -1,0 |
| 2018       | -0,9 | -0,8 | -0,6 | -0,4 | -0,1 | 0,1  | 0,1  | 0,2  | 0,4  | 0,7  | 0,9  | 0,8  |

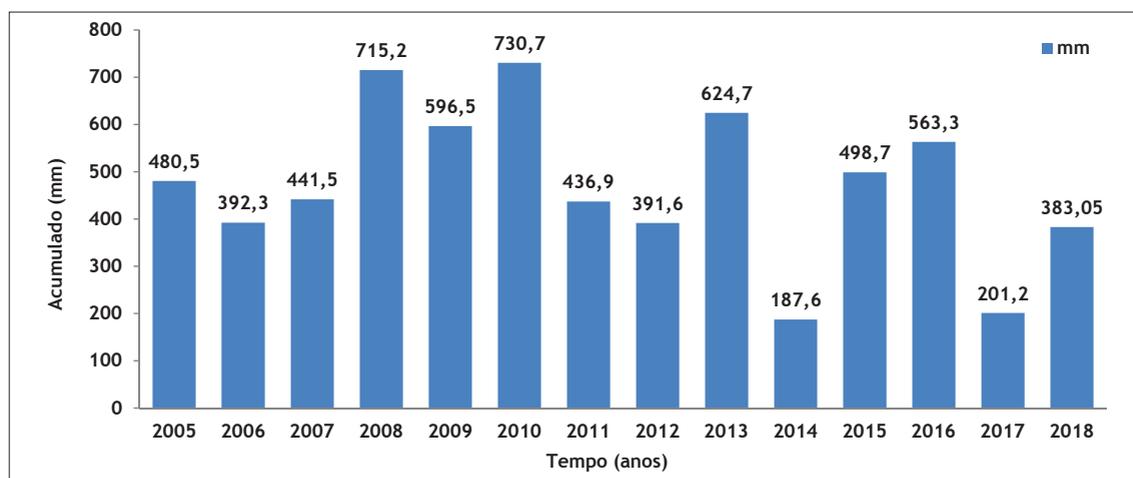
Legenda: Dados em vermelho representam meses de El Niño.

Fonte: NOAA (Adaptado) / Source: NOAA (Adapted).

É possível observar o acumulado de chuva registrado em cada ano da série histórica analisada, como no ano de 2005 (ano com El Niño) que registrou 480,5 mm de chuva, enquanto o ano de 2007 (sem El Niño), registrou 441,5 mm. O ano de 2010 (ano com El Niño) registrou 730,7 mm acumulados, enquanto o ano de 2011 (ano sem El Niño) registrou 436,9 mm e o de 2012 (também sem influência do fenômeno), 391,6 mm. O ano de 2016 (ano com El Niño), mesmo com a atuação atípica da ASAS, registrou 563,3 mm e o ano de 2018 (anos com El Niño) teve 383,1 mm. Através dessa análise, percebeu-se que os anos em que ocorreu o El Niño normalmente apresentaram maiores acumulados pluviométricos, podendo ser justificado pelo aumento de temperatura média, que intensifica a evaporação, causando chuvas (fig. 2).

Na sequência, apresentam-se as quantidades em que foram registrados eventos de chuva conforme a frequência nos intervalos entre 0 e 10 mm, 10 e 20 mm, 20 e 30 mm, 40 e 50 mm e maior que 50 mm, para que seja comparado em cada nível de intensidade, o comportamento da dinâmica pluviométrica em anos em que houve influência do El Niño e ausência do mesmo (TABELA III).

De acordo com os dados apresentados, é possível observar que na maioria dos anos que tiveram influência do El Niño foram encontradas maiores quantidades de eventos de chuva, como no ano de 2006 (ano de El Niño), quando foram registrados 16 eventos de chuva com quantidade entre 10 e 20 mm. O ano de 2010, ano de El Niño, registrou 5 eventos maiores que 50 mm. E no ano de 2016 foram observados 3 eventos de chuva maiores que 50 mm.



\*No ano de 2017 houve problemas no monitoramento.

Fig. 2 - Eventos de acumulado de chuva nos verões (2005-2018) no município de São Gonçalo-RJ, Brasil (Fonte dos dados: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP).

Fig. 2 - Accumulated summer rainfall (2005-2018) in São Gonçalo-RJ city, Brazil (Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

TABELA III - Eventos de chuva ao longo dos anos com e sem atuação do El Niño.

TABLE III - Data of rain during years with and without influences of El Niño.

| Com El Niño         | 2.163 eventos |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|---------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Sem El Niño         | 1.779 eventos |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| Frequência de chuva | 2005          | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017* | 2018 |
| 0-10 mm             | 360           | 265  | 282  | 329  | 307  | 344  | 364  | 228  | 288  | 100  | 216  | 147  | 150   | 260  |
| 10-20 mm            | 8             | 16   | 14   | 15   | 18   | 16   | 11   | 23   | 25   | 12   | 14   | 0    | 9     | 10   |
| 20-30 mm            | 0             | 6    | 7    | 3    | 6    | 7    | 3    | 0    | 4    | 3    | 4    | 5    | 2     | 2    |
| 30-40 mm            | 4             | 0    | 1    | 4    | 1    | 2    | 4    | 2    | 1    | 0    | 4    | 3    | 1     | 4    |
| 40-50 mm            | 1             | 0    | 1    | 1    | 3    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0     | 0    |
| > 50 mm             | 1             | 1    | 2    | 2    | 1    | 5    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 3    | 0     | 1    |
| Total               | 374           | 288  | 307  | 354  | 336  | 375  | 382  | 254  | 320  | 116  | 239  | 158  | 162   | 277  |

\*Problemas no monitoramento da Estação Climatológica.

Fonte: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP; Source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP.

Quando se compara os anos de 2005/2006 (anos com El Niño) com os anos de 2007/2008 (anos sem El Niño), percebe-se que registraram um percentual de 2,2% maior no intervalo de 0 a 10 mm. Quanto ao acumulado maior que 50 mm, os anos de 2007/2008 apresentaram 50% de aumento. Esse aumento pode ser justificado pela atuação de diversos fenômenos no ano de 2008, como centros de baixa pressão com 1006 hPa que atuavam em diversas áreas do Brasil, incluindo o litoral fluminense e sobre o oceano na região da costa dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, contribuindo para a formação de nebulosidade, elevando o acumulado de chuva no mês de janeiro do mesmo ano. Na segunda quinzena do mesmo mês, um cavado atuou sobre o Sudeste, proporcionando instabilidade, deixando o mês de janeiro/2008 com chuvas acima da média. No mês de fevereiro/2008, houve a passagem de um sistema frontal associado a um ciclone, além da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul, deixando o mês de fevereiro também com média mais elevada. Dessa forma, o ano de 2008 foi classificado como “*muito chuvoso*”, conforme afirmado pelo INMET e citado por Pereira (2009) e Tórnio (2019).

No ano de 2009 (ano com El Niño) foi observado apenas 1 evento maior que 50 mm. O total de eventos registrados neste ano foi de 336. Já no ano de 2010 (ano com El Niño) foram registrados 5 eventos maiores que 50 mm, os quais ocorreram nos meses de fevereiro, março e dezembro. Os eventos que foram classificados como maiores que 50 mm podem ser justificados pela atuação de diversos fenômenos, dentre eles, a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), que se estendeu na faixa entre a região sul do estado do Amazonas e o Oceano Atlântico, ocasionando precipitação extrema no mês de janeiro/2010, conforme pode-se visualizar na carta sinótica (fig. 3).



Fig. 3 - Carta sinótica da América do Sul mostrando atuação da ZCOU - Janeiro de 2010 (Fonte: INPE-CPTEC-GPT, 2010a).

Fig. 3 - Synoptic map of South America showing ZCOU [‘Humidity Convergence Zone’] performance - January 2010 (Source: INPE-CPTEC-GPT, 2010a).

No mês de fevereiro/2010 houve a atuação de um cavado, que elevou o acumulado de precipitação, classificando tais eventos como “fortes”, segundo a escala de Reichardt.

A atuação da ZCOU também foi uma das responsáveis por elevar o volume de chuva nos meses de fevereiro e março de 2010. No ano de 2011 (ano sem El Niño) não se observa nenhum evento maior que 50 mm, com o total de 382 eventos. No ano de 2012 (ano sem El Niño) foi registrado nenhum evento maior que 50 mm. O total de eventos registrados ao longo do ano foi de 254, 24,4% menor que no ano de 2009 e 32,3% menor que no ano de 2010, os quais sofreram influência do El Niño. No ano de 2013 (ano sem El Niño) foi observado 1 evento maior que 50 mm e 320 eventos neste ano, representando um percentual de 14,7% menor que 2010, o qual foi influenciado pelo fenômeno El Niño. No ano de 2014 (ano com El Niño) apresentou 100 eventos entre 0 e 10 mm, apenas 12 eventos no intervalo entre 10 e 20 mm, e nenhum evento maior que 50 mm. O total dos eventos registrados neste ano foi de 116. Ainda que 2014 tenha sido influenciado pelo fenômeno El Niño, ele apresentou menos eventos e menores acumulados pluviométricos. Isso pode ser justificado pela atuação atípica da ASAS, que se situou mais ao continente, inibindo a formação de nuvens (fig. 4). Devido a esse comportamento atípico, o ano de 2014 foi classificado como “*muito seco*” (Tórnio, 2019).

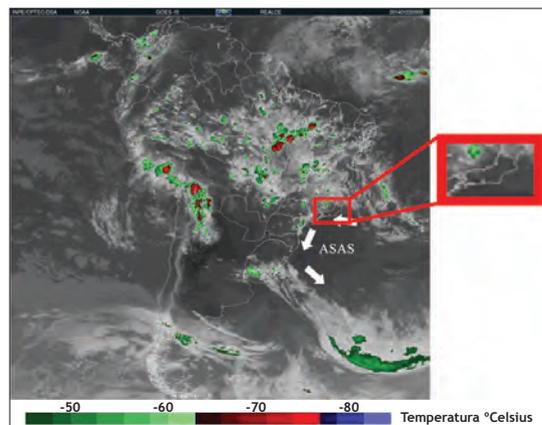


Fig. 4 - Fenômeno ASAS atuando no Sudeste brasileiro (Fonte: INPE-CPTEC-GPT, 2014d).

Fig. 4 - South Atlantic Subtropical High [ASAS] phenomenon operating in Southeast Brazil (Source: INPE-CPTEC-GPT, 2014d).

O ano de 2015 (ano com El Niño) registrou 1 evento maior que 50 mm. O total de eventos desse ano foi de 239, sendo 51,5% maior que o ano de 2014, que também foi influenciado pelo fenômeno, mas que teve atuação atípica da ASAS. No ano de 2016 (ano de El Niño) ocorreram problemas no monitoramento, entretanto, foram registrados 147 eventos entre 0 e 10 mm, 5 eventos entre 20 e 30 mm e 3 eventos maiores que 50 mm. O mês de janeiro/2016 apresentou volumes pluviométricos muito elevados. Segundo Tórnio (2019), houve 19 dias de chuva devido a atuação de um ciclone de baixa pressão (1006 hPa) e da atuação da ZCAS, que se encontrava associada a um sistema de baixa pressão e a uma frente fria que juntos provocaram significativos acumulados (fig. 5).

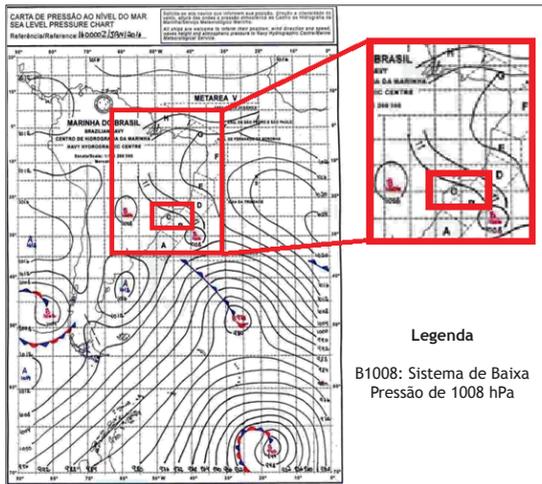


Fig. 5 - Carta Sinótica janeiro/2016 mostrando a atuação de ciclone de baixa pressão e da ZCAS (Fonte: Marinha do Brasil, 2016).

Fig. 5 - Synoptic map of January/2016 showing low pressure of ZCAS [South Atlantic Convergence Zone] (Source: Marine of Brazil, 2016).

O mês de fevereiro do mesmo ano ficou acima da média com 203 mm, enquanto o acumulado registrado foi de apenas 105,3 mm. Esse comportamento pode ser justificado devido aos elevados volumes de chuva, que foram ocasionados, mais uma vez, pela atuação de um sistema frontal associado a um centro de baixa pressão com 992 hPa sobre a costa do Rio de Janeiro. Na segunda quinzena do mês, houve a formação de um centro de baixa pressão (1002 hPa) associado a um sistema frontal que atuou nas regiões Sul e Sudeste do Brasil e provocou chuva de mais de 50 mm (Tórnio, 2019). De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), esse sistema se assemelha à baixa do Chaco, o qual se caracteriza por atrair a umidade dos sistemas anticiclônicos adjacentes e gerando instabilidade. No fim do mês houve a presença de um cavado associado a um sistema de baixa pressão, e posteriormente, a atuação de um sistema frontal frio com temperatura do topo de nuvem entre  $-60^{\circ}\text{C}$  e  $-80^{\circ}\text{C}$  (fig. 6). Em março do mesmo ano também foram obtidos totais pluviométricos acima do esperado para o mês, com 123,2 mm enquanto a estação Rio de Janeiro do INMET registrou 103,3 mm nas Normais Climatológicas. Neste mês tiveram poucos eventos, mas os que ocorreram foram classificados como leves, moderados e 1 evento que teve 103 mm devido à passagem de uma frente fria associada a um ciclone de 1006 hPa (Tórnio, 2019).

Quanto ao ano de 2016, esses eventos podem ser apontados como alguns dos responsáveis pela ocorrência de inundações durante o verão. No ano de 2017 (ano sem El Niño) foram registrados 150 eventos entre 0 e 10 mm; 9 eventos entre 10 e 20 mm; e nenhum evento maior que 50 mm. O total de eventos desse ano foi de 162. No ano de 2018 (ano com El Niño) foram observados 260 eventos entre 0 e 10 mm; 10 eventos entre 10 e 20 mm; e 1 evento maior que 50 mm, com o total de eventos observados nesse ano foi de 277.

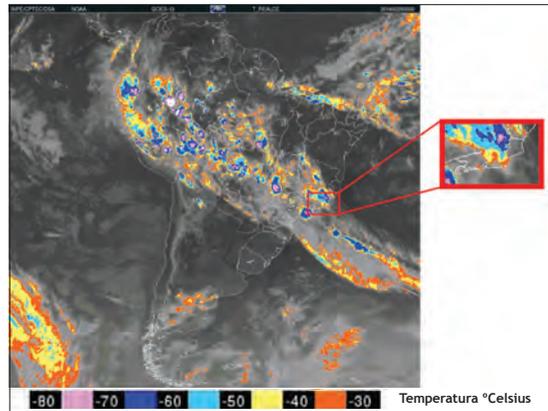


Fig. 6 - Imagem de satélite GOES-13 do dia 29 de fevereiro de 2016 mostrando o sistema frontal (Fonte: CPTEC-INPE, 2016a).

Fig. 6 - GOES-13 Satellite image highlighted channel of 29 February 2016 showing frontal system (Source: CPTEC-INPE, 2016a).

De acordo com os dados apresentados pode-se concluir que no município de São Gonçalo-RJ é mais frequente ocorrer precipitação de menores acumulados, como entre 0 e 10 mm, pois a média de eventos nesse intervalo foi de 249,4 ao longo da série analisada. Já os eventos dentro do intervalo maior que 50 mm não ocorrem com a mesma frequência, podendo ser observada uma média de 1,2 eventos ao longo do período analisado e de 13 eventos nos anos com El Niño e de 5 eventos nos anos sem El Niño, com um aumento de 61,5% dos eventos nesse intervalo em anos com El Niño.

De modo a observar a variabilidade temporal da precipitação, são observadas a quantidade de eventos leve, moderada e forte, segundo a escala Reichardt, que ocorreram no município de São Gonçalo-RJ ao longo dos verões da série histórica (2005-2018). As taxas mais representativas foram registradas nos anos de 2005, com 116 eventos de chuva leve, 30 eventos moderados e 14 eventos fortes. O volume acumulado de chuva no verão desse ano foi de 480,5 mm, ficando 11,2 mm abaixo do esperado para o verão. Já no ano de 2007 (ano sem El Niño em sua maior parte) puderam ser observados 85 eventos leves, 31 eventos moderados e apenas 4 eventos fortes, representando uma redução de 66,7% em comparação com o ano de 2006, que sofreu influência do fenômeno. A diferença registrada entre o valor obtido em 2007 pela Estação Climatológica da UERJ/FFP e a média de verão das Normais Climatológicas do INMET foi de 50,2 mm, indicando que o ano de 2007 ficou abaixo do esperado para o verão (fig. 7).

No ano de 2008 houve uma significativa diferença quando comparado aos anos de 2005, 2006 e 2007, pois os mesmos ficaram abaixo da média, enquanto o ano de 2008 ficou 223,3 mm acima do esperado para o verão. Segundo Pereira (2009) e Tórnio (2019) o ano de 2008

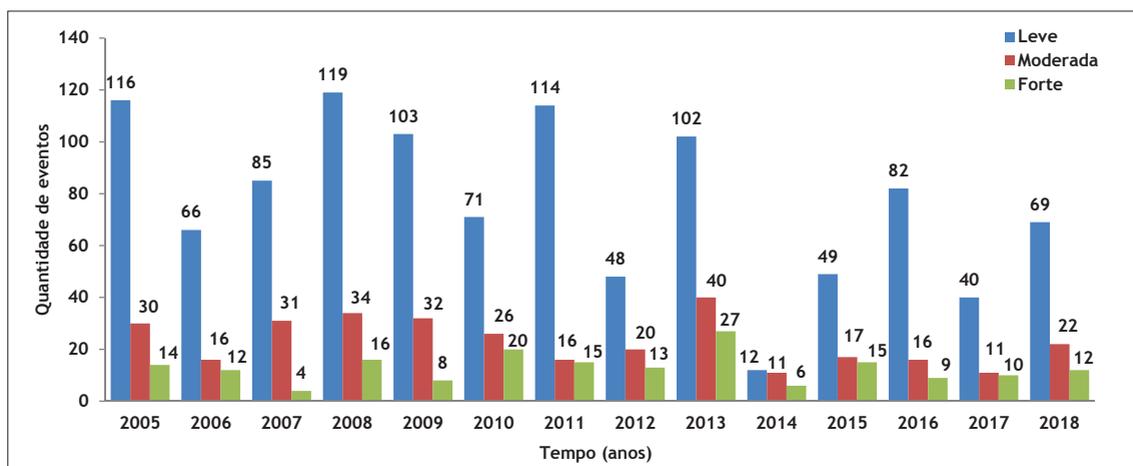


Fig. 7 - Eventos de leve, moderada e forte Intensidades de chuva no verão (2005-2018) no município de São Gonçalo-RJ, Brasil (Fonte: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP).

Fig. 7 - Light, moderate and heavy summer rainfall events (2005-2018), in São Gonçalo-RJ city, Brazil (Source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

foi classificado como um ano “chuvoso” pelo INMET devido aos fenômenos atuantes (fig. 8). Entretanto, não houve muitos registros de inundações, indicando que a precipitação foi bem distribuída ao longo do verão.

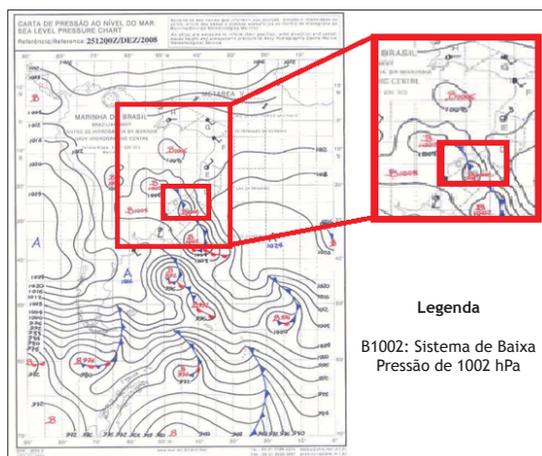


Fig. 8 - Carta Sinótica de 25 de dezembro de 2008 mostrando o sistema frontal (Fonte: adaptado de Marinha do Brasil, 2008).

Fig. 8 - Synoptic map, 25 December 2008 showing the frontal system (Source: adapted from Marine of Brazil, 2008).

No ano de 2010 (ano com El Niño) observaram-se 20 eventos fortes. O volume acumulado no verão foi de 730,7 mm, ficando 239 mm acima do esperado para o verão, de acordo com as Normais Climatológicas do INMET. No ano de 2014 (ano com El Niño) foram observados 12 eventos de chuva leve, 11 eventos de chuva moderada e 6 eventos de chuva forte. Essa redução na ocorrência de chuva pode ser justificada pela atuação atípica da ASAS, que se situou na costa do Sudeste de forma atípica e que, segundo Pegorim (2016) devido à subsidência de ar que

inibiu a formação de nebulosidade, permitindo um total de chuva no verão de apenas 187,6 mm, ficando 304,1 mm abaixo da média, sendo o ano mais seco de toda a série histórica destacada. No ano de 2015 (ano com El Niño) houve 15 eventos de chuva forte, representando uma redução de 20% quando comparado aos eventos fortes do ano de 2013, que não sofreu com as alterações do El Niño. Da mesma forma, esse comportamento pode ser explicado pela atuação atípica da ASAS, que reduziu a quantidade de chuva na região (Pegorim, 2015). Ainda que a ASAS tenha atuado de forma atípica tanto em 2014 quanto em 2015, o volume acumulado no verão do ano de 2015 foi equivalente a um aumento de 62,4% em relação ao registrado no verão do ano de 2014. E por mais que houvesse esse aumento percentual, o ano de 2015 ficou 7 mm abaixo da média dos verões.

No ano de 2016 (ano com El Niño) foram observados 82 eventos de chuva leve, 16 eventos de chuva moderada e 9 eventos de chuva forte. Ainda que esse ano tenha sido classificado como um ano “extremamente seco” pelo INMET (Tórnio, 2019), o verão do ano de 2016 ficou 71,6 mm acima da média esperada para os verões. E os episódios de chuva de maior intensidade foram suficientes para ocasionar inúmeras inundações no município de São Gonçalo-RJ devido à combinação da ocorrência de fenômenos como a ZCAS, cavados e sistemas frontais de característica fria, como por exemplo, no mês de novembro de 2016 (fig. 9). Esses fenômenos podem ser apontados como possíveis responsáveis pelo volume de 563,3 mm obtidos no verão de 2016, o que pode ter acarretado na elevada quantidade de inundações registradas.

No ano de 2017 (ano sem El Niño) foi possível registrar 40 eventos de chuva leve, 11 eventos moderados e 10 eventos fortes. Devido ao problema no monitoramento, o

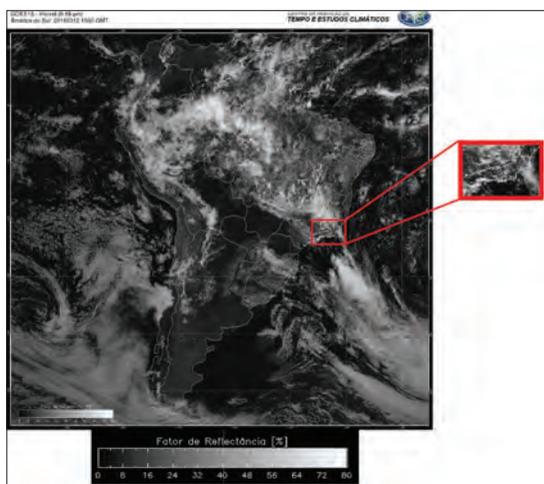


Fig. 9 - Imagem do canal Visível do Satélite GOES-13 em 12 de março de 2016 mostrando a ZCAS (Fonte: CPTEC-INPE, 2016a).

Fig. 9 - GOES-13 Satellite Image of the Visible channel on 12 March 2016 showing ZCAS (Source: CPTEC-INPE, 2016a).

total acumulado que pôde ser registrado no verão desse ano foi de 201,2 mm, não cabendo comparação com o acumulado de chuva registrado no verão das Normais Climatológicas do INMET. Já no ano de 2018 (ano com El Niño) foram observados 383,05 mm ao longo do verão, os quais foram distribuídos entre 69 eventos de chuva leve, 22 eventos de chuva moderada e 12 eventos de chuva forte, ficando 108,7 mm abaixo do esperado para o verão. De acordo com os dados analisados, pode-se justificar que os eventos de inundação quantificados se dão em decorrência das chuvas mais fortes que ocorrem na cidade e que leva a população mais vulnerável a estar mais suscetível aos riscos.

#### Localização das inundações

As inundações registradas pela Defesa Civil do município de São Gonçalo-RJ permitem observar os dados registrados pelos boletins de ocorrência nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro de cada ano da série histórica selecionada. As maiores taxas foram observadas nos anos de El Niño, sendo eles o ano de 2016, com 273 eventos de inundação, sendo 141 eventos ocorridos apenas no mês de março. O ano de 2005 foi o segundo ano com maiores registros, apresentando 26 eventos apenas no mês de janeiro e totalizando 42 eventos. A menor taxa foi observada no ano de 2008, o qual não sofreu influências do El Niño e apresentou apenas 1 evento de inundação (TABELA IV).

No ano de 2016 pode-se perceber um comportamento atípico em relação à ocorrência de inundações, pois o total registrado no verão foi 70,3% maior do que os totais registrados nos verões dos anos sem El Niño e 56,8% maior do que o registrado nos anos com El Niño. No ano de 2017 (anos em El Niño) foram registrados 3 eventos no mês

TABELA IV - Registros de inundações nos meses de verão no município de São Gonçalo-RJ, Brasil.

TABLE IV - Flood events in summer months in São Gonçalo-RJ city, Brazil.

| Anos | Inundações - Verão |     |     |     |       |
|------|--------------------|-----|-----|-----|-------|
|      | Eventos            |     |     |     |       |
|      | Jan                | Fev | Mar | Dez | Total |
| 2005 | 26                 | 2   | 14  | -   | 42    |
| 2006 | 1                  | 4   | -   | -   | 5     |
| 2007 | 10                 | 5   | 4   | -   | 19    |
| 2008 | -                  | -   | 1   | -   | 1     |
| 2009 | -                  | -   | -   | 1   | 1     |
| 2010 | -                  | 2   | 9   | 4   | 15    |
| 2011 | 1                  | 4   | 2   | -   | 7     |
| 2012 | 23                 | 1   | 2   | -   | 26    |
| 2013 | 5                  | 5   | 4   | 2   | 16    |
| 2014 | 3                  | 3   | 7   | 2   | 15    |
| 2015 | 3                  | 2   | 7   | 12  | 24    |
| 2016 | 62                 | 66  | 141 | 4   | 273   |
| 2017 | 3                  | -   | 9   | -   | 12    |
| 2018 | 11                 | 3   | 2   | -   | 16    |

-Não foram registrados eventos de inundação pela Defesa Civil ou não foram encontrados.

Fonte: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP.  
Source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP.

de janeiro e 9 eventos no mês de março, totalizando 12 eventos. No ano de 2018 (ano com El Niño) a Defesa Civil registrou 11 eventos no mês de janeiro e 3 eventos no mês de fevereiro, totalizando 16 eventos de inundações no município de São Gonçalo-RJ, Brasil.

Observa-se a maior quantidade de inundações na bacia do rio Alcântara (fig. 10), a qual sofreu com intervenções ao longo dos anos, gerando alterações impactantes nos cursos dos rios e que, por sua vez, ocasiona diversos problemas para os bairros que se encontram nas imediações. Delazeri (2015) afirma que devido aos maiores registros de inundações nas regiões das bacias hidrográficas e sub-bacias destacadas, a Prefeitura do município e o Governo Estadual realizam periodicamente serviços referentes à dragagem em pequenos trechos, a fim de aprofundar os rios de modo a reduzir os eventos de inundações em tais locais.

De forma mais detalhada são mostrados os pontos de inundação ocorridos nos verões em todo o município de São Gonçalo-RJ e os bairros onde ocorreram as maiores frequências de inundações: Jardim Catarina, Colubandê e Trindade (fig. 11). Segundo Silva (2006), Pereira (2009), Vieira *et al.* (2016) Vieira e Cunha (2007), Botelho (2004), Botelho (2011), as inundações são decorrentes de diversos fatores, os quais quando combinados entre si, podem gerar transtornos de imensa magnitude, como a ocorrência de enxurradas, devido a baixa capacidade de infiltração da pavimentação asfáltica em áreas urbanas. Além disso, pode-se acrescentar como um dos fatores preponderantes a ação antrópica que exerce atividades prejudiciais à capacidade de infiltração do solo, como construções desordenadas e a deposição de lixo em vias

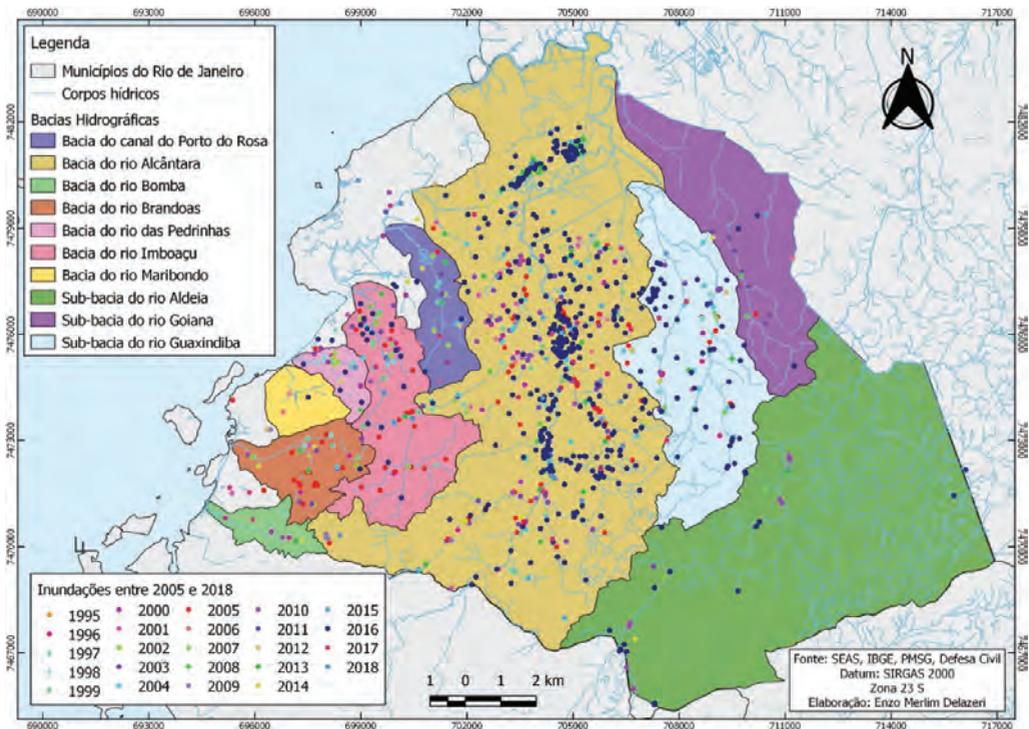


Fig. 10 - Distribuição das inundações no município de São Gonçalo-RJ, Brasil  
(Fonte dos dados: Laboratório de Geociências da UERJ/FFP, 2020).

*Fig. 10 - Distribution of floods in São Gonçalo-RJ city, Brazil  
(Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).*

públicas, entupindo bueiros, agravando a dificuldade para o escoamento da água da chuva.

A construção de residências próximas aos rios e as encostas se tornou muito comum ao longo dos anos, classificando tais moradores como vulneráveis em áreas de risco. As edificações ocuparam as margens dos rios de maneira bastante densa. Dessa forma, quando ocorrem chuvas de volumes superiores, os rios transbordam e geram inúmeros prejuízos econômicos e sociais, como perdas materiais e, em alguns casos, perdas de vidas humanas, visto que suas águas invadem as casas mais próximas (Silva *et al.*, 2019). É importante ressaltar que toda a bacia do rio Alcântara sofre com eventos de inundações por haver um adensamento urbano intenso junto com uma infraestrutura deficiente e precária, impermeabilização crescente do solo, dentre outros problemas.

É possível observar que a maior concentração de pontos de inundação ocorre na parte central do município, onde é situada a bacia do rio Alcântara, cuja região é citada por Silva, (2006), Pereira (2009) e Daudt *et al.* (2016) por sofrer com a falta de saneamento, que contribui com a degradação dos recursos hídricos da bacia, além da mesma sofrer com diversos tipos de intervenção. Na localização da bacia do rio Alcântara, percebe-se que os bairros correspondentes são os que mais sofrem com as inundações (fig. 11).

Calculando a frequência total de inundação que cada bairro do município de São Gonçalo apresentou ao longo dos anos da série história georreferenciada, é possível observar que os bairros que tiveram as maiores frequências de inundações foram o Jardim Catarina, totalizando 11 anos de ocorrências desses eventos. O segundo bairro geralmente muito afetado é o Colubandê, o qual apresenta tais comunicados na Defesa Civil de São Gonçalo-RJ há cerca de 8 anos. E os outros bairros mais afetados são os bairros Trindade, Boaçu e Tribobó, os quais contactam a Defesa Civil devido às inundações ocorridas há cerca de 5 anos.

O bairro de Jardim Catarina teve a maior frequência de eventos de inundação (fig. 12) e é uma das regiões de maior vulnerabilidade de São Gonçalo-RJ (Silva, 2006, Pereira, 2009). Segundo Delazeri (2015) o bairro Jardim Catarina se encontra no médio curso da bacia hidrográfica do rio Alcântara e é constituído por planície flúvio-marinha, o que deixa o bairro sujeito a inundações. Conforme Vieira *et al.* (2016) e Daudt *et al.* (2016) a bacia do rio Alcântara apresenta uma dinâmica fluvial totalmente alterada por intermédio da expansão urbana. A grande maioria dos rios foram canalizados, o que interferiu em alterações ao longo de toda a bacia hidrográfica. Segundo os autores, muitos canais estão assoreados, sem presença de mata ciliar e com suas margens ocupadas, o que resulta em frequentes inundações, conforme constatado também por esse estudo.

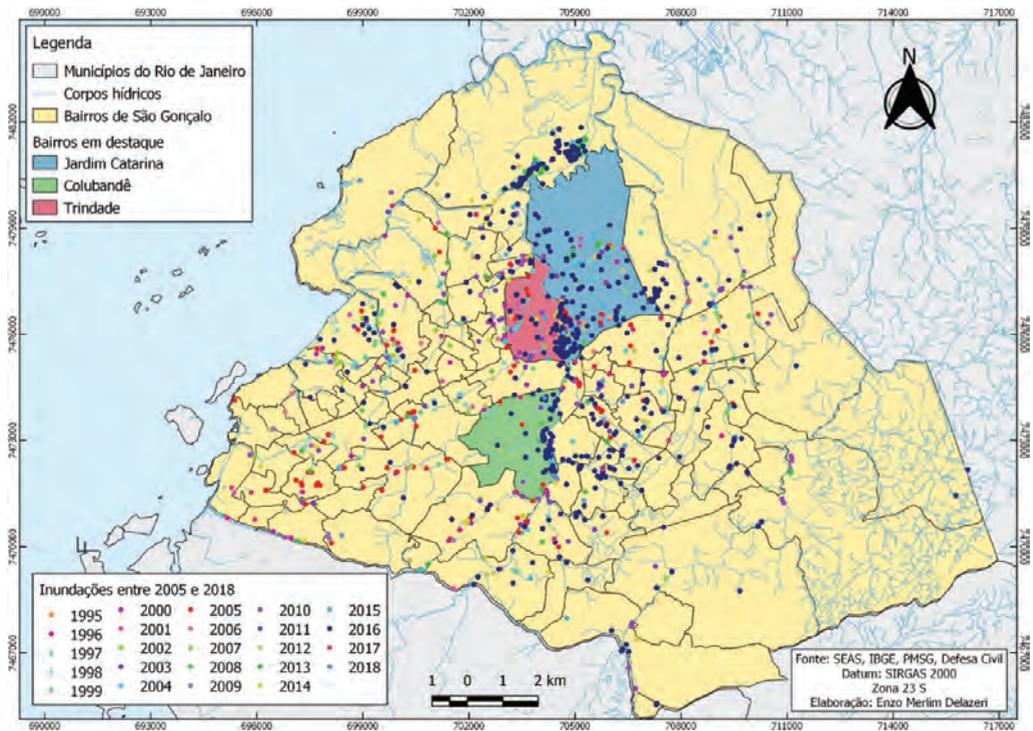


Fig. 11 - Mapa de distribuição de pontos de inundações em São Gonçalo-RJ, Brasil (Fonte dos dados: Laboratório de Geociências da UERJ/FFP. 2020).

Fig. 11 - Distribution of flood points in São Gonçalo-RJ city, Brazil (Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

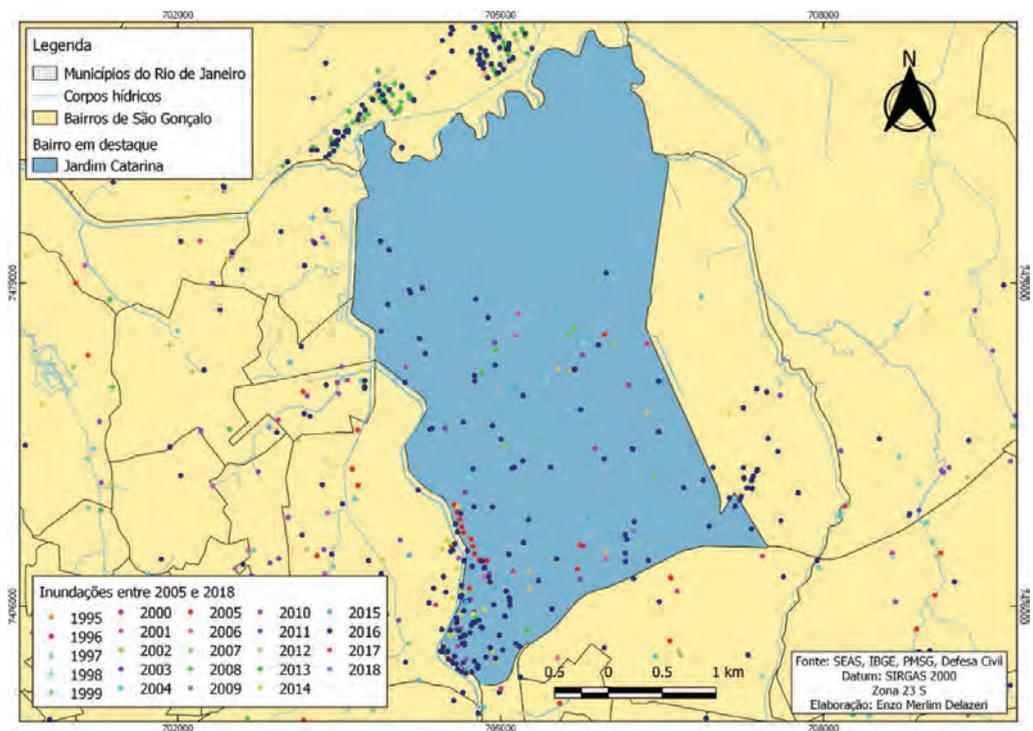


Fig. 12 - Mapa de distribuição de pontos de inundações no bairro Jardim Catarina, no município de São Gonçalo-RJ, Brasil (Fonte dos dados: Laboratório de Geociências da UERJ/FFP, 2020).

Fig. 12 - Distribution of flooding in Jardim Catarina neighbourhood, in São Gonçalo-RJ city, Brazil (Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

Outro bairro que se encontra em difícil situação também devido às inundações é o Colubandê que, conforme os cálculos de frequência, foi o segundo bairro que mais sofreu com as inundações. O bairro Colubandê, segundo Delazeri (2015), “[...] *está entre os bairros de maior demografia*” e entremeado por canais fluviais, o bairro também está em uma região que se encontra no médio curso da bacia do rio Alcântara. A região onde se localiza essa bacia, assim como outras bacias como do rio Imboaçú, rio Pomba e rio Guaxindiba, sofreram diversas transformações e foram perdendo suas características originais ao longo dos anos, impactando nos cursos dos rios (Daudt *et al.*, 2016). Por isso, o bairro sofre muito com as inundações, o que somando à falta de drenagem e intensa impermeabilização das superfícies ocasiona o assoreamento e a redução da calha do rio (Delazeri, 2015).

Pode-se constatar através desse trabalho que as transformações que ocorreram nos canais, principalmente nas áreas urbanas provocou mudanças nos processos fluviais, sendo que o uso desordenado da terra aumentou a erosão e as áreas impermeáveis acarretando o assoreamento do rio e as inundações.

A remoção da vegetação é uma característica urbana, que em torno dessa bacia hidrográfica também favorece a erosão de suas margens, além de contribuir para a redução na capacidade de infiltração, aumento no fluxo de chuvas ocasionando a erosão acelerada do solo e a variação na dinâmica hidrológica. Nota-se uma série de impactos ambientais presente na região, como o estrangulamento de canais, retirada da mata ciliar, canais anastomosados, ocasionando diversos problemas socioambientais.

### Conclusão

A bacia hidrográfica do rio Alcântara é uma área que apresenta um alto grau de degradação com características similares às bacias hidrográficas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O crescimento urbano tem acarretado em mudanças severas no canal fazendo com que o mesmo perca as suas características naturais e haja alteração do seu comportamento. Diversas mudanças associadas a obras e modificações foram efetuadas no rio Alcântara, o que acentuou modificações nos processos fluviais.

Pode-se citar como uma das principais intervenções na bacia do rio Alcântara a canalização, que resultou em diferentes impactos. Ocorreram ainda, obras de retificação, construção de pontes, dentre outras alterações com a finalidade de aumentar a infraestrutura. Conforme verificado neste estudo, os bairros de Jardim Catarina, Colubandê e Trindade apresentam-se como os trechos mais críticos da bacia do rio Alcântara. Estas localidades estão associadas ao aumento de áreas impermeabilizadas, que resultam na diminuição da capacidade de infiltração e aumento do escoamento superficial, resultando em bairros mais propensos à inundação.

Ressalta-se ainda que no período de El Niño foi verificado um aumento das precipitações associadas ao seu volume e a sua frequência. Ao longo da série histórica analisada, alguns anos que sofreram influência do El Niño, como 2005/2006, 2009/2010, 2014/2015/2016 e 2018, e em alguns desses anos foi possível perceber o aumento da quantidade de chuvas e inundações. Somado às atuações do El Niño, houve também a presença de sistemas frontais de característica fria, cavados e atuação da ZCAS, o que ocasionou diversos eventos com elevados volumes pluviométricos, os quais ajudaram a deflagrar problemas referentes às inundações em diversos bairros.

Através das análises das chuvas em concomitância com as inundações, foi possível perceber que, por mais que o ano seja considerado seco, através da combinação ou da atuação de um único fenômeno atmosférico é possível obter eventos de chuva de forte intensidade e, a partir deste, deflagrar esses eventos críticos, como ocorreu no ano de 2016, o qual obteve o maior número de registros de toda a série histórica analisada, com 273 eventos. Essa informação pode ser confirmada através da verificação dos dados de chuva, os quais apresentaram 2 eventos maiores que 50 mm tanto nos meses de março quanto de dezembro, sendo que no mês de março foram registrados eventos maiores que 60 mm e 70 mm, os quais podem ter ajudado a deflagrar os eventos de inundação. A partir das análises dos outros anos, percebeu-se que durante as edições do El Niño houve eventos mais expressivos de inundações, que podem ser explicados devido à elevação da temperatura média no Sudeste brasileiro.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da UERJ (PROATEC) no desenvolvimento deste trabalho, através da concessão de bolsa de pesquisa.

### Referências Bibliográficas

- Bertolino, A. V. F. A., Costa, A. R. C., Bertolino, L. C., Fialho, E. S. (2007). Análise da dinâmica climatológica no município de São Gonçalo RJ - triênio 2004 - 2007. *Revista Tamoios (Impresso)*, v. IV, 1-13.
- Bertolino, A. V. F. A., Fialho, E. S., Marchioror, E., Baptista, E. C. S. (2012). As repercussões pluviais e os movimentos de massa na porção leste da Baía de Guanabara: estudo de caso de São Gonçalo - RJ. In: Charlei Aparecido da Silva; Edson Soares Fialho. (Org.). *Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica*. 1ed., UFGD, 233-256.
- Bertolino, A. V. F. A., Bertolino, L. C., Sacramento, A. C. R., Kede, M. L. F. M., Oliveira, A. C. B., Delazeri, E. M. (2018). Os conteúdos de Geografia física para a Educação Básica - Importância de se utilizar como ferramenta o monitoramento de Estação

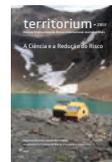
- Experimental Climatológica no entendimento dos condicionantes dos movimentos de massa. In: Eliana Marta Barbosa de Moraes; Adriana Olívia Alves; Valéria De Oliveira Roque Ascensão. (Org.). *Contribuições da Geografia Física para o Ensino de Geografia*. 1ed. Goiânia: C&A Alfa Comunicação, v. 1, 79-100.
- Botelho, R. G. M. (2004). Enchentes em áreas urbanas no Brasil. Seminário A questão Ambiental Urbanan: expectativas e perspectivas (CD-ROM). Universidade de Brasília - Brasília (DF).
- Botelho, R. G. M. (2011). Bacias Hidrográficas Urbanas. In: Guerra, A. J. T. *Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 71-110.
- Cerri, L. E. S., Amaral, C. P. (1998) Riscos Geológico. In: Oliveira, A. M. S. e Brito, S. N. A. *Geologia de Engenharia*, São Paulo, 201-310.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2020). Monitoramento do El Niño Durante NDJ-2019/2020. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>
- CLIMATE PREDICTION CENTER-NOAA (2019) Cold & Warm Episodes by Season. Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)
- Daudt, C., Sousa, R., Costa, F., Rocha-Leão, O. (2016). In: XI SINAGEO: Geomorfologia: Compartimentação de Paisagem, Processo e Dinâmica, 11, Maringá, Anais..., Maringá: UEM, 2016. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/3/3-344-1651.html>
- Delazeri, E. M., Bertolino, A. V. F. A. (Orientadora) (2015). *Análise pluviométrica e sua relação com as enchentes em São Gonçalo, uma análise espacial por georreferenciamento das ocorrências dos anos de 2006 a 2014 (Monografia)*. Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Dereczynski, C. P., Calado, R. N., Bodstein, A. (2017). Chuvas extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. *Anuário do Instituto de Geociências - UFR*, v. 40, n.º 2, 17-30. DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_2\\_17\\_30](http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_17_30)
- Ferrari, A. L. (2001). *Evolução do Graben da Guanabara. São Paulo (Tese Doutorado em Geologia)*. IGC/ Universidade de São Paulo - USP.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2010). Área Territorial. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/sao-goncalo.html>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2018). Área Territorial. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/sao-goncalo.html>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2019). População Estimada. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/sao-goncalo.html>
- Kede, M. L. F. M., Bertolino, A. V. F. A., Bertolino, L. C. (2017). Análise da precipitação sobre o efeito da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no município de São Gonçalo (RJ) no período de 2014 e 2015. In: *VII Simpósio Internacional de Climatologia*, Petrópolis.
- Lourenço, L. (2018). Prefácio. In: Lourenço, L., e Nunes, A. *Riscos Hidrometeorológicos*. Série Estudos Cindínicos, Ed. Riscos- Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Coimbra, 7-9.
- Meis, M. R. M. (1976). *Contribuição ao estudo do Terciário Superior e Quaternário na baixada de Guanabara. Lisboa. (Tese Doutorado em Geologia)*. Univ. de Lisboa.
- Meis, M. R. M., Amador, E. S. (1977). Contribuição ao estudo do neocenoico da Baixada da Guanabara: Formação Macacu. *Revista Brasileira de Geociências*, v.7, 150-172.
- Meis, M. R. M., Amador, E. S. (1974). Note on weathered arkosic beds. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 44, n.º 3, 727-737.
- Monteiro, A. M. F., Coelho Netto, A. L., Meis, M. R. M. (1974). Formação Macacu: Variações texturais e aproveitamento econômico. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, n. 49.
- Mendonça, F., Danni-Oliveira, I. M. (2007). *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: oficina de textos.
- Nunes, L. H. (2015). Cap. 1: Os desastres naturais - Condicionantes Socioeconômicos e riscos. Ed. Oficina de Textos. *Urbanização e Desastres Naturais*. São Paulo, 13-17.
- Nunes, A. (2018). Introdução. In: Lourenço, L., Nunes, A. *Riscos Hidrometeorológicos*. Série Estudos Cindínicos, Ed. Riscos- Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Coimbra, 11-14.
- Oliveira, G. S. de. (2005). *El Niño/La Niña: Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas*. São José dos Campos: Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 13 p.
- Oliveira-Júnior, J. F., Terassi, P. M. B., Gois, G. (2017). Estudo da circulação dos ventos na Baía de Guanabara/RJ, entre 2003 e 2013. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, ano 13, v. 21, jul/dez, 59-80.
- Pegorim, J. (2015). *Como o El Niño agrava a seca no Nordeste?* Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2015/11/06/como-o-elnino-agrava-a-seca-no-nordeste--9975>
- Pegorim, J. (2015). *Bloqueio da ASAS enfraquece esta semana*. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticias/286605/bloqueio-da-asas-enfraquece-na-proxima-semana/>
- Pegorim, J. (2016). *O que é subsidência do ar?* Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/04/04/o-que-e-subsidencia-do-ar--9827>

- Peixoto, M. N. O., Silva, T. M., Moura, J. R. S. (1997). Reflexões sobre as perspectivas metodológicas em geografia física. *Revista da Pós-Graduação*, Departamento de Geografia UFRJ, ano I, vol. I, 35-47.
- Pereira, G. C. (2009). *Correlação dos dados de intensidade de chuva com as enchentes mais expressivas ocorridas no município de São Gonçalo - RJ no período de 2005 a 2008 (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em licenciatura em Geografia)*. Orientador: Ana Valéria Freire Allemão Bertolino. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores, São Gonçalo-RJ, 35 p.
- Pereira, V. C. M., Bertolino, A. V. F. A., Bertolino, L. C., Kede, M. L. F. M., Alho, D. S., Tornio, C. A. A. (2019). Variabilidade Comportamental da Insolação e Nebulosidade em Anos sem e com El Niño (2012 e 2015). In: *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 18, 2019. Ceará, Anais..., Fortaleza: UFC. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/513.pdf>
- Pompêo, C. A. (2000). Drenagem urbana sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 5, n.º 1, Jan/Mar, 15-23.  
DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v5n1.p15-23>
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO (2008). *Plano Diretor Municipal Participativo: caracterização da situação atual*. Disponível em: <http://www.saogoncalo.rj.gov.br>. Acessado em: 23 set. 2008.
- Reboita, M. S., Gan, M. A., Rocha, R. P. da, Ambrizzi, T. (2010). Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n.º 2, 185-204.
- Reichardt, K. (1987). Água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 188 p.
- Rossi, S., Soares, M. D. O. (2017). *Effects of El Niño on the coastal ecosystems and their related services. Mercator (Fortaleza)*, 16.  
DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16030>
- Salgado, C. M., Silva, T. C., Souza, G. C. A., Freitas, H. C. (2007). Caracterização temporal e espacial da precipitação no entorno do município de São Gonçalo-RJ: considerando a série histórica de 1968 a 2002. *Revista Sociedade & Natureza*, Uberlândia, n.º 19, v. 1, 19-31.
- Silva, A. T. (2006). *Levantamento das áreas de inundação no médio e baixo curso da bacia do rio Guaxindiba - Alcântara - SG/RJ (Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Geografia)*. Orientadora: Ana Valéria Freire Allemão Bertolino. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores, São Gonçalo-RJ, 94 p.
- Silva, L. F. S. H., Pereira, V.C. M., Bertolino, L. C., Kede, M. L. F. M. (2019). A Importância dos Estudos Climáticos no Município de São Gonçalo (RJ) e o Papel da Escola na Construção de uma Sociedade Consciente do Clima. In: *Simpósio Internacional de Climatologia*, 8, Belém.
- Silva, J. C. da (2007). *Relação entre dados pluviométricos e as ocorrências de movimentos de massa no município de São Gonçalo - RJ nos anos de 2005 e 2006 e sua relevância para o planejamento em defesa e segurança civil (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geografia - São Gonçalo)*. Orientador: Luiz Carlos Bertolino. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Soares Neto, G. B., Bayma, A. P., Babinski Neto, S., Roig, H. L., Menezes, P. H. B. J. (2017). Análise de Susceptibilidade a Alagamento na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo - Distrito Federal por Meio de Sistemas de Informação Geográfica - SIG\*. *Revista Territorium*. Coimbra, n.º 24, 77-87.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_24\\_6](https://doi.org/10.14195/1647-7723_24_6)
- Tórnio, C. A. A. (2019). *Dinâmicas atmosféricas e a gênese das chuvas no município de São Gonçalo (RJ) no período de 2005 a 2016 (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em licenciatura em Geografia)*. Orientadora: Maria Luiza Félix Marques Kede. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores, São Gonçalo-RJ, 160 p.
- Veyret, Y. (2007). *Os Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente*. Ed. Contexto; 2ª edição, 320 p.
- Vieira, C. D., Oliveira, A. E. F. de, Alves, W. G., Leão, O. M. da R. (2016). Análise da Degradação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Alcântara no Município de São Gonçalo, Leste Metropolitano do Rio de Janeiro. *Revista Equador (UFPI)*, vol. 5, n.º 4 (Edição Especial 03), 93-105. Disponível em: <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador/article/view/5190/3051>
- Vieira, V. T., Cunha, S. B. (2007). Mudanças na rede de drenagem urbana em Teresópolis (Rio de Janeiro). In: Guerra, A. T. e Cunha, S. B. *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*, Rio de Janeiro. Bertrand, 112-145.
- Vieira, V. T., da Cunha, S. B. (2008). Mudanças na morfologia dos canais urbanos: alto curso do rio Paquequer, Teresópolis-RJ (1997/98-2001). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 9(1).  
DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v9i1.97>
- Zanella, M. E., Olímpio, J. L. S. (2014). Impactos pluviais, risco e vulnerabilidade em Fortaleza. In: Mendonça, F. *Riscos climáticos; vulnerabilidade e resiliência associados*. Ed. Paço Editorial, Jundiá, 115 - 136.

(Página deixada propositadamente em branco)



RISCOS



RESPONSES OF POPULATIONS FOR COPING WITH AN EXTREME EVENT:  
SAINT-MARTIN AND SAINT-BARTHÉLEMY IN THE WAKE OF HURRICANE IRMA\*

RESPOSTAS DA POPULAÇÃO PARA ENFRENTAR EVENTOS EXCEPCIONAIS:  
O EXEMPLO DAS ILHAS DE SÃO MARTINHO E DE SÃO BARTOLOMEU À PASSAGEM DO FURACÃO IRMA

Stéphanie Defossez

University Paul-Valéry Montpellier 3 (France)  
Department of Geography, LAGAM laboratory

ORCID 0000-0001-7397-666X [stephanie.defossez@univ-montp3.fr](mailto:stephanie.defossez@univ-montp3.fr)

Monique Gherardi

University Paul-Valéry Montpellier 3 (France)  
Department of Geography, LAGAM laboratory

ORCID 0000-0002-0836-4760 [monique.gherardi@univ-montp3.fr](mailto:monique.gherardi@univ-montp3.fr)

ABSTRACT

The intense hurricane season of 2017 in the North Atlantic brought a number of major hurricanes including Hurricane Irma (cat. 5), which landed on the French islands of St. Martin and St. Barthélemy. These two French Overseas Collectivities, separated by a distance of some 20 kilometres, have very different territorial and social characteristics. The study reported in this article is part of a scientific feedback conducted a few weeks after Irma. The social approach to the disaster conducted within this research framework aims to characterise the behaviour and implications of the inhabitants in the experience of the event, placed in a social and territorial context thanks to narrative interviews administered *in situ*. The comparative approach reveals similar behaviour before and during the hurricane, but individual and collective social and territorial factors guided very distinct post-event reactions.

**Keywords:** Hurricane, disaster, behaviour, vulnerability, recovery.

RESUMO

A intensa temporada de furacões de 2017 no Atlântico Norte incluiu uma série de furacões importantes, como o Furacão Irma (cat. 5), que afetou as ilhas francesas de São Martinho e São Bartolomeu. Estas duas colectividades francesas ultramarinas, a cerca de 20 quilómetros uma da outra, têm características territoriais e sociais muito diferentes. O estudo relatado neste artigo é parte de um *feedback* científico realizado algumas semanas depois de Irma. A abordagem social da catástrofe conduzida neste quadro de investigação visa caracterizar o comportamento e as implicações das populações na experiência do evento, colocada no contexto social e territorial, graças a entrevistas narrativas administradas *in situ*. A abordagem comparativa revela comportamentos semelhantes antes do evento e durante o furacão, mas factores sociais e territoriais individuais e colectivos guiaram a reacções pós-evento muito distintas.

**Palavras-chave:** Furacão, desastre, comportamento, vulnerabilidade, recuperação.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 16-02-2021, sujeito a revisão por pares a 16-02-2021 e aceite para publicação em 06-04-2021. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introduction

Harvey, Irma, Maria, a few of these successive hurricanes, marked the intense 2017 hurricane season in the North Atlantic, which was devastating and considered “among the nine most ‘energetic’ seasons since 1851” (Chauvin *et al.*, 2017, p. 1). Hurricane Irma, although it did not cause the greatest number of victims (124 deaths), was the “exceptional” event. It was the first major hurricane (category 5) to land on an island in the Lesser Antilles (Météo-France, 2017). Irma hit the northern islands of Saint-Martin and Saint-Barthélemy, surpassing the reference event, Hurricane Luis (category 4), which hit these islands in 1995. Irma was responsible for 11 deaths on Saint-Martin and the cost of the damage amounted to €2 billion for the two islands. These French overseas territories, which are only 20 kilometres apart and have both common and distinct features, were hit by this high-energy event. The post-disaster phase is regularly the subject of expert appraisal and feedback missions (RETEX), the objectives of which aim to analyse the management of the event. These missions are often the prerogative of expert institutions or organisations, but scientific feedback is less frequent. Furthermore, investigations into the understanding of the phenomenon and the way in which the crisis was managed most often focus on the point of view of institutional or private players involved in collective management (local authority, emergency services, network managers, etc.). But few studies are dedicated to the involvement of the ‘great forgotten’ population (Fenet and Daudé, 2020, p. 1), which is the approach proposed in this article. Indeed, less than two months after the passage of Hurricane Irma, a multidisciplinary scientific RETEX was initiated, part of which dealt with the experiences and involvement of the populations of Saint-Martin and Saint-Barthélemy. We believe that the populations that have suffered from the phenomenon also represent key players in crisis management. An analysis of the experience of the event and therefore of the behaviour of the population in the face of the event provides information on their involvement in crisis management (from preparation to post-crisis), which contributes to individual and, more widely, territorial recovery. Behaviour in the face of risk and a crisis depends on numerous factors such as “the characteristics of individuals, social processes and cognitive mechanisms” (Etner, 2011, p. 17). They are also linked to “hostile environmental pressure” (Provitolo, 2004, p. 15). From interviews that were semidirective and based on the temporality of the event, the role and involvement of the population in crisis management (from preparation to post-crisis) had to be determined in the context of an intense climatic event. Beyond the analysis of reactions, the comparison of two territories helps to explore the contribution of territorial factors (geographical context, politics, attachment to the territory, etc.) in behaviours. Taking an interest in the territory proves to be

a determining factor in the characterisation of territorial vulnerabilities, which define the response capacities of the territory and its populations. The presentation of territories and of hurricane Irma which hit the two islands in September 2017 will provide a portrait of territorial vulnerabilities. The hurricane is the starting point for a scientific experience feedback, so we will then present the methodology for collecting testimonies. Finally, the last part, an analytical description of the results, will show the similarities and differences in the involvement of the populations of the two islands.

## French west indies, tourist lands and lands at risk

### *The territorial context as a vector of vulnerability*

Saint-Martin and Saint-Barthelemy, brought back into the forefront after the passage of hurricane Irma, are still perceived as exceptional tourist destinations. While these sister islands, “so close and so different” (Hartog and Chardon, 1996) share a common destiny, some of their distinct social and territorial characteristics help to explain crisis management preparedness and post-disaster territorial recovery. The characterisation of territories based on development indicators provides information on the vulnerability of the territory (D’Ercole, 2003).

### *Dependent but autonomous French Island*

Saint-Martin (fig. 1) and Saint-Barthelemy (fig. 2) (french overseas territories) have experienced recent and spectacular economic development. Their politico-legal status explains the large degree of autonomy of these French territories, even if the State retains its presence in certain areas of competence.

This duality of governance sometimes even leads to contradictory strategies or objectives. (Re)discovered in 1493 by Christopher Columbus, Saint-Martin was successively occupied by the French, Dutch, Spanish and British in the course of the wars, before being definitively taken over by the French and Dutch. The Treaty of Concordia in 1648 divided the territory into two parts, French in the north and Dutch in the south. Saint-Barthelemy, for its part, belonged to France, then to Sweden, before being ceded back to France in 1877. The beginnings of the current status of the two islands date back to the 19th century, when Saint-Martin acceded to the legal regime of Guadeloupe (1816), before benefiting in 1862 from commercial, customs, fiscal and economic advantages. These same advantages were granted to Saint-Barthelemy after its retrocession (1878). From 1946, the two islands were attached as communes to the department of Guadeloupe and under the control of the Prefecture of the Northern Islands in 1963. The “geographical, social and economic specificities of the territories” (IEDOM, 2020a and 2020b, p. 17) mark the



Fig. 1 - Land use and urbanization phases in Saint-Martin since 1969 (Source: RGE alti 2016, BD Topo IGN 2017, aerial photo IGN (1969, 1984, 1999, 2017), Defossez and Gherardi, 2020, 2021).

Fig. 1 - Uso do solo e fases de urbanização em São Martinho desde 1969 (Fonte: RGE alti 2016, BD Topo IGN 2017, aerial photo IGN (1969, 1984, 1999, 2017), Defossez and Gherardi, 2020, 2021).

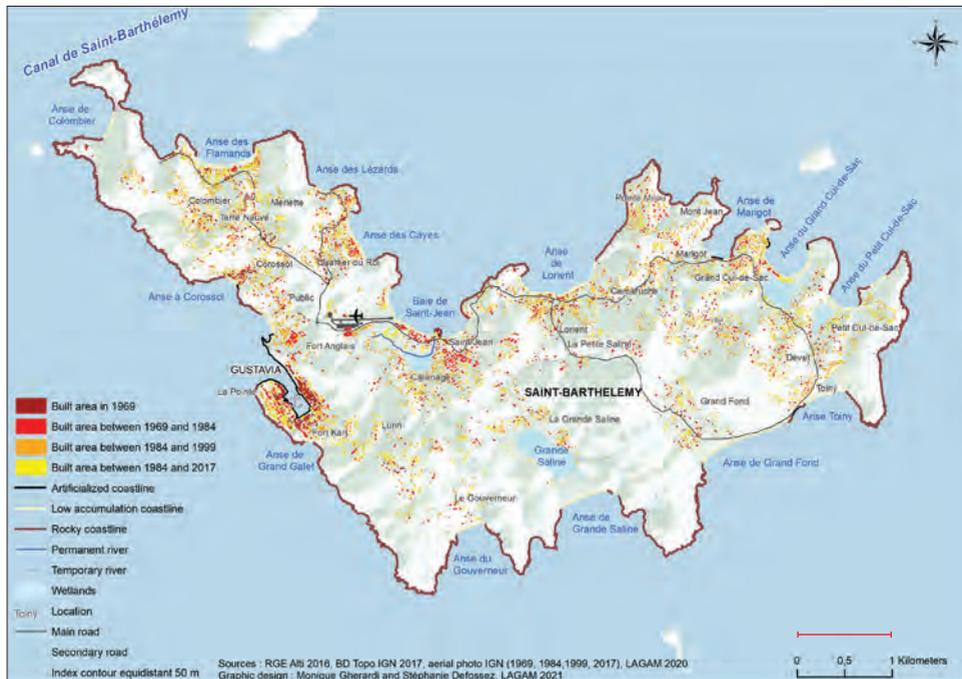


Fig. 2 - Land use and urbanization phases in Saint-Barthelemy since 1969 (Source: RGE alti 2016, BD Topo IGN 2017, aerial photo IGN (1969, 1984, 1999, 2017), Defossez and Gherardi, 2020, 2021).

Fig. 2 - Uso do solo e fases de urbanização em São Bartolomeu desde 1969 (Fonte: RGE alti 2016, BD Topo IGN 2017, aerial photo IGN (1969, 1984, 1999, 2017), Defossez and Gherardi, 2020, 2021).

desire for a statutory evolution towards greater autonomy carried by the elected representatives and approved by referendum by the populations of Saint-Martin (76.17%) and even more so in Saint-Barthelemy (95.51%). In 2007, the two islands were granted the status of overseas collectivity (COM) with wider powers, but did not opt for the same integration into the Community area. Saint-Martin is an Outermost Region (OR) while Saint-Barthelemy chooses the status of Overseas Country and Territory (OCT). The State remains present with a prefecture delegated to Sint Maarten and Sint Barthélemy and competent in certain areas (criminal, commercial, monetary, banking and financial law). Thus, on a common basis, the two islands are marked by some differences in governance, in particular a greater desire for autonomy for Saint-Barthelemy. For both territories, the advantageous tax regime has contributed to the economic boom based on tourism, stimulated by the “Pons” tax exemption law of 1986.

#### Recent tourist areas

The economic and demographic development of Saint-Martin and Saint-Barthelemy began in the 1960s and strengthened in the 1980s. The objective of the Pons law (1986) to encourage investment in these overseas territories really gave a boost to a new territorial dynamic. Between the 1982 and 1990 censuses, population growth rates appear to have been spectacular, with 65% for Saint-Barthélemy and 253% for Saint-Martin (fig. 3). The 2016 census reports 9793 and 35746 inhabitants respectively (Census of population, Insee 2016).

The logic of urbanisation, which is different on the two islands, has a deterministic dimension, as the geography of the territory has primarily influenced the settlement of the population on the coasts. In Saint-Martin (fig. 1), a few towns on the coastline or along the edge of ponds spread in the 1960s and 1970s, then the bays became denser, including some areas that are very exposed to hydro-climatic phenomena, such as “Baie Nettlé” and “Sandy Ground” built on a lido. The French West Indies have a tropical maritime climate, with a rainy season

from June to November (hurricane season) and warm temperatures throughout the year. The urbanisation of Saint-Martin is also marked by socio-spatial repartition, with precarious, self-constructed housing neighbourhoods rubbing shoulders with high-standard areas, testifying to structural and social vulnerability. In Saint-Barthelemy (fig. 2), socio-economic disparities exist without, however, presenting precarious housing areas. The windhouses and very high-standard dwellings are spread out from the coastline with a gradation of standing towards the heights.

The economy is based on the tertiary sector, almost exclusively tourism and all associated activities. This quasi-monopoly makes the territory dependent and vulnerable to external events, be it economic (2008 crisis), natural (Hurricane Irma) or health (COVID 19). At the beginning of 1980, the work of A.L. Sanguin (Sanguin, 1981, 1982) on the northern islands already envisaged the tourist future of Saint-Martin and Saint-Barthelemy, a trend which is emerging on the scale of the Caribbean basin (Urunuela, 2004). The changes have been felt since the 1970s when the last agricultural activities were in decline. At the beginning of the 1980s, even before the law of tax exemption, these islands had already started a “tourist and residential revolution” (Sanguin, 1981, p. 65, 1982, p. 128) based on an upper-class, American-dominated clientele, rejecting mass tourism and aiming for luxury tourism (Magnan, 2008; Theng, 2014). Saint-Barthelemy operates selective tourism facilitated by transport infrastructures which are insufficiently sized to accommodate boats and large aircraft, but which has the disadvantage of creating a partial dependence with the international airports of Juliana (Saint-Martin) and Pointe-à-Pitre (Guadeloupe). This same dependence falls to Saint-Martin which is moreover in competition with Sint-Maarten to capture tourist flows. The construction and real estate sector derives from tourism and provides a large number of jobs. The impact of Irma on these sectors of activity has followed a similar logic in the two islands but with different temporalities (Defossez *et al.*, submitted). The curve of tourism has fallen while that of construction and public works has increased the time of the (structural) reconstruction, which is almost completed

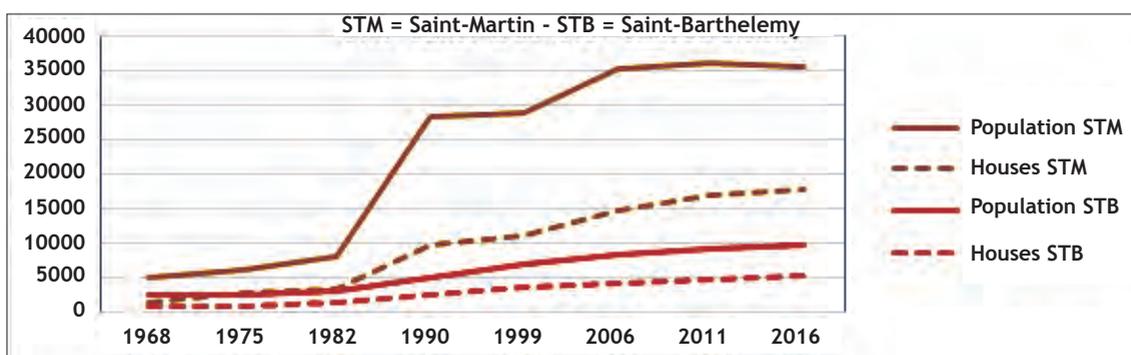


Fig. 3 - Demographic change in Saint-Martin and Saint-Barthelemy since 1968 (Data source: INSEE, 2016).

Fig. 3 - Mudança demográfica em São Martinho e São Bartolomeu desde 1968 (Fonte dos dados: INSEE, 2016).

on Saint-Barthelemy, continues on Saint-Martin. Overall, Saint-Martin has weaker development indicators than Saint Barthelemy with a GDP per capita of 14,700 and 35,700 euros (in 2010) (CEROM, 2014) and high intra- and inter-territorial income disparities. Furthermore, unemployment rates, reflecting social vulnerabilities, are around 4% for Sint Barthelemy and over 30% for Saint-Martin, although this high figure masks the reality of informal work (IEDOM, 2020b and 2020a).

#### *Cosmopolitan and attractive territories*

Social vulnerability is expressed through economic factors but is also based on the composition of society. The way in which society is organised is, in our opinion, based on territorial attachment and knowledge of the environment in which it evolves. The organisation can be linked to the involvement of actors in risk and crisis prevention. In this respect, the situation is different between Saint-Martin and Saint-Barthelemy. The external population represents more than 30% of the inhabitants of the island of Saint-Martin (IEDOM, 2020b). It originates from the Caribbean basin and mainly Haiti, but is also European and greatly influenced by American culture, with a large proportion of the population being English-speaking with a St. Martinian identity (Sanguin, 1982; Redon, 2006). Economically, the island is considered to be dominated by the metropolitans (Duvat, 2008). Saint-Barthelemy has also attracted a significant proportion of metropolitans described as “*neo-St. Barts*” (Chardon and Hartog, 1995: 275) and West Indians. Nearly 40 nationalities (mainly European) make up the foreign population (15% of the island’s population in 2011), of which more than half are Portuguese (IEDOM, 2015), settled by construction and public works activities (Chardon and Hartog, 1995).

#### *French west indies in the eye of the hurricane*

The North Islands are situated in the cyclogenic basin of the North Atlantic. Before Irma, which caused 11 deaths on Saint-Martin, the last deadly hurricanes were in 1819 and 1898 (Leone *et al.*, 2020). More recently (in 1995), Hurricane Luis (category 4 on the Saffir-Simpson scale), which hit Saint-Martin and Saint-Barthelemy and was the reference event, was replaced by Irma in September 2017. The 2017 hurricane season in the North Atlantic was marked by a succession of hurricanes, including 3 hurricanes (Harvey (cat. 4), Irma and Maria (cat. 5)). Just a few hours after Hurricane Irma passed over Saint-Martin and Saint-Barthelemy, they were again threatened by José (cat. 4), then less than two weeks later by Maria (cat. 5) and finally spared. Tropical storm Irma takes shape west of the Cape Verde Islands on 30 August 2017, after hitting the northern islands, it continues its course towards Cuba before running out of steam on the west coast of Florida (Météo France, 2017). Irma is qualified as exceptional, the

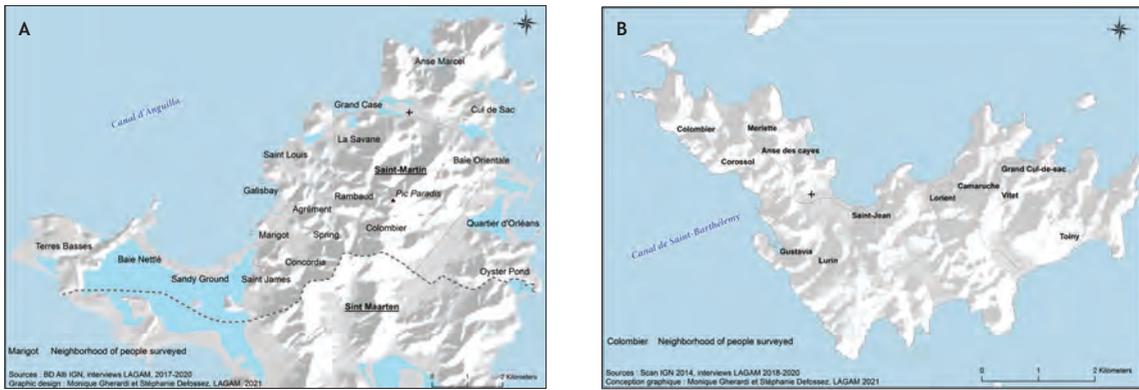
only one having landed on the French west indies, it is the strongest hurricane ever recorded in the North Atlantic. Very low atmospheric pressure reached up to 916hPa, with maximum sustained winds recorded at around 290 km/h (Cangialosi *et al.*, 2018) and modelled at over 350 km/h (Cécé *et al.*, 2020). Cyclonic surges reached 2 and 3 metres accompanied by waves of 3 to 10 metres, with maximum heights mainly affecting rocky and urbanised coasts already eroding, accentuated by the anthropisation of the coastline (Pillet *et al.*, 2019; Rey *et al.*, 2019). Considerable structural damage has been estimated at more two billion euros, and 11 deaths add to the trauma for Saint-Martin.

#### **Interviewing populations identified as playing a role in crisis management**

The feedback widely used after a disaster is destined to learn, to draw lessons from crisis management in order to improve strategies in the face of a future event. The process of analysing the cinematics of the event and the management of the crisis focuses more on the institutional and managerial players, and less on the point of view of the populations (Goutx, 2012) who are affected by the event but who also participate in its management at their own level (Campbell, 2009; Weiss *et al.*, 2010). Determining the knowledge, risk awareness and involvement of the population in the complete crisis management process (from anticipation to recovery) has guided this approach based on semi-directive interviews set within a temporal framework (before - during - after), with reactions depending on the temporal phases of the disaster (Provitolo *et al.*, 2015). In our view, the place of the population in crisis management processes is based on a necessary involvement that is partly independent of institutional management. It is also based on psychosocial and territorial determinants. However, the involvement of populations depends on certain official (institutional) recommendations. Moreover, the individual level is integrated into collective mechanisms (institutional or citizen) which manage the anticipation and recovery strategies on which individuals are totally dependent (for example the restoration of networks).

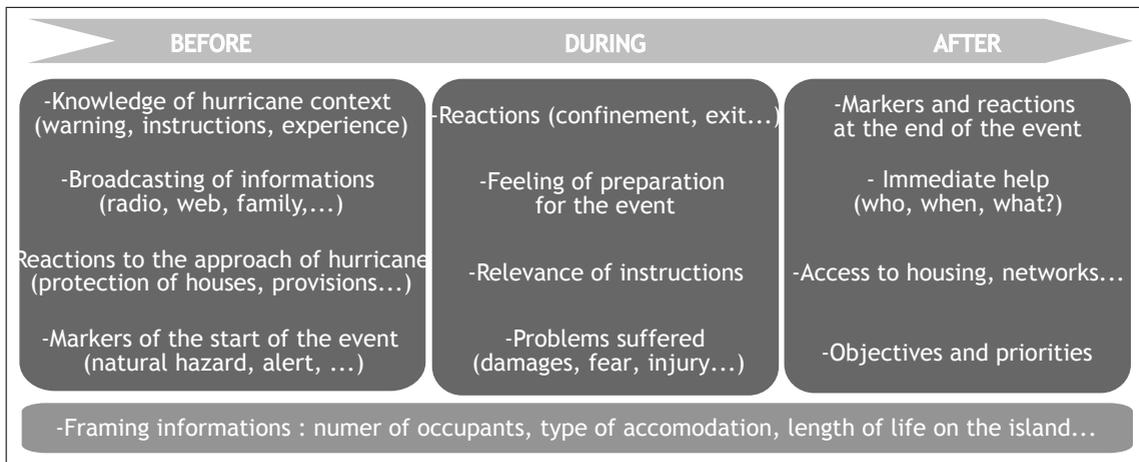
The semi-directive interviews used in the RETEX methodology (Wybo *et al.*, 2003) were conducted among the populations of Saint-Martin and Saint-Barthelemy in October/November 2017 and May 2018 (fig. 4a and 4b).

Then a cohort was followed up until today (2020). On the basis of an interview grid marked by before-during-after temporalities (fig. 5), the interviews were conducted face-to-face and almost exclusively in French (some interviews in English and Creole). The interviewers intervened as little as possible with reminders in order to 1) collect the expected information, 2) gain access to the respondent’s thought process and 3) to more personal information such as social status.



**Fig. 4 - Neighborhood of people surveyed in (a) Saint-Martin and (b) Saint-Barthelemy**  
 (Sources: BD alti IGN, interviews S. Defossez and M. Gherardi in 2017, 2018, 2019, 2020)

**Fig. 4 - Neighbourhood of people surveyed in (a) Saint-Martin and (b) Saint-Barthelemy**  
 (Fonte: BD alti IGN, entrevistas S. Defossez e M. Gherardi em 2017, 2018, 2019, 2020).



**Fig. 5 - Interview guide for the populations of Saint-Martin and Saint-Barthelemy in 2017 and 2018** (Defossez and Gherardi, 2020)  
**Fig. 5 - Guia de entrevista para as populações de São Martinho e São Bartolomeu em 2017 e 2018** (Defossez e Gherardi, 2020).

Although it is understood that post-disaster reconstruction is a long-term process, the primary objective was to ask people about their short-term experiences, from a few days before the hurricane (as soon as its direction towards the West Indies was announced) to a few weeks afterwards (emergency phase). An initial series of interviews therefore took place in Saint-Martin and Saint-Barthelemy in October 2017 and May 2018, with 102 and 17 interviews respectively, divided between men and women and representative of the composition of society (native, non-native (metropolitan, West Indian, immigrants)). Then a cohort of around twenty people on the two islands agreed to give us their impressions of the long-term reconstruction (thanks to meetings in March 2019 and October 2020). The survey took place in several districts of Saint-Martin and Saint-Barthelemy. The interview, which was introduced by a general phrase “tell us how you experienced the hurricane, before, during and after”, was very well received, with a

return rate approaching 100%. In Saint-Martin, no prior contact was made, so the presence of the interviewers in the island’s daily life was enough to build trust and encourage people to give themselves up. In Saint-Barthelemy, the same approach was taken, in addition to the publication of an advertisement in the Saint-Barth newspaper offering volunteers the opportunity to share their experience with us.

While each testimonial is unique and depends on the intrinsic nature of the individual, the behaviour and experience show similarities, particularly in the phases preceding the impact. Disparities, and even inequalities, are even more obvious in the emergency and recovery phases, both within a given territory and, above all, between the two islands.

Individual and collective behaviours explained by territorial vulnerabilities and capacities but also by the determinants of knowledge and risk awareness.

Behaviour in the face of a crisis depends on many determinants (psychosocial, geographical, financial, etc.) and is organised according to a proactive approach (I anticipate, I make people look for information and know-how), a reactive approach (I react accordingly to an injunction to react or following an event that has just occurred) or a passive approach (I do not react, not knowing what to do or paralysed by the situation).

#### *Prepared for an underestimated risk?*

In addition to specific events, the islanders of the French west indies are aware of the risk of cyclones, without, however, estimating the frequency and potential intensity, and know the period of the cyclone season (which here runs from June to November). Many of the interviewees say that they are more attentive to weather forecasts during this period and then to the announcement of a particular event, and their interest is even greater. From 30 August onwards, the emerging tropical storm from Cape Verde is the subject of attention by scientists who anticipate its trajectory and intensity. By the next day, the storm had already reached category 2 hurricane status, and by 5 September it had reached category 5 (Météo France, 2017). In Saint-Martin and Saint-Barthelemy, those questioned are following the evolution of the situation, for some a few days before, but for others only a few hours before. The influence and geographical proximity of the United States attract people to rely on the forecasts of the National Hurricane Center and to consult information from American television and websites. However, the meteorological vigilance of the French meteorological institute (Météo-France) is also monitored. The insularity of the island and the practice of the sea by many of those questioned also encourage them to consult specialised marine meteorological websites. Most of the people questioned took a proactive approach in seeking information, even if some of them were not very aware of the danger and remained passive. This information from various sources was the trigger for preparing for the impact of a highly probable trajectory on the northern islands. One unknown factor remained: the intensity of the phenomenon. The announcement of the passage of hurricane category 4 to 5 occurred in only a few hours, the speed at which the phenomenon evolved did not always allow the best possible anticipation of the preparation of the populations. On 4 September, the hurricane reached category 4 and very quickly moved up to category 5, which was announced to the population on 5 September at 12 noon!

Preparing to await the impact consists of better protecting one's home (if possible) and constituting reserves of food, water, but also batteries, candles, etc. to be able to compensate for network cuts at least temporarily. The feedback from the interviewees shows

a more committed preparation in Saint Barthelemy than in Saint-Martin, with a collective dynamic that helped to raise awareness of the imminent event. Moreover, on Saint Barthelemy, more than on Saint-Martin, the non-natives largely emphasised the vernacular transmission from the natives on how to prepare for a hurricane. The levels of vigilance issued by "Météo-France" guided the preparation (over time) but the orange vigilance level "prepare yourself" very (too) quickly gave way to the red vigilance level "protect yourself", taking some people who were already unaware of the reality of the danger by surprise. Some of those interviewed, particularly on Saint-Martin, organised themselves only a few hours before the impact. But how to prepare for the hurricane, on what reference? Some have never lived, others have already had to cope here or elsewhere. Inexperienced respondents relied on a representation or experience shared by others, therefore in a rather vague context. The respondents with experience of a hurricane in the French West Indies all had the same reference event in mind, Hurricane Luis in 1995. It was with the memory of Luis that the preparation was organised. Hurricane Irma exceeded it in intensity, all those interviewed identified Luis as a category 5 hurricane whereas it was a category 4, even though it caused serious damage. On the basis of this reference, many underestimated the reserves needed for their consumption several days after the hurricane. This preparation phase also represents an opportunity to take shelter outside one's home, possible through early, spontaneous or 'organised' evacuations. Very few respondents left their accommodation before Irma's arrival, especially in Saint-Martin. The few departures were unanimously spontaneous and the place of refuge was with personal relations (friends, family). However, on both islands safe shelters exist, their list is distributed at the beginning of the hurricane season and in the event of an imminent event. There are three main reasons for the nearly complete absence of early evacuation. On Saint-Barthelemy, interviewees expressed confidence in their homes that they would not need to seek shelter elsewhere, and on Saint-Martin, moreover, in the safe shelters, where they believe promiscuity prevails. Furthermore, the desire to protect their homes was expressed, even if, in the opinion of the interviewees themselves, their presence would not change the possible damage. This behaviour refers to attachment to the place, the will not to leave one's bearings and therefore a reassuring place. Leaving would accentuate concerns about the potential damage to the home and material goods and especially goods of sentimental value. These two reasons are evoked in both islands. Finally, on Saint-Martin alone, the justification most frequently put forward concerns the mistrust of official safe shelters. The resilience of buildings allocated for the security of the population is widely questioned and here again the spectre of Luis appears in addition to the uncertainties of the institutions regarding the safety

of certain safe shelters. During Hurricane Luis, some safe shelters were badly damaged, thus not engaging the confidence of the populations. Moreover, a few hours before Irma passed through, two safe shelters were closed because they were too exposed to sea submersion... fortunately, they were largely damaged or even partially destroyed (photo 1).

Finally, the reactions in the phase preceding the hurricane remained fairly similar between the two territories, even if the Saint Barts seemed more involved in preparing for the event (fig. 6). Even though the populations had prepared themselves on the whole, the intensity of the event exceeded expectations. The risk may have been underestimated, particularly with the reference event (which was either really less intense or was forgotten), but also due to the lack of experience, and finally due to the performances (Weiss *et al.*, 2010). In this phase, although individual mechanisms prevail, they are also

based on collective considerations, particularly with the dissemination of information on the approach to the phenomenon and the associated safety instructions.

*To cope with an intense event: confine yourself*

The violet weather vigilance “confine yourself” led the Saint-Martinois and Saint-Barths to effectively confine themselves and the intensity of the phenomenon to prohibit any other possibility. Unanimously, the people questioned often stayed indoors with family or friends in order to better support this experience, which for some of them was new. Even if each experience is singular, the passage of Hurricane Irma, whether in Saint-Martin or Saint-Barthelemy, led to similar behaviour. It is above all the knowledge or not of the natural phenomenon, and in particular the calm during the eye, that was able to guide the interviewees. The interviewees generally



Photo 1 - Two shelters evacuated before the hurricane (Photographs by M. Gherardi, taken at 30/11/2017).

Fot. 1 - Dois abrigos evacuados antes do furacão (Fotografias de M. Gherardi, tirada a 30/11/2017).

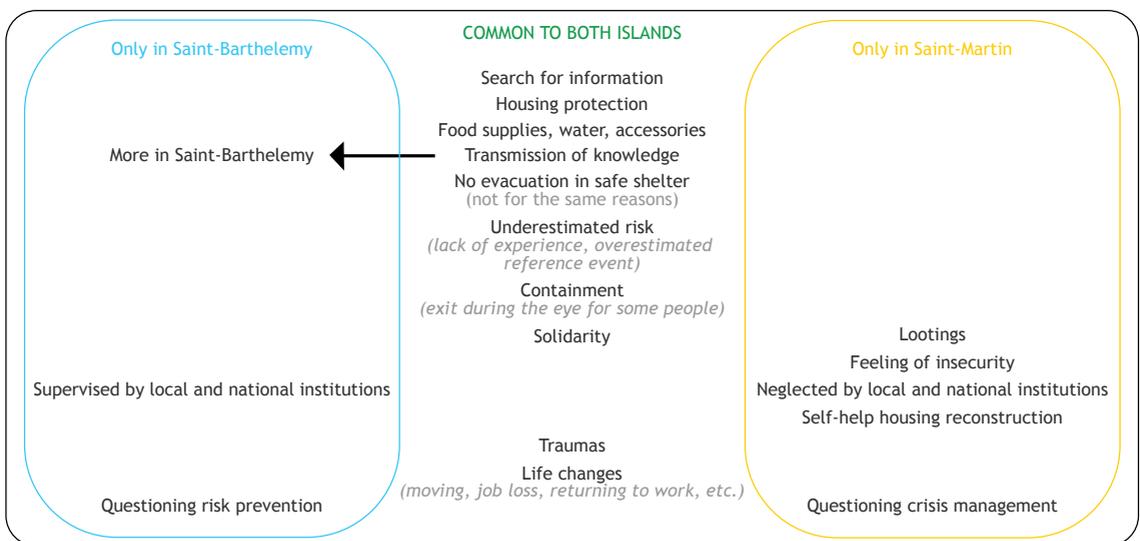


Fig. 6 - Main behaviours and feelings noted during the interview in Saint-Martin and Saint-Barthelemy (Sources: BD alti IGN, interviews S. Defosse and M. Gherardi in 2017, 2018, 2019, 2020).

Fig. 6 - Principais comportamentos e sentimentos observados durante a entrevista em São Martinho e São Bartolomeu (Fonte: BD alti IGN, entrevistas S. Defosse e M. Gherardi em 2017, 2018, 2019, 2020).

had a good “theoretical” knowledge of the hurricane, and after an initial phase of strong winds, the calm weather gave the interviewees the opportunity to go outside for a few moments to reinforce the protection of the openings, but above all it allowed them to take shelter elsewhere or to take in neighbours in danger (some ground floors took on water while the top floors had no roof). However, some of those interviewed seem to have perceived these different phases less, like the residents of the “Grand-Case” coastline, for whom the eye of the hurricane (period of calm) was not felt. The hurricane, which was perceived as very intense, gave an impression of violence and a combination of phenomena. Some people spoke of the shaking of the house similar to an earthquake, while others heard the sea packets comparing them to a tsunami. In spite of the frightening experience, all feel lucky to be alive after such an intense phenomenon. Moreover, the death toll (11 officials) convinced almost none of them and rumours multiplied. As communication was impossible, the end of the phenomenon with the “grey” vigilance could not be announced. The populations relied on the end of the wind and the outside noises that emerged.

*Emergency management reveals individual and collective, citizen and institutional capacities*

The impact gives way to desolation, to observation, and many of those questioned mentioned a perception of devastated areas after a war. In this post-event phase, a very different approach to management emerged between Saint-Martin and Saint-Barthelemy, in terms of the involvement of the local population and, above all, in terms of institutional support. Despite individual involvement, the post-disaster period requires collective institutional and private involvement (particularly network operators), which makes the population partially dependent.

In Saint-Barthelemy (fig. 3), all the testimonies converge towards an active approach on the part of everyone as soon as the hurricane was over. Spontaneous initiatives between neighbours, by neighbourhood and on a wider scale were launched, accompanied in fact by the local authority, which had partly anticipated the post-crisis organisation. The Saint-Barth mentality, widely mentioned by the disaster victims encountered, covers the desire to invest individually in territorial recovery and immediate action. First of all, according to them, it was necessary to clean up the area, particularly the roads, and so everyone began this clearing phase spontaneously, but in an organised manner. The Saint-Barthelemy “Collectivité” (local institution) had pre-positioned machines and vehicles that would be used for this operation. Unanimously welcomed and thanked, the Portuguese building and public works companies played

a key role, as they immediately and constantly became involved with everyone. Waste collection areas were made accessible free of charge. For some, 24 to 48 hours afterwards it was possible to circulate on part of the island. The other major concern was to communicate with relatives and neighbours. All of them took care to check whether their closest neighbours were now safe, and then waited anxiously for the possibility of communicating with the outside world. This opportunity presented itself 1 to 2 days later, with the installation by the local authority of Irma WIFI terminals, installed towards the airport. The management of the emergency phase by the local authority was unanimously appreciated, even though the president of the local authority (collectivité) announced the following day that he did not need the French Government’s help. Each of the interviewees agreed to appreciate this decision, even if the absence of the French Government was disturbing, according to them, material aid could have been provided once the emergency phase was over. In spite of this, the island benefited from the solidarity of the neighbouring Caribbean islands, the mainland and the United States, without however being able to clearly identify the donors in the speeches. The individual involvement for a rapid territorial recovery was explained by a strong willingness and motivation of each person to get the island’s economy going again, not based on personal needs, but part of a real willingness to do collective duty, largely linked to territorial attachment.

In Saint-Martin (fig. 3), the same concerns of communication and cleaning are mentioned, but are disrupted by the agitated situation in the days following Irma. The trauma of the event has been supplanted in the speeches collected by the feeling of insecurity and the images of looting in the days following the hurricane. Thus the scenes of looting, in Marigot as well as in certain commercial areas, came to the forefront of the trauma, leading some interviewees to say that the looting hurt more than the hurricane. Thefts or burglaries were not unusual in Saint-Martin and the interviewees insisted on the difference between necessity and organised robberies. Some of them also took part in necessity robberies in shops that had already been vandalised, making necessity goods “available”. But the insecurity seemed to be growing and violent. It should be remembered that on this territory, precarious and high standing neighbourhoods are found side by side. Also in some neighbourhoods where the organisation into gated communities is frequent, the inhabitants have organised themselves into a “militia” to ward off possible robberies with violence. Sometimes it is neighbours or acquaintances who are identified as looters, leaving a feeling of mistrust. In spite of everything, the population has organised itself to start clearing the gates but has not been able to count on institutional help. The community was considered to be

absent without having anticipated this emergency phase and the interviewees felt that the state had intervened too late without, for example, the pre-positioning of law enforcement and rescue forces. The imminent arrival of Hurricane José, announced as soon as Hurricane Irma was over, contributed in part to the impossibility of action. These factors, external to the organisation of the post-crisis period, gave rise to a feeling of abandonment, often evoked in the event of a major event (Dourlens, 2003). They also reveal, according to the interviewees, a lack of anticipation and organisation of institutions. Supplies were set up by institutions or NGOs (Non Governmental Organization), which were considered to be disorganised or sometimes totally unsuitable (canned food to be cooked when the electricity networks were out of order, no information on the places and times of distribution). Faced with this, some of the interviewees have adapted by recovering, for example, wood from damaged buildings as cooking wood for food. But these substitutes were worthwhile in the short term. Fortunately, the island has benefited from a great deal of organised solidarity thanks to local associations (distribution of food, clothing, etc.) and reinforcements sent to repair the networks (electricity for example).

In both islands, once the emergency phase is over, the time has come to rebuild, renovate and repair housing, at their own expense or with the help of insurance companies. The insurance penetration rate is lower than the national values, with 2/3 of insured properties on Saint-Barthelemy and half on Saint-Martin. There are several explanations, the main one for Saint-Martin refers to the last major hurricane (Luis) and the low compensation payments that followed, but also to fragile financial situations that do not allow a share of the budget to be allocated to insurance. The recourse to insurance does not always preserve the possibility of finding decent housing as soon as possible, which is part of the population's expectations. The time taken to process applications was considered to be very uneven: for some very fast and for others the wait was several months later

A last common element is the trauma and life changes observed by the interviewees (fig. 3), identified in other cases of natural disasters (David *et al.*, 1996). The traumas took place over several months, or even years in some cases. The setting up of a psychological unit immediately after Irma was not very successful, as the people interviewed still felt that they were in the thick of it. Speaking out is still perceived as a difficulty, a challenge that not everyone is ready to take on. It is sometimes the trigger or catalyst for situations that are in the process of change with positive or negative life changes (divorce, marriage, pregnancy, professional reconversion, moving house, etc.). These situations are discussed in a personal capacity, while the subject of voluntary departures (temporary or definitive) in

the days following the hurricane is addressed by the interviewees in a collective dimension. As soon as possible, the two islands organised the departures of women and children who wished to leave the island by air. A feeling of frustration and injustice was born from these departures. First of all among those who wanted to leave the island with a lack of understanding of the organisation in the order of departure. Then, among the people who stayed, because they had no place to take refuge or simply because they did not want to leave the territory to which they were attached and/or native. The impression of being abandoned was expressed, and very quickly replaced, at least in the speeches, by an opportunity to "sort out" the inhabitants, leaving only those attached to the island.

#### *Long term recovery*

Irma's impact has more broadly questioned crisis management in Saint-Martin and risk prevention in Saint-Barthelemy, which can be attributed to the reconstruction time estimated to end in Saint-Barthelemy less than two years after the passage of the hurricane (interviews conducted in March 2019). Saint-Martin is characterised by organisational vulnerability, as is the command post located at the prefecture which was devastated by Irma. But also the turnover of state civil servants, which is detrimental to a good knowledge of the territory and the phenomena it may undergo. In the emergency phase, the duality between the competences of the local authority and national authority, in addition to the insecure context of the territory, complicated the implementation of relevant strategies. It is then the regulations that have led to the emergence of underlying tensions and polemics on the management of natural risks with the revision of the Risk Prevention Plan with its share of injustices perceived by the coastal populations. This entire prevention strategy was also called into question in Saint-Barthelemy, where everyone considered crisis management to be very effective. The problem lies in the galloping urbanisation on the coasts, which was not slowed down by Hurricane Irma, or in the building standards which are not adapted to the cyclone risk. The mistrust of institutions, especially local ones, is even greater on Saint-Martin.

The monitoring of a cohort of around 20 people in Saint-Martin and Saint-Barthelemy showed differentiated recovery capacities, as perceived by the interviewees themselves. In Saint-Barthelemy, the discourse suggests a rapid but not totally finished reconstruction, but the comparison with Saint-Martin allows us to put into perspective what a long reconstruction is. On Saint-Martin, the populations interviewed are tired of the time taken to restore the buildings, the lack of priority in the reconstruction (for example, schools which are not in the

priorities) and also compare with Saint-Barthelemy, for whom everything goes faster. The comparison on both sides is based on economic factors, but also, and above all, political factors, with a greater willingness and stronger investment on the part of the Saint-Barthelemy community and the population.

### Discussion/Conclusion

The crisis situation, managed at the level of institutions, relies de facto on the populations whose involvement is essential (Weiss *et al.*, 2010) in the different temporalities before, during and after. Individual reactions are based on psycho-sociological determinants, depending on experience and knowledge and awareness of the risk, but also on personal capacities (Sattler *et al.*, 2000; Kouabénan, 2007; Etner, 2011). However, they cannot be totally disconnected from institutional collective management, particularly in the post-crisis phase. While the population is in control of the situation in terms of anticipation (protection of its housing, securing the surroundings of the dwelling, etc.), it is largely up to the institutions after the impact. However, as Saint-Barthelemy shows, collective and individual mechanisms can go in the same direction. The root causes, territorial vulnerabilities influence these mechanisms (Duvat *et al.*, 2021). External factors also disrupt preparation and recovery (Defossez and Gherardi, 2020), which are partly dependent on root causes. Organised robberies in Saint-Martin took place in a deteriorated social context, and then state intervention either ruled out the community's strategies or, on the contrary, allowed the situation to be brought under better control. Beyond crisis management, Hurricane Irma, like any crisis, exacerbated existing problems (Leone and Vinet, 2006) at all levels. At the individual level, with changes in life that were previously envisaged without ever coming to fruition. At the collective level, on the population side, the paradox of solidarity/robbery has degraded social relations; on the institutional side, dysfunctions have been highlighted. At the territorial level (island), socio-economic gaps have become more pronounced, especially on Saint-Martin, which has more marked vulnerabilities than on Saint-Barthelemy. Moreover, the disaster did not only raise questions about the crisis and crisis management, but more generally about risk prevention, with the views measured between Saint-Martin and Saint-Barthelemy explained in part by the political context. On the one hand the will to rebuild on the coastal strip the economy which depends almost exclusively on seaside tourism and on the other hand the necessity to stop the urbanisation of the coastal strips in order not to expose oneself even more to risks. These dissonances give rise to tensions and contradictory decisions, "individuals can change their behaviour [...] and decide, for example, to stop investing in prevention as they consider that it has not been sufficiently effective" (Etner, 2011, p. 25).

Faced with a major "predictable" phenomenon such as cyclones, populations find their place in crisis management preparedness. The collective and individual scales tend to converge, overlap and sometimes contradict each other. The involvement of populations is based on numerous factors of vulnerability and intrinsic capacities, but also on the nature, intensity and scale of the natural phenomenon and on collective (mainly institutional) strategies. What people learn from such an event depends on the actors and scales of decision-making and the social commitment to deal with it.

### Acknowledgements

The authors sincerely thank the people of Saint-Martin and Saint-Barthelemy for their enthusiastic, caring and attentive welcome and in particular the people who agreed to share their experience and made this research possible. This research was co-financed by the European PO FEDER C3AF (Changement Climatique et Conséquences sur les Antilles Françaises) et ANR TIREX (Transfert des apprentissages de Retours d'Expériences scientifiques pour le renforcement des capacités de réponse et d'adaptation individuelles et collectives dans un contexte de changement climatique (Petites Antilles du Nord - saison cyclonique 2017).

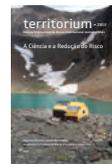
### Bibliography

- Campbell, J. R. (2009). Islandness vulnerability and resilience in Oceania. *Shima: The International Journal of Research into Island Cultures*, 3(1), 85-97.
- Cangialosi, J-P., Latto, A-S., Berg, R. (2018). *Hurricane Irma; Tropical Cyclone Report*. National Hurricane Center: Miami, FL, USA. Available online: [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL112017\\_Irma.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL112017_Irma.pdf)
- Cécé, R., Bernard, D., Krien, Y., Leone, F., Candela, T., Péroche, M., Biabiany, E., Arnaud, G., Belmadani, A., Palany, P., Zahibo, N. (2020). A 30-m scale modeling of extreme gusts during Hurricane Irma (2017) landfall on very small mountainous islands in the Lesser Antilles. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-2020-241>
- CEROM. (2014). *Estimation du PIB par habitant de Saint-Barthélemy*. IEDOM, AFD, INSEE, 8 p.
- Chardon, J. P., Hartog, T. (1995). Saint-Martin ou l'implacable logique touristique, *Les Cahiers d'Outre-Mer [En ligne]*, vol. 48, n° 189, 21-33. DOI: <https://doi.org/10.3406/caoum.1995.3541>
- Chauvin, F., Degrâce, J-N., Kapikian, E., Montout, C., Soubeyroux, J-M. (2017). Une saison cyclonique 2017 particulièrement dévastatrice pour les Antilles, *La Météorologie*, n.° 99, 3-4.
- Defossez, S., Gherardi, M. (2020). Face au cyclone Irma! Le rôle des populations dans la gestion de la crise à Saint-Martin (Petites Antilles, îles du Nord), *EchoGéo [En ligne]*, 51. DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.18987>

- Defossez, S., Rey, T., Leone, F., Gherardi, M., Vinet, F., Péroche, M., Lagahé, E., Cécé, R., Didier, B. (submitted). Capacités de relèvement d'un territoire insulaire français face à un ouragan extrême : *Retour d'expérience sur l'ouragan Irma à Saint-Barthélemy (Petites-Antilles)*, submitted in december 2020 to les Cahiers d'Outre-Mer.
- Dourlens, C. (2003). *La question des inondations. Le prisme des sciences sociales*, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, CERPE, 105 p.
- David, D., Mellman, T. A., Mendoza, L.M., Kulick-Bell, R., Ironson, G., Schneiderman, N. (1996). Psychiatric morbidity following Hurricane Andrew, *Journal of Traumatic Stress*, vol 9, 607-612.
- D'Ercole, R. (2003). Catastrophes et disparités de développement dans le Bassin Caraïbe, *Mappemonde*, 72, 37-42.
- Duvat, V. (2008). Le système du risque à Saint-Martin (Petites Antilles françaises). *Développement durable et territoires [En ligne]*, dossier 11. DOI: <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.7303>
- Duvat, V., Volto, N., Stahl, L., Moatty, A., Defossez, S., Desarthe, J., Grancher D., Pillet, V. (2021). Understanding interlinkages between long-term trajectory of exposure and vulnerability, path dependency and cascading impacts of disasters in Saint-Martin (Caribbean), *Global Environmental Change*, Elsevier, 2021, 67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102236>
- Etnor, J. (2011). Comment comprendre les comportements face à l'évolution des risques? Une approche par les modèles de décision, *Humanisme et entreprise*, n.° 301, 13-28. DOI: <https://doi.org/10.3917/hume.301.0013>
- Goutx, D. (2012). *Rôle des individus dans la prévention des risques d'inondation et de la gestion de crise*, In Thevenot, D. 23èmes Journées Scientifiques de l'Environnement - Risques environnementaux: détecter, comprendre, s'adapter, Jan 2012, Créteil, France. JSE, vol. 13, *Journées Scientifiques de l'Environnement*.
- Hartog, T., Chardon, J-P. (1996). Saint-Martin et Saint-Barthélemy; deux "paradis touristiques" si proches et si différents, *Méditerranée*, tome 84-3, 41-44.
- Fenet, J., Daudé, E. (2020). La population, grande oubliée des politiques de prévention et de gestion territoriales des risques industriels: le cas de l'agglomération rouennaise, *Cybergeo: European Journal of Geography [En ligne]*, Espace, Société, Territoire, document 932, online 07 february 2020. DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergeo.34020>
- IEDOM. (2015). *Saint-Barthélemy, rapport annuel 2014*.
- IEDOM. (2020a). *Saint-Barthélemy, rapport annuel 2019*.
- IEDOM. (2020b). *Saint-Martin, rapport annuel 2019*.
- Kouabénan, D. (2007). Incertitude, croyances et management de la sécurité, *Le travail humain*, vol. 70(3), 271-287.
- Leone, F., Vinet, F. (2006). *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles*, Analyses géographiques, Collection Géorisques, vol. 1, Publications de l'université Paul-Valéry, Montpellier 3.
- Leone, F., Battut, S., Bigot, V., Cousin Thorez, G., Candela, T., Vinet, F. (2020). Mortalité et cyclones en Guadeloupe (Antilles françaises), *EchoGéo [En ligne]*, 51 | 2020. DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.18919>
- Magnan, A. (2010). L'espace littoral a-t-il toujours de la valeur? Réflexion à partir du cas de l'île de Saint-Martin (Petites Antilles), *Norois [En ligne]*, 206 | 2008/1. DOI: <https://doi.org/10.4000/norois.242>
- Météo-France. (2017). *Saison cyclonique 2017: synthèse chiffrée*. Direction interregionale Antilles-Guyane, 6 p.
- Pillet, V., Duvat, V. K., Krien, Y. Cécé, R., Arnaud, G., Pignon-Mussaud, C. (2019). Assessing the impacts of shoreline hardening on beach response to hurricanes: Saint-Barthélemy, Lesser Antilles, *Ocean Coastal Management*, 174, 71-91.
- Provitolo, D., Dubos-Paillard, E., Verdière, N., Lanza, V., Charrier, R., Bertelle, C., Alaoui, M.A.A. (2015). Les comportements humains en situation de catastrophe: de l'observation à la modélisation conceptuelle et mathématique, *Cybergeo: European Journal of Geography [En ligne]*, *Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, document 735. DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27150>
- Redon, M. (2006). Saint-Martin/Sint-Maarten, une petite île divisée pour de grands enjeux, *Les Cahiers d'Outre-Mer [En ligne]*, 234 | Avril-Juin 2006. DOI: <https://doi.org/10.4000/com.73>
- Rey, T., Candela, T., Péroche, M., Leone, F. (2020). Changements côtiers et inondations suite au passage d'un ouragan extrême (Irma, 2017) aux Petites Antilles, *EchoGéo [En ligne]*, 51. DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.18666>
- Sanguin, A-L. (1981). Saint-Barthélemy. Île normande des Antilles françaises, *Études Normandes*, 30e année, Normands d'ici... et d'ailleurs..., n°4, 1981. 57-77. DOI: <https://doi.org/10.3406/etnor.1981.2520>
- Sanguin, A-L. (1981). Saint-Martin, les mutations d'une île franco-néerlandaise des Antilles, *Cahiers d'outre-mer*, n° 138 -35e année, 123-140. DOI: <https://doi.org/10.3406/caoum.1982.3019>
- Sattler, D. N., Kaiser, C.F., Hittner, J.B. (2000). Disaster preparedness: relationships among prior experience, personal characteristics and distress. *Journal of applied social psychology*, 30, 7, 1396-1420.
- Theng, S. (2014). L'île de Saint-Barthélemy (Petites Antilles): une destination du tourisme de luxe. *Études caribéennes [En ligne]*, n° 27-28. DOI: <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.6831>
- Urunuela, Y. (2004). Les perspectives limitées du tourisme en milieu insulaire. Le cas de la Caraïbe et des Antilles françaises, *Espace, populations, sociétés*, 2004-2, 387-396.
- Weiss, K., Girandola, F., Colbeau-Justin, L. (2010). Les comportements de protection face au risque naturel: de la résistance à l'engagement?, *Pratiques psychologiques*, n° 17, 251-262.
- Wybo, J-L., Godfrin, V., Colardelle, C., Guinet, V., Denis Remis, C. (2003). *Méthodologie de retour d'expérience des actions de gestion des risques*. Ministère de l'Ecologie et du développement durable, Programme "Evaluation et Prévention des Risques", rapport final.



RISCOS



RECURSO AO *FOCUS GROUP* PARA IDENTIFICAÇÃO DE PERCEÇÕES SOBRE RISCOS NATURAIS\*

USE OF FOCUS GROUP TO IDENTIFY PERCEPTIONS OF NATURAL RISKS

55

Anabela Veiga

Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria (Portugal)  
Centro de Geociências

0000-0002-5989-0656 [anabela.veiga@ipleiria.pt](mailto:anabela.veiga@ipleiria.pt)

Rita Ferreira Anastácio

Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar (Portugal)  
Centro de Geociências

0000-0003-2129-0556 [rfanastacio@ipt.pt](mailto:rfanastacio@ipt.pt)

Sandra Mourato

Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Politécnico de Leiria (Portugal)  
MED - Mediterranean Institute for Agriculture, Environment and Development

0000-0001-9545-2584 [sandra.mourato@ipleiria.pt](mailto:sandra.mourato@ipleiria.pt)

Luís Quinta-Nova

Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Castelo Branco (Portugal)  
CERNAS - Centro de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade

0000-0002-8464-7527 [lnova@ipcb.pt](mailto:lnova@ipcb.pt)

RESUMO

Precedem-se apresentar, neste artigo, os resultados obtidos através da aplicação da técnica de *Focus Group* num processo de participação pública e envolvimento da comunidade local dos municípios de Leiria, Ferreira do Zêzere e Ourém no âmbito do projeto CLIMRisk - “Medidas de adaptação às alterações climáticas na gestão dos riscos naturais e Ambientais”. A metodologia utilizada consistiu na discussão de temas de riscos naturais com grupos de trabalho (GT) heterogéneos de até 10 pessoas, representativos da comunidade local. Foram preparadas três sessões por grupo. A informação recolhida nas sessões foi categorizada, codificada e analisada com recurso à ferramenta de análise de dados qualitativos webQDA. Este estudo permitiu identificar as principais preocupações e o nível de envolvimento dos participantes, levando a uma melhor compreensão dos riscos naturais e das medidas de adaptação como contributo para a constituição de materiais de divulgação adequados à população em geral a que se destinam, nomeadamente de um Glossário, de um Manual de Boas Práticas, de um jogo didático e de marcadores de livros.

**Palavras-chave:** *Focus Group*, riscos naturais, medidas de adaptação.

ABSTRACT

The aim of this article is to present the results obtained through the application of the Focus Group technique as part of a process of public participation and involvement of the local community of the municipalities of Leiria, Ferreira do Zêzere and Ourém within the Project CLIMRisk - “Climate change adaptation measures in the management of natural and environmental risks”. The methodology used consisted of discussing natural risk issues with heterogeneous working groups of up to 10 people, representing the local community. Three sessions per group were prepared. The information collected in the sessions was categorised, codified and analysed using the webQDA qualitative data analysis tool. This study made it possible to identify the main concerns and the level of involvement of the participants, which led to a better understanding of how natural risks and adaptation measures contributed to the creation of publicity materials appropriate to the general population for whom they are intended. The materials consisted of a Glossary, a Handbook of Good Practices, an educational game and book markers.

**Keywords:** Focus Group, natural risk, adaptation measures.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 22-10-2020, sujeito a revisão por pares a 23-10-2020 e aceite para publicação em 17-12-2020. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Este trabalho foi realizado no âmbito projeto CLIMRisk (<http://www.climrisk.ipt.pt/>) cujo objetivo central é propor medidas de adaptação às alterações climáticas na gestão dos riscos naturais e ambientais, tendo ainda como objectivos paralelos: (1) avaliar os riscos naturais e ambientais na zona de estudo; (2) analisar cenários de alterações climáticas para a zona de estudo; (3) analisar os riscos associados às alterações climáticas; (4) promover o debate sobre as alterações climáticas e propor medidas de adaptação. O cumprimento do objetivo 4 consistiu na sensibilização da comunidade para as problemáticas das alterações climáticas e os riscos naturais, envolvendo-a, no sentido de compreender melhor os fenómenos, e simultaneamente, contribuir na identificação de medidas de adaptação. No âmbito deste projeto foram criados cenários de alterações climáticas e projetados os seus impactes nos diferentes riscos naturais e ambientais na zona centro de Portugal, nomeadamente, incêndio, inundações, secas, erosão costeira, deslizamentos de terra e poluição da água.

O conceito de risco natural é abordado por várias disciplinas, desde a Geologia, à Sociologia, à Saúde e à Geografia, entre outros campos da ciência (Souza, 2013). Para além das diferentes definições que o risco pode ter, deve ser também pensado nas diferentes escalas, locais, regionais ou globais. Os riscos podem também ser classificados de variadas formas, por exemplo como naturais, sociais, tecnológicos e ambientais. Neste estudo o foco é o dos riscos naturais mais frequentes à escala local (onde foram realizados os *Focus Group* (FG)) que podem ser potenciados pelas alterações climáticas, nomeadamente os riscos climáticos (incêndios rurais, vagas de frio, vagas de calor), hidrológicos (secas, inundações e poluição da água) e geomorfológicos (erosão costeira e deslizamentos de terra). Embora estes riscos sejam designados de naturais, vão ser trabalhados nos FG como resultado da intervenção das ações antrópicas da sociedade sobre os elementos da natureza, que causam impactes negativos nomeadamente as alterações climáticas. De acordo com (Souza, 2013) a sociedade provoca mudanças nos elementos da natureza, que por sua vez ocasiona mudanças na sociedade. E são essas adaptações que este trabalho pretende também identificar. Ou seja, criar nos elementos dos FG em primeiro lugar a imagem de que há perigos cada vez mais frequentes, aumentando os riscos já existentes ou criando outros riscos, mas depois trabalhar com essas comunidades de forma a serem eles a ver como se podem adaptar a essas novas realidades.

A elaboração de um manual de boas práticas de adaptação às alterações climáticas para os diferentes riscos naturais era um dos objetivos do projeto, fruto da interação entre a comunidade e os investigadores envolvidos no projeto,

recorrendo à técnica de FG. Para isso foram constituídos três grupos de trabalho, nos municípios de Leiria, Ferreira do Zêzere e Ourém, de acordo com a abrangência geográfica do projeto a fim de recolher informação sobre a perceção dos participantes relativamente a aspetos referentes à prevenção dos riscos naturais em cenário de alterações climáticas aumentado a sua capacidade adaptativa. O processo foi um processo participativo na medida em que os participantes foram questionados e ouvidos, as suas opiniões foram recolhidas, analisadas e integradas nos documentos produzidos. De sessão para sessão, os guiões criados pela equipa de investigadores, procuraram refletir e integrar a informação recolhida nas sessões subsequentes.

Segundo o IPCC (2001) e o *Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* (SREX) (IPCC, 2012) a capacidade adaptativa das comunidades é determinada pelas suas características socioeconómicas. O aumento da capacidade adaptativa representa um meio prático de lidar com as mudanças e incertezas do clima, incluindo a variabilidade e os extremos. Desta forma, o reforço da capacidade adaptativa reduz as vulnerabilidades e promove o desenvolvimento sustentável. Klein e Tol (1997) identificaram como um dos objetivos genéricos de adaptação melhorar a consciência e preparação da sociedade - por exemplo, informando o público sobre os riscos e as possíveis consequências das alterações climáticas.

A técnica FG foi desenvolvido originalmente na área da sociologia, e tem vindo a alargar o seu campo de aplicação a diferentes disciplinas científicas (Bloor, Frankland, Thomas e Robson, 2001; Morgan, 1997; Sagoe, 2012; Stewart, Shamdasani e Rook, 2007). Segundo Silva *et al.* (2014) baseia-se na interpretação de resultados quantitativos obtidos previamente, através da interação de um grupo baseada num tópico apresentado por um moderador que conduz a discussão estimulando a participação de todo o grupo. Este método permite uma configuração de grupo interativa onde os participantes podem conversar abertamente com outros membros do grupo, de forma criativa, produzindo dados que seriam mais difíceis de obter sem a interação de grupo (Flick, 2006). Um aspeto importante na metodologia FG é que visa obter dados de um grupo de indivíduos selecionado propositadamente e não de uma amostra estatisticamente representativa de uma população mais ampla. A sua aplicação tem vindo a ser alargada a diferentes áreas do conhecimento, como é o caso da prevenção de riscos naturais. Tem havido um aumento da ênfase no envolvimento da comunidade para atingir objetivos de sustentabilidade, por exemplo, na recente agenda das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável propôs 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Dentro de muitos destes, há um enfoque na participação da comunidade.

A definição de FG comporta três componentes essenciais, segundo Morgan (1997): permite a recolha de dados; localiza a interação na discussão do grupo como a fonte dos dados e, reconhece o papel ativo do investigador na dinamização da discussão do grupo para efeitos de recolha dos dados. Esta técnica pode ser utilizada em diferentes momentos do processo de investigação posteriores à construção do modelo de análise, servindo o propósito de obter dados que permitam avaliar de que forma os participantes interpretam os resultados obtidos em diferentes fases do processo de investigação. Para além das características referidas, salienta-se também a focalização da discussão numa temática específica, o seu contributo para a compreensão do tópico de interesse e o facto dos participantes que os compõem terem alguma característica em comum e relevante face ao tema em discussão (Krueger e Casey, 2009). A implementação da técnica FG justifica-se segundo Silva *et al.* (2014) de acordo com os seguintes objetivos: obtenção de informação sobre um tópico de interesse; gerar hipóteses de investigação; estimular novas ideias e conceitos criativos; diagnosticar os potenciais problemas com um novo programa, produto ou serviço; gerar impressões sobre produtos, programas, serviços, instituições ou outros objetos de interesse; compreender como os participantes falam acerca de um fenómeno de interesse, o que facilita o desenvolvimento de inquéritos ou de outros instrumentos de investigação de pendor mais quantitativo; e, interpretação de resultados quantitativos obtidos previamente.

Esta técnica tem vindo a ser utilizada na obtenção de dados sobre a percepção das comunidades sobre questões como a proteção do ambiente, dos riscos naturais e de alterações climáticas, um pouco por todo o mundo. Nyumba *et al.* (2018) elaboraram uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da discussão em FG na pesquisa sobre conservação e biodiversidade, identificando 170 artigos, entre 1996 e 2017, sendo a grande maioria (67%) publicados depois de 2011. A maioria destes trabalhos ocorreu em África, seguida da Ásia e Europa. A discussão foi usada para examinar os impactes das intervenções de medidas de conservação ambiental, tendo-se concluído que foi útil examinar os impactes das mudanças climáticas e das medidas de adaptação às alterações climáticas. Crawford *et al.* (2018) recorreu à técnica FG no sentido de explorar a percepção e o uso da modelação de riscos naturais como ferramenta de comunicação do risco natural, por parte do governo local da Nova Zelândia. Já Cuni-Sanchez *et al.* (2018) utilizou a técnica FG para perceber como é que as comunidades pastoris das florestas tropicais montanhosas do Quênia estavam a adaptar-se às alterações climáticas, baseando-se nas percepções das comunidades locais para complementar os registos climáticos em áreas com lacunas de dados, por falta de

registos meteorológicos de longo prazo. Deste modo os agricultores são potencialmente um registo “vivo” das mudanças ocorridas no clima (Cuni-Sanchez *et al.*, 2012). Neste trabalho surgiram novas ideias sobre como estas comunidades se estão a adaptar às mudanças climáticas perceptíveis e quais as estratégias adaptativas a ser testadas noutros lugares.

As abordagens interdisciplinares envolvendo comunidades rurais podem ajudar a avaliar estratégias de adaptação mais adequadas para uma determinada área, bem como sua capacidade e restrições para adotar essas estratégias (Mugi-Ngenga *et al.*, 2016). Splund (2018) trabalhou a questão das alterações climáticas em ambiente FG com comunidades de agricultores suecos, tentando explorar como é que um grupo específico percebe informações sobre alterações climáticas. As percepções dos participantes sobre as informações relativamente às alterações climáticas, são estudadas neste trabalho, bem como a formação dessas percepções, concluindo que os participantes utilizam várias estratégias de julgar a credibilidade das informações relacionadas às mudanças climáticas (por exemplo a credibilidade do comunicador, tendências políticas, género, etc.). Também se discute como é que as evidências científicas podem ser comunicadas de maneira mais eficaz e apoiar a tomada de decisões sobre mudanças climáticas. Splund (2018) sugere ainda, que a credibilidade do conteúdo está fortemente ligada à percepção do público sobre quem produz o conhecimento, qual a sua validade metodológica e quem o divulga. A técnica de FG também foi usada por Waldron *et al.* (2019) com o objetivo de investigar as percepções de educadores, professores e especialistas em meio ambiente sobre questões de alterações climáticas, justiça climática e educação sobre alterações climáticas.

O presente artigo está organizado em quatro capítulos. O primeiro capítulo relativo à introdução onde se apresentam os objetivos do trabalho e se caracteriza a técnica e foca várias aplicações; o capítulo da Metodologia onde é apresentada a constituição dos grupos e as atividades propostas nas várias sessões realizadas; e o capítulo dos resultados onde são apresentados e discutidos os mesmos. E finalmente o capítulo com as principais conclusões do estudo.

## Metodologia

### Definição dos Grupos

Foram criados três Grupos de Trabalho (GT): em Leiria, Ferreira do Zêzere e Ourém; com os quais foram realizadas três sessões, num total de nove sessões. O objetivo foi recolher informação sobre a percepção e conhecimento dos participantes relativamente a

aspectos referentes à prevenção dos riscos naturais em cenário de alterações climáticas, assim como reunir os seus contributos para o manual de boas práticas. Como a percepção do risco depende da experiência posterior e atitude de cada indivíduo perante a vida e, ainda de vários factores tais como a idade, o sexo, a educação e a condição física e psicológica (Lima, 1997) definiu-se um perfil de participante que procurasse ser representativo da comunidade. Krueger e Casey (2009) referem que os participantes devem ter alguma característica em comum e relevante para o tema em discussão, assim, os elementos seleccionados, além de pertencerem todos à mesma comunidade (dentro de cada FG) teriam de ser pessoas pró-ativas e respeitadas na sua comunidade.

O GT teria de ter uma dimensão não superior a 10 elementos (Morgan, 1997, 1998). Embora pudesse ser um grupo demasiado grande (Morgan 1997, 1998; Bloor *et al.*, 2001), esta dimensão máxima foi considerada para acautelar eventuais ausências às sessões por parte de algum dos elementos, o que poderia colocar em causa o funcionamento do FG. Além destes elementos participaram nas reuniões: um moderador cujo papel é conduzir e manter a discussão, dois observadores com o objectivo de tomar notas sobre a discussão e resolver situações inesperadas, e um facilitador com o papel de assegurar os aspectos logísticos e técnicos da reunião. Para o processo de recrutamento foram definidos oito perfis: jovem, entre os 16 e os 25 anos; reformado(a); elemento do poder local; professor(a); elemento sem habilitações académicas; elemento pertencente a uma associação/coletividade; padre; elemento que desenvolvesse uma atividade económica com ligação aos recursos naturais. A seleção e recrutamento previu antecipadamente participantes capazes de gerar discussões produtivas, como recomenda Morgan (1997, 1998), enquanto a sua representação social e a sua percepção pública não foram aprofundadas por estar fora do objeto de estudo deste estudo (fot. 1).



Fot. 1 - Grupo de Trabalho de Ferreira do Zêzere em sessão de trabalho a 11 de março de 2018.

*Photo 1 - Ferreira do Zêzere working group in session, 11 March 2018.*

O moderador das sessões foi selecionado de entre os investigadores pelas suas competências de moderação e experiência na dinâmica de grupos. Sendo o papel do moderador um fator decisivo no sucesso da discussão do grupo, este deve ter a capacidade de conduzir a sessão, questionando, ouvindo, mantendo a conversação certificando-se que todos os elementos do grupo têm oportunidade de participar (Kueger e Casey, 2009; Sagoe, 2012; Stewart *et al.*, 2007).

#### *Organização das sessões*

Foram preparadas três sessões por GT, distribuídas ao longo do tempo de duração do projeto, entre março de 2018 e maio de 2019. A primeira sessão teve por objetivo a apresentação do projeto CLIMRisk, explicação do funcionamento das sessões de trabalho e a realização de um conjunto de tarefas a fim de identificarem na sua região: os riscos naturais de maior relevância; se tem existido formação/divulgação sobre os riscos e como gostariam de receber essa informação. Na segunda sessão foram realizadas atividades de análise de dados de cenários climáticos, apresentando-se definições de modelos de clima e cenários climáticos. Para fazer a ligação com a sessão seguinte foi lançado um desafio para que pensassem em sugestões de medidas de adaptação e de como gostariam de as ver divulgadas. Essa informação foi compilada antecipadamente e serviu de base à terceira sessão onde foram discutidas as medidas a integrar na proposta do Manual de Boas Práticas (MBP). As sessões de trabalho seguiram o padrão normal de funcionamento: com tempos definidos, com moderadores e com sessões gravadas. No entanto, a dinâmica seguida em cada sessão foi diferente, logo as metodologias de análise dos resultados também não puderam ser uniformes. Nos subcapítulos seguintes são descritas as atividades realizadas e as metodologias de análise utilizadas.

#### *1.ª Sessão - Identificação de riscos naturais*

Após a apresentação do projeto ClimRisk e o modo de funcionamento do GT, dinamizaram-se duas atividades com o objetivo de se identificarem os riscos naturais de maior relevância em cada município de acordo com as experiências pessoais/profissionais de cada elemento.

- Atividade 1: A cada grupo foi pedido que ordenassem cartões onde constavam os riscos naturais (Floresta - Incêndios; Rios - Inundações; Encostas - deslizamentos de terra; Mar - Erosão costeira; Temperatura e chuva - Secas; Rios - Poluição de água) de acordo com as suas experiências pessoais/profissionais em 3 níveis de prioridade. Posteriormente, cada grupo colocou os seus cartões em 3 cartolinas, justificando as suas decisões: i) vermelha - prioridade elevada; ii) amarela - prioridade média; iii) verde - prioridade baixa.

- Atividade 2: Foram colocadas as seguintes questões aos participantes que responderam de uma forma individual:
  - Questão 1 - Relativamente aos seguintes fenômenos: Incêndios, Inundações, Deslizamentos de terra, Erosão costeira, Secas e Poluição de água; tem conhecimento da sua ocorrência no passado na sua região? Se sim, em que período (data) ocorreu?
  - Questão 2 - A comunidade/indivíduo tem recebido informações do poder local sobre estes fenômenos? Se sim, quais?
  - Questão 3 - Que informações gostariam que lhes fossem transmitidas ao nível destes fenômenos?
  - Questão 4 - Quem deve atuar na prevenção dos fenômenos?

A metodologia adotada para analisar os resultados desta sessão foi de natureza qualitativa, na medida em que categoriza as respostas das participantes coligidas nos três GT. Para efetuar a categorização das respostas utilizou-se o software de análise de dados qualitativos webQDA (Souza *et al.*, 2016). O webQDA é um software específico destinado à investigação qualitativa, em geral, que funciona num ambiente colaborativo. No âmbito de uma investigação em que se aplica a técnica FG, numa primeira fase são inseridas todas as transcrições em texto, vídeos ou áudios, de todos os participantes e na fase seguinte a codificação dos dados introduzidos. O sistema de codificação disponibiliza as seguintes funcionalidades: Códigos Livres, Códigos Árvore, Descritores e Classificações/Atributos. Estas ferramentas conferem ao utilizador organização e ao mesmo tempo liberdade e flexibilidade para codificar os dados. Por fim, o Sistema de Questionamento, que corresponde à utilização de um conjunto de funcionalidades que permitem efetuar pesquisas nos dados, como seja: (1) Palavras mais frequentes (procura todas as palavras mais repetidas no texto); (2) Pesquisa de Texto (o utilizador efetua a pesquisa de uma palavra ou expressão para verificar se ela existe no corpus de dados. Neste caso é importante que o utilizador conheça os dados e as questões de investigação a ponto de poder selecionar algumas palavras-chave que lhe interesse estudar no contexto dos dados).

No âmbito do presente trabalho foram inseridas todas as transcrições em texto, vídeos ou áudios, de todos os participantes e optou-se pela utilização dos Códigos Árvore, que permitiu a hierarquização em Códigos e Subcódigos na profundidade desejada/necessária. Deste modo, o sistema codificado nos Códigos Árvore permitiu ligar as fontes, a codificação e o questionamento, dando sentido interpretativo e respostas às questões de investigação do projeto, organizando tópicos aglutinadores de ideias num sistema hierárquico com ligação entre os Códigos.

## 2.ª Sessão - Interpretação temporal e espacial de cenários climáticos

Nesta sessão foram dinamizadas atividades de análise de dados climáticos. Foram apresentadas aos elementos as definições de modelos e cenários climáticos. Cada GT foi dividido em equipas, e a cada equipa foi atribuído um risco climático relevante na sua região, de acordo com os resultados da 1.ª sessão. Foram distribuídas várias transparências com informação em forma de gráficos e mapas temáticos de diversas variáveis biofísicas, relativas a cada município. Solicitou-se a cada equipa que avaliasse como é que a informação apresentada se podia refletir na tendência futura do risco que estavam a analisar. O foco da análise deveria ser na tendência temporal e espacial do clima. Todas as equipas dispunham da mesma informação e decidiram qual a informação a utilizar. Pretendeu-se com esta atividade avaliar a utilidade deste tipo de informação para a comunidade e quais as lacunas ou dificuldades sentidas por parte das várias equipas.

Nesta sessão foram propostas 2 atividades:

- Atividade 1: Análise temporal dos dados de temperatura e precipitação: com base na informação (TABELA I), em forma de gráficos com o ciclo anual da precipitação e o ciclo anual da temperatura (média, máxima e mínima) para os períodos 1961/1990 (observações) e 2021/2050 (cenários RCP4.5 e RCP8.5), pretendia-se que cada equipa fizesse uma análise sobre a tendência temporal do clima no risco em causa;
- Atividade 2: Análise espacial dos dados de clima: com base na informação geográfica na forma de mapas temáticos com caracterização de variáveis biofísicas (TABELA II), pediu-se que fizessem uma análise e refletissem sobre a interação do clima futuro e as características do seu município.

As equipas registaram as suas conclusões em fichas de trabalho para depois serem analisadas. Foi também objetivo desta sessão solicitar sugestões de como melhorar a informação dos modelos de clima e do território, de modo a esta ser acessível a um maior número de cidadãos.

No fim da sessão foi solicitado aos membros do GT que propusessem em conjunto com a sua comunidade, família e amigos, medidas de adaptação às alterações climáticas, efetuando o registo numa ficha de trabalho desenhada para o efeito, devolvendo em tempo útil para que se preparasse a informação a discutir na 3.ª sessão. Foi igualmente solicitado informação sobre a forma de como e onde gostariam de ver divulgado o MBP.

TABELA I - Informação sobre Temperatura e Precipitação ao longo do ano.

TABLE I - Information on Temperature and Precipitation throughout the year.

| Variável     | Gráfico                                         | Período               | Cenário Climático |
|--------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Temperatura  | Ciclo anual da temperatura média (Observações)  | 1961/1990             | -                 |
|              | Ciclo anual da temperatura média                | 2021/2050             | RCP4.5 e RCP8.5   |
|              | Ciclo anual da temperatura mínima (Observações) | 1961/1990             | -                 |
|              | Ciclo anual da temperatura mínima               | 2021/2050             | RCP4.5 e RCP8.5   |
|              | Ciclo anual da temperatura máxima (Observações) | 1961/1990             | -                 |
|              | Ciclo anual da temperatura máxima               | 2021/2050             | RCP4.5 e RCP8.5   |
|              | Anomalia da temperatura média (Agosto)          | 2021/2050 - 1961/1990 | RCP4.5 e RCP8.5   |
| Precipitação | Ciclo anual da precipitação (Observações)       | 1961/1990             | -                 |
|              | Ciclo anual da precipitação                     | 2021/2050             | RCP4.5 e RCP8.5   |
|              | Anomalia de precipitação (Dezembro)             | 2021/2050 - 1961/1990 | RCP4.5 e RCP8.5   |

TABELA II - Especificações técnicas da Informação Geográfica.

TABLE II - Technical specifications of Geographic Information.

| Informação base                                              | Escala base | Entidade | Formato   |
|--------------------------------------------------------------|-------------|----------|-----------|
| Carta Administrativa Oficial de Portugal Continental (2018)  | 1/25 000    | DGT      | Shapefile |
| Rede viária principal                                        | 1/25 000    | CIGeoE   |           |
| Modelo Digital do Terreno - Modelação de altitudes (classes) | 1/50 000    | DGT      | WMS       |
| Declives (25 m)                                              | 1/50 000    | DGT      | Shapefile |
| Rede Hidrográfica                                            | 1/25 000    | CIGeoE   |           |
| Carta de Uso e Ocupação do Solo (2018)                       | -           | DGT      |           |

Siglas: DGT - Direção-Geral do Território; CIGeoE - Centro de Informação Geoespacial do Exército.

### 3.ª Sessão - Análise e discussão das medidas de adaptação e definição do MBP

Nesta sessão pretendeu-se analisar e discutir um conjunto alargado de medidas de adaptação às alterações climáticas propostas, que foram compiladas num documento elaborado com base nos resultados das atividades realizadas na sessão anterior e tarefas/trabalhos sugeridos aos elementos dos GT. Foram compiladas todas as sugestões recebidas (respostas individuais e em grupo obtidas junto da comunidade) e remetidas aos participantes do GT, solicitando comentários para que a 3.ª sessão se desenrolasse de forma eficiente, dada a extensão do documento. Além da discussão do conteúdo

do documento foi necessário decidir a sua estrutura. Foi assim estruturado um documento final que deu lugar ao MBP. Foi também discutido e decidido as várias formas de disseminação do mesmo, junto da comunidade.

### Apresentação e Discussão de Resultados

#### Identificação de riscos naturais

Relativamente à 1.ª atividade da Sessão 1, foram definidas prioridades em termos de definição de ações de prevenção face aos riscos naturais dadas pelos participantes (TABELA III), descrevendo-se de seguida os resultados da discussão por cada GT.

TABELA III - Níveis de prioridade por risco natural, por concelho.

TABLE III - Priority levels by natural risk, by municipality.

| Risco/Concelho                    | Ferreira Zêzere |   |   | Leiria |   |   | Ourém |   |
|-----------------------------------|-----------------|---|---|--------|---|---|-------|---|
|                                   | E               | M | B | E      | M | B | E     | M |
| Floresta (Incêndios)              | 3               |   |   | 2      | 1 |   | 3     |   |
| Rios (Inundações)                 |                 |   | 3 | 1      | 1 | 1 |       | 2 |
| Encostas (Deslizamentos de Terra) | 2               | 1 |   | 1      |   | 1 | 1     | 1 |
| Mar (Erosão costeira)             |                 |   | 3 | 1      | 2 |   | 0     | 0 |
| Temperatura e Chuva (Secas)       | 2               | 1 |   | 1      | 1 | 1 | 3     |   |
| Rios (Poluição de Água)           | 2               | 1 |   | 2      | 1 |   |       | 3 |

E: Risco Elevado; M: Risco Médio; B: Risco Baixo

### *Discussão dos resultados de Ferreira do Zêzere*

Pelas características da área e pelos fenómenos que ocorrem com alguma regularidade na zona, era de esperar que os grupos, em termos da problemática dos incêndios, os colocassem todos como prioridade elevada. Outro caso de unanimidade foi a escolha das inundações como prioridade baixa, uma vez que não são frequentes inundações em Ferreira do Zêzere. O último aspeto que teve concordância total foi o da erosão costeira, que visto tratar-se de uma zona interior, não constitui uma preocupação local, logo foi caracterizada como de baixa prioridade.

### *Discussão dos resultados de Leiria*

Verifica-se um equilíbrio na escolha das prioridades, sendo que os riscos que obtiveram mais que um voto para a mesma prioridade foram os incêndios e a poluição da água - como prioridade elevada - e a erosão costeira - como prioridade média. Não houve consenso nas três equipas em nenhum dos riscos, o que revela uma grande diferença no que toca à interpretação das suas consequências e que todos os riscos estão presentes na zona de Leiria. Um dado interessante é o ponto de vista da sobrevivência e subsistência do ser humano focado por uma equipa, que apontou a contaminação dos solos e as secas como meio de incapacitação dos solos e consequentemente da redução dos alimentos disponíveis. Foi também focada a questão da erosão costeira na praia de Pedrógão, associada aos impactes resultantes de fatores antrópicos como o turismo.

### *Discussão dos resultados de Ourém (fot. 2)*

Observa-se um grande consenso em relação às secas e aos incêndios, com o GT a estabelecer uma relação entre os dois, considerando que o terreno seco é bastante mais propício a incendiar. As três equipas classificaram estes dois riscos com prioridade elevada, revelando a vulnerabilidade da zona à seca e aos incêndios. Onde também se reuniu consenso foi na colocação do risco de



Fot. 2 - Grupo de Trabalho de Ourém em sessão de trabalho a 24 de maio de 2018.

Photo 2 - Ourém Working Group in working session, 24 May 2018.

poluição da água como prioridade média, pois as ribeiras locais sofrem impactes com os incêndios e as descargas de águas residuais. Quanto ao risco de inundações, duas equipas classificaram o risco como de prioridade média. Houve disparidade de resultados quanto ao risco de deslizamentos de terra, com cada equipa a colocar uma prioridade diferente. Conclui-se que os maiores riscos serão os incêndios e as secas, que são da preocupação geral da população de Ourém.

Resumindo os riscos considerados mais significativos foram:

- Em Ferreira do Zêzere: 1.º Incêndios; 2.º Deslizamentos de terra; 3.º Secas;
- Em Leiria: 1.º Incêndios; 2.º Poluição de água; 3.º Erosão costeira;
- Em Ourém: 1.º Incêndios; 2.º Poluição de água; 3.º Secas.

Relativamente à atividade 2, os participantes foram classificados/segmentados com rótulos descritivos (fig. 1) através de unidades de texto do sistema de dados inserido na base de dados WebODA. Estes rótulos foram depois correlacionados com as respostas dadas às questões colocadas individualmente.

Os resultados do processo de categorização das respostas às questões 2, 3 e 4 por parte dos participantes, que permitiu identificar as seguintes informações: (1) nível de acesso à informação disponibilizada pelo poder local (Questão 2); (2) identificação da informação necessária sobre riscos (Questão 3); (3) entidades que devem atuar na prevenção dos riscos (Questão 4). Foi ainda identificada uma categoria referente a sugestões dadas pelos participantes (fig. 2).

Com base na análise das respostas à questão “Se recebem informações do poder local?”, verifica-se que estas foram focadas na questão de existir informação disponível e da maior parte dos participantes a receber, mas não haver adesão por parte da população, principalmente por falta de interesse ou pela “complexidade” da informação. Considerou-se necessário que a informação chegue às pessoas de forma sucinta e clara, existindo a necessidade de haver uma abordagem diferente para a população mais idosa devido ao facto de não terem muito ou nenhum acesso às informações disponibilizadas na internet. É ainda de assinalar a falta de informação disponibilizada pelo poder local.

Relativamente à questão “Que informações que gostariam de ter?” existe muito foco na prevenção, e no que já existe. Mais uma vez, é muito tocado o assunto da falta de iniciativa da população, sendo necessária informação do que fazer antes, durante e após uma catástrofe. Foi novamente referida a necessidade de haver uma forma mais eficaz da informação existente chegar às pessoas, assim como a grande barreira cultural de transmissão/passagem da informação. Considerou-se

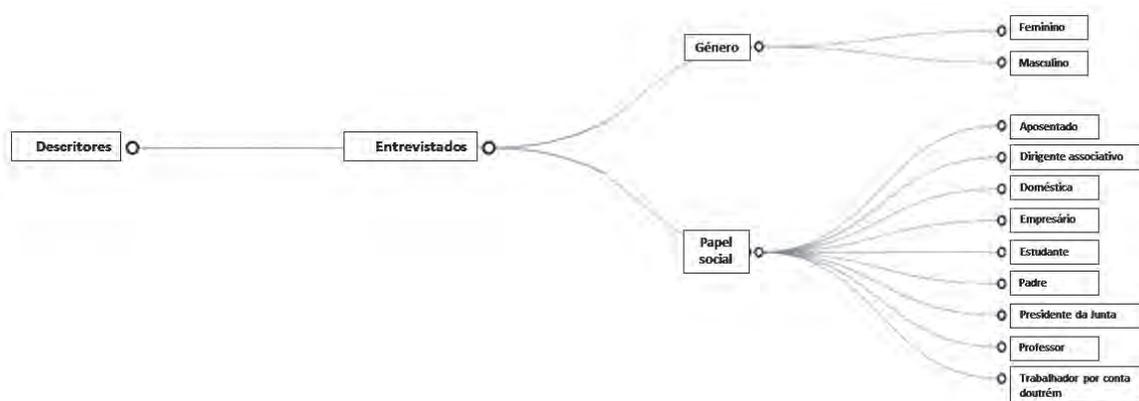


Fig. 1 - Descritores referentes aos participantes no GT.  
 Fig. 1 - Descriptors referring to the participants in the WG.

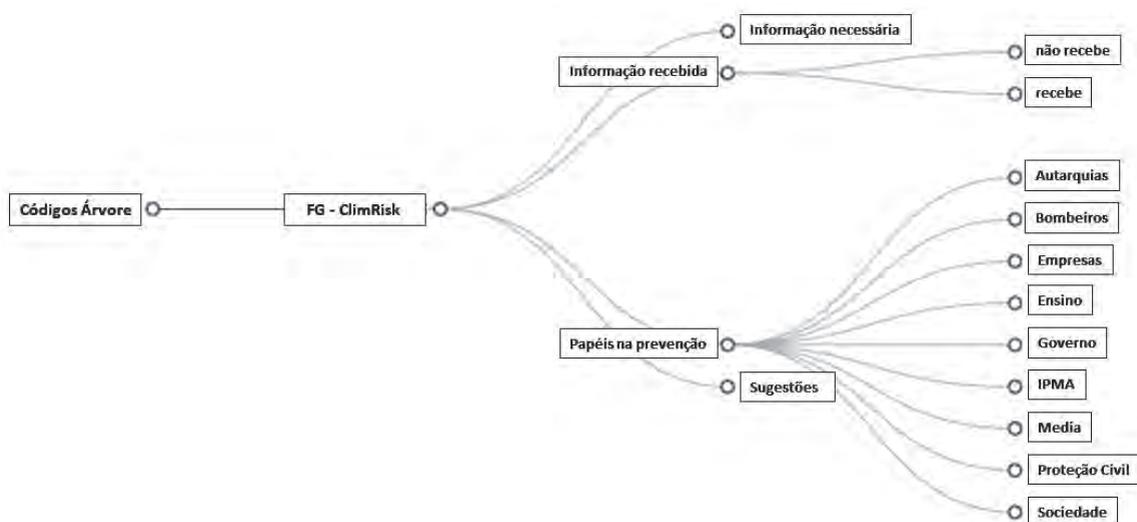


Fig. 2 - Códigos de Árvore obtidos - hierarquização das respostas em Códigos e Subcódigos.  
 Fig. 2 - Tree Codes obtained - Hierarchy of answers in Codes and Subcodes.

que se deve começar pelos mais jovens na escola, uma forma de educar a população mais adulta. É consensual que a informação deveria ser mais concreta e adequada às situações, há muita informação contraditória, informação errada, o que leva as pessoas a crer que não há rigor nem veracidade. As informações deveriam estar compiladas e registadas de forma simples e concreta.

Para a questão “Quem deve atuar na prevenção?” a ideia comum é que todos devem contribuir, em sociedade, na atuação, embora tenha que haver o exemplo das “grandes potências” ou seja dos agentes e organizações mais influentes. Referiu-se ainda, à semelhança das respostas às questões anteriores, que a cultura e mentalidade da população tem que mudar, e que todos devem agir em conjunto e de forma adequada para conseguir haver mudança. É opinião de todos que é necessário uma mudança de mentalidade na sociedade, que cada um deve agir como pode, mas de forma organizada, contribuindo para o conjunto.

No decorrer da sessão com os três GT ficou patente que os participantes dão mais importância aos riscos que eles próprios presenciaram no passado nas suas próprias comunidades. Confirmado a existência de uma percepção comunitária de risco, e evidenciando alguma falta de literacia para os riscos naturais em geral. Verificou-se a necessidade da existência de um documento que sistematizasse os vários conceitos chave, como risco, vulnerabilidade, perigo, e os vários fatores e riscos naturais (secas, inundações, erosão costeira, incêndios, poluição da água, deslizamento de terra, alterações climáticas, adaptação e mitigação).

Entre a 1.ª e a 2.ª Sessão, foi desenvolvido um glossário (fot. 3), pela equipa do CLIMRisk, para dar resposta à preocupação manifestada pelos GT na Atividade 2 da 1.ª sessão. Esse glossário foi enviado por correio eletrónico aos elementos dos GT e apresentado no início da 2.ª sessão.



Fot. 3 - Glossário que pode ser consultado e para download em [http://bit.do/CLIMRisk\\_glossario](http://bit.do/CLIMRisk_glossario)

*Photo 3 - Glossary that can be consulted and downloaded at [http://bit.do/CLIMRisk\\_glossario](http://bit.do/CLIMRisk_glossario)*

### Interpretação temporal e espacial de cenários climáticos

Na 2ª Sessão, em cada GT, foram criadas equipas e atribuídos os riscos naturais a analisar de acordo com os resultados da atividade 1 da primeira sessão:

- Ferreira do Zêzere, 3 equipas: Incêndios, Deslizamentos de terras e Secas;
- Leiria, 2 equipas: Incêndios e Poluição da água;
- Ourém, 2 equipas: Incêndios e Secas.

Dado o tipo de atividades propostas nesta sessão, os seus resultados foram analisados em conjunto. As equipas foram apoiadas ao longo da sessão (fot. 4), nomeadamente na explicação dos modelos e cenários climáticos, que foram apresentados antes do início das atividades, mas que dado ser um tipo de informação menos frequente foi necessária uma maior interação, por parte do moderador e observadores, com as equipas para esclarecimento de dúvidas.

As conclusões e considerações relativas à tendência temporal e espacial da precipitação e da temperatura foram registadas em separado. Da análise das conclusões, excluiu-se à partida que existisse uma maior dificuldade de analisar ou a temperatura ou a precipitação. Pode-se concluir que as conclusões são independentes da variável estudada. O facto de existirem riscos comuns aos



Fot. 4 - Grupo de Trabalho de Leiria a analisar os materiais disponibilizados a 23 de outubro de 2018.

*Photo 4 - Leiria's Working Group analysing the available materials on 23 October 2018.*

diferentes municípios permitiu verificar que as conclusões também foram independentes dos riscos analisados.

A primeira análise efetuada foi com recurso a informação na forma de gráfico (temperatura e precipitação) (fig. 3), onde os gráficos da precipitação correspondem ao ciclo anual da precipitação correspondendo às médias de 30 anos para cada mês. Verificou-se de modo generalizado uma maior dificuldade na interpretação da informação apresentada, a leitura de gráficos parece exigir um maior conhecimento, por parte do utilizador.

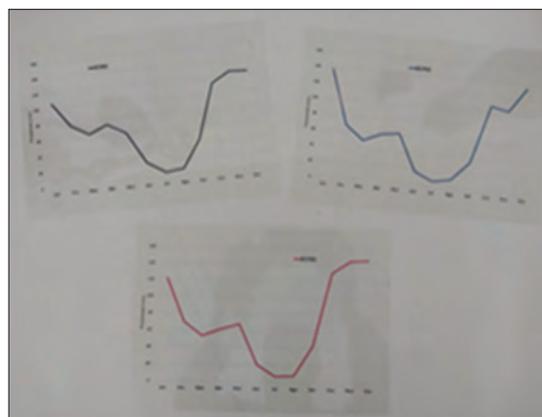


Fig. 3 - Elementos de trabalho com os gráficos relativos ao ciclo anual da precipitação.

*Fig. 3 - Working elements with the graphs relating to the annual rainfall cycle.*

Após a análise da variação temporal foi pedido às equipas que sobrepusessem a informação geográfica (em forma de mapas) de variáveis biofísicas, tais como distribuição espacial da temperatura e precipitação com outras variáveis territoriais, tais como declives, uso do solo, altitude, entre outras (fig. 4).

Verificou-se que esta análise foi muito mais fácil de realizar para as equipas. Identificámos que esta facilidade de interpretação se prendeu com dois fatores:

- os participantes estavam mais familiarizados com análise de informação em forma de mapas, na vida quotidiana este formato de informação está presente em várias situações e;
- verificou-se também que o facto de a informação estar relacionada com o seu concelho foi determinante para uma melhor interpretação da tendência do risco, porque existia o conhecimento daquela realidade em concreto, nomeadamente das características do território.

Ficou também patente que as conclusões que as equipas registavam, foram sendo melhoradas à medida que a atividade avançava, ou seja, à medida que os participantes se iam sentindo mais à vontade com os materiais disponibilizados e com o conhecimento que foi sendo adquirido ao longo da sessão.

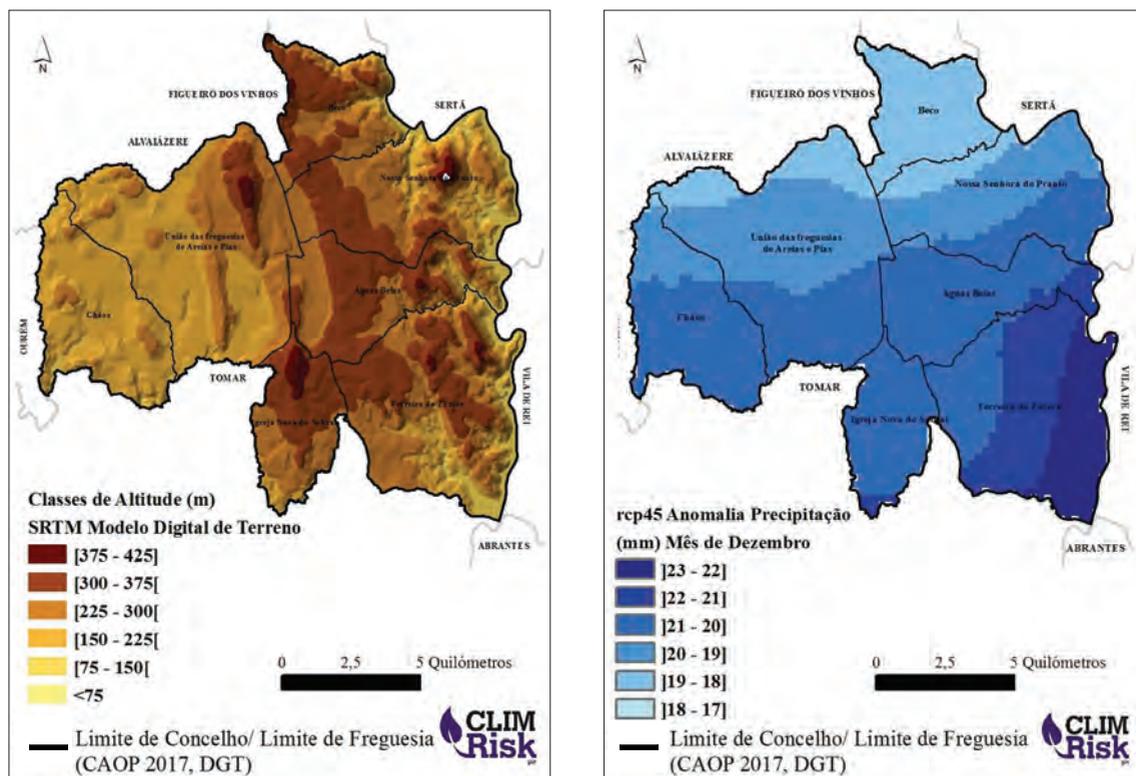


Fig. 4 - Exemplo de mapas concelho de Ferreira do Zêzere: altitude e anomalia de precipitação.

Fig. 4 - Example of Ferreira do Zêzere maps: altitude and precipitation anomaly.

Esta atividade foi importante porque contribuiu com pistas sobre qual a melhor forma para disponibilizar informação climática às comunidades. Consta-se que, embora no fim da atividade os elementos dos FG estivessem mais à vontade com a informação climática disponibilizada, é necessário aumentar a capacidade das comunidades interpretarem informação científica resultante de modelos climáticos (seja ela informação gráfica, escrita ou numérica). Esta capacitação será certamente um processo lento e mesmo quando essa capacidade estiver instalada os elementos dos grupos referiram que será sempre importante a informação disponibilizada ter associada uma interpretação técnica, que depois cada um poderá utilizar para interpretações mais locais.

As diferentes realidades geográficas de cada FG, em que as vulnerabilidades passadas e presentes são conhecidas fazem com que a interpretação dos perigos sejam percebidas de forma diferentes (Kuhnein, 2009), logo o peso dado a cada risco resulta da realidade local quer da vulnerabilidade quer do intensidade/frequência futura de cada perigo resultante das alterações climáticas.

#### *Análise e discussão das medidas de adaptação e MBP*

Previamente à 3.ª Sessão foi elaborado um documento de trabalho reunindo um conjunto de boas práticas ambientais que foram sendo sugeridas nas atividades

realizadas ao longo das sessões de GT e em particular, resultantes da ficha de trabalho proposta no final da 2.ª sessão (fichas respondidas pelos participantes do FG, suas famílias, amigos e colegas de trabalho, tentando envolver a comunidade). Desta ficha de trabalho foram recepcionadas mais de 25 fichas. Algumas das fichas foram preenchidas por grupos, por exemplo em família. Este documento foi também enviado a todos os elementos dos FG antes da 3ª sessão para que todos o pudessem ler previamente. Durante a 3ª Sessão foram analisadas todas as boas práticas ambientais, medida a medida, discutindo-se a sua pertinência e a linguagem a ser utilizada. Um dos objetivos prendia-se com o tipo de linguagem a utilizar no documento, pretendia-se que fosse facilmente compreendida por todos, em particular pelas comunidades rurais. Foram recolhidas todas as sugestões e trabalhadas para inclusão no documento. O objetivo principal deste documento era ser um veículo de informação útil para tornar as populações mais resilientes aos riscos climáticos e contribuir para aumentar a consciência ambiental coletiva. Assim o documento final produzido teria de ser de fácil consulta, em forma de agenda (formato A5) e que poderia ser impresso e usado em casa ou no trabalho em local de fácil acesso. Terminado e estruturado o documento o mesmo foi designado por Manual de Boas Práticas (MBP) (fot. 5).

O MBP pode ser consultado e disponível para download em [http://bit.do/ManualBoasPraticas\\_ClimRisk](http://bit.do/ManualBoasPraticas_ClimRisk).



Fot. 5 - Manual de Boas Práticas.

Photo 5 - Good Practices Handbook.

O MBP está organizado em 3 capítulos que se apresentam seguidamente:

1. *Clima futuro e medidas de adaptação* - onde se apresentam as perspetivas de clima futuro na região Centro, resultante da análise efetuada no âmbito do CLIMRisk e as medidas de adaptação a seguir pela população em geral. As medidas de adaptação são apresentadas por Fator Climático (aumento da temperatura, aumento da precipitação, diminuição da temperatura e outros) de acordo com a tendência em cenário de alterações climáticas. Por cada Fator Climático são analisados os vários riscos: incêndios rurais, poluição da água, subida do nível médio das águas do mar, ondas de calor, vagas de frio, inundações, deslizamentos de terras, secas e tempestades. As medidas são ainda subdivididas em: medidas preventivas, o que fazer em caso de emergência e após o evento;
2. *Medidas a implementar pelos gestores do território* - onde se apresentam medidas gerais de boas práticas ambientais subdivididas em medidas de índole institucional, direcionadas para os responsáveis políticos e gestores do território e em medidas gerais para a população;
3. *Como organizar a sua família para uma situação de emergência* - onde se sugere a organização de kits de emergência (KIT Básico, KIT de Primeiros Socorros e KIT Básico+).

O MBP tem como objetivo despertar/estimular em cada um dos seus leitores e utilizadores a importância da

autoproteção e posteriormente desencadear conversas com familiares e amigos sobre boas práticas quer de prevenção, quer de atuação em situações de emergência.

Como forma de disseminar boas práticas ambientais foi também proposta, pelos participantes, a elaboração de marcadores de livros com mensagens de boas práticas ambientais (fig. 5). As mensagens colocadas nos marcadores resultaram de ideias chave existentes no MBP. Os marcadores estão disponíveis para impressão no site do ClimRisk ([http://www.climrisk.ipt.pt/download/marcadores\\_finais.pdf](http://www.climrisk.ipt.pt/download/marcadores_finais.pdf)).



Fig. 5 - Marcadores de livros.

Fig. 5 - Bookmarkers.

Sendo a comunidade infantil um público alvo, foi apresentado aos FG para discussão, uma proposta de jogo de cartas, concebido pela equipa do CLIMRisk. A proposta foi bem aceite e o seu conteúdo, sobre os diferentes tipos de riscos e medidas preventivas ou de mitigação dos mesmos riscos, discutido e revisado. De notar que em todos os FG existiam participantes professores do ensino básico.

É um jogo didático (fot. 6), está disponível a preto e branco, e a cores e pode ser encontrado para download em [http://www.climrisk.ipt.pt/pt/material\\_didactico/](http://www.climrisk.ipt.pt/pt/material_didactico/). Para guardar o jogo foi também criada e disponibilizada uma caixa planificadora (<http://www.climrisk.ipt.pt/download/caixa-planificada-cartas-climrisk-cores.pdf>).



Fot. 6 - Jogo didático (<http://www.climrisk.ipt.pt/download/plano-cartas-climrisk-cores.pdf>).

Photo 6 - Educational game (<http://www.climrisk.ipt.pt/download/plano-cartas-climrisk-cores.pdf>).

## Conclusões

O comportamento do clima é crucial na análise dos riscos associados a vários fenómenos naturais. Uma vez que a maioria dos riscos naturais nos domínios da meteorologia, hidrologia, incêndios florestais e ambientes são impulsionados por variáveis climáticas, a probabilidade e gravidade da manifestação destes riscos, são consequentemente influenciados pelas alterações climáticas.

O debate de medidas de adaptação com as partes interessadas, é essencial para preparar as condições básicas para o planeamento e implementação da adaptação. As medidas de adaptação estão normalmente relacionadas com actividades dos governos nacionais e locais, mas também estão relacionadas com a vida quotidiana dos cidadãos, e com as actividades empresariais. Foi discutido neste estudo o papel dos cidadãos e como implementar medidas de adaptação que podem ser tomadas na vida quotidiana, e participar e cooperar com iniciativas de adaptação dos governos. A adaptação às alterações climáticas e aos riscos deve ocorrer num contexto social, económico, tecnológico, biofísico e político dinâmico que varia ao longo do tempo, da região e ser sectorial. Claramente, a capacidade adaptativa para lidar com os riscos climáticos está intimamente relacionada com os objectivos do desenvolvimento sustentável. Todo e qualquer trabalho com as comunidades no sentido de melhorar a sua capacidade adaptativa é fundamental para o desenvolvimento sustentável dessas mesmas comunidades.

A aplicação da técnica de FG ao tema das alterações climáticas foi uma mais-valia do ponto de vista dos contributos da comunidade para as questões mais práticas das alterações climáticas e foi de encontro à definição proposta por Morgan (1997) e ao que ele definiu como componentes essenciais, designadamente (1) permitir a recolha de dados; (2) localizar a interação na discussão do grupo como a fonte dos dados e, (3) reconhecer o papel ativo do investigador na dinamização da discussão do grupo para efeitos de recolha dos dados. Ou seja, foram recolhidos dados a partir da discussão nos grupos de trabalho e identificados alguns problemas/dificuldades de comunicação e de perceção sobre o fenómeno das alterações climáticas. Estas informações foram identificadas e analisadas pela equipa de investigadores. Ao longo do processo temporal houve diminuição de participantes por grupo de trabalho o que algumas vezes foi um impedimento à discussão mais alargada e diversidade de opiniões. No entanto, os objetivos globais foram atingidos pelo esforço redobrado de empenhamento por parte dos participantes presentes.

Foi então possível discutir a temática nos vários grupos de trabalho, aprender a ler e trabalhar indicadores climáticos, assim como dar contributos para a elaboração do MBP e para as diversas formas de divulgação.

Assim foi possível à equipa de investigadores produzir materiais de divulgação mais adequados à população a que se destinam, no sentido de disseminar os resultados obtidos, como é o caso do glossário, do MBP, do jogo didático e dos marcadores de livros.

De modo a sensibilizar a comunidade para as problemáticas das alterações climáticas foi fundamental o seu envolvimento, no sentido de compreenderem melhor os fenómenos, e simultaneamente, contribuírem na identificação de medidas de adaptação a desenvolver no âmbito do projeto CLIMRisk. A técnica FG contribuiu significativamente para que o envolvimento da comunidade fosse efetivo.

O Manual de boas práticas foi produzido como um instrumento para colmatar a lacuna de conhecimentos entre o conhecimento científico, os comportamentos administrativos e o conhecimento dos cidadãos sobre a capacidade adaptativa às AC, como forma de redução do risco. O manual pretende ter uma cobertura territorial regional de medidas adaptativas que contribuam para mitigar os impactes dos riscos dos incêndios florestais, inundações, deslizamentos de terra, ondas de calor e de frio, secas e erosão costeira.

Dois aspetos fundamentais a considerar no sucesso da técnica do FG: o papel do moderador e da sua equipa e a composição do grupo. O papel do moderador e da equipa na gestão e dinâmica dos grupos de trabalho de forma a fomentar uma discussão equilibrada e evitando a influência dominante dos líderes de opinião existentes nos GT. Por outro lado, a seleção dos participantes, que garantiu um determinado grau de homogeneidade e trabalho eficiente de equipa que foi sendo adquirido ao longo das sessões pela interação entre os participantes e que proporcionou novos conhecimentos e perspectivas que fizeram parte do processo de aprendizagem coletiva, o que permitiu obter bons resultados e dar resposta aos objetivos propostos.

## Referências Bibliográficas

- Asplund, T. (2018). Communicating Climate Science: A Matter of Credibility - Swedish Farmer's Perceptions of Climate-Change Information. *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*. 10 (1), 23-38.  
DOI: <https://doi.org/10.18848/1835-7156/CGP/v10i01/23-38>
- Bloor, M., Frankland, J., Thomas, M., Robson, K. (2001). *Focus groups in social research. Introducing Qualitative Methods series*. SAGE. ISBN 076195743X, 9780761957430
- Crawford, M. H., Crowley, K., Potter, S. H., Saunders, W. S. A., Johnston, D. M. (2018). Risk modelling as a tool to support natural hazard risk management in New

- Zealand local government. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 610-619.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.011>
- Cuni-Sanchez, A., Fandohan, B., Assogbadjo, A., Sinsin, B. (2012). Local farmers' perception of climate change in Benin (West Africa). *Climate and Development*, 4, 114-128.
- Cuni-Sanchez, A., Omeny, P., Pfeifer, M., Olaka, L., Boru, M., Marchant, R., Burgess, N. (2018). Climate change and pastoralists: perceptions and adaptation in montane Kenya. *Climate and Development*, 11, 513-524.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1454880>
- Flick, U. (2006). An Introduction to Qualitative Research. *Qualitative Research in Psychology*, 4:3, London: Sage Publications, 259-260.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/14780880701473623>
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 582 p.
- Klein, R., Nicholls, R., Ragoonaden, S., Capobianco, M., Aston, J., Buckley, E. (2001). Technological options for adaptation to climate change in coastal zones. *Journal of Coastal Research*. 17. 531-543.
- Krueger, R. A. Casey, M. A. (2009) *Focus groups: A Practical Guide for Applied Research* (4<sup>th</sup> Ed.). SAGE. ISBN-10: 1412969476.
- Kuhnen, A. (2009). *Meio Ambiente e vulnerabilidade. A percepção ambiental de risco e o comportamento humano*. *Geografia*. Londrina, v. 18, n. 2. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>
- Lima, M. L., Almeida, A. B., Silva, D. (1997). From Risk Analysis to Risk Perception: developing Risk Communication Strategy for Dam-Break Flood Risk. *Advances in Safety and Reliability*. Vol. 1 Guedes Soares (ed.), Pergamon.
- Morgan, D. L. (1997). Focus group as qualitative research (2<sup>nd</sup> ed.). *Qualitative research methods*; Volume 16. SAGE Publications, Inc. ISBN 1506318827, 9781506318820.
- Morgan, D. L. (1998). *Planning focus group*. Thousand Oaks, California: Sage.
- Mugi-Ngenga, E. W., Mucheru-Muna, M.W., Mugwe, J.N., Ngetich, F. K., Mairura, F.S., Mugendi, D.N. (2016). Household's socio-economic factors influencing the level of adaptation to climate variability in the dry zones of Eastern Kenya. *Journal of Rural Studies*, 43, 49-60.
- Nyumba, T. O., Wilson, K., Derrick, C. J., Mukherjee, N. (2018). The use of focus group discussion methodology: Insights from two decades of application in conservation. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 20-32.
- Sagoe, D. (2012). Precincts and prospects in the use of focus groups in social and behavioural science research. *The Qualitative Report*, 17(Art. 29), 1-16.
- Silva, I. S., Veloso, A. L., Keating, J. B. (2014). Focusgroup. Considerações teóricas e metodológicas. *Revista Lusófona de Educação*, 26, 175-190.
- Souza, C. (2013). Riscos, geografia e educação. In *Riscos Naturais, Antrópicos e Mistos. Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo*, ISBN: 978-989-96810-1-9. Coimbra: Departamento de Geografia, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 127 - 142.
- Souza, F. N., Costa, A. P., Moreira, A., Souza, D. N., Freitas, F. (2016). *WebQDA - Manual de Utilização Rápida*. Universidade de Aveiro.
- Stewart, D. W., Shamdasani, P. N., Rook, D. W. (2007). *Applied social research methods series: Focus groups: Theory and practice* (2nd ed.). Sage Publications, Inc. DOI: <https://doi.org/10.4135/9781412991841>
- Waldron, F., Ruane, B., Oberman, R., Morris, S. (2019) Geographical process or global injustice? Contrasting educational perspectives on climate change. *Environmental Education Research*, 25:6, 895-911, DOI: <https://doi.org/10.1080/13504622.2016.1255876>

(Página deixada propositadamente em branco)



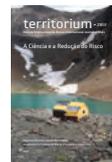
RISCOS

territorium 28 (II), 2021, 69-81

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

DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-2\\_6](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_6)

Artigo científico / Scientific article



## VOLCANIC HAZARDS ASSESSMENT OF OLDOINYO LENGAI IN A DATA SCARCITY CONTEXT (TANZANIA)\*

AVALIAÇÃO DOS RISCOS VULCÂNICOS DO OLDOINYO LENGAI NUM CONTEXTO DE ESCASSEZ DE DADOS (TANZANIA)

69

**Tony Rey**

University Paul-Valéry Montpellier 3, Department of Geography, LAGAM laboratory (France)  
ORCID 0000-0003-2827-3919 [tony.rey@univ-montp3.fr](mailto:tony.rey@univ-montp3.fr)

**Frédéric Leone**

University Paul-Valéry Montpellier 3, Department of Geography, LAGAM laboratory, (France)  
ORCID 0000-0003-2330-1474 [frederic.leone@univ-montp3.fr](mailto:frederic.leone@univ-montp3.fr)

**Stéphanie Defossez**

University Paul-Valéry Montpellier 3, Department of Geography, LAGAM laboratory (France)  
ORCID 0000-0001-7397-666X [stephanie.defossez@univ-montp3.fr](mailto:stephanie.defossez@univ-montp3.fr)

**Monique Gherardi**

University Paul-Valéry Montpellier 3, Department of Geography, LAGAM laboratory (France)  
ORCID 0000-0002-0836-4760 [Monique.gherardi@univ-montp3.fr](mailto:Monique.gherardi@univ-montp3.fr)

**Fleurice Parat**

University Montpellier, Geosciences Montpellier (France)  
ORCID 0000-0001-8827-6682 [fleurice.parat@umontpellier.fr](mailto:fleurice.parat@umontpellier.fr)

### ABSTRACT

The objective of our study is to establish an assessment of four volcanic hazards in a country threatened by the eruption of the Oldoinyo Lengai volcano. The last major eruption dates back to 2007-2008 but stronger activity in 2019 has revived the memory of volcanic threats to the Maasai and Bantu communities and human activities (agro-pastoral and tourism). The methods chosen have had to be adapted to the scarce and incomplete data. The volcanic hazards and their probability of occurrence were analysed on the basis of data available in the scientific literature and were supplemented by two field missions combining geography and hydro-geomorphology. Our study enabled us to map the hazards of ash fall, lava flows, lahars and avalanches of debris. Each hazard was spatialised by being ascribed an intensity. They are sometimes synchronous with the eruption sometimes they occur several months or years after a volcanic eruption. The results are the first step towards developing a volcanic risk management strategy, especially for the pastoral communities living around Lengai and for the growing tourist activities in this area.

**Keywords:** Lahars, ash, lava, Rift, Maasai.

### RESUMO

O objectivo do nosso estudo é estabelecer uma avaliação de quatro processos vulcânicos num país ameaçado pela erupção do vulcão Oldoinyo Lengai. A última grande erupção data de 2007-2008, mas uma actividade mais forte em 2019 reavivou a memória das ameaças vulcânicas às comunidades Maasai e Bantu e às actividades humanas (agro-pastoril e turismo). Os métodos escolhidos exigiram uma adaptação aos dados escassos e incompletos. Os processos vulcânicos e a sua probabilidade de ocorrência foram analisados com base nos dados disponíveis na literatura científica e foram complementados por duas missões de campo combinando geografia e hidrogeomorfologia. O nosso estudo permitiu-nos mapear os riscos de queda de cinzas, fluxos de lava, lahares e avalanches de detritos. Cada processo foi espacializado com a atribuição de uma intensidade. Por vezes estão sincronizados com a erupção, mas outras vezes ocorrem vários meses ou vários anos após uma erupção vulcânica. Os resultados são o primeiro passo no desenvolvimento de uma estratégia de gestão do risco vulcânico, especialmente para as comunidades pastorais que vivem em redor de Lengai e para as actividades turísticas crescentes nesta área.

**Palavras-chave:** Lahares, cinzas, lava, Rift, Maasai.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 16-02-2021, sujeito a revisão por pares a 18-02-2021 e aceite para publicação em 07-05-2021. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introduction

Volcanoes are complex geological systems that can produce a wide variety of dangerous phenomena during and after eruptions. These include glowing clouds, lava flows, pyroclastic flows, debris avalanches, ballistic projections, plumes and ashfalls, as well as volcanic earthquakes, landslides, gas emissions, floods, and fires (Baxter and Horwell, 2015). In response to these volcanic threats, states are attempting to put in place disaster risk management strategies despite existing uncertainties. To manage uncertainty, it is necessary to identify hazards, their intensity and spatial extent. The recognition of the issues at stake and the characterisation of territorial vulnerabilities make it possible to produce risk maps. The difficulty therefore lies in acquiring reliable data to characterise hazards and volcanic risks. According to the available data, there are many methods for assessing and mapping volcanic hazards (Thouret *et al.*, 2000; Leone and Lesales, 2009; Connor *et al.*, 2015), such as the probabilistic method with the development of event trees (Newhall and Hoblit, 2002), and the use of digital models (Felpeto *et al.*, 2007; Favalli *et al.*, 2011; Tarakada, 2017). These methods require reliable data, acquired through the work of geologists, geomorphologists, volcanologists and geographers. Consequently, for poorly documented volcanoes, probabilistic scenarios are based on field investigations and, if possible, on modelling (Neri *et al.*, 2013).

The objective of this article is to establish a diagnosis of the volcanic risks on the territory of Lengai. In 2008, 65,000 people were affected by the impacts of the eruption of the Oldoinyo Lengai (OLD), and several thousand people left their villages for a few weeks to several months (NEMC, 2008). NGOs provided food aid to almost 36,000 people (Msami, 2007). Faced with these poorly documented and insufficiently mapped volcanic threats, we present our progress in assessing the impacts of four volcanic hazards: ash fallout, lava flows, lahars and debris avalanches. Their assessment is based on probabilistic and deterministic approaches. The combined approaches underline the difficulties in scoping volcanic hazards for a region where data are scarce. Finally, we discuss the results and challenges we have faced using these approaches.

## Study area

Oldoinyo Lengai (OLD), “mountain of god” is venerated by the Maasai. For this ethnic community, the volcano represents the home of their god Ngai. Living near the OLD is not without its dangers and constraints but they are accepted. It’s a territory made of assets and opportunities and a territory marked by a strong identity and cultural traditions (myths and rituals).

## Context

OLD is a stratovolcano in the vast East African Rift Plain, located in northern Tanzania, 16 km south of Lake Natron (fig. 1). Peaking at 2952 m, the OLD rises 2000 m above the Gregory Rift Valley Plain (photo 1).



**Fig. 1** - The Oldoinyo Lengai area (Data source: SRTM30, Natural Earth, Google Earth; conception: T. Candela, 2021).

*Fig. 1 - A área Oldoinyo Lengai (Fonte dos dados: SRTM30, Natural Earth, Google Earth; concepção: T. Candela, 2021).*



**Photo 1** - Lengai plain occupied by traditional settlements and the “mountain of god”, January 2020 (Photography by T. Rey)

*Fot. 1 - A planície de Lengai ocupada por povoados tradicionais e a “montanha de deus”, Janeiro 2020 (Fotografia de T. Rey)*

The OLD is highly studied for its petrological characteristics (Lee *et al.*, 2016; Weinstein *et al.*, 2017; Mattsson *et al.*, 2018) because it’s the only active volcano

to emit natrocarbonatite lava (Bell *et al.*, 1998; Dawson, 1998; Zaitsev and Keller, 2006; Kervyn *et al.*, 2008a). The eruptive activity of OLD is characterised by effusive eruptive phases of natrocarbonatite lava and explosive phases of nephelinite, known to have occurred in 1917, 1940-1941 and 1966-1967 and the most recent in 2007-2008 (Dawson *et al.*, 1995 and 1998; Keller *et al.*, 2010).

The understanding of eruptive activity in volcanic history has been reviewed by several international and Tanzanian scientific teams (Pyle *et al.*, 1995; Keller, 2002; Keller and Kladius, 2003). Seismicity is also the subject of particular attention with important instrumentation installed around the volcano (Albaric *et al.*, 2010; Stamp *et al.*, 2016; Weinstein *et al.*, 2017). Seismic activity is currently monitored in real time by Ardhi University in Tanzania and the Institute of Geoscience and Mineral Resources in South Korea and is the subject of further studies on its “plumbing” and seismic-volcanic links with the Gelai.

The last major eruption took place in September 2007 and lasted until April 2008 (photo 2 and 3). It has been the topic of several publications (Mitchell and Dawson, 2007; Keller *et al.*, 2010; Kervyn *et al.*, 2010; Mattsson and Reusser, 2010) and many different mechanisms have been proposed to explain the activity associated with explosive episodes (Vaughan *et al.*, 2008; Kervyn *et al.*, 2008b). This eruption is the most well documented in terms of eruptive dynamics (Kervyn *et al.*, 2008a) impacts of ash fallout on vegetation and resilience (De Schutter *et al.*, 2015), the characteristics of ash deposition (Mitchell and Dawson, 2017, Bosshard-Stadline *et al.*, 2017), the influence of the release of fluorine contained in the 2008 lavas and ashes and its toxicity to water. The 2007-2008 eruption provides recent data on the impacts of volcanic hazards. However the Lengai space has also been the subject of other older volcanic phenomena, such as gravity movements (Kervyn *et al.*, 2008b) and pyroclastic flows. These geological and hydro-geomorphological legacies have been grouped together in the geological map of Lengai (Sherrod *et al.*, 2013) and have helped us to assess volcanic hazards.



Photo 2 - The Oldoinyo Lengai during an eruption (Photography by G. Seielstad, taken on 02-04-2008).

Fot. 2 - O Oldoinyo Lengai em erupção (Fotografia de G. Seielstad, tirada a 02-04-2008).

### Landscapes of Oldoinyo Lengai

The East African Rift Valley delimits the eastern part of this area, which we divide into two large areas: the Oldoinyo Lengai and the plain (including Lake Natron):

- The volcano culminates at 2962 metres. It is characterised by increasingly steep slope profiles as it approaches the crater (fig. 2);

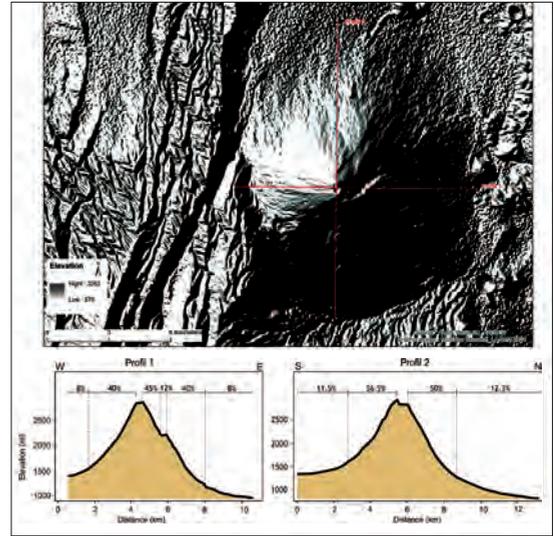


Fig. 2 - Characteristics of the slopes of the Lengai Volcano. The OLD is one of the most difficult volcanoes to climb because of its steep slopes and the high risk of boulder falls (conception: T. Rey, 2021).

Fig. 2 - Características das encostas do vulcão Lengai. OLD é um dos vulcões mais difíceis de escalar devido às suas encostas íngremes e ao elevado risco de queda de rochas (concepção: T. Rey, 2021).

- Erosion processes are very active on the steep slopes of the volcano where we can observe very deeply incised talwegs in the volcanic rock. During the rains, the talwegs evacuate the pyroclastic materials towards the plain. The geomorphological processes are particularly active as the deposits of the alluvial



Photo 3 - Channel in lava flow deposits from the 2007-2008 eruption worn by water, situation in February 2018 (Photography by T. Rey).

Fot. 3 - Os depósitos de fluxo de lava da erupção 2007-2008 escavados pela água, situação em fevereiro 2018 (Fotografia de T. Rey).

plain are mainly composed of fine, unconsolidated pyroclastic materials. The volcanic flanks also show traces of former large-scale gravitational movements such as those observables in the north-northeast. More recently, long fractures have appeared on the western flank of the volcano. Vegetation is mainly represented by herbaceous plants which disappear towards 1750 metres above sea level;

- The plain is drained by numerous rivers that end their course in Lake Natron. Geomorphological processes are most active during the two rainy seasons: the first from March to May (called *masika*) and the second from October to December (called *vuli*). Rainfall then reaches between 40 and 400 mm per month, with occasional localized episodes of high intensity (e.g. 126.4 mm in 24 hours on 26 April 2019, Arusha Weather Station). These heavy rain cause floods and flash floods in urban area (Mikova *et al.*, 2016). The Lengai Plain is also punctuated by hills resulting from debris avalanches identified by Kervin (2008) and lava flow deposits near the southern shore of Lake Natron (Sherrod *et al.*, 2013).

The population and socio-economic activities within the Lengai area have vulnerabilities that expose them to varying intensities to volcanic threats and hydro-meteorological hazards.

#### Population and activities

The OLD area, which includes the districts of Ngorongoro and Longido, had a population of nearly 300,000 (National census, 2012). Rural people accounted for nearly 97% of the population in these two districts, while urban people represented less than 3%, or nearly 17,000 people. However, these figures are now obsolete in view of the rapid urban growth that is driven by demography and rural exodus (Agwanda and Amani, 2014). The population is distributed in medium-sized towns (Kitumbeine) and sometimes large villages such as Engaruka, Ngare Sero, while the unsettled Maasai live in the bomas. In addition to the permanent bomas, other sites are used during seasonal migrations (Homewood and Rodgers, 1991). Indeed, the dominant activity is extensive livestock farming, practised primarily by the Maasai and Bantu. The sustainability of pastoral activities also relies on the use of other economic resources from agricultural and tourist activities. Seasonal crops are mainly located in the plains, while the shores of Lake Natron are exploited for salt. Tourism is becoming more and more important in economic activities. More than 1,235,000 tourists visited Tanzania in 2016 (MNRT, 2017), an average annual growth of 4% since the mid-1990s (UNWTO, 2017). Tourist tours in Northern Tanzania generally start from Arusha and go to Lake Manyara, Tarangire National Park, Ngorongoro

Crater and Serengeti National Park. According to the Ngorongoro Crater Area, the attractiveness of Ngorongoro has attracted more than 600,000 tourists in 2016, with an annual growth of 19%. Some tourists and scientists are venturing further north towards the Lengai volcano and Lake Natron. The growth of tourism in the OLD area is leading to an increase in lodges and at the same time to an improvement in the quality of the roads located on the major tourist routes, such as the 160 km of asphalt roads between Arusha and Ngorongoro. As for the secondary roads, which are more extensive, they are made up of roads and numerous river fords which are sometimes not accessible during the rainy season.

#### Methods and data

Consequences of an OLD eruption the OLD are ash fallout, lava flows, ballistic projections, gas, lahars and debris avalanches, with direct and indirect effects. All these hazards are not necessarily synchronous with the eruptive crisis. They have intrinsic characteristics, controlled by other factors such as rainfall, topography, gravity and earthquakes. They can then manifest themselves on temporalities that go beyond the eruptive crisis. We have chosen to evaluate 4 of the most frequent and intense hazards in the OLD area. The plurality of methods is justified by the scarcity of available data.

#### Ash fallout hazard

The analysis of ash fallout and deposit thickness were done using data from the 2008 eruption (fig. 3), geomorphological and petrographic analysis and the use of a numerical model. The maximum probabilistic scenarios were produced with the Tephra 2 model (fig. 4), which is a physical (VHASS: <https://ccop-geoinfo.org/vhazard/HazardAssessment>), webGIS-based, open-access, online model that simulates ash fallout dispersion and deposit thickness (Bonadonna *et al.*, 2005; Connor and Connor, 2006).

The 2007-2008 eruption represented our standard hazard. Data such as the estimated plume height of 15,000 m and the mass of the eruption around  $2.10^7 \text{ m}^3$  (Kervyn *et al.*, 2010). The granulometric data come from ash sampling on the flanks of the OLD during our field campaign in January 2020 (photo 4).

Our granulometric analyses by sieving (4 mm - 64 microns) provided information on the maximum ( $\phi$ ) and minimum ( $\phi$ ) grain size, the median grain size ( $\phi$ ) and the standard deviation ( $\phi$ ). The meteorological parameters (wind and average speeds) were obtained from the Tanzania Meteorology Agency data. The ASTER GDEM digital terrain model at 30 m resolution provided a sufficiently fine topography for mapping ash fallout. Using Tephra 2, we generated 6 probabilistic scenarios:



Fig. 3 - Dispersion of Lengai ashes during the 2007-2008 eruption.

Fig. 3 - Dispersão das cinzas do Lengai durante a erupção 2007-2008.



Fig. 4 - Example of the Tephra 2 interface and the data to be input in the model.

Fig. 4 - Exemplo da interface Tephra 2 e dos dados a introduzir no modelo.

a standard eruptive scenario (analogous to 2007-2008), then increased to 25% and 50%, with dominant E--S-E winds and without dominant winds.

### Pyroclastic flows (lahars)

The lahar hazard was characterised using topomorphological and sedimentary data. The overlay of the Sentinel (03 February 2019 in true colour composition, 10m resolution) and Landsat (04 June 2009 in true colour composition, 30m resolution) scenes highlights the most active flow axes between 2009 and 2019. The W-SW flank of the Lengai and a large part of the Lengai plain are concerned (fig. 5).

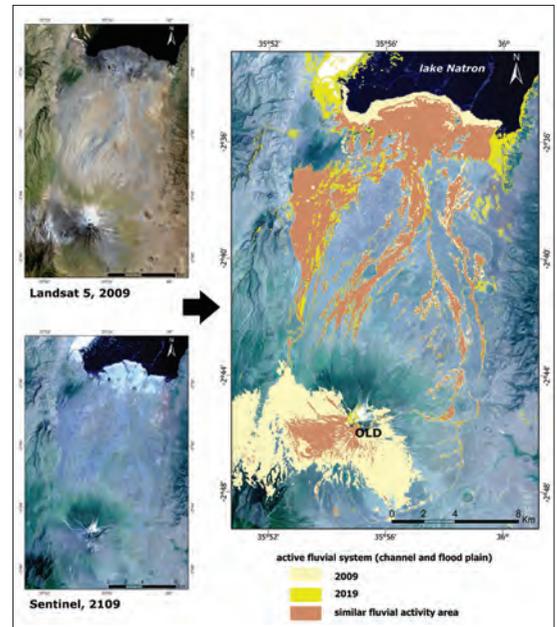


Fig. 5 - Use of satellite images from 2009 and 2019 to spatialise the most active rivers (conception: T. Rey and J-P Cherel, 2021).

Fig. 5 - Utilização de imagens de satélite de 2009 e 2019 para espacializar os rios mais ativos (concepção: T. Rey and J-P Cherel, 2021).



Photo 4 - Sampling of volcanic ash, situation in January 2020 (Photography by T. Rey, 2020).

Fot. 4 - Amostragem de cinzas vulcânicas, situação em janeiro 2020 (Fotografia de T. Rey, 2020).

With the Flow Order tool in ArcGis, we generated the catchment areas and hierarchised the hydrographic network according to Strahler's method. The sometimes inaccurate or incomplete data required a manual verification of the hydrographic network (fig. 6). We then extracted data on the shape, area, slope and density of drainage (TABLE I). In the absence of measuring instruments and video recordings of lahars (and floods) in this area, we used the Manning-Strickler formula to estimate the flows and flow velocities. This approach combines field data with mathematical calculations, is an interesting solution for extrapolating hydrological dynamics during high-energy events (Rey *et al.*, 2017). The data needed for the calculations were taken from topometric measurements made in the main talwegs during the January 2020.



Fig. 6 - Mapping of the hydrographic network for each catchment area (Conception: M. Gherardi, 2021).

Fig. 6 - Mapeamento da rede hidrográfica para cada bacia hidrográfica (Concepção: M. Gherardi, 2021).

TABLE I - Main characteristics of the catchment areas

TABELA I - Principais características das bacias hidrográficas.

| Code Basins | Area km <sup>2</sup> | Index of compacity | Drainage density | Channel slope [m/km] |
|-------------|----------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| 1           | 25                   | 1,96               | 2,84             | 12,9                 |
| 2           | 34                   | 2,26               | 2,76             | 50,1                 |
| 3           | 77                   | 2,55               | 2,31             | 60,1                 |
| 4           | 83                   | 2,06               | 2,77             | 41,7                 |
| 5           | 85                   | 1,34               | 2,74             | 51,6                 |
| 6           | 15                   | 1,95               | 2,47             | 68,7                 |
| 7           | 510                  | 1,74               | 2,98             | 32                   |
| 8           | 109                  | 2,55               | 2,64             | 55,1                 |
| 9           | 328                  | 1,95               | 2,93             | 31                   |
| 10          | 16                   | 1,33               | 2,69             | 42,7                 |
| 11          | 16                   | 1,82               | 2,88             | 94,7                 |
| 12          | 18                   | 1,65               | 2,61             | 7,7                  |

Lava flows hazard

The characterisation of lava flow hazard was based on the study of 72 reports between 01/1983 and 09/2020 (<https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=222120>) and the work of Kervyn *et al.* (2008). We built up a database on the signs of volcanic activity of the OLD: lava flows (width, length, direction), evolution of hornitos, fractures on the cone, fumaroles, ash plume (TABLE II). The data made it possible to qualify the preferential directions of the lava flows (fig. 7). The mapping of the lava flow hazard is also based on old flows identified by Sherrod *et al.* (2013).

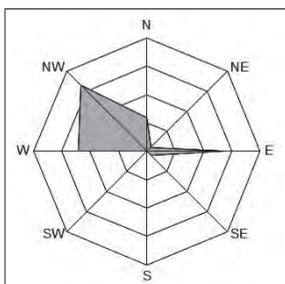


Fig. 7 - Graph representing the preferential directions of lava flows between 1983 and 2020 (conception: T. Rey, 2021).

Fig. 7 - Representação gráfica das direcções preferenciais dos fluxos de lava entre 1983 e 2020 (concepção: T. Rey, 2021).

TABLE II - Characteristics of lava flows and size of crater breaches between 1983 and 2020.

TABELA II - Características dos fluxos de lava e dimensão das quebras de crateras entre 1983 e 2020.

| Lava direction | Number of events | Crater opening width (m) | Frequencie (%) |
|----------------|------------------|--------------------------|----------------|
| NE             | 1                | 2                        | 10             |
| N              | 6                | 12                       | 60             |
| NW             | 17               | 33                       | 150            |
| E              | 14               | 27                       | 90             |
| W              | 12               | 24                       | 23             |
| SE             | 1                | 2                        | 0              |

Debris avalanches hazard

Four debris avalanches have been identified by Keller and Klaudius (2003): the largest event (4.9 km<sup>3</sup>) named Zebra is dated around 10,000 years BP, the most recent Cheetah (0.2 km<sup>3</sup>) around 2700 years BP (Klaudius and Keller 2006), and between these two events there is Orix (0.1 km<sup>3</sup>) which is undated and a fourth debris avalanche identified on the shore of Lake Natron and dated at 793 ± 63 ka (Sherrod *et al.*, 2013). All of these events correspond to flank collapses of the OLD (fig. 8). The mapping of this hazard is therefore based on geomorphological legacies (TABLE III), the energy line method (Hung *et al.*, 2005) and recent geomorphological data acquired during the January 2020 field investigation.

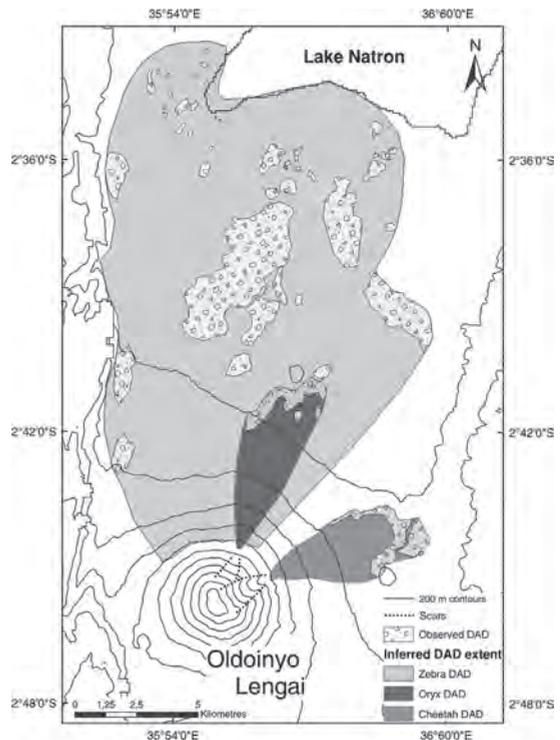


Fig. 8 - Representation of the four debris avalanches (Source: Kervyn *et al.*, 2008).

Fig. 8 - Representação das quatro avalanches de destroços (Fonte: Kervyn *et al.*, 2008).

TABLE III - Characteristics of debris avalanches.

TABLE III - Características das avalanches de detritos.

| Name of DAD | Area (km <sup>2</sup> ) | Volume (km <sup>3</sup> ) | H/L*  |
|-------------|-------------------------|---------------------------|-------|
| Zebra       | 197,4                   | 4,9                       | 0,108 |
| Oryx        | 12,4                    | 0,1                       | 0,223 |
| Cheetah     | 11,5                    | 0,2                       | 0,229 |
| Kerimasi    | 33,1                    | 1,0                       | 0,120 |

H - Height of slope;  
L - Run out distance between crown and maximum landslide extension

Source: modified from Kervyn *et al.*, 2008  
Fonte: adaptado de Kervyn *et al.*, 2008.

**Results**

All scenarios are based on activity focused on the current Oldoinyo Lengai crater (fig. 9).

*Ash fallout*

The results for the “no wind scenarios” highlight two distinct situations. For the scenario equivalent to the 2006 eruption, the model shows a rather radio-concentric dispersion. The maximum thickness of the deposits is estimated at 95 and 98 cm for all the three scenarios.

These data are in accordance with the observations made by Schutter *et al.* (2015) who measured ash and lapilli deposits from the 2007 eruption at around 80 cm. What allowed us to have realistic data was the integration of the granulometric parameters. Indeed, even with a significant increase in the eruption mass the scattering of ashes is relatively limited due to the coarse size of the ashes. According to the concentric model, the ash can extend more than 20 km. Engaruka and Engare Sero (more than 13,000 inhabitants) appear to be the most exposed to this hazard.

The results for the “scenarios with dominant E–S-E winds” show a dispersion of ashes towards the rift. The maximum thickness is estimated at 56 cm and 710 cm, and is limited to the sides of the volcano. In accordance with the 2007 eruption data, the coarser volcanic materials accumulate on the slopes of the volcano and the finer materials are dispersed by the winds over 30 km, depositing on the rift plateau to the west and on the villages located further north such as Engare Sero. In the 25% and 50% scenario, the ash could be deposited more than 40 and 55 km from the crater. Therefore, in a maximum probability scenario, we estimate the danger zone to be 55 km from the crater.

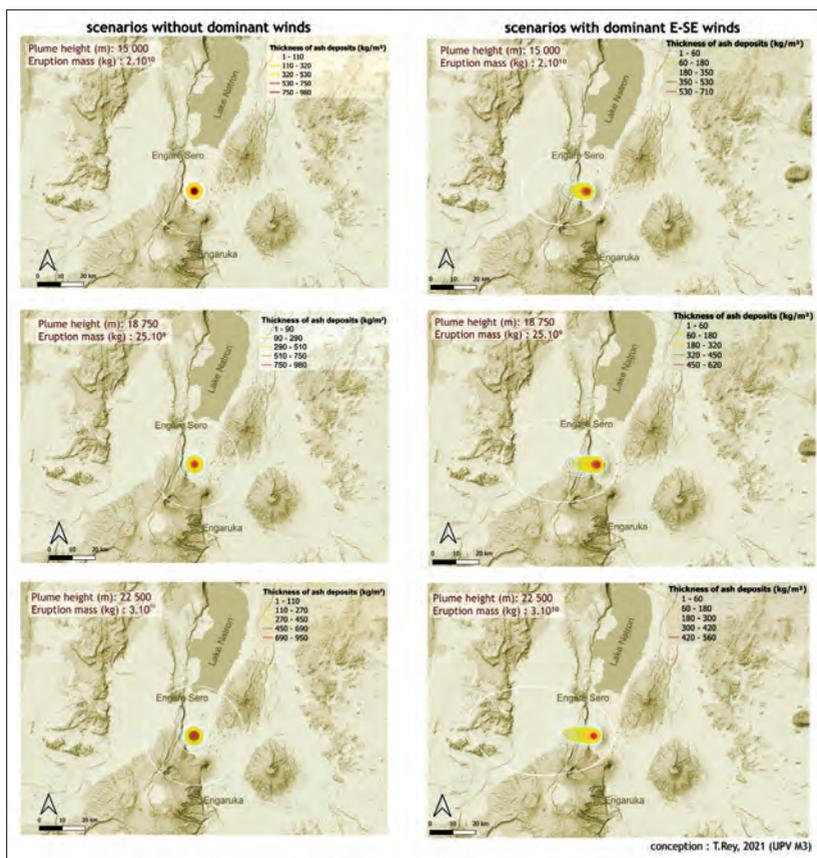


Fig. 9 - Representation of 6 likely scenarios using Tephra 2: represented are the ash dispersion and the thickness of the deposits, with easterly winds and without prevailing winds (Conception: T. Rey, 2021).

Fig. 9 - Representação de 6 cenários probabilísticos utilizando Tephra 2: está representada a dispersão de cinzas e a espessura dos depósitos, com ventos de leste e sem ventos dominantes (Concepção: T. Rey, 2021).

The ashes can therefore spread up to more than 30 km (taking into account the last eruption of 2007-2008 and probably even further if we consider that ashes of the OLD making up the “Namorod Ash” formation were trapped in the Olduvai Gorge (LeRoy Hay, 1976), located 70 km from the OLD! The fact is that the diffusion of the ash depends on multiple factors such as the granulometry of the pyroclastic materials, wind direction and speed, the total volume of the eruption and the height of the plume.

The qualification of the hazard levels is in progress with the choice of critical threshold (thickness of deposit). Being in an agro-pastoral zone, it will be necessary to establish a threshold at which the ash deposits no longer allow livestock to be fed. For example, a threshold of 3-5 cm would be sufficient to kill the surface vegetation. But seeds and roots are preserved in the soil and can lead to vegetation establishment quickly after the end of the eruption (Shutter *et al.*, 2015). For buildings, we can incorporate thresholds to qualify the level of risk of roof collapse, such as a 10 cm threshold for dry ash (Blond, 1984).

#### Pyroclastic flows hazard (lahars)

On the slopes of the volcano and on the Lengai plain, the current hydro-geomorphological processes are clearly visible. They are the result of sedimentation and ablation processes.

Our topomorphological data from 3 rivers in the plain underline that velocities and flows can exceed 4m/s and 210 m<sup>3</sup>/s and probably more in some talwegs that could not be measured due to lack of time. The bed load composed of relatively fine pyroclastic materials, and some large multi-decimeteric blocks (photo 5). In the same talweg (photo 6) we highlights the formation of the Lengai plain. It underlines the succession of flood deposits which participate in the aggradation of the plain (here ~2 meters). The lithofacies (thickness, size, sorting) reflect the hydrological variability of rivers, with periods more intense than others.



Photo 5 - Pyroclastic sediments observed at the bottom of the river, January 2020 (Photography by T. Rey, 2021).

Fot. 5 - Pyroclastic sediments observed on the river bed, January 2020 (Fotografia de T. Rey, 2021).



Photo 6 - Observation of numerous flood sequences (and lahars) involved in the aggradation of the plain, January 2020 (Photography by T. Rey, 2021).

Fot. 6 - Observação de numerosas sequências de inundações (e lahares) que participam na aggradação da planície (Fotografia de T. Rey, 2021).

A geochronological analysis of river formations should make it possible to better identify these periods marked by active hydrodynamics and their temporal recurrence.

The lahar hazard is very high on all the sides of the volcano. We have observed on the slopes of the Lengai a large quantity of mobilisable tephras (observation 2020), which due to the steep slopes (36% to 50% between 1600 and 2960 m) and the numerous talwegs are likely to be transported to the plain. In the plain, the lahar hazard is also very high in the main rivers. The lahar hazard is moderate to low in the areas adjacent to the main talwegs and in the river-lake delta (fig. 10).

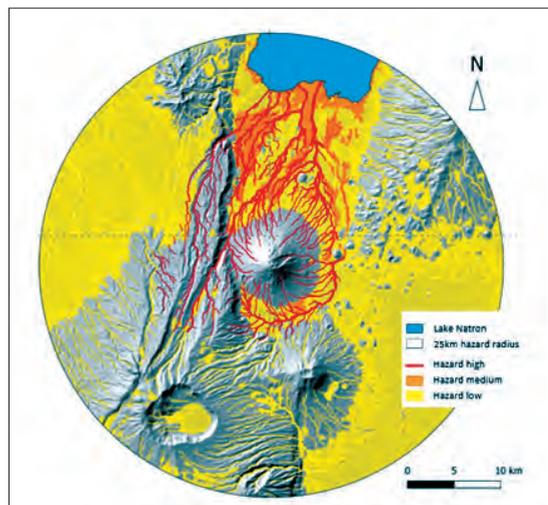


Fig 10 - Lahars Hazard Mapping (conception: F. Leone).

Fig 10 - Mapeamento da severidade dos processos de Lahars (concepção: F. Leone).

We continue the analysis of lahars using the LaharZ model (Iverson *et al.*, 1998) and our 6 diffusion and ash thickness scenarios (Tephra2 scenarios). The comparison of models and field data will make it possible to improve the spatial representation of this hazard.

#### Lava flows hazard

Our approach has made it possible to qualify two levels of hazard, a high and a moderate hazard. This distinction is based on the one hand, on the lava flows mapped by Sherrod *et al.* (2013) and, on the other hand, it is based on the analysis of the recurrence of flows between 1980 and 2020.

2/3 of the volcano's surface is in a high hazard zone, 1/3 in a moderate hazard zone. This situation can be explained above all by the location of the breaches at the rim of the crater and the evolution of the fractures on the flanks. The low hazard zone is delimited at the foot of the volcano (fig. 11).

Deep talwegs and steep slopes play a major role in channelling lava flows. By example, the last large lava flow from the volcano flowed in a deep channel on a W-NW axis for more than 3 km and three smaller flows located to the north (length: 70 m), to the NW (length: 150 m), to the east (length: 90) from the crater.

#### Debris avalanche hazard

Four debris avalanches have been identified in the OLD area. Three debris avalanches were triggered on the northern flank. The deposits of the most energetic phenomenon were observed nearly 20 km from the present crater (Keller and Klaudius, 2003). The fourth

debris avalanche was triggered on the eastern flank and propagated towards the E-N-E.

According to Kervyn (2008), the collapses occurred mainly at right angles to a dyke which would have generated underlying instability and fragility. The configuration of the internal faults or the geometry of the internal structures may have controlled the orientation of the collapses. In addition, we can also point out that the slopes of the northern flank are more unstable and subject to gravitational movements due to the very steep slopes and the less resistant and more unconsolidated pyroclastic materials (Nepheline) compared to those of the southern flank (Phonolite). The delimitation of the low hazard zone is based on the characteristics of the *Karimasi* and *Zebra* debris avalanches (extension and energy), the moderate hazard zone on the *Oryx* debris avalanche (fig. 12). Concerning the high hazard, we have chosen to represent it following our recent geomorphological observations. Indeed, the western flank presents numerous zones of instability with long and wide fractures in the proximity of the crater (photo 7). We have established a "high hazard" zoning for this probable debris avalanches, which is based on energy analogous to the *Orix* and *Cheetah* debris avalanches.

The debris avalanche scenarios do not take into account possible tsunamis on Lake Natron that could be generated by the instability of the northern flank of the OLD, nor do they take into account the possibility of the river being blocked by a debris avalanche from a gravitational movement on the western flank, a situation that would have already occurred during the Cheetah event from the E-NE flank to the Kerimasi and Gelai volcanoes (Klaudius and Keller 2006).

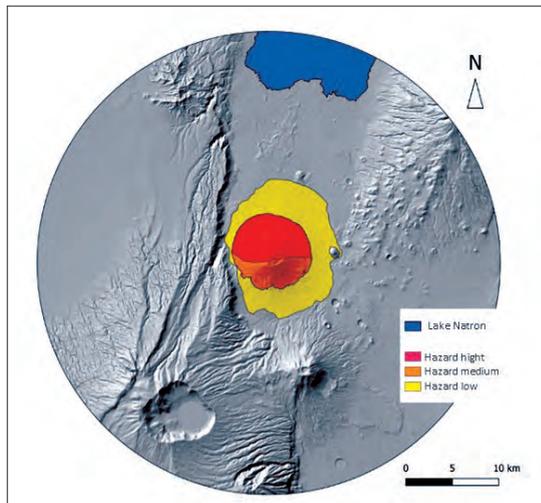


Fig. 11 - Lava flow Hazard Mapping  
(conception: F. Leone).

Fig. 11 - Mapeamento da severidade do fluxo de lava  
(concepção: F. Leone).

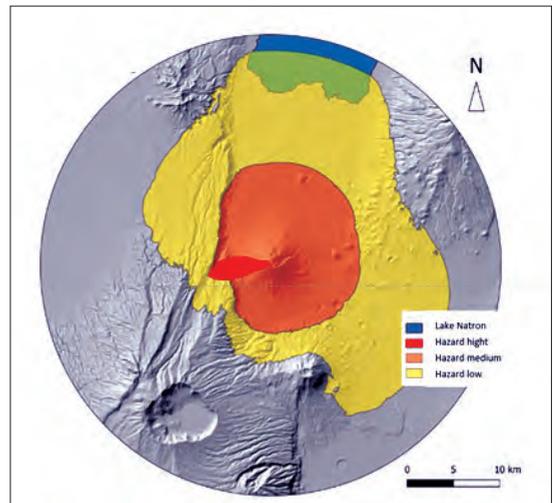


Fig. 12 - Debris avalanche hazard Mapping  
(conception: F. Leone and T. Rey, 2021).

Fig. 12 - Mapeamento do risco de avalanche de detritos  
(concepção: F. Leone and T. Rey, 2021).



Photo 7 - Fractures along the western flank of the Ol Doinyo Lengai. Observations January 2020 (Photography by T. Rey)

Fot. 7 - Fracturas ao longo do flanco ocidental do Ol Doinyo Lengai. Observações em janeiro de 2020 (Fotografia de T. Rey).

## Discussion

The results underline the volcanic threats that affect the populations in this area. The methods chosen alternate between field data, historical and bibliographical data, and modelling. These choices have been oriented to compensate for the insufficiency or absence of data. The results thus have limitations, but these cannot hide the singularity and originality of the results. These have made it possible to produce the first maps of volcanic hazards in the OLD space.

The scarcity of data is a problem encountered by other researchers in many territories, hence the need to adapt methods (Maharani *et al.*, 2016; Selva *et al.*, 2019). The combination of probabilistic and deterministic approaches makes sense and appears to be an interesting and accessible solution for states with insufficient human and logistical resources. The mapping of volcanic threats is essential for the prevention, protection and evacuation of people at risk. It is part of the volcanic risk dimension, where strategies make it possible to reduce the impact of future disasters, particularly for economically vulnerable and fragile communities.

A second point that needs to be emphasised is the temporality of the threats. The 4 volcanic hazards analysed in this article are not all synchronous with the eruptive crisis and can occur over very different temporalities.

Lahars can occur during the eruptive crisis or later after the eruption (De Belizal *et al.*, 2013), with a recurrence of lahars over several years such as Pinatubo (Crittenden and Rodolfo, 2002) or Merapi (Bignami *et al.*, 2013; Jenkins *et al.*, 2013; Wibowo *et al.*, 2015). In the OLD area, in each rainy season, (i.e. during the months of May, October, November and December, lahars

can be triggered. On the sides of the volcano, the ash and lava deposits are easily moved, while the thin lava can also be mobilised after mechanical fragmentation. The plain is mainly characterised by the transport and deposition of fine materials (gravel and sand). The deposits are the result of erosion processes on the sides of the volcano and in the reworking of the alluvial sediments by incision of the beds and banks. However, in the absence of information on the flows, absence of videos and testimonies, we cannot be more precise in the kinematics of the flows.

The probability of debris avalanches is more reduced: four known phenomena in almost 800,000 years. Their triggering is due to internal factors (earthquakes) and exogenous factors (rainfall, slope and crater instability) that are difficult to measure (Meunier *et al.*, 2008; Miyabuchi *et al.*, 2015). Nevertheless, certain wide and deep fractures that can be observed on the steepest slopes of the volcano (above 40°) can help us to map areas marked by active instability. It is also known that the lava covering the unconsolidated pyroclastics favours instability of the flanks.

The fall of ashes and lava flow have a temporality that follows the eruption. However, the impacts of ash fallout can occur over longer periods of time, extend beyond the Lengai area and rapidly cause a series of local and regional damages: damage to housing, ash-covered roads reducing or blocking access, diversion of air traffic and reduction in tourist flows, respiratory difficulties for humans and animals, ingestion of ash by livestock, burnt crops, and depending on the composition of the ash (Ph, acidity, minerals), sometimes lasting pollution of the soil and fresh water (Witham *et al.*, 2005; Horwell and Baxter, 2006). For example, the last eruptive crisis required the displacement of 5,000 and 7,000 people. In Engare Sero

and Engaruka-Ngwesuku, people were displaced for more than 10 months (NEMC, 2008). NGOs and the Red Cross provided food aid to nearly 36,000 people (Msami, 2007). In Lesele, ashes prevented families from returning to their bomass, which was abandoned (Courtesy of J. Keller and J. Klaudius in <https://volcano.si.edu>). In addition, fluorine concentrations posed a threat to the water supply for livestock and local people (De Schutter *et al.*, 2015; Bosshard-Stadline *et al.*, 2017). Livestock keepers then had to move their livestock to find healthy pastures and unpolluted water. For thicker ash coverage, the formation of a new soil layer is required to establish new plants, leading to a much longer recovery period. Humans are also exposed to fluoride, and over the years they report diseases such as rachitis.

### Conclusion

Although the volcanic hazards in Lengai are real, the scientific literature on their quantification is scarce and relatively poor, even in the presence of a relatively rich literature on the geology of space. –This situation did not provide a solid basis for the quantification of risks in the future. To fill this gap and prepare the ground for future quantification of volcanic risk, we proposed scenarios for four volcanic hazards. The scenarios were developed using a deterministic and probabilistic approach. These approaches need to be developed further, for example through the acquisition of a high-resolution DTM to better define the kinematics of lava flows and lahars, and to establish a geochronological framework for the sequences of lahars and debris avalanches that have been identified but not dated. In order to establish multi-risk maps, we continue our assessment of socio-economic issues and their vulnerability to volcanic threats. An analysis of the accessibility and vulnerability of road networks is also conducted in the framework of evacuation scenarios (during the rainy and dry seasons). An analysis of the perception of the Maasai communities living around the volcano is also underway in order to identify the complex relationships that exist between the Lengai God's abode volcano and the Maasai. In the end, we will be able to propose volcanic risk management strategies adapted to the local context.

### Acknowledgments

The authors would like to thank all the team members of TANZARISQUES Project for their contribution to this article: Christel Tibéri, Stéphanie Gautier and Adeline Clutier (UMR Geosciences-University of Montpellier), Thomas Candela and Jean-Philippe Cherel (UR LAGAM-University Paul Valéry), Cécile Jouhannau (UMR Art Dev-University Paul Valéry). We thanks Michael Msaibi (University of Dodoma) and Fredrick Mangasini (University of Dar es Salaam) for their help in the field studies and

logistical support and the Tanzania Commission for Science and Technology (COSTECH). We are grateful to the maasai community for their welcome and support. This work was supported by National Center for Scientific Research (CNRS) and French public research institution for Sustainable Development (IRD) in the framework of the projects "Risques".

### Bibliography

- Agwanda, A., Haidari Amani, H. (2014). *Population growth, structure and momentum in Tanzania*, THDR 2014: Background Paper No. 7, ESRF Discussion Paper 61, 84 p.
- Albaric, J., Perrot, J., Dévèrchère, J., Deschamps, A., Le Gall, B., Ferdinand, R., Petit, C., Tiberi, C., Sue, C., Songo, M. (2010). Contrasted seismogenic and rheological behaviours from shallow and deep earthquake sequences in the north Tanzanian divergence, East Africa, *J. Afr. Earth Sci.*, 58(5):799–811.
- Baxter, P. J., Horwell, C. J., (2015). Impacts of Eruptions on Human Health. Editor(s): Haraldur Sigurdsson, *The Encyclopedia of Volcanoes* (Second Edition), Academic Press, Chapter 60, 1035-1047, ISBN 9780123859389.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00060-2>
- Bell, K., Kjarsgaard, B. A., Simonetti, A. (1998). Carbonatites – Into the twenty-first century, *J. Petrol.*, 39(11–12): 1839–1845.
- Bignami, C., Ruch, J., Chini, M., Neri, M., Buongiorno, M. F., Hidayati, S. (2013). Pyroclastic density current volume estimation after the 2010 Merapi volcano eruption using X-band SAR, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 261, 236–243.  
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.03.023>
- Blong, R. J. (1984). *Volcanic hazards: a sourcebook on the effects of eruptions*. Academic, Australia, Sydney, 424 p.
- Bonadonna, C., Houghton, B.F. (2005). Total grain-size distribution and volume of tephra-fall deposits, *Bull. Volcanol.*, 67:441–456.  
DOI: <http://doi.org/10.1007/s00445-004-0386-2>
- Bosshard-Stadlin, S.A., Mattssona, H., Stewart, C, Reusser E. (2017). Leaching of lava and tephra from the Oldoinyo Lengai volcano (Tanzania): Remobilization of fluorine and other potentially toxic elements into surface waters of the Gregory Rift, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 332, 14–25.
- Connor, L. J, Connor, C. B. (2006). Inversion is the key to dispersion: understanding eruption dynamics by inverting tephra fallout. *In: Statistics in volcanology*, Sp Pub IAVCIE No 1. Edited by: Mader, H.M., Coles, S. G., Connor, C. B., Connor, L. J., London, Geological Society.

- Connor, C., Bebbington, M., Marzocchi W. (2015). Chapter 51 - Probabilistic Volcanic Hazard Assessment. *The Encyclopedia of Volcanoes* (Second Edition), 897-910.
- Crittenden, K. S., Rodolfo, K. S. (2002). *Bacolor Town and Pinatubo Volcano, Philippines: Coping with Recurrent Lahar Disaster*, The Archaeology of Natural Disasters, Torrence, R., Grattan, J. eds. One World Archaeology Series, Routledge, London.
- Dawson, J. B. (1998). Peralkaline nephelinite–natrocarbonatite relationships at Oldoinyo Lengai, Tanzania. *J. Petrol.*, 39(11–12), 2077–2094.
- Dawson, J. B., Pinkerton, H., Norton, G. E., Pyle, D. M., Browning, P., Jackson, D., Fallick, A. E. (1995). Petrology and geochemistry of Oldoinyo Lengai lavas extruded in November 1988: magma source, ascent and crystallization. In: Bell, K., Keller, J. (eds) *Carbonatite Volcanism of Oldoinyo Lengai and Petrogenesis of Natrocarbonatite*. Springer, Berlin, 47–69.
- De Bézizal, É., Lavigne, F., Hadmoko, D.S., Degeai, J.-P., Dipayana, G.A., Mutaqin, B.W, Marfai, M.A., Coquet, M., Le Mauff, B., Robin, A.K., Vidal, C., Cholik, N., Aisyah, N. (2013). Rain-triggered lahars following the 2010 eruption of Merapi volcano, Indonesia: A major risk, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 261, 330-347.
- De Schutter, A., Kervyn, M., Canters, F., Bosshard-Stadlin, S.A, Songo, M.A and Mattsson, H.B. (2015). Ash fall impact on vegetation: a remote sensing approach of the Oldoinyo Lengai 2007-08 eruption, *Journal of Applied Volcanology*, 34:15.  
DOI: <http://doi.org/10.1186/s13617-015-0032-z>
- Favalli, M., Tarquini, S., Fornaciari, A. (2011). DOWNFLOW code and LIDAR technology for lava flow analysis and hazard assessment at Mount Etna, *Annals of geophysics*, 54. 552-566.  
DOI: <http://doi.org/10.4401/ag-5339>
- Felpeto, A., Martí, J., Ortiz, R. (2007). Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment, *J. 444 Volcanol. Geoth. Res.*, 166, 106-116.  
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.07.008>
- Homewood De K. M., Rodgers W.A. (1991). *Maasailand Eco-loastoralist Development and Wildlife Conservation in Ngorongoro, Tanzania*. Cambridge University Press, 304 p.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511525568>
- Horwell, C. J., Baxter, P. J., (2006). The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bull. Volcanol.* 69, 1-24.
- Hungr, O., Corominas, J., Eberhardt, E. (2005). Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity. In *Landslide risk management*. Edited by O. Hungr, R. Fell, R. Couture, and E. Eberhardt. Balkema, Rotterdam, 99-128.
- Iverson, R. M., Schilling, S. P., Vallance, J. W. (1998): Objective de-lineation of lahar-inundation hazard zones, *GSA Bulletin*, 110, 8, 972-984.
- Jenkins, S., Komorowski, J.-C., Baxter, P.J., Spence, R., Picquout, A., Lavigne, F., Surono, (2013). The Merapi 2010 eruption: an interdisciplinary impact assessment methodology for studying pyroclastic density current dynamics, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 261, 316-329.
- Keller, J. (2002). *Cone collapses, flank stability and hazards at Oldoinyo Lengai, Tanzania*. IAVCEI International Congress Explosive volcanism in subduction zones, Martinique 2002, Abstract volume, Montagne Pelée 1902-2002, 68 p.
- Keller, J., Klaudius, J., Kervyn, M., Ernst, G., Mattsson, H. (2010). Fundamental changes in the activity of the natrocarbonatite volcano Oldoinyo Lengai, Tanzania. I. New magma composition during the 2007-2008 explosive eruptions, *Bull. Volcanol.* 72 (8), 893-912.
- Kervyn, M, Ernst, G. G. J., Keller, J., Vaughan R. G., Klaudius J, Pradal, E., Belton, F., Mattsson H. B, Mbede, E., Jacobs, P. (2010). Fundamental changes in the activity of the natrocarbonatite volcano Oldoinyo Lengai, Tanzania: II. Eruptive behaviour during the 2007-2008 explosive eruptions, *Bull. Volcanol.* 72; 913-931.
- Kervyn, M., Ernst, G. G. J., Klaudius, J., Keller, J., Kervyn, F., Mattsson, H. B., Betlon, F., Mbede, E., Jacobs, P. (2008a). Voluminous lava flows at Oldoinyo Lengai in 2006: Chronology of events and insights into the shallow magmatic system of a natrocarbonatite volcano, *Bull. Volcanol* 70, 1069-1086.
- Kervyn, M., Klaudius J., Keller J., Mbede E., Jacobs P., Ernst, G. G. J. (2008b). Remote sensing study of sector collapses and debris avalanche deposits at Oldoinyo Lengai and Kerimasi volcanoes, Tanzania, *Int. J. Rem. Sens.*, 29, 6565-6595.
- Klaudius, J., Keller, J. (2006). Peralkaline silicate lavas at Oldoinyo Lengai, Tanzania, *Lithos* 91 (1-4), 173-190.
- Lee, H., Muirhead, J., Fischer T., Ebinger, C., Kattenhorn, S., Sharp, D., Kianji, G. (2016). Massive and prolonged deep carbon emissions associated with continental rifting, *Nature Geoscience*.  
DOI: <http://doi.org/10.1038/ngeo2622>
- Leone, F., Lesales, T. (2009). The interest of cartography for a better perception and management of volcanic risk: From scientific to social representations, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.186, 186-194.
- Maharani Y. N., Lee S., Ki S. J. (2016). Social vulnerability at a local level around the Merapi volcano, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 20, 63-77, ISSN 2212-4209.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.10.012>

- Mattsson, H.B., Reusser, E. (2010). Mineralogical and geochemical characterization of ashes from an early phase of the explosive September 2007 eruption of Oldoinyo Lengai (Tanzania), *Journal of African Earth Sciences*, 58 (5), 752-763.
- Mattsson, H., Balashova, A., Almqvist, B., Stadlin (Bosshard), S., Weidendorfer, Daniel. (2018). Magnetic mineralogy and rock magnetic properties of silicate and carbonatite rocks from Oldoinyo Lengai volcano (Tanzania), *Journal of African Earth Sciences* 142, 193-206.
- Mikova, K.D., Makupa, E.E., Changa, L. (2016). Short-term Prediction of Water Discharges in Ruvu River. *Journal of the Social Sciences*, p. 21.
- Ministry of Natural Resources and Tourism (MNRT). *The 2016 International Visitors' Exit*, Survey Report, 2017.
- Mitchell, R.H., Dawson, J.B. (2007). The 24th September 2007 ash eruption of the carbonatite volcano Oldoinyo Lengai, Tanzania: mineralogy of the ash and implications for formation of a new hybrid magma type, *Mineral. Mag.* 71, 483-492.
- Miyabuchi, Y., Maeno F., Nakada S. (2015). The October 16, 2013 rainfall-induced landslides and associated lahars at Izu Oshima Volcano, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 302, 242-256.
- Msami, A. (2007). The effects of the Oldoinyo Lengai volcanic eruption - What do we need to do?. Pastoralists Indigenous Non Governmental Organizations forum.
- NEMC (2008). *Rapid assessment of environmental impact arising from volcanic eruption at Oldoinyo Lengai, Tanzania*. Internal Report of the National Environment Management Council. National Environment Management Council.
- Neri, M., Le Cozannet, G., Thierry, P., Bignami, C., Ruch, J., (2013). A method for multi-hazard mapping in poorly known volcanic areas: an example from Kanlaon (Philippines), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 13, n°8, 1929-1943.  
DOI: <http://doi.org/10.5194/nhess-13-1929-2013>
- Newhall, C., Hoblitt R.P. (2002). Constructing event trees for volcanic crises, *Bulletin of Volcanology*. 64. 3-20. DOI: <http://doi.org/10.1007/s004450100173>
- Pyle, D.M., Pinkerton, H., Norton, G.E., Dawson, J.B. (1995). *The dynamics of degassing at Oldoinyo Lengai*. In: Carbonatite Volcanism: Oldoinyo Lengai and the Petrogenesis of Natrocarbonatites, Bell., K., Keller, J. (Eds), 37-46 (Berlin: Springer-Verlag).
- Rey, T., Le Dé L., Leone, F., David, G., 2017. An integrative approach to understand vulnerability and resilience post-disaster: the 2015 cyclone Pam in urban Vanuatu as case study, *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, Vol. 26, issue 3, 259-275.
- Selva, J., Acocella, V., Bisson, M. (2019). Multiple natural hazards at volcanic islands: a review for the Ischia volcano (Italy), *J. Appl. Volcanol.*, 8, 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13617-019-0086-4>
- Sherrod, D. R., Magigita, M. M. Kwelwa, S. (2013). Geologic map of Oldoinyo Lengai (Oldoinyo Lengai) and surroundings, Arusha Region, United Republic of Tanzania. U.S. Geological Survey Open-File Report 2013-1306, pamphlet 65 p., scale 1:50,000.
- Stamps D. S., Saria, E., Ji, K. H., Jones, J. R., Ntambila, D., Daniels, M. D., Mencin, D. (2016). Real-time data from the Tanzania Volcano Observatory at the Ol Doinyo Lengai volcano in Tanzania (TZVOLCANO), *Journal of Open Science Software*.  
DOI: <http://doi.org/10.5065fd6p849bm>
- Takarada, S. (2017). The Volcanic Hazards Assessment Support System for the Online Hazard Assessment and Risk Mitigation of Quaternary Volcanoes in the World, *Frontiers in Earth Science*, 5.  
DOI: <http://doi.org/10.3389/feart.2017.00102>
- Thouret, J.-C., Lavigne, F., Kelfoun, K., Bronto, S. (2000). Toward a revised hazard assessment at Merapi volcano, Central Java, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, 479-502.
- United Nation World Tourism Organization (2017). World Tourism Barometer; Volume 13, January 2017.
- Vaughan, R.G, Kervyn, M., Realmuto, V., Abrams, M., Hook, S.J. (2008). Satellite measurements of recent volcanic activity at Oldoinyo Lengai, Tanzania, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 173:196-206.
- Weinstein, A., Oliva, S. J., Ebinger, C. J., Roecker, S., Tiberi, C. (2017). Fault-magma interactions during early continental rifting: Seismicity of the Magadi-Natron-Manyara basins, Africa, *Geo-chemistry, Geophysics, Geosystems, AGU and the Geochemical Society*, 18 (10), 3662-3686.  
DOI: <http://doi.org/10.1002/2017GC007027>
- Wibowo, S.B., Lavigne, F., Mourot, P., Métaixian, J-P., Zeghdoudi, M., Virmoux C., Sukatja C.B, Hadmoko D.S., Mutaqin B.W. (2015). Coupling between Video and Seismic Data Analysis for the Study of Lahar Dynamics at Merapi Volcano, Indonesia. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 21(3): 251-266.
- Witham, C.S., Oppenheimer, C., Horwell, C.J., (2005). Volcanic ashleachates: a review and recommendations for sampling methods, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 141, 299-326.
- Zaitsev, A.N., Keller, J., (2006). Mineralogical and chemical transformation of Oldoinyo Lengai natrocarbonatites, Tanzania. *Lithos* 91 (1-4), 191-207.

(Página deixada propositadamente em branco)



RISCOS



SEISMIC RESPONSE ANALYSIS FOR ROMANIAN EXTRA-CARPATHIAN SEDIMENTARY AREAS\*

ANÁLISE DA RESPOSTA SÍSMICA EM ÁREAS SEDIMENTÁRIAS EXTRA-CARPATIAS ROMENAS

83

Gheorghe Marmureanu

National Institute for Earth Physics, Department of Research (Romania)

ORCID 0000-0002-3928-9943 [marmur@infp.ro](mailto:marmur@infp.ro)

Carmen Ortanza Cioflan

National Institute for Earth Physics, Department of Research (Romania)

ORCID 0000-0001-8430-0075 [cioflan@infp.ro](mailto:cioflan@infp.ro)

Bogdan Felix Apostol

National Institute for Earth Physics, Department of Research (Romania)

ORCID 0000-0002-9990-9390 [apostol@infp.ro](mailto:apostol@infp.ro)

ABSTRACT

The seismic response of the ground motion is analysed using processed recordings and related spectral characteristics. The analysis is carried out for few representative different sites, with different geological local conditions. Data used are recordings from the last strongest seismic events (1986, August 30,  $M_w = 7.1$ , 1990, May 30,  $M_w = 6.9$  and 1990, May 31,  $M_w=6.4$ ). The approach used herein to assess the particular features of the seismic effects could open a new perspective in microzoning and risk studies. In the context of Vrancea-intermediate depth seismicity, whose effects are encountered at long epicentral distances, the choice of these sites is fully justified. Therefore the paper intends to focus on the particularities in the site effects that occur due to the sedimentary deposits' oscillation under strong seismic ground motion for different areas. The spectral amplification factors are introduced in order to have a quantitative representation with respect to the variability of site effects.

**Keywords:** Seismic response, ground motion recordings, spectral amplification factors.

RESUMO

O movimento do solo é analisado, em termos de resposta sísmica, usando gravações processadas e características espectrais relacionadas. A análise é realizada para alguns locais representativos, com diferentes condições geológicas locais. Os dados usados consistem em registros dos últimos eventos sísmicos mais fortes (30 de agosto de 1986,  $M_w = 7.1$ , 30 de maio de 1990,  $M_w = 6.9$  e 31 de maio de 1990,  $M_w = 6.4$ ). A abordagem usada para avaliar as características particulares dos efeitos sísmicos pode abrir uma nova perspectiva no microzoneamento e estudo do risco. No contexto da sismicidade de profundidade intermédia de Vrancea, a escolha destes locais é perfeitamente justificada, dado que os seus efeitos podem ser encontrados até longas distâncias epicentrais. Deste modo, o estudo pretende destacar as particularidades que ocorrem devido à oscilação dos depósitos sedimentares, devido ao forte movimento sísmico do solo em diferentes áreas. Foram introduzidos fatores de amplificação espectral para se ter uma representação quantitativa, da variabilidade resultante dos efeitos locais.

**Palavras-chave:** Resposta sísmica, registos de movimentos do solo, fatores de amplificação espectral.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 29-01-2021, sujeito a revisão por pares a 12-02-2021 e aceite para publicação em 13-04-2021. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introduction

The seismic response and local seismic effects are analysed herein in terms of spectral accelerations ( $S_a$ ) and maximum ground acceleration ( $a_{max}$ ) for city of Bucharest, capital of Romania and other cities from the outside of the Carpathian Arc Bend (including Cernavoda city, where is situated a Nuclear Power Plant). The available seismic recordings for the last strong Vrancea earthquakes ( $M_w > 6.3$ ) are analysed and processed in order to highlight some spectral characteristics which may have influence on hazard assessment. For the last destructive Vrancea earthquake, 1977, March 4,  $M_w = 7.4$  there was but just one recording, at INCERC site (INC) in South-Eastern part of Bucharest, by which it could be noticed the peak acceleration value of 0.21g. Starting from this single waveform one could manage to obtain the elastic response spectrum which reveals the long predominant period corresponding to the maximum spectral acceleration from the elastic response spectra. For the next (three) strong earthquakes ( $M_w > 6.3$ ) the surveillance capacity in our country was much more developed, therefore the available recordings offer new possibilities for the evaluation of the seismic effects almost all over the country territory.

The intermediate depth earthquakes originating in Vrancea seismic source are characterized by very specific features. Apart from their long range-focal depth (focal depths between 70 and 200 km) and outstretched (extended) affected areas they depict quite challenging surface effects. The recordings of the last strong seismic events show not only large ground motion amplification in remote areas, but rather higher, comparative to the epicenter ones. Moreover, the available acceleration recordings for the strong 1986 ( $M_w = 7.1$ ) earthquake are generally lower than the next less strong seismic event of 1990 ( $M_w = 6.9$ ). As regards the predominant periods from the elastic response spectra it is worth noticing the tendency to encounter long fundamental oscillating periods (sometimes exceeding 1 s) at seismic stations in the Bucharest area, as well as in some other spots over Extra-Carpathian territory, especially for very strong seismic events. Yet another feature was observed especially for the capital city area, which is the decreasing values of the predominant period of soil, with the decreasing of the earthquake magnitude. Hence, the necessity of defining a fundamental period-value range corresponding to seismic movements for each site, by comparing some terrain characteristics induced by strong events (acceleration, amplitudes from response spectra, oscillating period of the superficial soil deposit) and their changes related to the magnitude of the earthquake.

In response to the dynamical solicitations produced by major earthquakes, the particular geological features may induce various effects in the Romanian capital

Bucharest and largely over the country territory (Cioflan *et al.*, 2004, p.1149), Moldoveanu and Panza, 1999a, p.85, Moldoveanu and Panza, 1999b, p.1, Mandrescu and Radulian, 1999, p.109, Lungu *et al.*, 2001, p. 43). The spectral characteristics of the strong seismic recordings in a certain area, in terms of spectral amplification factors could give information about type of local soil response for future earthquakes (Marmureanu *et al.*, 2004, p. 47). The influence of the local geological conditions on the characteristics of the strong ground motion in sedimentary areas was thoroughly addressed in many papers (see, for example, Aki, 1993, p.93). The importance of the characteristic soil frequency in relation to the depth of the sedimentary layers was put forward in recent papers concerning the areas considered in this work (Manea *et al.*, 2019, p.709), including a distribution of this parameter based on geophysical estimation (Manea *et al.*, 2020, p. 4829).

The observational data, especially for strong earthquakes, show no tendency of lineal descending ground motion values from the epicenter to the remote areas. Seismic hazard assessment and risk mitigation studies based on so-called probabilistic or deterministic seismic “scenarios” have succeeded to take into account this specificity of the Vrancea-intermediate depth seismicity, that proved a strong variability especially on the peak ground acceleration values (Ardeleanu *et al.*, 2005, p. 679, Leydecker *et al.*, 2008, p. 1431, Lungu *et al.*, 1999, p. 251, Mantyniemi *et al.*, 2003, p. 371, Marmureanu *et al.*, 2011, p. 226, Moldovan *et al.*, 2008, p. 575, Pavel *et al.*, 2015, p. 1881, Radulian *et al.*, 2000, p. 221, Sokolov *et al.*, 2004, p. 927). It was suggested that, besides magnitude and hypocentral distance, the local site characteristics, through their possibility to induce amplification are primarily factors responsible for the seismic hazard over Romanian territory. In this regard the approach used herein, involving appropriate tools such as spectral amplification factors (SAF), intends to add new outcomes regarding seismic site response characterization.

As regards the Bucharest city area the spatial variations of site conditions may be caused by both geological and topographic features. The variations in the ground motion noticed within the city area have been modelled by approaches that have led to integrate different types of data sets and information (see, for example, Wirth *et al.*, 2003, p.737) which indicate the importance of the local site effects.

Some of these features are encountered in other regions around the world, which share some common characteristics, such as those located on sedimentary basins, or areas with deep unconsolidated structure (Seed *et al.*, 1976, p. 1323, Seed *et al.*, 1973, p. 99, Seed and Schnabell, 1970, p. 61, Chopra and Choudhury, 2011, p. 1551, Celebi *et al.*, 2018, p. 3289, Fah *et al.*, 1993, p. 131).

An example is the case of the 1985 Mexico City earthquake ( $M_w=8.0$ ) where the ground motion recorded on the sedimentary area was almost 5 times larger than the one recorded on bedrock area (Anderson *et al.*, 1986, p. 1043, Rukos, 1988, p. 771) The amplification of ground motion is caused by the impedance between bedrock and sediments. The 1989 Loma Prieta earthquake, with effects on soft soil in Bay Area, is also important because of adding empirical data (O'Rourke and Holzer, 1992, 320 p.). The importance of site effects in risk studies have been observed as well throughout several other earthquakes, such as the 1994 Northridge earthquake (Beresnev *et al.*, 1998, p. 1079), the 1995 Kobe earthquake, with ground motion recorded in sediments modified compared to the one in bedrock (Hartzell *et al.*, 1997, p.1377, Kavase, 1996, p.25).

The aim of this paper is to highlight the influence of the local effects generated by uppermost geological layers on the seismic response at certain sites. The characteristics of the elastic response spectra for last strong Vrancea-intermediate earthquakes are discussed by starting from earthquakes recordings. The processing of the records was made in the same condition by using CALTECH and Kinematics methodologies. We emphasize that all seismic events discussed herein are located in the same focal area, called Vrancea-intermediate seismic source, which is responsible for the strongest seismic events that hit the country territory, and controls seismic hazard especially in Extra-Carpathian areas (fig. 1).

The analysis is focused on Bucharest Metropolis and other cities, placed from the SW to NE of the Vrancea seismic source, where buildings or important objectives exist, including Cernavoda Nuclear Power Plant. The regions of the South-West, South and North-East of Romania are much affected by the Vrancea strong earthquakes, generated at the South-Eastern Carpathians Arc bend at intermediate focal depth. Other regions belonging to our country, such Transylvanian Basin with neighbourhood areas, are also affected by these seisms, but at a lower level (Marmureanu 2016, p. 330, Radulian *et al.*, 2000, p. 221).

#### Geotectonics and seismicity

Romania is a seismic country, with a rather moderate seismic activity, subjected both to shallow and deep earthquakes. The seismic hazard of the country is mainly caused by Vrancea-intermediate depth earthquakes, with focal depth between -70 and -200 km which affect especially the Extra-Carpathian areas. The hypocenters are positioned in confined volume of a parallelepiped, belonging to a lithospheric slab, now decoupled from the crust (Ismail-Zadeh *et al.*, 2012, p. 50), in Vrancea region, a rather complex tectonic area, where three tectonic units are in contact and separable on Romanian territory: (i)-East-European;(ii)-Inter-Alpine and (iii)-Moesia Plates. Macro seismic intensities field through its specific shape affects large areas of the country territory and the

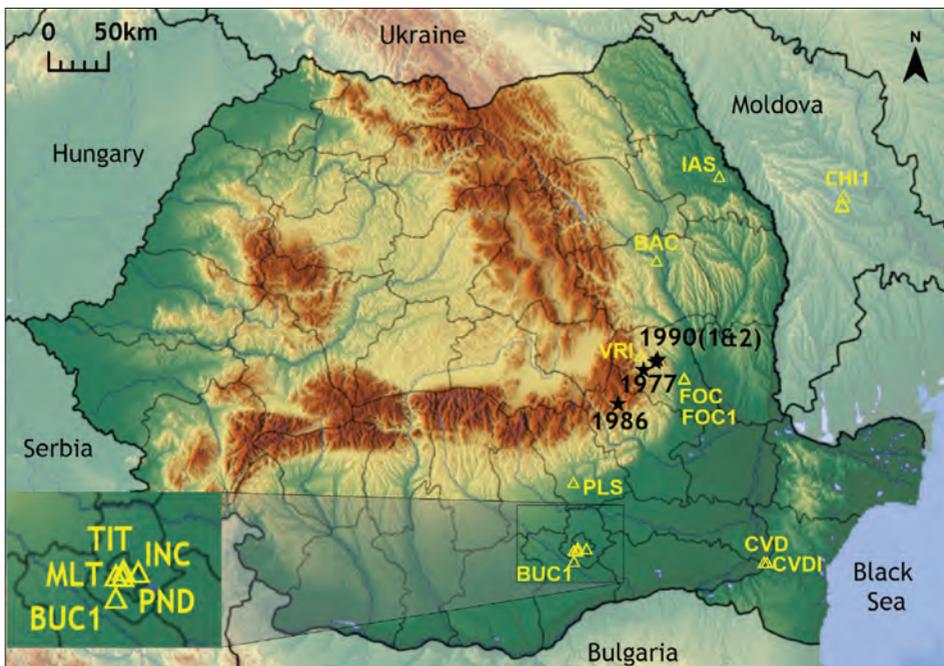


Fig. 1 - Epicenters (black) and the seismic stations location (yellow) considered in the analysis for the last four strong earthquakes at Vrancea.

Fig.1 - Epicentros (preto) e localização das estações sísmicas (amarelo) considerada na análise dos quatro últimos fortes terremotos em Vrancea.

neighborhoods countries as well. The simulation made for the maximum possible earthquake (Marmureanu *et al.*, 2011, p. 226) reveal intensities of IX½ on MMI scale in epicenter area (Focsani and surroundings) and Bucharest.

This seismic source triggered in the XX<sup>th</sup> century five major ( $M_w > 6.9$ ) earthquakes: 1908, October 6,  $M_w = 7.1$ , 1940, November 10 with moment magnitude  $M_w = 7.5$ , followed by 1977, March 4,  $M_w = 7.4$ , 1986, August 30,  $M_w = 7.1$  and 1990, May 30,  $M_w = 6.9$  (Oncescu *et al.*, 1999, p. 43). Unfortunately only after the last destructive earthquake (1977), whose only recording is at INCERC site (Bucharest), the necessity for having as many realistic recordings has become a real achievement.

One of the main concerns of the “National Institute for Research and Development for Earth Physics”, Magurele, Romania, is the monitoring of seismic activity on the territory of Romania, with the help of seismic stations within the “National Seismic Network”. Currently, this network is made up of over 150 seismometers and accelerometers located all over places in Romania, transmitting real-time data (Neagoe *et al.*, 2011, p. 9).

The majority of the strong  $M_w > 6.5$  Vrancea-intermediate seismic events is characterized by a reverse faulting mechanism regardless of their magnitude, with a nearly vertical the T-axis and a nearly horizontal P-axis (Oncescu and Trifu, 1987, p.149). The fault plane orientations are divided in two classes: one along the NE-SW direction, with the P (compressional) axis perpendicular to the Carpathian mountain arc and another on the opposite NW-SE direction with the P axis parallel to the Carpathian mountain arc.

From this point of view, the lesser strong seismic event of 1990 had the latter fault plane orientation, while the previous stronger ones of 1990 and 1986 had the former-corresponding fault plane orientation. However the focal depth for the stronger earthquake was deepest (131 km) of all the seismic events considered herein (TABLE I).

Extra-Carpathian area geology presents deep soil deposits, of various thickness. The sedimentary part of the Moesian Platform consists in relatively thick deposits (6,000 m average), with depths which can attain 15-20 km

in the Depression of Focsani - Odobești, to 1.5 km under Bucharest city area, or tens of meters around Cernavoda area, at south-eastern part of the Moesian Platform. The soft geological deposits in the basement of the Bucharest are from: (i)- loësslike deposits, (ii)- Colentina gravels and sands; (iii)-Clay deposits; (iv)- Mostistea sands; (v) -Marl lacustrine complex, (vi)- Fratesti layers of sand and gravel with intercalations of clayey rocks etc., which attains depth up to ~ 400 m. (Mandrescu *et al.*, 2008, 136 p., Mandrescu *et al.*, 2007, p. 367).

### Seismological settings

The seismic phenomena, involved three general elements: source mechanism, seismic waves propagation to the surface of the earth, and their effects on surface. Almost all techniques of ground motion estimation depend on two parameters, earthquake magnitude ( $M$ ) and distance to epicenter. The situation encountered for the last recorded strong-intermediate Vrancea earthquakes (August 30, 1986, latitude 45.53N, longitude 26.47E,  $M_w = 7.1$ , focal depth  $h = 131.4$  km; May 30, 1990, latitude 45.82N, longitude 26.90E,  $M_w = 6.9$ , focal depth  $h = 90.9$  km; May 31, 1990, latitude 45.83N, longitude 26.89E,  $M_w = 6.4$ , focal depth  $h = 86.9$  km) consists in peak ground accelerations recordings with values larger than the epicenter ones, at many seismic stations in all extra-Carpathian areas. Consequently, classic seismic hazard analyses are not applicable to all strong and deep Vrancea earthquakes.

For the sites located inside or at the edge of the Focsani Depression, a basin formed in the Carpathian foreland, consisting in unconsolidated sediments, of the Badenian-Quaternary, with depths of ~13 km, the large values for recorded peak accelerations could be justified by taking into account the geological specificity of this area. This tendency seems to be maintained for the recorded values at much larger distances, from North-East to South-West of the epicentral area, also located on sediments though are of shallow depths. Therefore the necessity appears to use an approach capable to evaluate this specific behavior, with a general applicability.

TABLE I - Vrancea intermediate-depth earthquakes with  $M_w > 6.5$  from the twentieth century (after Oncescu *et al.*, 1999, updated).

TABELA I - Terremotos de profundidade intermediária de Vrancea com  $M_w > 6,5$  do século XX (após Oncescu *et al.*, 1999, atualizado).

| Date       | Depth [km] | Moment magnitude $M_w$ |
|------------|------------|------------------------|
| 1904.02.06 | 75         | 6.6                    |
| 1908.10.06 | 125        | 7.1                    |
| 1912.05.25 | 90         | 6.7                    |
| 1934.03.29 | 90         | 6.6                    |
| 1940.11.10 | 150        | 7.5                    |
| 1945.09.07 | 80         | 6.8                    |
| 1977.03.04 | 94         | 7.4                    |
| 1986.08.30 | 131        | 7.1                    |
| 1990.05.30 | 91         | 6.9                    |

The spectral amplification factors (SAF), which may give a hint about seismic response at strong seismic loadings, could be employed with relevance on seismic hazard and local site effects.

These data about soil deposits behaviour could be used as input data for seismic risk mitigation. They provide an important contribution, in a very effective way, to getting solutions toward a safer seismic design.

**Data processing and results analysis**

Spectral amplification factors (SAF) can be used to make a connection between local site effects and the response of the soil deposit (Cioflan *et al.*, 2009, p. 951). When applied to areas with thick sediments, as the great part of the Moesian Platform, this approach may offer a measure for local site response, at strong magnitudes.

Spectral amplification factors (Marmureanu *et al.*, 2004, p. 47) are defined as the ratio of the maximum spectral values of absolute acceleration ( $S_a$ ), relative velocity ( $S_v$ ) and displacement ( $S_d$ ) from response spectra for a fraction of critical damping (b %) at fundamental period to maximum values of acceleration ( $a_{max}$ ), velocity ( $v_{max}$ ) and displacement ( $d_{max}$ ), respectively, from processed strong motion recordings, that are:

$$(SAF)_a = S_{max}^a / a_{max}; (SAF)_v = S_{max}^v / v_{max}; (SAF)_d = S_{max}^d / d_{max}.$$

To illustrate this we shall consider some stations from the Bucharest metropolitan area (INC, BUC1, PND, MET, TIT) and other sites at different locations (fig. 1 and TABLE II), spread over Moesian and Moldavian Platforms areas: Vranceaia (VRI), located in the epicentral zone, Focsani (FOC), at the edge of the deep sedimentary basin, Cernavoda city area (CVDI), Cernavoda City Centre (CVD), Bacau (BAC), Iasi (IAS), Ploiesti (PLS), Chisinau (CHI1) where the above mentioned factors exist for the last four major seismic events (1977, one recording at INCERC station, 1986, and 1990 May 30, 31)

(ROMPLUS, 2019). The choice of these stations was not made necessarily on the criteria regarding the ground recordings tendency described in the previous section, but rather for the highly populated cities with a more detailed knowledge about local geology. As regards the soil conditions for the sites, they fall into two categories, i.e. B type and C type, according to the classification from EUROCODE 8 (EN 1998-1/2003) (TABLE II). The epicentral distances for each station corresponding to the last three strong earthquakes for which there exist many recordings can be seen in TABLE II, together with the soil conditions characteristics as given by topographic slope method (Wald and Allen, 2007, p.1379). However, upon the criteria considering the  $V_{s,30}$  parameter there are large variations in the values of this parameter. For the sites of B-type, the  $V_{s,30}$  parameter is covering almost all the assigned range (~360-800 m/s) with highest values in the most remote site, i.e. Chisinau city (~800 m/s) (TABLE II). In the Bucharest city area all sites are assigned with C-type soil conditions, situation encountered also for another cities in the Moesian Platform (e.g., Ploiesti city). One should be mentioned that the criteria adopted for design purposes in the Romanian seismic design code (P 100-1/2013, 2013) are based on the corner period  $T_c$ . This choice is justified by the variation of this parameter extracted from the response spectra with magnitude, especially for strong earthquakes. Hence, for this parameter different values for different areas are considered, irrespective of the epicentral distance or tectonic units on which the sites are located.

The spectral amplification factors for absolute accelerations at 5% fraction of critical damping (b=5%) are computed at several seismic stations (TABLES III-XV). Out of them, five are in Bucharest metropolitan area, two in Cernavoda (one in city area, one in the centre of the city) and one in Chisinau (Republic of Moldova). Another five seismic stations cover the most affected areas of the country territory, with location in the risk exposed

TABLE II - Approximate epicentral distances and soil conditions for the considered stations.  
TABELA II - Distâncias epicentrais aproximadas e condições do solo para as estações consideradas.

| Seismic station  | Epicentral distances / earthquakes |                           |                           | $V_{s,30}$ (m/s)<br>using the topographic slope<br>method Wald and Allen<br>(2007) | Soil conditions<br>classification according<br>to EN 1998-1/2003 |
|------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                  | August 30, 1986<br>$M_w=7.1$       | May 30, 1990<br>$M_w=6.9$ | May 31, 1990<br>$M_w=6.4$ |                                                                                    |                                                                  |
| Vranceaia (VRI)  | 42.6                               | 13.23                     | 14.28                     | 368                                                                                | B (360-800m/s)                                                   |
| Focsani (FOC)    | 57.37                              | 26                        | 27.63                     | 249                                                                                | C (180-360m/s)                                                   |
| Ploiesti (PLS)   | 75                                 | 96                        | 93                        | 241                                                                                | C (180-360m/s)                                                   |
| Iasi (IAS)       | 204                                | 160                       | 157                       | 705                                                                                | B (360-800m/s)                                                   |
| Bacau (BAC)      | 121                                | 82                        | 80                        | 283                                                                                | C (180-360m/s)                                                   |
| Chisinau (CHI1)  | 245                                | 198                       | 195                       | 800                                                                                | B (360-800m/s)                                                   |
| Bucharest (INC)  | 135                                | 155                       | 152                       | 269                                                                                | C (180-360m/s)                                                   |
| Cernavoda (CVDI) | 190                                | 205                       | 203                       | 363-400                                                                            | B (360-800m/s)                                                   |

city, including epicentral area. The upper geological stratigraphy for some of these site is: Bucharest-INCERC - soft soils, quaternary layers with a total thickness of 700 m; Bucharest-Magurele (sand, loess - thickness

TABLE III - Bucharest - INCERC (INC) Seismic Station.  
TABELA III - Bucareste - Estação sísmica INCERC (INC).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c     |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|-------|
| March 4, 1977, $M_w=7.4$   | 207                                      | 650                                    | 3.14               | 1.33  |
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 97                                       | 255                                    | 2.63               | 1.59  |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 66                                       | 275                                    | 4.17               | 1.000 |

TABLE IV - Bucharest - Magurele (BUC1) Seismic Station.  
TABELA IV - Bucareste - Estação Sísmica Magurele.

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 114                                      | 307                                    | 2.70               | 1.33 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 90.25                                    | 324                                    | 3.59               | 1.00 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | -                                        | -                                      | -                  | -    |

TABLE V - Bucharest - Panduri (PND) Seismic Station.  
TABELA V - Bucareste - Estação Sísmica Panduri (PND).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 89.4                                     | 295                                    | 3.30               | 1.47 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 131.3                                    | 590                                    | 4.50               | 1.08 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 33.0                                     | 160                                    | 4.85               | 1.00 |

TABLE VI - Bucharest - Metalurgiei (MET) Seismic Station.  
TABELA VI - Bucareste - Estação Sísmica Metalurgiei (MET).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 71.07                                    | 220                                    | 3.10               | 1.47 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 55.40                                    | 220                                    | 3.98               | 1.15 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 12.10                                    | 55                                     | 4.55               | 1.00 |

TABLE VII - Bucharest - Titulescu (TIT) Seismic Station.  
TABELA VII - Bucareste - Estação Sísmica Titulescu (TIT).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 87.5                                     | 355                                    | 4.07               | 1.37 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 56.8                                     | 250                                    | 4.41               | 1.26 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 7.2                                      | 40                                     | 5.56               | 1.00 |

TABLE VIII - Cernavoda (CVDI) Seismic Station.  
TABELA VIII - Estação Sísmica de Cernavoda (CVDI).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c     |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|-------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 62                                       | 290                                    | 4.68               | 1.33  |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 100                                      | 485                                    | 4.84               | 1.59  |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 37                                       | 200                                    | 5.41               | 1.000 |

TABLE IX - Cernavoda Center Seismic Station (CVD).  
TABELA IX - Estação Sísmica Central de Cernavoda (CVD).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c     |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|-------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 54.3                                     | 212                                    | 3.91               | 1.33  |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 92.6                                     | 400                                    | 4.32               | 1.59  |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 31.7                                     | 180                                    | 5.68               | 1.000 |

350 m); Cernavoda (marl, loess, limestone - thickness 270 m), Bacau (gravel, loess - 20 m), Iasi (loess, sand, clay, gravel - with thickness between 20 and 60 m), etc. (Mandrescu *et al.*, 2008, 136 p., Marmureanu, 2016, 330p.) For the Bucharest city the Quaternary (200-300 m depth) deposits with an inclined depth (from South down to the North) consist in a succession of many layers with different consistency. They are especially formed from soft rocks with varying wave velocity, which though not attains high value even at lower depth.

TABLE X - Focsani (FOC) Seismic Station.  
TABELA X - Estação Sísmica de Focsani (FOC).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 161.8                                    | 425                                    | 2.63               | 1.55 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 117.9                                    | 405                                    | 3.44               | 1.18 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 46.8                                     | 190                                    | 4.06               | 1.00 |

TABLE XI - Iasi (IAS) Seismic Station.  
TABELA XI - Estação Sísmica de Iasi (IAS).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 68                                       | 225                                    | 3.31               | 1.29 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 97                                       | 365                                    | 3.77               | 1.14 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 49.44                                    | 211                                    | 4.27               | 1.00 |

TABLE XII - Bacau (BAC) Seismic Station.  
TABELA XII - Estação Sísmica de Bacau (BAC).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 72                                       | 292                                    | 4.06               | 1.46 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 132                                      | 684                                    | 5.19               | 1.14 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 63.00                                    | 372                                    | 5.91               | 1.00 |

TABLE XIII - Ploiesti (PLS) Seismic Station.  
TABELA XIII - Estação Sísmica de Ploiesti (PLS).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 219.3                                    | 685                                    | 3.13               | 1.17 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 72.6                                     | 235                                    | 3.24               | 1.13 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 16.4                                     | 60                                     | 3.66               | 1.00 |

TABLE XIV - Chisinau (CHI) Seismic Station.  
TABELA XIV - Estação Sísmica de Chisinau (CHI).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 187                                      | 569                                    | 3.05               | 1.54 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 173                                      | 700                                    | 4.05               | 1.16 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 61                                       | 285                                    | 4.68               | 1.00 |

TABLE XV - Vranceaia (VRI) Seismic Station.  
TABELA XV - Estação Sísmica de Vranceaia (VRI).

| Earthquake                 | $a_{\max}$ [cm/s <sup>2</sup> ] recorded | $S_{\max}^a$ [cm/s <sup>2</sup> ] b=5% | (SAF) <sub>a</sub> | c    |
|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|------|
| August 30, 1986, $M_w=7.1$ | 82.3                                     | 290                                    | 3.53               | 1.54 |
| May 30, 1990, $M_w=6.9$    | 119.6                                    | 481                                    | 4.03               | 1.16 |
| May 31, 1990, $M_w=6.4$    | 43.7                                     | 195                                    | 4.47               | 1.00 |

In TABLES III-XV,  $a_{max}$  is the maximum recorded acceleration, is the corresponding spectral acceleration, and  $(SAF)_a$  is the acceleration spectral amplification factor. The coefficient  $c$  is introduced as a measure of comparison for the response of the sites. It represents the ratio of SAF for the smallest magnitude, to SAF for the stronger earthquake. Therefore these smallest values for magnitude were taken to stand for a reference behavior in the elastic range. It was considered that these are the cases of the less strong events, May 31 or even May 30, 1990 (depending on the available recordings), and their corresponding site's response could be considered as being linear. The simple linear response could be inferred by multiplying the coefficient  $c$  (over unity) to the values of the corresponding parameters. The higher is its value, the attenuation is considered higher. On the other hand all these SAF values are generally higher than those recommended by Regulatory Guide 1.60 of the U. S. Atomic Energy Commission (U.S. Atomic Energy Commission 1973, p.1.60), and accepted by IAEA Vienna, and the values used by AECL-Canada in 1978. For example at Cernavoda (CVDI, in the area where is located the Nuclear Power Plant) the SAF values computed above from response spectra are 4.68, 4.84, 5.41, as those given by Regulatory Guide are 3.13, 3.63, 4.16. One should mention that a calculated response spectrum is not the same as a specified standard/design spectrum. Design response spectra are obtained by analyzing, evaluating and statistically combining a number of individual response spectra derived from the significant past earthquakes or from a ground acceleration process generation. This standard response spectrum is then scaled up to the value of ground acceleration, velocity and displacement specific to each site by using spectral amplification factors.

The sites for which we have presented the recordings and computed SAF are situated on different local geological settings, though they consist in sediments. The differences consist in depth of the sedimentary layers, their stratigraphy, thickness,  $V_{s,30}$  parameter, geometry, geological content, more or less consolidated, and in general the specificity of the corresponding tectonic units, i.e. Moldavian Platform, Moesian Platform (including South Dobrogea unit).

As it can be seen from TABLES III-XV there is a general trend of decreasing for the SAF values as the magnitude increases. A similar situation holds for the recordings belonging to the epicentral area (Vrancea station, VRI). In this respect, one may suggest that spectral amplification factors may have a certain nonlinear dependence on the seismic magnitude.

This tendency is maintained irrespective of the maximum recorded acceleration ( $a_{max}$ ), or maximum spectral acceleration ( $S_a$ ) values e.g., the seismic event

of 1986, August 30  $M_w=7.1$  displays lower recordings as the corresponding magnitude are higher. An example is Cernavoda (CVDI), where for the stronger event of 1986 the  $a_{max}$  value was lowest (62  $cm/s^2$ ) in comparison to other sites, as for the less strong event,  $M_w=6.9$ , at this station the  $a_{max}$  value was quite high (100  $cm/s^2$ ). However these values are not overpassed by the epicentral ones. Also, for Bacau city the stronger event generated lower motion value, as for the next less powerful events the acceleration values were higher and even overpassed epicentral ones. Hence, there is a large variability of the peak ground acceleration values, at some stations with a clear tendency for increasing with the epicentral distance, irrespective on earthquake magnitude (ROMPLUS 2019, Romanian earthquake catalogue, [www.infp.ro/romplus](http://www.infp.ro/romplus)). There exist stations where the recordings were higher than in epicenter (considered Vrancea station), with locations either in the Moldavian Platform (North-East from epicenter), or in Moesian Platform (South-West or South from epicenter). Also there are stations where the earthquake of 1990, May 30 generated higher ground motion values than the stronger 1986 one (e.g. Iasi, Bacau, Cernavoda, Vrancea, Paduri-Bucharest), aleatory spread. From these values we can see the high variability in the Vrancea-intermediate source seismic effects over the highly exposed areas (fig. 2).

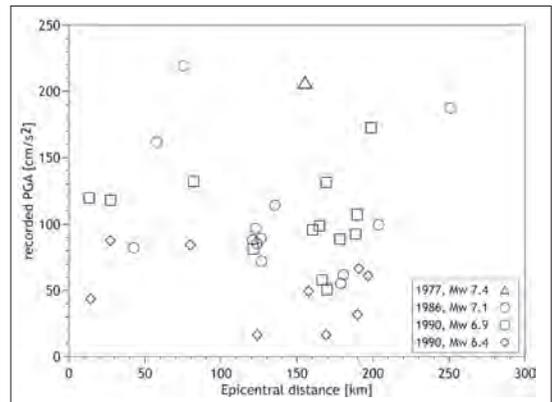


Fig. 2 - Variation of the recorded peak ground acceleration values (PGA) with the epicentral distance.

Fig. 2 - Variação dos valores do pico de aceleração do solo (PGA) registados em função da distância epicentral.

**Discussion**

The last Vrancea strong earthquakes on August 30, 1986 ( $M_w=7.1$ ), on May 30, 1990 ( $M_w=6.9$ ) and on May 31,1990 ( $M_w=6.3$ ) were recorded at seismic station covering the almost entire country territory and Bucharest city as well. Also, the earthquake on March 4, 1977 ( $M_w=7.4$ ) recorded at INCERC seismic station by SMAC-B apparatus. The processing of the records was made by using CALTECH and Kinematics procedures and the results are given in

TABLES III-XV where we can find the peak values of  $a_{max}$ . Also, in TABLES III-XV are given the spectral amplification factors for fraction of critical damping  $b=5\%$ .

Examining the feature of these strong earthquakes we can notice that the magnitude is in direct relation to spectral amplification factors. At least for large sedimentary basins and for soft soils sedimentary areas, the spectral amplification factors (SAF) are generally decreasing with increasing magnitude for strong Vrancea earthquakes. This can be interpreted as an attenuation tendency and stabilization of the strong motion as the magnitude increases. The spectral amplification factors for last three strong and deep Vrancea earthquakes for Cernavoda (CVD and CVDI) sites are larger than the values given by Regulatory Guide 1.60 of the U. S. Atomic Energy Commission, and accepted by IAEA Vienna, and the values used by AECL-Canada in 1978. However, their higher values and clear tendency to decrease as the magnitude increases suggest the attenuation tendency for stronger earthquakes and departure from linear response which contributes at sites specificity.

This complex state of facts is due to a rather complex geological and seismological reality encountered over Romania country' territory. As the presented data and processing outline, there is a high variability of the seismic parameters in the area subjected to obvious manifestation of the seismic effects. At the general geological situation given by the tectonic sub-units sedimentary characteristics (Moesian Platform, Moldavian Platform, etc.) the very local specificity for each site add. It cannot be inferred a dependence between the weight factors values or increasing tendency of the SAF and  $V_{s,30}$  parameter at no site (see TABLE II and TABLES III-XV). Also, neither between the level of shaking or spectral amplitudes and the values or ranges of the same parameter  $V_{s,30}$  at a certain site (see TABLE II and fig. 2).

It is worth to mention the specificity of the intermediate-Vrancea earthquakes, such as the extended directivity effects for the strong earthquakes, and, not in the last, the possibility for occurrence, at magnitude-dependent extent, of the nonlinear behavior of the soil compounds. The attenuation pattern of the peak ground acceleration generated by Vrancea subcrustal source is lesser enhanced along the direction of the fault plane (Bucharest and Moldova), compared to the attenuation normal to this direction (Cernavoda). Moreover, the site effects should be considered in a proper manner as an important weight in areas where local geology consisting in soft soils or deep sedimentary deposits are exposed to very strong seismic movement.

Considering that this phenomenon can have its explanation in the specificity of each area, at regional geological level, but especially at local level, it is

necessary a method that is generally valid and to describe quantitatively the implications at the level of local hazard. In these circumstances, the spectral amplification factors are the only constantly evidence for the local site effects. They are capable to evaluate, in a quantitative manner the site response, as the effects of the propagation of the seismic waves, generated by strong seismic movement, through complex layered (soft) sedimentary soils.

## Conclusions

We point to the necessity of devising a specific procedure for estimating the local site effects as regards the strong and deep Vrancea earthquakes. Such a procedure should include both the specificity of the geological conditions and data about soil deposits, obtained mostly by empirical investigations. This information provides an important contribution to getting solutions towards a safer seismic design. The spectral amplification factors (SAF), which may give a hint about seismic response at strong seismic loadings, could be employed with relevance on seismic hazard and local site effects. We highlighted stronger ground motions at distances longer than the epicentral distances for Vrancea earthquakes.

## Acknowledgements

This study was carried out within the Nucleu Program MULTIRISC, supported by MCI, project number PN19080102.

## Bibliography

- Aki, K. (1993). Local site effects on weak and strong ground motion. *Tectonophysics*, 93-111.
- Anderson, J. G., Bodin, P., Brunbe, J. N., Prince, J., Singh, S. K., Quaas, R., Onate, M. (1986). Strong ground motion from the Michoacan, Mexico earthquake. *Science*, 1043-1049.
- Ardeleanu, L., Leydecker, G., Bonjer, K.-P., Busche, H., Kaiser D., Schmitt, T. (2005). Probabilistic seismic hazard map for Romania as a basis for a new building code. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 679-684.
- Beresnev, I., Field, E., Abeele, K. V., Johnson, P. (1998). Magnitude of Nonlinear Sediment Response in Los Angeles Basin during the 1994 Northridge, California, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1079-1084.
- Çelebi, M., Sahakian, V. J., Melgar, D., Quintanar, L. (2018). The 19 September 2017 M=7.1 Puebla-Morelos earthquake: spectral ratios confirm Mexico City zoning. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 3289-3299.

- Cioflan, C. O., Apostol, B. F., Moldoveanu, C. L., Panza, G. F., Marmureanu, G. (2004). Deterministic approach for the seismic microzonation of Bucharest. *PAGEOPH*, p.1149-1164, March 2004, special issue: Seismic ground motion in large urban areas; Main results of the UNESCO-IUGS-IGCP Project, Panza, G. F., Nunziata, C., Paskaleva, I. (eds.), Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland, ISSN 0033-4553.
- Cioflan, C. O., Marmureanu, A., Marmureanu, G. (2009). Nonlinearity in Site Effects Evaluation, *Romanian Journal of Physics*, 951-963.
- Chopra, S., Choudhury, P. (2011). A study of response spectra for different geological conditions in Gujarat, India. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 1551-1564.
- EN- EUROPEAN STANDARD 1998-1. (2003). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. *European Committee for Standardization*, Bruxelles, Belgium.
- Dominguez Reyes, T., Rodríguez-Lozoya, H. E., Sandoval, M. C., Sanchez, E., Meléndez, A. A., Rodríguez-Leyva, H. E., Campos, R. A. (2017). Site response in a representative region of Manzanillo, Colima, Mexico and a comparison between spectra from real records and spectra from normative. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 113-120.
- Fah, D., Suhadolc, P., Panza, G. F. (1993). Variability of seismic ground motion in complex media: the Friuli area (Italy). *Journal of Applied Geophysics*, 131-148.
- Hartzell, S., Cranswick, E., Frankel, A., Carver, D., Meremonte, M. (1997). Variability of site response in the Los Angeles urban area, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1377-1400.
- Ismail-Zadeh, A., Matenco, L., Radulian, M., Cloetingh, S., Panza, G. (2012). Geodynamics and intermediate-Depth seismicity in Vrancea (the south-eastern Carpathians): Current state-of-the art. *Tectonophysics*, 50-79.
- Kawase, H. (1996). The cause of the damage belt in Kobe: "The Basin-Edge Effect", constructive interference of the direct S-wave with the basin-induced diffracted/Rayleigh waves. *Seismological Research Letters*, 25-34.
- Leydecker, G., Busche, H., Bonjer, K., Schmitt, T., Kaiser, D., Simeonova, S., Solakov, D., Ardeleanu, L. (2008). Probabilistic seismic hazard in terms of intensities for Bulgaria and Romania - updated hazard maps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1431-1439.
- Lungu, D., Cornea, T., Nedelcu, C. (1999). Hazard assessment and site-dependent response for Vrancea earthquakes. In: *Vrancea earthquakes: tectonics, hazard and risk mitigation*, Wenzel, F., Lungu, D., Novak, O. (eds.), Netherlands: Kluwer Academic Publ. Dordrecht, 251-267.
- Lungu, D., Arion, C., Aldea, A., Cornea, T. (2001). City of Bucharest seismic profile: from hazard estimation to risk mitigation. In: *Lungu, D., Saito, T. (eds.) Earthquake hazard estimation and countermeasures for existing fragile buildings*. Independent Film, Bucharest, 43-66.
- Mandrescu, N., Radulian, M., Marmureanu, G. (2007). Geological, geophysical and seismological criteria for local response evaluation in Bucharest area. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 367-393.
- Mandrescu, N., Radulian, M. (1999). Seismic microzoning of Bucharest (Romania): a critical review. In: *Vrancea earthquakes: Tectonics, hazard, and risk mitigation*. Wenzel, F., Lungu, D. (eds.) Netherlands: Kluwer Academic Publ., 109-122.
- Mandrescu, N., Radulian, M., Marmureanu, G., Ionescu, C. (2008). Integrate research of the geological, geophysical and seismological data for local response evaluation in Bucharest urban area, *Romanian Academy Publishing House*, Bucharest, ISBN 978-973-27-1635-9, 136p.
- Mantyniemi, P., Marza, V.I., Kijko, A., Retief, P. (2003). A new probabilistic seismic hazard analysis for the Vrancea (Romania) seismogenic zone. *Natural Hazards*, 371-385.
- Manea, E. F., Cioflan, C. O., Coman, A., Michel, C., Poggi, V., Fäh, D. (2020). Estimating geophysical bedrock depth using single station analysis and geophysical data in the Extra-Carpathian area of Romania. *Pure and Applied Geophysics*, 4829-4844.
- Manea, E. F., Predoiu, A., Cioflan, C. O., Diaconescu, M. (2019). Interpretation of resonance fundamental frequency for Moldavian and Scythian platforms. *Romanian Reports in Physics*, 709 p.
- Marmureanu, G., Misicu, M., Cioflan, C. O., Balan, S. F., Apostol, B. F. (2004). Nonlinear seismology - the seismology of the XXI century. In: *Lecture notes of earth sciences. Perspective in modern seismology*, Springer Verlag, Heidelberg, 47-67.
- Marmureanu, G., (2016). Certainties/Incertainties in Vrancea hazard and seismic risk evaluation, *Romanian Academy Publishing House*, Bucharest, Romania, 330 p.
- Marmureanu, G., Cioflan, C. O., Marmureanu, A. (2011). Intensity seismic hazard map of Romania by probabilistic and (neo) deterministic approaches, linear and nonlinear analyses. *Romanian Reports in Physics*, 226-239.

- Moldovan, I. A., Popescu, E., Constantin, A. (2008). Probabilistic seismic hazard assessment in Romania: Application for crustal seismic active zones. *Romanian Journal of Physics*, p.575-591.
- Moldoveanu, C. L., Panza, G. F. (1999). Modelling for microzonation purposes of the seismic ground motion in Bucharest, due to the Vrancea earthquake of May 30, 1990. In: *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard, and Risk Mitigation*. Wenzel, F., Lungu, D., Novak, O. (eds.), Netherlands: Kluwer Academic Publ. Dordrecht, 85-97.
- Moldoveanu, C. L., Panza, G. F. (1999). Vrancea source influence on local seismic response in Bucharest. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, *report IC/98/ 209*, Miramare, Trieste, 1-28.
- Neagoe, C., Manea, L. M., Ionescu, C. (2011). Romanian complex data center for dense seismic network. *Annals of Geophysics*, 9-16.
- Oncescu, M. C., Trifu, C. I. (1987). Depth variation of moment tensor principal axes in Vrancea (Romania) seismic region. In *Annales geophysicae. Series B. Terrestrial and planetary physics*, 149-154.
- Oncescu, M. C., Marza, V. I., Rizescu, M., Popa, M. (1999). The Romanian Earthquake Catalogue between 984-1996. In: *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*, Wenzel, F. and Lungu, D. (eds.) Netherlands: Kluwer Academic Publ. Dordrecht, 43-48.
- P 100-1/2013. (2013). Seismic Design Code - Part I: Earthquake Resistant Design of buildings, *Ministry of Regional Development and Public Administration (M.D.R.A.P.)*. Bucharest, Romania.
- Pavel, F., Vacareanu, R., Douglas, J., Radulian, M., Cioflan, C., Barbat, A. (2015). An Updated Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Romania and Comparison with the Approach and Outcomes of the SHARE Project. *Pure and Applied Geophysics*, 1881-1905.
- Radulian, M., Vaccari, F., Mandrescu, N., Panza, G. F., Moldoveanu, C.L. (2000). Seismic Hazard of Romania: Deterministic Approach. In *Seismic hazard of the circum-Pannonian Region*, 221-247, Birkhäuser, Basel.
- ROMPLUS (2019), Romanian earthquake catalogue, National Institute for Earth Physics, Magurele, Romania. URL: [www.infp.ro/romplus](http://www.infp.ro/romplus)
- Rukos, E. A. (1988). The Mexico Earthquake of September 19, 1985 - Earthquake Behavior of Soft Sites in Mexico City, *Earthquake Spectra*, 771-786.
- Seed, H. B., Murarka, R., Lysmer, J., Idriss, I. M. (1976). Relationships of maximum acceleration, maximum velocity, distance from source, and local site conditions for moderately strong earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1323-1342.
- Seed, H. B., Whitman, R. V., Dezfulian, H., Dobry, R., Idriss, I. M., Fuller, F. M. (1973). Soil conditions and building damage in 1967 Caracas earthquake. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, p. 99(sm7).
- Seed, H. B., Schnabell, P. (1970). Soil and geologic effects on site response during earthquakes. *Proc. Inter. Conf. Microzonation*, Seattle, Washington, 61-85.
- Sokolov, V., Bonjer, K. P., Wenzel, F. (2004a). Accounting for site effect in probabilistic assessment of seismic hazard for Romania and Bucharest: a case of deep seismicity in Vrancea zone. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 927-947.
- O'Rourke, T. D., Holzer, T. L. (1992). The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989--Marina District: Strong Ground Motion and Ground Failure. *Department of the Interior, US Geological Survey*, 320 p.
- U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION (1973). Design response spectra for seismic design of nuclear power plants. *Regulatory Guide 1.60*. Rev. 1, Washington, D.C.
- Wald, D. J., Allen, T. I. (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1379-1395.
- Wirth, W., Wenzel, V., Sokolov, V. Yu., Bonjer, K.-P. (2003). A uniform approach to seismic site effect analysis in Bucharest, Romania. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 737-758.



RISCOS



IMPACTE DO SISMO DE 28 DE FEVEREIRO DE 1969 EM ALGUMAS CIDADES. COMPARAÇÕES\*

IMPACT OF THE FEBRUARY 28, 1969 EARTHQUAKE IN SOME CITIES. COMPARISONS

93

Ana Luísa Vieira

Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico (Portugal)  
ORCID 0000-0003-1722-3246 [ana.vieira.3105@gmail.com](mailto:ana.vieira.3105@gmail.com)

Carlos Sousa Oliveira

Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico (Portugal)  
ORCID 0000-0002-5967-7126 [csoliv@civil.ist.utl.pt](mailto:csoliv@civil.ist.utl.pt)

RESUMO

Este trabalho incide sobre o estudo do sismo de 28 de fevereiro de 1969. Procedeu-se ao levantamento de toda a informação existente sobre o fenómeno com o intuito de averiguar o seu impacte no território português. Para tal, analisou-se um largo conjunto de edifícios afetados nos distritos de Lisboa, Setúbal e Faro com vista a estabelecer padrões de danos observados de acordo com as descrições diversas, quer noticiadas nos principais jornais da época quer através de outras fontes, nomeadamente elementos soltos consultados nas Câmaras Municipais (Serviços de Proteção Civil), fotografias obtidas em hemerotecas e dados do SIPA. Estes edifícios foram classificados segundo a sua época de construção e tipologia construtiva para, posteriormente, através da Escala Macrossísmica Europeia (EMS-98), associar um índice de vulnerabilidade e um grau de dano. Esta atribuição permitiu determinar as intensidades para os distritos em estudo, seguida da sua comparação com as intensidades obtidas na época e identificar as tipologias construtivas que apresentam mais fragilidades na ocorrência de um sismo de intensidade semelhante, designadamente as construções antigas das zonas baixas de Lisboa, Setúbal, cidades do Barlavento algarvio e nas suas zonas rurais. Foram identificadas 16 vítimas mortais em Portugal Continental, sendo 3 de consequência direta do sismo.

**Palavras-chave:** Sismo de 1969, impacte em cidades, EMS-98, vulnerabilidade, comparação com outros estudos.

ABSTRACT

This paper will focus on the study of the earthquake of 28 February 1969. All the existing information about the phenomenon was surveyed to ascertain its impact on Portuguese territory. Many affected buildings in the districts of Lisbon, Setúbal and Faro were identified to establish damage patterns according to the various available descriptions. Some of these could be found in reports in the main newspapers at the time or in other sources, notably in archives belonging to City Councils and public institutions. These buildings were classified according to their period of construction and building typologies. The European Macroseismic Scale (EMS-98) was then used to associate them with a vulnerability class and a degree of damage. This assignment made it possible to determine the intensities for the districts under study, and then compare them with the intensities obtained at the time and identify the building types that exhibited more weaknesses during an earthquake of similar intensity. Particularly the older buildings in downtown Lisbon, Setúbal, and western Algarve (Barlavento) and local rural areas. We also identified 16 deaths in mainland Portugal, but only 3 are directly related to the earthquake.

**Keywords:** 1969 Earthquake, impact on cities, EMS-98, vulnerability, comparison with other studies.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 13-07-2020, sujeito a revisão por pares a 21-10-2020 e aceite para publicação em 29-11-2020. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

### *Enquadramento do tema e objetivos*

Portugal Continental tem sido, ao longo dos séculos, alvo de inúmeros sismos de magnitude variada devido, essencialmente, ao seu enquadramento geotectónico (Custódio *et al.*, 2015 e Santos *et al.*, 2017). A crescente preocupação com este tema tem permitido o desenvolvimento de novos métodos de análise e dimensionamento de modo a criar condições de segurança nas estruturas e minimizar os prejuízos físicos, sociais e económicos. Consequentemente, é de extrema importância o estudo da sismicidade em Portugal com o intuito de reduzir as consequências desastrosas, principalmente em relação às estruturas existentes e que não possuem condições suficientes para resistir a este fenómeno.

Um dos últimos sismos de maior magnitude do século XX ocorreu na madrugada de 28 de Fevereiro de 1969. Teve uma magnitude de 7.8 e sentiu-se ao longo de toda a Península Ibérica, África e ilha da Madeira (Miranda *et al.*, 2014). Embora não tenha sido um sismo muito destrutivo foi, no entanto, suficientemente severo para causar danos graves na zona sul do país devido, essencialmente, não só à maior proximidade do epicentro mas também devido à tipologia construtiva existente nesta região. Dado não ser um evento muito estudado, é importante obter um melhor conhecimento sobre o mesmo e os seus efeitos nas construções existentes, com o intuito de mitigar o risco sísmico em Portugal.

Pretende-se com o presente trabalho coligir o maior número possível de informação sobre este fenómeno e interpretá-la à luz dos atuais conhecimentos de sismologia e engenharia sísmica. Para tal, recorreu-se à informação disponível nos jornais existentes na época e alguns elementos soltos em câmaras municipais, hemerotecas e estudos já realizados sobre o tema. O principal objetivo prende-se, assim, em atribuir intensidades no distrito de Lisboa, Setúbal e Faro e comparar os resultados obtidos com os trabalhos publicados na altura do sismo. Este estudo permite, igualmente, identificar as zonas de maior impacte sísmico e as tipologias construtivas mais vulneráveis à ocorrência de um sismo de intensidade semelhante ou superior ao sismo de 1969.

### *Estrutura do documento*

O presente trabalho encontra-se organizado em 4 capítulos.

O primeiro capítulo de introdução inicia-se com um enquadramento geral do tema, a apresentação breve dos dados e da metodologia utilizadas assim como uma descrição exaustiva das consequências ocorridas em território nacional e os efeitos observados no mar. É igualmente apresentada a carta de isossistas proposta por diversos autores à época do sismo.

No segundo capítulo apresenta-se uma breve descrição da Escala Macrossísmica Europeia (EMS-98) (Grünthal, 1998) utilizada neste trabalho seguida pelo terceiro capítulo onde é feito todo o tratamento da informação recolhida nos parques habitacional e monumental dos distritos em foco. Apresenta-se uma descrição sobre a metodologia adotada e das diferentes tipologias construtivas existentes em 1969. Foram analisados e classificados os danos sofridos em cada edifício com o intuito de obter o Mapa de Intensidades Macrossísmicas, com base na EMS-98 (Grünthal, 1998). Cada distrito é tratado separadamente, tendo sido atribuída uma intensidade ao nível das freguesias e dos concelhos, sempre que possível. Por último, comparam-se os resultados obtidos com a carta de isossistas referida anteriormente. Este capítulo encontra-se ilustrado com diversas fotografias exemplificativas dos danos ocorridos e atribuição da respetiva classe de danos.

No quarto capítulo apresentam-se as considerações finais sobre o trabalho.

### **Dados e Metodologia**

Os dados utilizados neste trabalho foram retirados de diversas fontes e compilados numa “Base de Dados” para permitir um tratamento georreferenciado. Utilizaram-se os jornais existentes na época (13 nacionais e 3 da região sul), fotografias disponíveis nas Hemerotecas de Lisboa e Museu de Portimão, relatórios técnicos feitos à época (Marecos *et al.*, 1970; Teixeira, 1975; Trêpa, 1969 e Quintino, 1970), os Censos (1960, 1970 e 2000), elementos avulso como a “fita do tempo”, 1969 (Batalhão Sapadores de Bombeiros e Lisboa), bem como informações das Câmaras Municipais de Setúbal (Proteção Civil), de Loulé (Proteção Civil), de Portimão (Arquivo Municipal), de Lagos e de Vila do Bispo. Consultou-se, igualmente, a Base de Dados do SIPA (1999).

A metodologia seguida pode resumir-se no seguinte. A partir dos dados sobre os danos ocorridos em diversos tipos estruturais, e recorrendo à identificação através do *Street View* do *Google Maps*, construiu-se uma Base de Dados georreferenciada contendo, para cada estrutura, a tipologia construtiva e a classe de danos. Utilizando a escala EMS-98 (Grünthal, 1998), que exige o conhecimento das “existências” (Censos 1960, 1970 e 2000), foi possível atribuir uma intensidade sísmica a dada região (a freguesia ou o concelho).

### *Enquadramento Histórico*

Na sequência da análise efetuada por Oliveira (2019), faz-se agora uma descrição do sismo e principais consequências ocorridas. O sismo de 28 de Fevereiro de 1969 foi sentido em várias regiões do Continente, assim como na ilha da Madeira, Espanha e Marrocos. A rede sísmográfica portuguesa era, até à data, constituída

apenas por 3 estações sismográficas que registaram o início do sismo às 3h41min (hora local). O epicentro, de profundidade focal de 20-30 km, foi, posteriormente, atribuída com as seguintes coordenadas 35.98°N e 10.81°W (Florido, 2019, p. 1) com magnitude Mw7.8 e Ms7.9 (Miranda *et al.*, 2014, p. 1).

Infelizmente, dada a sensibilidade dos aparelhos, as agulhas das estações saturaram. O único registo em Portugal Continental diz respeito ao obtido pelo acelerógrafo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que se encontrava instalado no pilar de ancoragem norte da Ponte 25 de Abril em Lisboa. Como consequência do corte do fornecimento de energia elétrica tem-se um registo total de apenas 27 segundos (fig. 1).

Inúmeras são as histórias de pessoas que, assustadas pela vibração do sismo, fugiram das suas habitações com receio que estas colapsassem ou que voltasse a ocorrer alguma réplica. De facto, a grande maioria dos ferimentos ocorridos dizia respeito a contusões provocadas por quedas ou crises nervosas. Este fenómeno provocou cerca de 16 vítimas mortais no continente, onde 3 resultam de consequência direta do sismo. Em termos de feridos registam-se cerca de 70 feridos em Lisboa e 150 na região do Algarve, sendo estas as regiões mais afetadas no país.

Na região do Algarve, como consequência do mau tempo que se fez sentir logo após a ocorrência do sismo, os danos foram agravados. Chuvas e trovoadas intensas caíram sobre esta região, chegando a precipitação a atingir, em algumas localidades como Castro Marim, mais de 30 cm (O Século 02/03/1969). A água infiltrava-se pelas fendas já existentes ou coberturas danificadas dos edifícios, inundando o seu interior e colocando em risco a estrutura que já se encontrava em condições precárias. O mesmo foi observado em Lisboa entre os dias 13 e 14 de Março.

No que diz respeito à ilha da Madeira, o sismo foi registado às 2h43min (hora local) e não se registaram vítimas mortais ou feridos. Foi sentido em diversas zonas da ilha e, relativamente a danos materiais, há apenas a assinalar a abertura de pequenas fendas em algumas habitações e o colapso de uma casa desabitada (O Século 02/03/1969).

Em Marrocos registaram-se cerca de 8 vítimas mortais e 11 feridos. As localidades de Rabat, Casablanca, Tetuão, Safi, Marraquexe, Fez, Salé e Tanger foram as mais afetadas. Os danos nas edificações foram avultados e agravados pelas chuvas torrenciais que caíram no país, provocando

deslizamentos de terras e destruindo inúmeras habitações. Curiosamente, em Agadir, localidade fortemente atingida por um sismo em 1960 que provocou cerca de 12000 mortes, não houve prejuízos materiais. Contudo, o sismo foi sentido pela população que, assustada pela vibração e a lembrança do sismo anterior, fugiu para a praça (relato de testemunha direta). Em Espanha, o sismo foi sentido em inúmeras regiões como Sevilha, Madrid, Málaga, Alicante, Valência, Barcelona, Bilbao, Santander, Valladolid, Astúrias, Badajoz, Corunha e Huelva. Foram diversos os estragos materiais, afetando tanto edifícios particulares, como edifícios públicos, monumentos e Igrejas. Em termos de vítimas, registaram-se 5 vítimas mortais e 6 feridos.

#### *Zonas afetadas em Portugal Continental*

Embora as zonas mais afetadas em Portugal correspondam ao distrito de Lisboa e Faro, o sismo foi sentido e afetou diversas regiões ao longo do país. De destacar que Jesus (2017) é dos poucos autores que escreve, num livro de memórias muito depois do sismo, um capítulo sobre as consequências ocorridas em Vila do Bispo.

Os danos observados resumem-se à abertura de fendas (interiores e exteriores) de dimensão e extensão variáveis, no colapso total ou parcial de elementos salientes como chaminés, platibandas e ornamentos, na queda de variáveis porções de estuque e no deslocamento de mobília. Nas regiões de construção mais antiga é ainda citado o colapso de alguns edifícios. Inúmeras foram as Igrejas afetadas ao longo do país, com a abertura de fendas acentuadas nas abóbadas e fachadas assim como o colapso de ornamentos ou das cruces. Em algumas foi ainda observado o colapso total ou parcial de coberturas ou outros elementos estruturais.

Alguns monumentos nacionais e edifícios públicos também sofreram danos. Um dos monumentos mais afetados foi o Mosteiro da Batalha, em Leiria. Os danos observados, segundo o que foi possível apurar, consistiram no deslocamento de pilares na cimalha do alçado principal, na abertura de fendas na torre principal e nas caleiras. Todos os ornamentos de florão neste monumento abateram assim como o para-raios principal.

No entanto, existem algumas regiões onde o sismo foi sentido sem a existência de estragos materiais como o que foi observado no distrito de Castelo Branco, Viseu, Braga e Bragança, por exemplo.

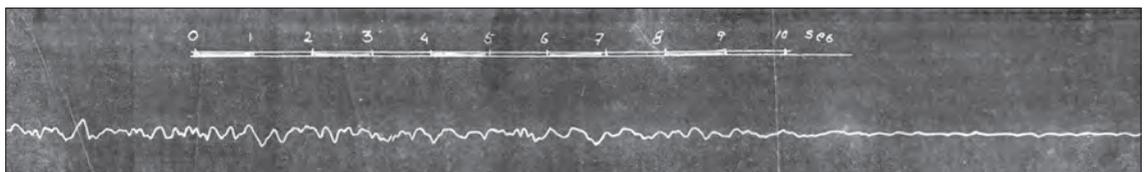


Fig. 1 - Registo acelerométrico obtido pelo sismógrafo existente na Ponte sobre o Tejo (Fonte: Diário de Notícias 01/03/1969).

Fig. 1 - Accelerometric record obtained by the seismograph at the Tagus Bridge (Source: Diário de Notícias 01/03/1969).

*Danos Colaterais*

Os danos colaterais que podem ocorrer como consequência de um sismo são os tsunamis, as inundações, os incêndios, as avalanches, os deslizamentos de terra e lama, a liquefação do solo, entre outros (Ferreira, 2012, p. 21). São consequências que podem provocar graves danos na população e nas estruturas. Os danos colaterais observados em Portugal Continental causados pelo sismo de 28 de Fevereiro de 1969 ocorreram com maior incidência na zona sul do país.

Na localidade Longueiras, no concelho de Odemira do distrito de Beja, verificou-se a abertura de fendas no solo assim como o deslizamento de terras nos taludes existentes na estrada que segue de Odemira para Vila do Bispo. Foi ainda observada a abertura de extensas fendas no solo num caminho existente entre Bensafrim e a propriedade de Corte do Bispo (Trêpa, 1969, p. 3-5), no distrito de Faro, assim como na localidade de Manteigas, no distrito da Guarda.

Na Praia de Gambozinos, em Sagres no distrito de Faro, ocorreu a queda de blocos rochosos (fot. 1). O mesmo ocorreu na Praia de D. Ana, em Lagos (Faro), mas em menor dimensão (fot. 2).

Ainda no mesmo distrito, em Armação de Pêra, ocorreu a queda de 15 a 20 metros de blocos rochosos na extremidade da falésia desta região (Trêpa, 1969, p. 6). Este fenómeno foi também observado em Portimão e na Trafaria, no distrito de Setúbal. Na primeira localidade, ocorreu a queda de blocos rochosos como consequência da fragmentação de uma rocha (que provocou uma vítima mortal) e na segunda localidade, um bloco rochoso desprende-se do alto da falésia, destruindo parcialmente as instalações de uma fábrica de tecidos (O Século 01/03/1969) (fot. 3).



**Fot. 1** - Queda de blocos na Praia de Gambozinos em Sagres, Algarve (Fonte: Trêpa, 1969, p. 22).

*Photo 1* - Falling of rock blocks on Gambozino's beach in Sagres, Algarve (Source: Trêpa, 1969, p. 22).



**Fot. 3** - Danos na cobertura da fábrica de tecidos localizada na Trafaria (Fonte: Diário de Notícias 01/03/1969).

*Photo 3* - Damage to the roof of the fabric factory located in Trafaria (Source: Diário de Notícias 01/03/1969).

Em Lisboa, do que foi possível apurar, é citado o deslizamento de terras na Quinta do Narigão, na freguesia de São João de Brito, o que colocou em risco inúmeras barracas que aí se localizavam.

*Efeitos no mar*

Para além das consequências descritas anteriormente, o sismo provocou um pequeno *tsunami* registado no Golfo de Cádiz, Casablanca e em Santa Cruz de Tenerife com uma amplitude de onda de 0,2, 1,2 e 0,2 metros, respetivamente (Ambraseys, 1985, p. 422), e em Cascais e Lagos com uma amplitude de onda de 0,93 e 0,84 metros, respetivamente (Florido, 2019, p. 13).



**Fot. 2** - Queda de blocos na Praia de D. Ana em Lagos, Algarve (Fonte: Trêpa, 1969, p. 23).

*Photo 2* - Falling of rock blocks on D. Ana's beach in Lagos, Algarve (Source: Trêpa, 1969, p. 23).

Regista-se que, pelo menos, 6 navios, a distâncias diferentes do epicentro, tenham sentido o impacto do abalo sísmico. Com as coordenadas de cada navio, foi possível calcular a respetiva distância ao epicentro com o auxílio do programa ArcGis v10.3.1 (2014) (fig. 2).

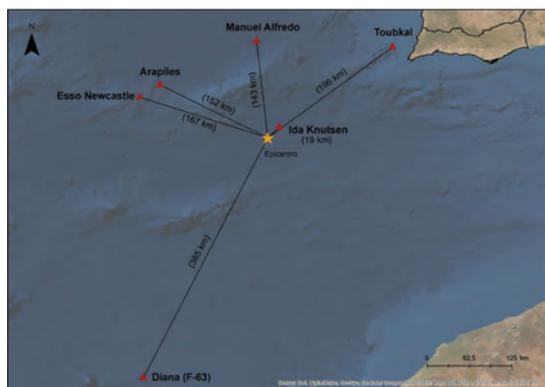


Fig. 2 - Localização dos 6 navios e respetiva distância em relação ao epicentro.

Fig. 2 - Location of the 6 ships and their distance from the epicenter.

O navio português *Manuel Alfredo* foi um dos afetados tanto pelo sismo como pelo pequeno *tsunami* gerado. O referido navio, com um peso bruto de 3300 toneladas e 103 metros de comprimento, tinha aproximadamente 50 passageiros a bordo. Encontrava-se nas coordenadas 37.29°N e 11°W (Florido, 2019, p. 11) quando sentiu um choque violento que fez vibrar todo o navio por, sensivelmente, 30 segundos, o que provocou algum pânico entre os tripulantes. Contudo, não houve registo de danos graves a assinalar como consequência do sismo.

O navio que se encontrava mais próximo do epicentro, a uma distância de, aproximadamente, 19 km, era o navio norueguês *Ida Knutsen*, com as coordenadas 36.12°N e 10.70°W e um peso bruto de 32500 toneladas e 200 metros de comprimento (Florido, 2019, p. 10). As consequências foram avultadas, tendo sido necessário deslocar-se para Lisboa para averiguar a gravidade dos danos estruturais sofridos devido ao impacto vertical, de baixo para cima, que suportou. Todo o equipamento de navegação e comunicação ficou destruído, assim como alguma tubagem e as anteparas interiores. O casco e as vigas ficaram deformados ou rachados e refere-se ainda o facto de os instrumentos que se encontravam pregados às paredes terem sido arrancados, equipamento solto e mobília ter sido lançado para o ar e todos os tanques laterais terem perdido água. Todos estes fenómenos descritos ocorreram num intervalo de, aproximadamente, 10 segundos. Como consequência dos danos sofridos, o navio foi dado como “perda total” (Page *et al.*, 1985, p. 14).

O terceiro navio que se encontrava mais próximo do epicentro diz respeito ao navio petroleiro espanhol *Arapiles*, com um peso bruto de 12500 toneladas e 142

metros de comprimento. Encontrava-se a cerca de 152 km do epicentro, com as coordenadas 36.68°N e 12.28°W. Em relação aos efeitos sentidos, apenas é referido pela tripulação vibrações muito fortes às 3h45min (hora local) (Florido, 2019, p. 11).

O quarto navio que se encontrava mais próximo do epicentro diz respeito ao *Esso Newcastle*, a cerca de 167 km, com as coordenadas 36.52°N e 12.55°W. Tinha um peso bruto de 51429 toneladas e 226.5 metros de comprimento. Tal como ocorreu com o navio *Ida Knutsen*, sentiu-se igualmente um grande choque vertical (Florido, 2019, p. 11). No entanto, não existe registo de danos a reportar.

*Toubkal*, era o quinto navio mais próximo do epicentro. Tratava-se de um navio de carga que se encontrava a, aproximadamente, 196 km do epicentro, com as coordenadas 37.18°N e 9.20°W. Tinha um peso bruto de 12950 toneladas e 150.3 metros de comprimento. Não foi reportado qualquer dano no navio, apenas que foram sentidas vibrações por cerca de 60 segundos (Florido, 2019, p. 11-12).

Por último, refere-se o navio espanhol *F-63 Diana*, com um peso bruto de 1136 toneladas e 75.5 metros de comprimento. Encontrava-se a, aproximadamente, 385 km do epicentro com as coordenadas 32.80°N e 12.50°W. A vibração sentida pelo navio durou apenas 4 segundos e não existem danos a assinalar como consequência do fenómeno (Florido, 2019, 12).

Com os efeitos acima descritos e recorrendo à escala sísmica de *Rudolph* para sismos sentidos em navios, torna-se possível classificar estes efeitos (TABELA I). Porém, é necessário ter em conta que todo este processo está dependente das informações descritas e da respetiva interpretação. Dado que as descrições dos danos não são muito extensas, futuras análises dos mesmos poderão alterar a intensidade proposta.

Para além dos fenómenos descritos anteriormente, também são mencionados alguns efeitos em Portugal Continental.

Na praia de Cabedelo, a sul de Viana do Castelo, o mar excedeu os seus limites normais tendo a água chegado às dunas da praia (O Primeiro de Janeiro 01/03/1969). No distrito de Viseu é referido que, devido à forte ondulação do solo, as águas do rio transbordaram (Jornal de Notícias 01/03/1969) e no distrito de Setúbal, no Montijo, é mencionado que uma onda, de altura significativa, foi vista ao longo do cais (O Século 01/03/1969).

Em Matosinhos, no distrito do Porto, é referido pelos pescadores que ocorreu uma súbita agitação do mar. Contudo, não se aperceberam da ocorrência do sismo (Diário de Manhã 01/03/1969). Na Fuseta, no distrito de Faro, também é referida a mesma sensação por alguns pescadores (O Século 01/03/1969).

TABELA I - Intensidade atribuída a cada navio em função dos efeitos sentidos.

TABLE I - Intensity attributed to each ship according to the effects felt.

| Navio                 | Resumo dos efeitos                                                        | Intensidade |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <i>Manuel Alfredo</i> | Choque violento que provocou fortes vibrações, mas sem danos a registar   | V           |
| <i>Ida Knutesen</i>   | Choque violento de sentido vertical que provocou graves danos estruturais | VIII-IX     |
| <i>Arapiles</i>       | Vibrações fortes sem danos a registar                                     | IV          |
| <i>Esso Newcastle</i> | Choque violento de sentido vertical, mas sem danos a registar             | V           |
| <i>Toubkal</i>        | Vibrações sem danos a registar                                            | IV          |
| <i>F-63 Diana</i>     | Vibrações sem danos a registar                                            | III         |

Santos *et al.* (2017), numa simulação do *tsunami* de 1969 e considerando o valor de 1.7 m na zona da rotura da falha, conclui que a elevação máxima do mar em mar alto seria de 1 m, o que demonstra que o *tsunami* não poderá ser responsável pelos impactes descritos nos navios, mas sim as ondas P (nas águas). Segundo essa simulação, a altura das ondas nas costas de Portugal Continental, sul de Espanha e Marrocos é inferior a 1 m.

#### Carta de Isossistas em 1969

Em Portugal, na época em estudo, a atribuição de intensidades era baseada na Escala de Intensidades de *Wood* e *Neumann* (1933), vulgarmente conhecida como Escala de *Mercalli* Modificada (MM 31) (*Wood et al.*, 1933).

A 3 Março de 1969, Mário Trêpa, do Serviço Meteorológico Nacional, SMN, (agora Instituto Português do Mar e Atmosfera, IPMA) partiu de Lisboa e dirigiu-se a inúmeras províncias do Alentejo e Algarve com o intuito de produzir um relatório referente aos efeitos sentidos durante o sismo, propondo uma carta de isossistas para a Península Ibérica. Posteriormente, ainda no mesmo ano, num estudo publicado por Alfredo Mendes, uma nova carta de isossistas referente apenas a Portugal Continental é apresentada onde foram realizadas algumas alterações às intensidades anteriormente atribuídas, nomeadamente nas regiões sul do continente. Mendes (1969) sugere a atribuição de uma intensidade de VIII apenas para o Cabo de S. Vicente ao passo que Trêpa (1969) propõe uma área mais ampla com a mesma intensidade, abrangendo Aljezur, Vila do Bispo, Sagres e Bensafrim. Já em 1982, num estudo publicado por Mezcua (1982) a intensidade máxima atribuída para a zona sul de Portugal Continental é de VII. Em Espanha a atribuição de intensidades era baseada na Escala *Medvedev-Sponheuer-Karnik* (MSK), criada em 1964 (*Wedvedev et al.*, 1969).

Outros autores, ao longo dos anos, foram propondo novas cartas de isossistas referentes ao sismo de 1969, sem alterações significativas aos dados anteriormente expostos. Estas intensidades (fig. 3) serão posteriormente comparadas com os resultados obtidos no presente estudo.

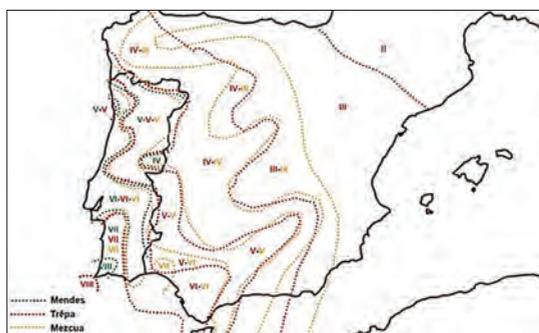


Fig. 3 - Carta de isossistas proposta por Mendes (1969) a verde, Trêpa (1969) a vermelho e Mezcua (1982) a laranja (Fonte: Florido, 2019).

Fig. 3 - *Isoseismal Maps* proposed by Mendes (ref) in green, Trêpa (ref) in red and Mezcua (ref) in orange (Source: Florido, 2019).

#### Tratamento da Informação

Neste trabalho, após uma descrição dos efeitos do sismo em todo o Continente irão ser expostas e analisadas com maior profundidade as informações para os distritos de Lisboa, Setúbal e Faro, e calculadas intensidades nessas zonas. Nos capítulos que se seguem explica-se, sucintamente, a metodologia adotada, baseada na Escala Macrossísmica Europeia (EMS-98) (*Grünthal*, 1998).

Pormenorizando o que se referiu na seção anterior, começou-se por separar os danos referentes aos edifícios particulares, Igrejas e edifícios públicos/monumentos. O objetivo prende-se em analisar os danos sofridos em cada edifício e classificá-los com o intuito de obter o Mapa de Intensidades Macrossísmicas com recurso ao programa *ArcGIS*® v.10.3.1 (2014). As coordenadas dos edifícios analisados foram obtidas com o auxílio do programa *Google Earth Pro*® v.7.3. O sistema de coordenadas geográficas utilizado nos mapas que serão apresentados é o WGS84 (*World Geodetic System* de 1984). Mais detalhes serão apresentados ao longo do texto.

#### Escala Macrossísmica Europeia (EMS-98)

A escala EMS-98 (*Grünthal*, 1998) permite, consoante a tipologia construtiva de cada edifício, associar um índice de vulnerabilidade e um grau de dano, com o intuito de

obter a percentagem de edifícios danificados e aplicar as definições de quantidade (“poucos”, “muitos” e “maioria”) descritas na EMS-98 (Grünthal, 1998) (fig. 4). Estas percentagens serão diferentes consoante a área considerada para análise. Procurou-se, sempre que possível, averiguar as consequências sofridas nas edificações em termos de freguesias e concelhos. Esta definição introduz o problema da escala de trabalho (unidade geográfica que se considera). No caso do sismo de 1969, como veremos adiante, no Algarve não foi possível obter a universalidade dos edifícios danificados, nomeadamente no concelho de Lagos, o que torna muito difícil a sua aplicação.

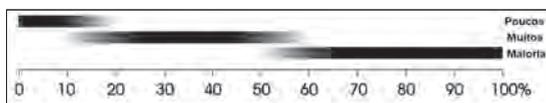


Fig. 4 - Gama de valores considerados para as definições de quantidade (Fonte: Grünthal, 1998, p.17).

Fig. 4 - Range of values considered in the definition of quantities (Source: Grünthal, 1998, p. 17).

*Classes de Vulnerabilidade*

As classes de vulnerabilidade têm como objetivo diferenciar o comportamento dos edifícios aquando da ocorrência de um sismo, sendo mais ou menos vulneráveis, consoante as suas características estruturais. Deste modo, a escala EMS-98 (Grünthal, 1998) propõe 6 classes decrescentes de vulnerabilidade (A a F) consoante o tipo de estrutura em causa (TABELA II).

No entanto, a vulnerabilidade de uma estrutura não depende única e exclusivamente da sua tipologia construtiva. O estado de conservação e qualidade dos materiais da estrutura, a regularidade, a ductilidade, a posição e o reforço são fatores que devem ser tidos em consideração aquando da atribuição da classe de vulnerabilidade, dado que podem aumentar ou diminuir a sua vulnerabilidade sísmica. A importância do edifício: a sua utilização, o número de andares e utilizadores são também fatores que influenciam o risco da estrutura, uma vez que é importante averiguar o perigo, tanto para os utilizadores como para o ambiente, que o seu colapso apresenta.

*Classe de Danos*

Com a tipologia construtiva e a classe de vulnerabilidade atribuída, é possível avaliar os danos sofridos pelos edifícios ao atribuir uma classe de danos (D1 a D5) consoante o seu grau e extensão. Esta escala propõe, assim, graus de danos com descrições sucintas para edifícios de betão armado e edifícios de alvenaria (TABELA III), tendo sido este último o tipo de edifício mais afetado. Nesta fase é também de extrema importância discernir o que são danos diretos e danos indiretos.

Os danos diretos podem ser classificados como danos estruturais ou danos não estruturais que ocorrem diretamente nas estruturas edificadas ou infraestruturas. Os danos estruturais são danos que ocorrem na estrutura principal provocando o aparecimento de fissuração nos pilares ou vigas, colapso de coberturas, entre outros, podendo resultar no colapso da estrutura. Os danos diretos não estruturais são, tal como o nome sugere,

TABELA II - Classes de vulnerabilidade por tipologia construtiva.

TABLE II - Vulnerability classes by building type.

| Tipo de Estrutura    |                                                                            | Classe de Vulnerabilidade                 |   |   |                 |   |   |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---|---|-----------------|---|---|
|                      |                                                                            | A                                         | B | C | D               | E | F |
| Alvenaria            | Alvenaria de pedra irregular e solta                                       | ○                                         |   |   |                 |   |   |
|                      | Adobe                                                                      | ○                                         | — |   |                 |   |   |
|                      | Alvenaria de pedra (aparelhada)                                            | ○                                         | — |   |                 |   |   |
|                      | Alvenaria de pedra aparelhada (silhares)                                   |                                           | ○ | — |                 |   |   |
|                      | Alvenaria de blocos de betão ou tijolo (não reforçada)                     |                                           | ○ | — |                 |   |   |
|                      | Alvenaria com pavimentos de betão (Placa)                                  |                                           | ○ | — |                 |   |   |
|                      | Alvenaria reforçada/Alvenaria confinada                                    |                                           | ○ | — |                 |   |   |
| Betão                | Estrutura porticada em betão armado sem conceção sismo-resistente          |                                           | ○ | — |                 |   |   |
|                      | Estrutura porticada em betão armado com conceção sismo-resistente moderada |                                           | ○ | — |                 |   |   |
|                      | Estrutura porticada em betão armado com conceção sismo-resistente elevada  |                                           | ○ | — |                 |   |   |
|                      | Estrutura de paredes em betão sem conceção sismo-resistente                |                                           | ○ | — |                 |   |   |
|                      | Estruturas de paredes em betão com conceção sismo-resistente moderada      |                                           | ○ | — |                 |   |   |
|                      | Estrutura de paredes com conceção sismo-resistente elevada                 |                                           | ○ | — |                 |   |   |
| Metálica             | Estrutura metálica                                                         |                                           |   |   | ○               | — |   |
| Madeira              | Estrutura de madeira                                                       |                                           |   |   | ○               | — |   |
| Classe mais provável |                                                                            | Margem menos provável (casos excecionais) |   |   | Margem provável |   |   |

danos que ocorrem em elementos não estruturais como, por exemplo, em paredes divisórias, tetos falsos, equipamentos mecânicos e eletrônicos, chaminés, platibandas, entre outros (Ferreira, 2012, p. 57). Embora não altere a capacidade resistente da estrutura, podem comprometer a segurança dos seus utilizadores para além de provocar prejuízos económicos.

Em relação aos danos indiretos, estes podem ser caracterizados como sendo uma consequência de um acontecimento externo que provoca danos na estrutura.

## Resultados e Discussão

### Distrito de Lisboa

O sismo foi sentido em toda a capital observando-se, essencialmente, o colapso, parcial ou total, de elementos salientes como chaminés, platibandas e ornamentos. Vários automóveis foram atingidos pelo colapso dos referidos elementos. Verificou-se ainda, principalmente nas zonas de construção mais antiga, a abertura de fendas (interiores e exteriores) em inúmeros edifícios. Ocorreu o colapso de algumas coberturas e

paredes, existindo edifícios que se desmoronaram ou tiveram de ser posteriormente demolidos, dado o seu estado de deterioração. Observou-se loiça e vidros partidos, queda de estuque e deslocamento de móveis nas habitações. Os edifícios públicos e monumentos foram também afetados, assim como as Igrejas.

A recolha da informação prendeu-se na análise das edições de jornais realizadas na época e das chamadas telefónicas efetuadas para o Batalhão Sapadores de Bombeiros, designadas “fitas do tempo”, durante o período de 28 de Fevereiro a 31 de Março. Nestes recursos foi possível identificar a localização do edifício citado e o respetivo dano sofrido, tendo sido identificados 909 edifícios particulares, 12 Igrejas e 23 edifícios públicos/monumentos no concelho de Lisboa.

Neste fase, importa referir a dificuldade em aceder a imagens que descrevessem os danos ocorridos em cada edifício identificado, pelo que, frequentemente, se recorreu ao *Google Maps*, e à ferramenta *Street View*, para atribuir a tipologia construtiva assim como outros fatores, nomeadamente, o seu tipo de utilização ou número de andares. Quando se observou que o edifício representado era relativamente recente, procurou-se

TABELA III - Classificação de danos em edifícios de alvenaria.

TABLE III - Damage classification in masonry buildings.

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p><b>Grau 1 (D1): Danos negligenciáveis a leves</b><br/> <b>Sem danos estruturais e os danos não estruturais são ligeiros</b><br/> Fendilhação em poucas paredes de alvenaria e não apenas do reboco<br/> Pequenas fissuras junto às janelas e portas <math>\leq 1</math> mm sem expulsão do material<br/> Fissuras horizontais entre paredes ou entrepisos com deslocamentos muito pequenos (<math>\approx 1</math> mm)<br/> Queda de alguns fragmentos de reboco<br/> Deslocamento de telhas</p> |
|  | <p><b>Grau 2 (D2): Danos moderados</b><br/> <b>Danos estruturais ligeiros e danos não estruturais moderados</b><br/> Fendilhação em algumas paredes, junto às janelas e portas até 1 cm<br/> Deslocamento entre paredes e pavimentos ou paredes e escadas ou entre paredes ortogonais<br/> Queda de rebocos<br/> Colapso parcial de chaminés</p>                                                                                                                                                    |
|  | <p><b>Grau 3 (D3): Danos severos</b><br/> <b>Danos estruturais moderados e danos não estruturais graves</b><br/> Fendilhação em muitas paredes, junto às janelas e portas até 1.5 cm<br/> Deslocamentos significativos entre paredes e pavimentos ou paredes e escadas ou entre paredes ortogonais<br/> Queda de elementos não estruturais (divisórias, empenas, etc.)<br/> Colapso total das chaminés e despreendimento de telhas</p>                                                              |
|  | <p><b>Grau 4 (D4): Danos muito graves</b><br/> <b>Danos estruturais graves e danos não estruturais muito graves</b><br/> Queda de telhados e pavimentos<br/> Fendilhação muito acentuada nas paredes</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|  | <p><b>Grau 5 (D5): Destruição</b><br/> <b>Danos estruturais muito graves</b><br/> Colapso total ou parcial</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

analisar as tipologias dos edifícios adjacentes o que diminui o rigor do processo e há que ter isso em consideração. Sempre que possível, tentou-se averiguar se seria possível aceder a fotografias antigas nos respetivos locais em que o edifício se encontrava. Toda esta fase de atribuição de intensidades é uma estimativa e depende da perceção ou sensibilidade do avaliador que se encontra a fazer a análise quando classifica o respetivo dano. Consequentemente, é necessária a recolha do máximo de informação possível para que essa classificação seja o mais rigorosa possível.

#### *Edifícios existentes em 1969 e respetivas classes de vulnerabilidade no concelho de Lisboa*

Na época de 1969, o concelho de Lisboa encontrava-se dividido em 53 freguesias. Para obter o número de edifícios existentes nesse ano, acedeu-se aos Recenseamentos dos anos 1960 e 1970, nomeadamente o Tomo 1 Volume 2 (1964) e o 1º Recenseamento de Habitação (1975), respetivamente.

No que diz respeito às tipologias construtivas dos edifícios existentes em cada freguesia, é necessário recorrer, uma vez mais, a estimativas uma vez que esta informação apenas começou a ser tratada no ano 2001. Acedendo aos dados do Recenseamento do ano de 2001 (Censos, 2002) foi possível obter o número de edifícios existentes por época e principais materiais utilizados na construção e, posteriormente, associar uma classe de vulnerabilidade. O valor total de edifícios em função da sua classe de vulnerabilidade foi obtido separadamente para cada freguesia e para a totalidade do concelho (fig. 5).

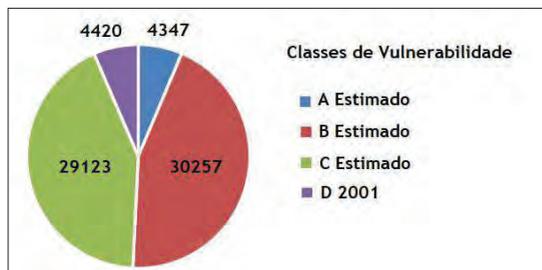


Fig. 5 - Estimativa para o número de edifícios existentes em 1969 por classes de vulnerabilidade em Lisboa.

Fig. 5 - Estimate for the number of existing buildings in 1969 by vulnerability classes in Lisbon.

#### *Tipologias construtivas existentes em Lisboa e respetivas classes de vulnerabilidade*

As tipologias construtivas existentes em Lisboa no ano de 1969, resumem-se em alvenaria de pedra, betão e madeira. Em relação aos edifícios de alvenaria de pedra tem-se edifícios Pré-Pombalinos, Pombalinos, Gaioleiros e Mistos (os designados edifícios Placa).

Em termos de habitações em madeira, pretende-se retratar as construções, frequentemente clandestinas, de bairros sociais existentes na época. As casas “abarracadas” poderiam ser estruturas pré-fabricadas de madeira sobre a qual assentavam placas de fibrocimento ou, em zonas mais precárias e ilegais, feitas de papelão e restos de outros materiais. Outras estruturas são os chamados “barracões” utilizados para arrumação de material. Este tipo de construção foi atribuído com uma classe de vulnerabilidade A.

Os edifícios Pré-Pombalinos apresentam um pé-direito reduzido, com um máximo de 4 pisos, e podem ser constituídos por paredes de alvenaria de pedra bem cuidada e emparelhada ou por paredes de alvenaria pobres (adobe ou taipa), apresentando uma classe de vulnerabilidade A ou B, respetivamente.

Os edifícios Pombalinos surgem com a necessidade de reconstruir a cidade de Lisboa após o sismo de 1755 e os edifícios Gaioleiros surgem em meados do século XIX devido, essencialmente, ao aumento da procura no mercado imobiliário. Ambos foram atribuídos com uma classe de vulnerabilidade B. A principal diferença entre os dois é que os primeiros são caracterizados por possuírem uma estrutura em “gaiola” (ou frontal pombalino) nas paredes interiores dos pisos acima do piso térreo, cujo objetivo é melhorar a capacidade de a estrutura resistir a ações horizontais (sismo). Possuem, no máximo, 4 pisos sendo o piso térreo destinado a zonas de comércio e composto por arcos e abóbadas de alvenaria. Já os edifícios Gaioleiros possuem, no máximo, 6 pisos.

Os edifícios Placa, atribuídos com uma classe de vulnerabilidade C, surgem na década 30 do século XX e distinguem-se das tipologias anteriores, essencialmente, pela existência de pavimentos em lajes de betão fracamente armadas que descarregam diretamente nas paredes.

Os edifícios integralmente constituídos em betão armado aparecem nos anos 30 e 40. Foram atribuídos com uma classe de vulnerabilidade C ou D, dependendo se se tratava de edifícios de Betão Armado de 1ª Época (sem conceção sismo-resistente) ou edifícios de Betão Armado de 2ª Época (com conceção sismo-resistente), respetivamente.

Com as classes de vulnerabilidade acima expostas e as definições de quantidade descritas anteriormente, torna-se possível criar matrizes de probabilidade de dano em função da classe de vulnerabilidade atribuída (TABELA IV).

#### *Resumo dos danos observados nos parques habitacional e monumental do concelho de Lisboa*

Como já foi referido, foram analisados 909 edifícios no concelho de Lisboa. Dentro destes, foram identificados 903 danos diretos estruturais e não estruturais e 6 danos indiretos ou colaterais.

TABELA IV - Matrizes de probabilidade de dano em função da classe de vulnerabilidade e grau de dano.

TABLE IV - Damage probability matrices according to the vulnerability class and degree of damage.

| Classe de Vulnerabilidade A |        |        |        |           |                      |
|-----------------------------|--------|--------|--------|-----------|----------------------|
| Intensidade\Classe de Dano  | 1      | 2      | 3      | 4         | 5                    |
| V                           | Poucos |        |        |           |                      |
| VI                          | Muitos | Poucos |        |           |                      |
| VII                         |        |        | Muitos | Poucos    |                      |
| VIII                        |        |        |        | Muitos    | Poucos               |
| IX                          |        |        |        |           | Muitos               |
| X                           |        |        |        |           | A Maioria            |
| XI                          |        |        |        |           | -                    |
| XII                         |        |        |        |           | Destruição Total     |
| Classe de Vulnerabilidade B |        |        |        |           |                      |
| Intensidade\Classe de Dano  | 1      | 2      | 3      | 4         | 5                    |
| V                           | Poucos |        |        |           |                      |
| VI                          | Muitos | Poucos |        |           |                      |
| VII                         |        | Muitos | Poucos |           |                      |
| VIII                        |        |        | Muitos | Poucos    |                      |
| IX                          |        |        |        | Muitos    | Poucos               |
| X                           |        |        |        |           | Muitos               |
| XI                          |        |        |        |           | A Maioria            |
| XII                         |        |        |        |           | Destruição Total     |
| Classe de Vulnerabilidade C |        |        |        |           |                      |
| Intensidade\Classe de Dano  | 1      | 2      | 3      | 4         | 5                    |
| VI                          | Poucos |        |        |           |                      |
| VII                         |        | Poucos |        |           |                      |
| VIII                        |        | Muitos | Poucos |           |                      |
| IX                          |        |        | Muitos | Poucos    |                      |
| X                           |        |        |        | Muitos    | Poucos               |
| XI                          |        |        |        | A Maioria | Muitos               |
| XII                         |        |        |        |           | A maioria destruídos |
| Classe de Vulnerabilidade D |        |        |        |           |                      |
| Intensidade\Classe de Dano  | 1      | 2      | 3      | 4         | 5                    |
| VII                         | Poucos |        |        |           |                      |
| VIII                        |        | Poucos |        |           |                      |
| IX                          |        | Muitos | Poucos |           |                      |
| X                           |        |        | Muitos | Poucos    |                      |
| XI                          |        |        |        | Muitos    | Poucos               |
| XII                         |        |        |        |           | Muitos destruídos    |

Fonte/Source: Grünthal, 1998.

Obteve-se o número total de edifícios atingidos em função da sua tipologia construtiva (TABELA V) e em função da sua classe de vulnerabilidade (TABELA VI). Em relação aos principais danos ocorridos, obteve-se um registo total de 1286 ocorrências, onde a maior incidência corresponde a danos nas chaminés e na abertura de fendas (fig. 6 e 7).

Dado o elevado número de edifícios afetados, apenas se apresentará alguns exemplos representativos da metodologia adotada para a classificação das respetivas classes de vulnerabilidade e graus de dano.

TABELA V - Número de edifícios atingidos em função da sua tipologia construtiva no concelho de Lisboa.

TABLE V - Number of buildings affected according to their type of construction in the municipality of Lisbon.

| Tipologia Construtiva | Número de Edifícios Atingidos |
|-----------------------|-------------------------------|
| Madeira               | 15                            |
| Pré-Pombalino         | 85                            |
| Pombalino             | 412                           |
| Gaioleiro             | 262                           |
| Placa                 | 105                           |
| Betão 1ª Época        | 18                            |
| Betão 2ª Época        | 6                             |
| Total                 | 903                           |

Um dos exemplos apresentados trata-se de um edifício Pré-Pombalino (fot. 4), de classe B. Como é possível observar, a informação disponível refere que a “empena abateu parcialmente e outra ameaça ruir” (“fita do tempo”, 1969). Atribuiu-se o grau de dano D3 (Danos Severos), tal como é sugerido na EMS-98 (Grünthal, 1998), para o colapso de elementos não estruturais.

No entanto, para o edifício do *Hotel Francfort* (fot. 5), um edifício Pombalino de classe B, foi atribuído um grau de dano D2 (Danos Moderados), tendo em conta os danos descritos. Sempre que é mencionada a abertura de fendas num edifício, pressupõe-se, em função das diversas descrições recolhidas, que a fendilhação superior a 1 cm não seria recorrente. Apenas se considerou um grau

TABELA VI - Número de edifícios atingidos em função da sua classe de vulnerabilidade no concelho de Lisboa.

TABLE VI - Number of buildings affected according to their vulnerability class in the municipality of Lisbon.

| Classe de Vulnerabilidade | Número de Edifícios Atingidos |
|---------------------------|-------------------------------|
| A                         | 15                            |
| B                         | 759                           |
| C                         | 123                           |
| D                         | 6                             |
| Total                     | 903                           |

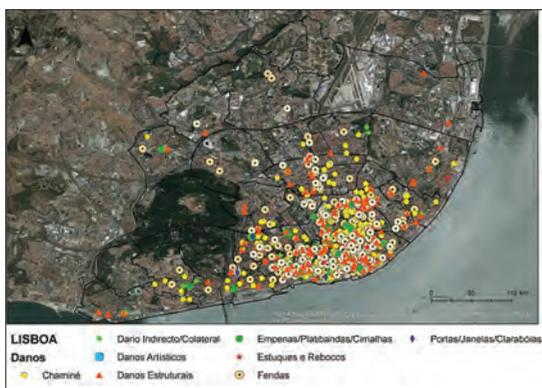


Fig. 6 - Mapa com os principais danos ocorridos no concelho de Lisboa.

Fig. 6 - Map showing the main damage that occurred in the municipality of Lisbon.



Fig. 7 - Mapa ampliado da fig. 6 com os principais danos ocorridos no concelho de Lisboa.

Fig. 7 - "Zoom" map of Fig. 6 with the main damage that occurred in the municipality of Lisbon.



Fot. 4 - Edifício Pré-Pombalino e respetivas características (Fonte da imagem: Google Maps).

Photo 4 - Pre-Pombaline building and respective characteristics (Image source: Google Maps).

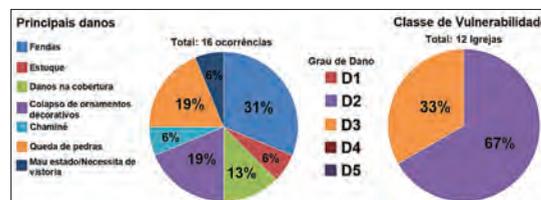
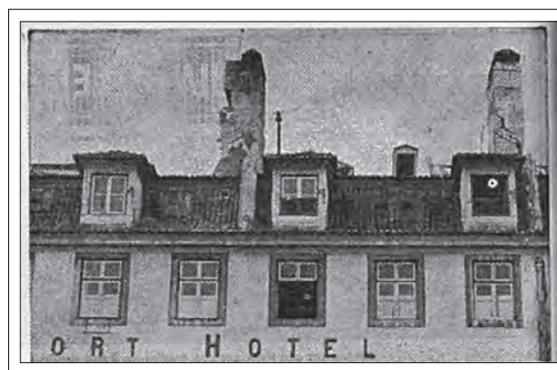


Fig. 8 - Principais danos e respetivos graus de dano observados nas Igrejas do concelho de Lisboa.

Fig. 8 - - Main damage and respective degrees of damage observed in the churches in the municipality of Lisbon.



Fot. 5 - Edifício Pombalino e respetivas características (Fonte: A Capital 28/02/1969).

Photo 5 - Pombaline building and its features (Source: A Capital 28/02/1969).

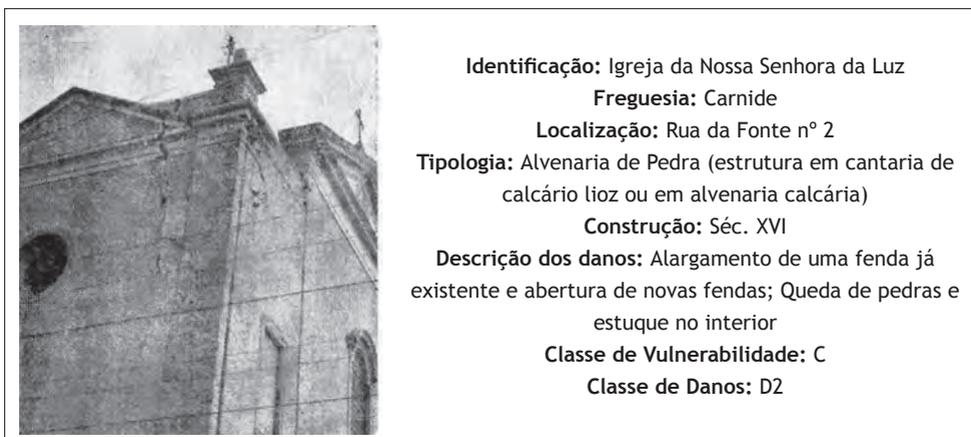
**Freguesia:** Santa Justa  
**Localização:** Praça D. Pedro IV nº 113 (Rossio)  
**Utilização:** Hotelaria  
**Nº Andares:** 4  
**Tipologia da Fachada:** Alvenaria de Pedra  
**Descrição dos danos:** 2 chaminés ameaçam ruir; Abertura de fendas; Queda de estuque dos tetos dos quartos do último piso  
**Classe de Vulnerabilidade:** B  
**Classe de Danos:** D2

de dano superior quando era referido que o edifício apresentava fendilhação acentuada ou quando existia uma descrição dos elementos onde esta era observada.

Em relação às Igrejas, foram analisadas 12 Igrejas no concelho de Lisboa, todas de classe C. Verifica-se que, aproximadamente, 67% apresenta uma classe de danos de grau D2 (Dano Moderado) e a maior incidência de danos diz respeito à abertura de fendas (cerca de 31%) (fig. 8).

Uma das Igrejas afetadas e frequentemente mencionada foi a Igreja da Nossa Senhora da Luz. O grau atribuído foi um grau de dano D2, uma vez que a principal consequência se deve a fendilhação já existente (fot. 6).

Foram analisados 21 edifícios públicos/monumentos. Um dos edifícios mais afetado foi o edifício Paços do Concelho, de classe B. Refere-se a abertura de fendas na escadaria, no átrio nobre, na sala do secretário da presidência, na



**Identificação:** Igreja da Nossa Senhora da Luz

**Freguesia:** Carnide

**Localização:** Rua da Fonte nº 2

**Tipologia:** Alvenaria de Pedra (estrutura em cantaria de calcário lioz ou em alvenaria calcária)

**Construção:** Séc. XVI

**Descrição dos danos:** Alargamento de uma fenda já existente e abertura de novas fendas; Queda de pedras e estuque no interior

**Classe de Vulnerabilidade:** C

**Classe de Danos:** D2

Fot. 6 - Igreja da Nossa Senhora da Luz e respetivas características (Fonte: Diário de Notícias 01/03/1969).

*Photo 6 - Nossa Senhora da Luz Church and its features (Source: Diário de Notícias 01/03/1969).*

sala dos vereadores e no salão nobre. Ocorreu o colapso de cerca de 11 m<sup>2</sup> de estuque e na escadaria todas as colunas quadrangulares de mármore ficaram lascadas e as juntas dos plintos deram de si. No 2º piso verificou-se, ainda, o colapso dos tetos em 3 salas de serviço do pessoal (O Comércio do Porto 02/03/1969). Como se verificou a queda de pavimentos e fendilhação extensa em alguns compartimentos atribui-se o grau de dano D4.

Outro edifício fortemente atingido foi o Hospital de São José, tendo sido necessário evacuar os utentes. Os maiores danos centraram-se essencialmente nos serviços 3 (nomeadamente a sala 1, de cirurgia geral e fraturas, e na sala de operações), 5 (sala 1, de ortopedia e fraturas) e 9 (salas 1 e 2). Refere-se a abertura de fendas muito acentuadas nas paredes e nos tetos, tendo alguns destes colapsado parcialmente. A queda de estuque foi substancial, sendo possível observar as estruturas dos pavimentos. É ainda citado o colapso de pedras, com um peso aproximado de 5 kg, assim como de telhas e tijolos (O Primeiro de Janeiro 02/03/1969).

No entanto, existiam alguns danos anteriores ao sismo, nomeadamente no serviço 9 que já apresentava fendilhação. Dado a severidade dos danos foi atribuído um grau de dano D4.

Verificou-se que, dentro desta categoria, cerca de 43% correspondem a danos de grau D3 (Danos Severos), 29% corresponde a grau D2 (Danos Moderados) e 19% corresponde a grau D4 (Danos Muito Graves). A maior incidência de danos corresponde à abertura de fendas (cerca de 39%) e a classe de vulnerabilidade mais atingida corresponde à classe B (cerca de 71% dos edifícios públicos/monumentos atingidos) (fig. 9).

#### *Estimativa da Intensidade Macrossísmica para Lisboa*

Para a atribuição de intensidades, obteve-se o número de classes de vulnerabilidade totais atingidas em função do grau de dano atribuído (fig. 10). Observa-se que a maior incidência de danos ocorre em estruturas de classe B (cerca de 83% da amostra em estudo). Os edifícios de

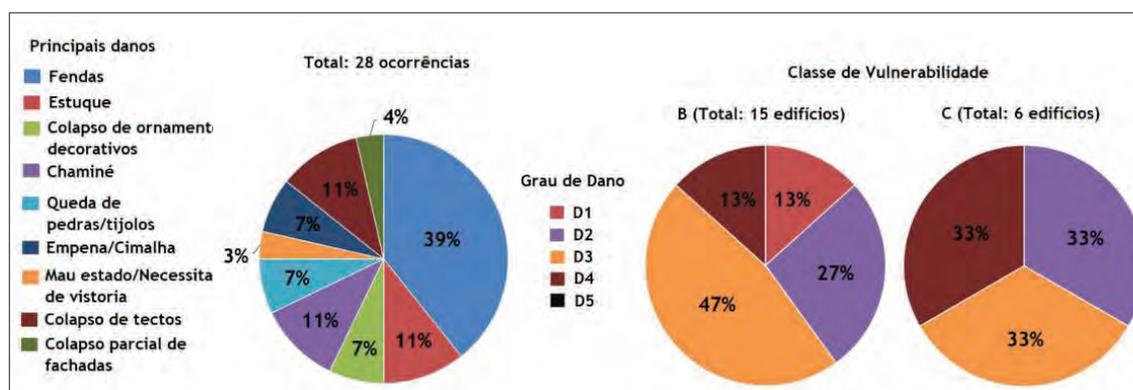


Fig. 9 - Principais danos e graus de dano atribuídos em função da classe de vulnerabilidade nos edifícios públicos/monumentos atingidos no concelho de Lisboa.

*Fig. 9 - Main damage and degrees of damage attributed according to the vulnerability class in the public buildings/monuments affected in the municipality of Lisbon.*

Betão Armado apresentam danos ligeiros a moderados, nunca apresentando um grau de dano superior a D2, representando apenas cerca de 3% da amostra em estudo.

Dentro da classe de vulnerabilidade B, verifica-se que 54% correspondem a edifícios Pombalinos, 34% a edifícios Gaioleiros e 12% a edifícios Pré-Pombalinos. Globalmente, a maior incidência de danos corresponde a um grau D3 (cerca de 64%) o que está de acordo com o elevado número de chaminés abatidas. Os danos correspondentes a um grau D4 representam apenas 5% da amostra (fig. 11).

Com recurso às matrizes de probabilidade de dano anteriormente expostas, calculou-se, a título de exemplo, a intensidade para a freguesia de Anjos (TABELA VII). Com a definição de “poucos D2, poucos D3 e poucos D4” obtida para uma classe B, infere-se que o valor de intensidade se encontra entre VI e VIII. Para os edifícios de classe C o valor de intensidade encontra-se entre VII e IX. Consequentemente, verifica-se que a intensidade para esta freguesia se encontra compreendida entre os valores VII e VIII. No presente trabalho, considerou-se que o melhor ajuste é dado pela escolha do menor valor do intervalo o que, para esta freguesia, corresponde a uma intensidade de VII.

A mesma metodologia foi adotada para as restantes freguesias (fig. 12). No que diz respeito aos restantes concelhos deste distrito, embora não tenha sido possível

TABELA VII - Valor final de intensidade para a freguesia de Anjos.

TABLE VII - Final intensity value for the parish of Anjos.

| Grau de Dano/Classe de Vulnerabilidade | A   | B                                      | C                                      | D   |
|----------------------------------------|-----|----------------------------------------|----------------------------------------|-----|
| D1                                     | 0%  | 0%                                     | 0%                                     | 0%  |
| D2                                     | 0%  | 2.4%                                   | 1.9%                                   | 0%  |
| D3                                     | 0%  | 3.3%                                   | 1.3%                                   | 0%  |
| D4                                     | 0%  | 1.0%                                   | 0.5%                                   | 0%  |
| D5                                     | 0%  | 0%                                     | 0%                                     | 0%  |
| Total em 1969                          | 73  | 509                                    | 624                                    | 107 |
| Total afetados                         | 0   | 34                                     | 23                                     | 0   |
| Definição de quantidade                | -   | Poucos D2,<br>Poucos D3 e<br>Poucos D4 | Poucos D2,<br>Poucos D3 e<br>Poucos D4 | -   |
| Valor de intensidade EMS-98            | -   | VI-VIII                                | VII-IX                                 | -   |
| Passa a                                | -   | VII                                    | VIII                                   | -   |
| EMS-98 final para a freguesia          | VII |                                        |                                        |     |

obter informações suficientes sobre a totalidade de edifícios atingidos, intensidades foram atribuídas (fig. 13). Porém, o grau de confiança nesta análise reduz substancialmente, dado que foi necessário aumentar o intervalo de valores considerados. Aplicaram-se as matrizes de probabilidade de dano considerando um intervalo de intensidades que englobasse tanto as classes A como as classes B, dado que se conclui que a probabilidade de edifícios atingidos com classe superior seja reduzida.

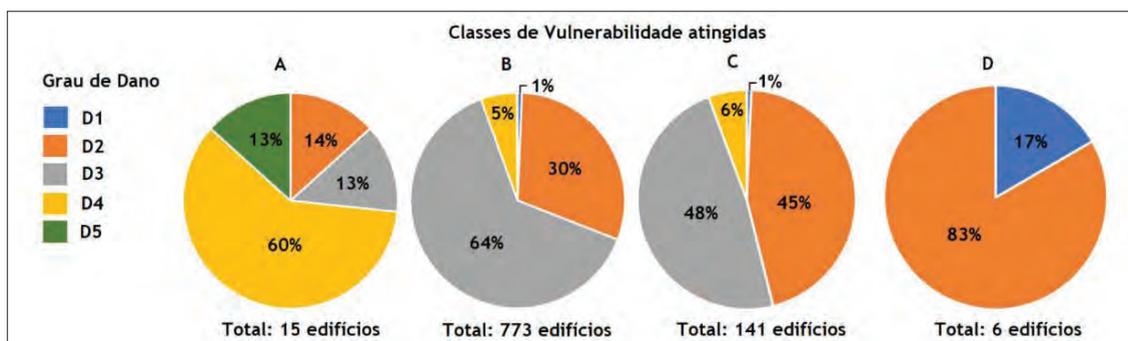


Fig. 10 - Classes de vulnerabilidade atingidas e respetivo graus de dano para o concelho de Lisboa.

Fig. 10 - Affected vulnerability classes and respective degree of damage for the municipality of Lisbon.

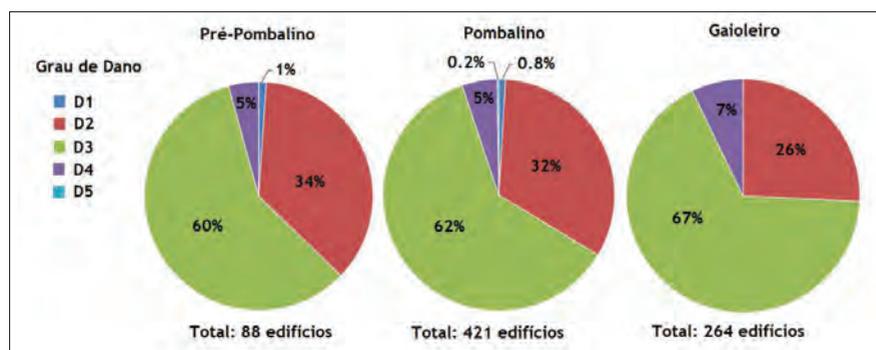


Fig. 11 - Grau de dano por tipologia construtiva (classe B) no concelho de Lisboa.

Fig. 11 - Degree of damage by type of construction (class B) in the municipality of Lisbon.

A título de exemplo, refere-se a metodologia adotada para a localidade de Alenquer. As descrições dos danos sofridos (TABELA VIII) sugerem que a classe de danos a atribuir se encontra entre os graus de dano D3 e D4 (TABELA IX). “Poucos D3” representam uma intensidade de VI para uma classe de vulnerabilidade A ao passo que para a classe B representam uma intensidade VII. Por conseguinte, o intervalo encontra-se entre VI-VII. Por outro lado, para “Poucos D4” o intervalo encontra-se entre VII-VIII, para as classes A e B, respetivamente. Obteve-se, assim, uma intensidade final de VI.

*Distrito de Setúbal*

Este distrito foi também bastante afetado, existindo um elevado número de edifícios danificados. Verificou-se a queda, parcial ou total, de elementos salientes como chaminés, platibandas e ornamentos e a abertura de fendas (interiores e exteriores). Alguns automóveis foram atingidos pelo colapso dos elementos referidos. Ocorreu o desmoronamento de alguns edifícios e de uma fábrica, tendo outros edifícios que ser demolidos dado

o seu estado deterioração. Os edifícios públicos foram igualmente atingidos assim como as Igrejas. Observou-se, ainda, loiça e vidros partidos e queda de estuques.

Existem, contudo, localidades em que apenas se refere que o sismo foi sentido sem a ocorrência de estragos materiais como, por exemplo, o que ocorreu nas localidades do Barreiro e Cercal do Alentejo.

A recolha de informação prendeu-se na análise das edições dos jornais publicados na época e da carta de danos fornecida pelo Serviço Municipal de Proteção Civil e Bombeiros de Setúbal (Bucho *et al.*, 2019).

Foram identificados 59 edifícios particulares, 7 Igrejas e 6 edifícios públicos/monumentos no concelho de Setúbal que se encontram descritos nos subcapítulos seguintes.

*Edifícios existentes em 1969 e respetivas classes de vulnerabilidade no concelho de Setúbal*

Na época de 1969, o concelho de Setúbal encontrava-se dividido em 6 freguesias.

TABELA VIII - Descrições recolhidas para o concelho de Alenquer.

TABLE VIII - Collected descriptions for the municipality of Alenquer.

| Localidade | Descrições recolhidas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alenquer   | Refere-se o colapso de um alpendre localizado no Largo da Rainha Santa Isabel (Diário de Lisboa 01/03/1969). Na localidade de Meca refere-se que, aproximadamente, dez casas ficaram em ruínas, entre elas, o edifício da escola. No Casal Monteiro também se registaram alguns prejuízos e no edifício da Câmara de Alenquer ocorreu o colapso parcial do teto no salão nobre e alguns ombreais abriram fendas (Diário de Notícias 01/03/1969) |

TABELA IX - Exemplo ilustrativo da aplicação da EMS-98 e atribuição de intensidades.

TABLE IX - Example of application of EMS-98 and assignment of intensities.

| Localidade | Síntese de danos        | Grau de dano | Definição de quantidade | Intensidade EMS-98 | Passa a | EMS-98 | EMS-98 Final |
|------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|---------|--------|--------------|
| Alenquer   | Colapso de alpendre     | D3           | Poucos D3 e Poucos D4   | VI-VII             | VI      | 6.7    | VI           |
|            | 10 casas em ruína       | D4           |                         | VII-VIII           | VII     |        |              |
|            | Colapso parcial de teto | D4           |                         | VII-VIII           | VII     |        |              |

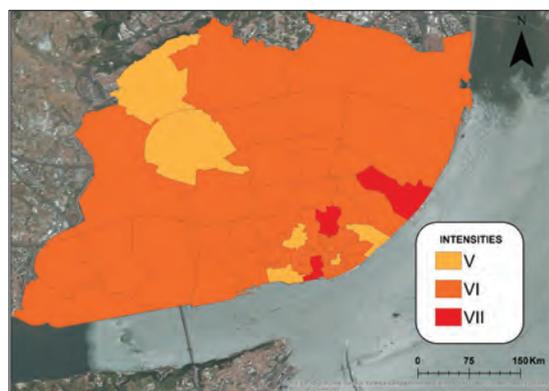


Fig. 12 - Mapa de Isossistas obtido para cada freguesia analisada no concelho de Lisboa.

Fig. 12 - Isoseismal Map obtained for each parish of the municipality of Lisbon.

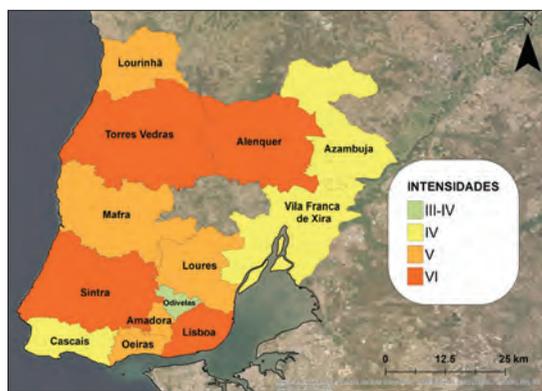


Fig. 13 - Mapa de Isossistas para o distrito de Lisboa.

Fig. 13 - Isoseismal Map for the district of Lisbon.

Para a estimativa do número de edifícios e respetivas tipologias construtivas existentes em cada freguesia, utilizou-se o mesmo critério adotado para o concelho de Lisboa. As tipologias construtivas existentes neste concelho no ano de 1969 são as anteriormente referidas para o concelho de Lisboa: alvenaria de pedra, betão e madeira. Contudo, a definição de Pré-Pombalino, Pombalino e Gaioleiro em função da época de construção são difíceis de aplicar fora do contexto de Lisboa. Por conseguinte, não se fará esta distinção nos restantes distritos.

Dito isto, estimou-se o valor total de edifícios existentes nas freguesias do concelho de Setúbal em função da sua classe de vulnerabilidade para o ano de 1969 (fig. 14). As freguesias de São Lourenço e de São Simão não foram contabilizadas na presente análise, uma vez que não foi possível obter informações sobre os possíveis danos sofridos como consequência do sismo.

*Resumo dos danos observados nos parques habitacional e monumental do concelho de Setúbal*

Em relação aos edifícios particulares, obteve-se o número de edifícios totais atingidos em função da sua classe de vulnerabilidade (TABELA X) e localizou-se cada dano em mapa (fig. 15). Obteve-se um registo total de 95 ocorrências (TABELA XI) onde, à semelhança do que se observou no concelho anterior, a maior incidência consiste em danos nas chaminés e na abertura de fendas.

TABELA X - Número de edifícios atingidos em função da sua classe de vulnerabilidade no concelho de Setúbal.

TABLE X - NNumber of buildings affected according to their vulnerability class in the municipality of Setúbal.

| Classe de Vulnerabilidade | Número de Edifícios Atingidos |
|---------------------------|-------------------------------|
| A                         | 1                             |
| B                         | 51                            |
| C                         | 5                             |
| D                         | 2                             |
| Total                     | 59                            |



Fig. 15 - Mapa com os principais danos ocorridos no concelho de Setúbal (Adaptado de Bucho et al., 2019).

Fig. 15 - Map showing the main damage that occurred in the municipality of Setúbal (Adapted from Bucho et al., 2019).

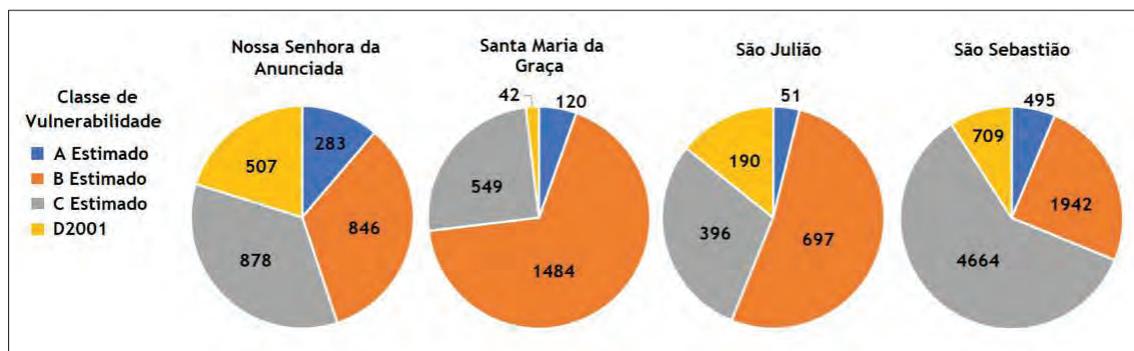


Fig. 14 - Estimativa para o número de edifícios existentes em 1969 por classe de vulnerabilidade em Setúbal.

Fig. 14 - Estimate for the number of buildings in 1969 by vulnerability classes in Setúbal.

TABELA XI - Principais danos observados no concelho de Setúbal.

TABLE XI - Main damage observed in the municipality of Setúbal.

| Freguesias              | Portas, Janelas, Claraboias | Fendas | Chaminés | Empenas, Platibandas, Cimalhas | Estuques e Rebocos | Artísticos | Danos Estruturais | Total |
|-------------------------|-----------------------------|--------|----------|--------------------------------|--------------------|------------|-------------------|-------|
| Nossa Sra. da Anunciada | 1                           | 12     | 17       | 5                              | 0                  | 0          | 0                 | 35    |
| Santa Maria da Graça    | 0                           | 3      | 5        | 0                              | 0                  | 0          | 0                 | 8     |
| São Julião              | 0                           | 14     | 16       | 3                              | 1                  | 0          | 1                 | 33    |
| São Sebastião           | 0                           | 8      | 6        | 0                              | 2                  | 0          | 1                 | 17    |
| Total                   | 1                           | 37     | 44       | 8                              | 3                  | 0          | 2                 | 95    |

Em relação às Igrejas, foram identificadas 7 Igrejas neste concelho, todas de classe C, e os danos observados incidem, essencialmente, no colapso de ornamentos decorativos (cerca de 34%). Verifica-se que, aproximadamente, 57% apresenta uma classe de danos de grau D2 (fig. 16).

Em relação aos edifícios públicos/monumentos, nesta categoria apenas foi possível identificar 6 edifícios públicos. Na generalidade, os danos incidem em escolas primárias, tendo sido identificado um edifício pertencente à Direção das Finanças. Os principais danos consistiram no colapso de chaminés, abertura de fendas e queda de estuque. Dos 6 edifícios analisados, 4 apresentavam uma classe de vulnerabilidade B (50% com grau de dano D2 e os restantes D3) e 2 apresentavam uma classe de vulnerabilidade C e graus de dano D3.

*Estimativa da Intensidade Macrossísmica para Setúbal*

Dentro das classes de vulnerabilidade identificadas (fig. 17) verifica-se, uma vez mais, que a maior incidência de danos ocorre em estruturas com classe B (correspondente a cerca de 75% da amostra em estudo) e com grau de dano D3.

Aplicando a metodologia adotada para o concelho anterior, calcularam-se as intensidades de cada freguesia deste concelho (fig. 18). Através dos dados expostos, atribuiu-se uma intensidade de VI para o concelho de Setúbal.

Devido à escassez de informação disponível sobre as restantes localidades deste distrito, foi adotado o mesmo critério estabelecido para o distrito anterior. Por conseguinte, através das diversas descrições recolhidas e aumentando o intervalo de classes atingidas, foi possível atribuir intensidades aos restantes concelhos (fig. 19).

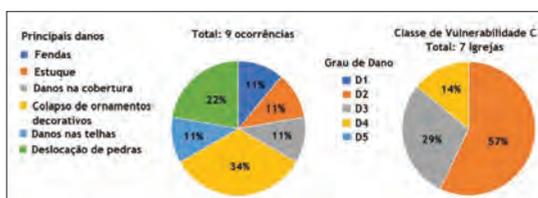


Fig. 16 - Principais danos e respetivos graus de dano observados nas Igrejas do concelho de Setúbal.

Fig. 16 - Main damage and respective degrees of damage observed in the churches of the municipality of Setúbal.

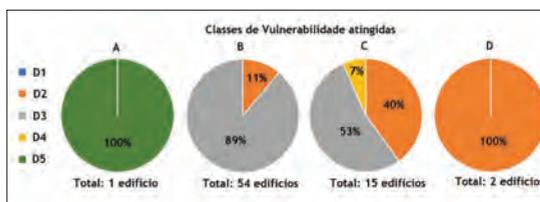


Fig. 17 - Classes de vulnerabilidade atingidas e respetivos graus de dano para o concelho de Setúbal.

Fig. 17 - Affected vulnerability classes and respective degree of damage for the municipality of Setúbal.

*Distrito de Faro*

Este foi, sem dúvida, o distrito mais afetado. Ocorreu o colapso, total ou parcial, de inúmeros edifícios, chaminés, platibandas, paredes e ornamentos e a abertura de extensas fendas (interiores e exteriores). As zonas mais afetadas correspondem às localidades de Silves, Fusetas, Lagos, Tavira, Castro Marim, Portimão, Faro, Vila do Bispo, Vila Real de Santo António, Fonte de Louseiros, Bensafirim, Loulé, Aljezur, Barão de São Miguel, Barão de São João, Armação de Pêra, Monchique e Albufeira. De facto, em Fonte de Louseiros, das 16 habitações ali existentes apenas 1 sobreviveu, embora bastante afetada. Em Bensafirim, regista-se o colapso de mais de 50 habitações e em Vila do Bispo cita-se que 70% das habitações encontravam-se bastante afetadas. Inúmeros foram os edifícios públicos, monumentos e Igrejas afetados ao longo deste distrito.



Fig. 18 - Mapa de Isossistas obtido para cada freguesia analisada no concelho de Setúbal.

Fig. 18 - Isoseismal Map obtained for each parish analysed in the municipality of Setúbal.

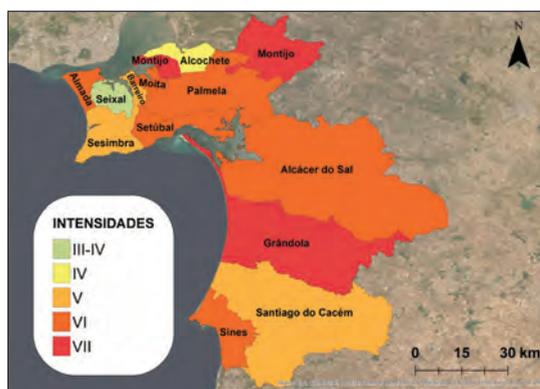


Fig. 19 - Mapa de Isossistas para o distrito de Setúbal.

Fig. 19 - Isoseismal Map for the district of Setúbal.

Infelizmente, a documentação existente é bastante escassa ou foi deslocada/perdida. Por conseguinte, a análise das intensidades incidirá essencialmente ao nível dos concelhos sendo necessário, à semelhança do que ocorreu nos distritos anteriores, efetuar alguns “pressupostos”. Esta análise ao nível dos concelhos suaviza, inevitavelmente, as intensidades atribuídas, visto que se aumenta substancialmente a área em análise. O ideal seria reunir informações suficientes para poder atribuir intensidades ao nível dos lugares, aproximando assim os resultados à realidade.

Em resumo, foram analisados 40 edifícios particulares, 34 Igrejas e 13 edifícios públicos/monumentos, embora as informações referidas na imprensa reporte mais de 400 imóveis danificados (por exemplo O Século 01/03/1969). Numa consulta ao Arquivo de Processos da Câmara Municipal de Portimão (1969) foi possível verificar que houve cerca de 100 processos de vistoria (ver ficha-tipo em Oliveira, 2019) e apontados 174 casos de pedido de ajuda.

#### *Edifícios existentes em 1969 e respetivas classes de vulnerabilidade no concelho de Faro*

Na época de 1969, o distrito de Faro encontrava-se dividido em 16 concelhos e as tipologias construtivas existentes neste distrito são as anteriormente referidas: alvenaria de pedra, betão e madeira.

A grande incidência de danos neste distrito deve-se, fundamentalmente, ao elevado número de construções em taipa existentes. Este tipo de construção é, atualmente, completamente desaconselhado devido ao seu deficiente desempenho sísmico em zonas de perigosidade sísmica. Os materiais utilizados apresentam reduzida resistência à tração e uma elevada fragilidade sendo estas construções pouco propensas a suportarem ações perpendiculares ao plano das paredes (Lourenço *et al.*, 2010, p. 5).

Estimou-se o número total de edifícios existentes por classes de vulnerabilidade para cada concelho deste distrito e, igualmente, para a sua totalidade (fig. 20).

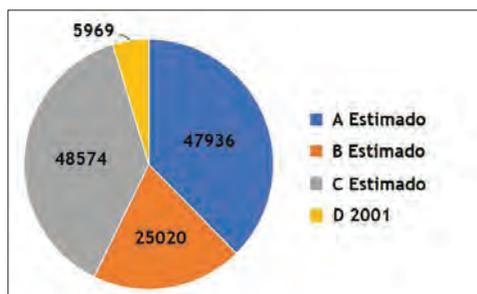


Fig. 20 - Estimativa para o número de edifícios existentes em 1969 por classes de vulnerabilidade no distrito de Faro.

Fig. 20 - Estimate for the number of buildings in 1969 by vulnerability classes in the district of Faro.

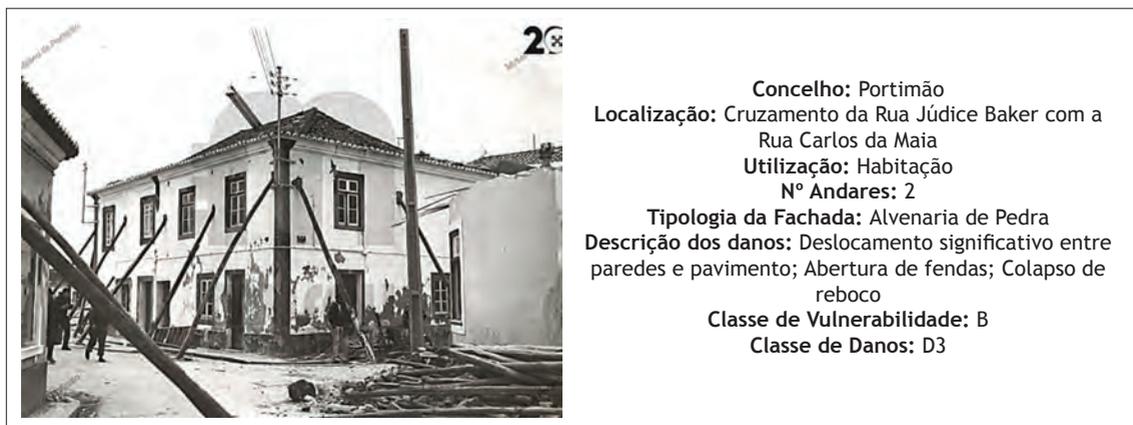
#### *Resumo dos danos observados nos parques habitacional e monumental no distrito de Faro*

Como já foi referido, não foi possível obter o número exato de edifícios atingidos neste distrito. Isto porque, existe imensa informação que foi perdida/deslocada e, por conseguinte, não foi possível localizar, em mapa, todos os edifícios danificados. Ou porque as descrições obtidas descrevem apenas a generalidade dos danos e não indicam o edifício específico ou porque o edifício terá sido posteriormente demolido não sendo possível localizá-lo atualmente. Com isto, em relação aos edifícios particulares, apenas foi possível obter amostras para os concelhos de Portimão e Loulé. Foi então possível analisar 7 edifícios no concelho de Loulé e 33 edifícios no concelho de Portimão.

Loulé, na sua generalidade, não sofreu elevados prejuízos como consequência do sismo. No entanto, embora apenas tenha sido possível localizar 7 fotografias, infere-se que, pelo menos, 50 casas tenham sofrido danos. Refere-se, ainda, que foi necessário proceder à demolição de 4 edifícios localizados na Rua de José Fernandes Guerreiro, dado o seu elevado estado de deterioração. Na localidade de Boliquireime, pertencente a este concelho, inúmeros edifícios abriram fendas, de extensões variáveis, existindo edifícios que se encontravam em perigo de colapsar. Os edifícios que mais danos sofreram situavam-se no Largo do Poço e perto da estação dos caminhos de ferro (Diário de Notícias 02/03/1969). Em relação ao concelho de Portimão, os estragos foram mais avultados. Observou-se, em inúmeras ruas desta região, vários edifícios escorados (fot. 7) tendo, inclusive, ocorrido o colapso de algumas habitações. Ocorreu, igualmente, o colapso, total ou parcial, de diversos elementos salientes como chaminés e empenas.

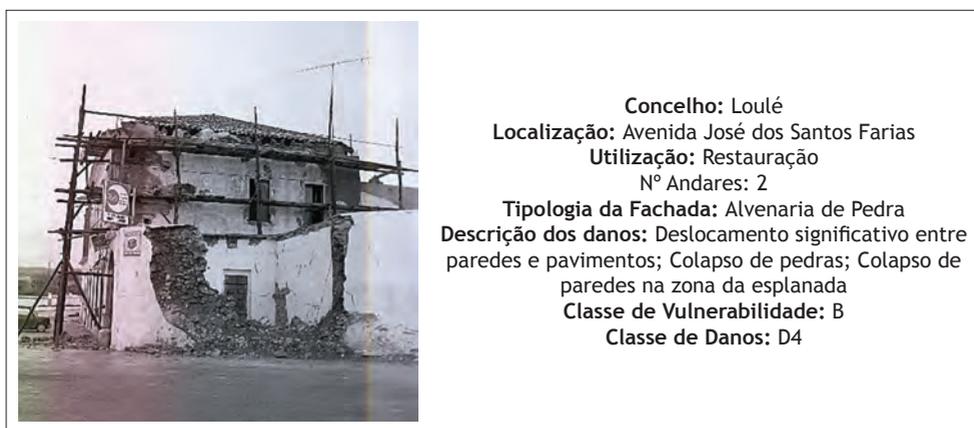
A título de exemplo, refere-se o que foi possível recolher de um edifício de restauração (fot. 8) existente no concelho de Loulé. Como é possível observar, foi necessário escorar o edifício visto que apresentava risco iminente de ruir. Na zona da esplanada ocorreu ainda o colapso total e parcial de paredes de alvenaria. Tendo em conta os extensos danos, optou-se por atribuir um grau de dano D4.

Em relação às Igrejas, foram identificadas 34 Igrejas ao longo deste distrito. Uma das Igrejas foi a Igreja de Nossa Senhora de Alva, também designada de Igreja Nova, em Aljezur. Constituída por paredes de alvenaria de pedra e cal, sofreu graves danos como consequência do sismo, ficando praticamente em ruína. Os arcos, as abóbadas e a torre apresentavam-se fortemente fendilhados. As colunas interiores de alvenaria apresentavam deslocamentos significativos (aproximadamente 15 cm) assim como as paredes da fachada da torre (Marecos *et al.*, 1970, p. 12). Tendo em conta os danos descritos, atribui-se um grau de dano D4.



Fot. 7 - Edifício de alvenaria existente no concelho de Portimão e respetivas características (Fonte: Museu de Portimão).

Photo 7 - Masonry building in the municipality of Portimao and its characteristics (Source: Portimao Museum).



Fot. 8 - Edifício de alvenaria existente no concelho de Loulé e respetivas características (Fonte: Serviço Municipal de Proteção Civil de Loulé).

Photo 8 - Masonry building in the municipality of Loulé and its characteristics (Source: Serviço Municipal de Proteção Civil de Loulé).

Em suma, os principais danos incidem na abertura de fendas (40%). 68% das Igrejas analisadas apresenta uma classe de danos de grau D3 e 21% uma classe de danos de grau D4 (fig. 21). Neste distrito, a maioria das Igrejas atingidas apresenta uma classe de vulnerabilidade B e localizam-se nas regiões mais rurais.

Em relação aos edifícios públicos/monumentos, foi possível identificar 13 edifícios.

Um dos edifícios mais afetado foi o Hospital Ribeira Ramos em Castro Marim. Este hospital ficou praticamente destruído devido ao colapso da zona onde se encontrava a maternidade. O primeiro abalo provocou o colapso da parede traseira deste hospital e as réplicas que se seguiram o colapso do teto e de 2 empenas laterais. Indiretamente, o colapso deste edifício provocou a destruição de uma habitação contígua. Por conseguinte, foi atribuído com um grau de dano D5 (Destruição).

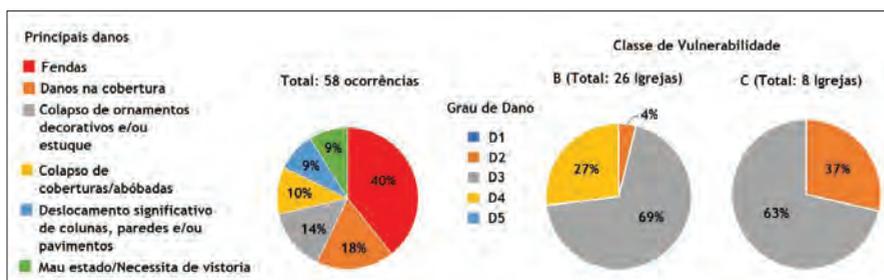


Fig. 21 - Principais danos e respetivos graus de dano atribuídos em função da classe de vulnerabilidade nas Igrejas do distrito de Faro.

Fig. 21 - Main damage and respective degrees of damage observed by vulnerability class in the churches of the district of Faro.

Escolas foram igualmente afetadas. A Escola Primária da Bordeira, em Aljezur, foi uma das fortemente danificadas apresentando fendilhação nos arcos de suporte do alpendre. Esta escola era de construção recente, constituída por alvenaria de pedra cuidada com lintéis e cintas de betão armado (Marecos *et al.*, 1970, p. 10).

Foram igualmente observados danos nos faróis, nomeadamente nos concelhos de Vila do Bispo e Vila Real de Santo António. Cita-se o derreamento de mercúrio e abertura de fendas em inúmeras paredes. O forte de Catarina, em Portimão, e o forte de Nossa Senhora da Rocha, em Lagos, apresentavam importantes prejuízos sendo necessário reparar extensas fendas e coberturas.

O Castelo de Castro Marim, considerado Monumento Nacional e de construção do século XIII, apresentava estragos elevados, principalmente na ala norte onde a parte superior das muralhas colapsou.

Nesta categoria, verifica-se que a maior incidência de danos corresponde à abertura de fendas (cerca de 42%) e que, aproximadamente, 63% dos edifícios atingidos apresenta uma classe de danos de grau D3 (fig. 22).

#### *Estimativa da Intensidade Macrossísmica para o distrito de Faro*

Para a amostra em estudo, considerando apenas os concelhos de Loulé e Portimão, verifica-se que a maior incidência de danos ocorre em estruturas com classe de vulnerabilidade A (cerca de 54%) e com grau de dano D3. A atribuição de intensidades para estes concelhos, seguiu a mesma metodologia adotada anteriormente. Obteve-se, assim, uma intensidade de VII para ambos os concelhos.

As intensidades para os restantes concelhos foram calculadas tendo em conta as diversas descrições recolhidas e considerando um intervalo de classes de vulnerabilidade entre A e B, uma vez que segundo a amostra o número de edifícios atingidos com esta última classe é significativo. Se a descrição refere que se tratava de habitações rurais ou de construção antiga, a classe A

foi adotada. Adicionalmente, foi possível a atribuição das intensidades ao nível de algumas localidades, nomeadamente para Vila do Bispo, Bensafrim, Fonte de Louseiros e Castro Marim onde foi possível recolher informações ao nível dos edifícios danificados (fig. 23).

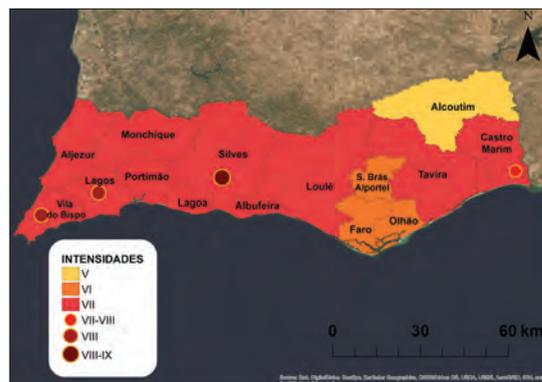


Fig. 23 - Mapa de Isossistas obtido para os concelhos do distrito de Faro.

Fig. 23 - Isoseismal map obtained for the municipalities of the district of Faro.

#### *Comparação dos resultados obtidos com outros estudos*

Foram identificados e analisados cerca de 1081 edifícios ao longo dos distritos em análise, o que permitiu a atribuição de intensidades ao nível das freguesias e concelhos.

Cerca de 64% apresentam uma classe de danos de grau D3 (Danos Severos), principalmente na zona centro. Globalmente, as estruturas mais afetadas apresentam uma classe de vulnerabilidade A ou B.

É importante referir que, no caso do distrito de Faro, como não foi possível obter o número de edifícios totais atingidos em cada concelho analisado, os graus de dano obtidos são inferiores às intensidades atribuídas anteriormente (fig. 24). De facto, seria de esperar a existência de classes de dano de grau D5 em algumas localidades a barlavento tais como Bensafrim, Fonte de Louseiros, Vila do Bispo, entre outras.

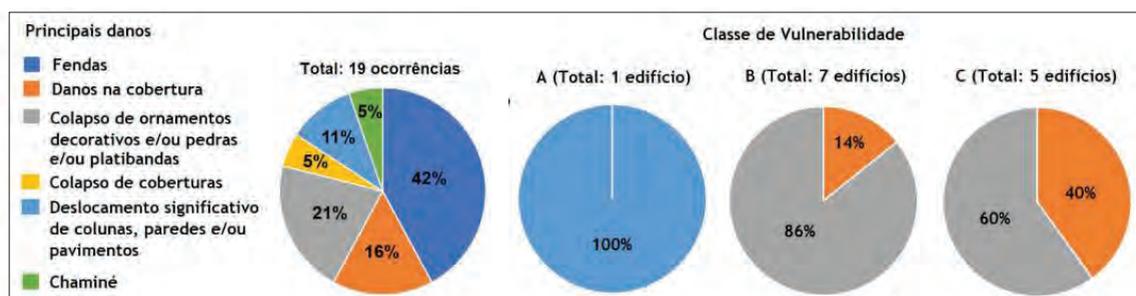


Fig. 22 - Principais danos e graus de dano atribuídos em função da classe de vulnerabilidade nos edifícios públicos/monumentos atingidos no distrito de Faro.

Fig. 22 - Main damage and degrees of damage assigned according to the vulnerability class in the public buildings/monuments affected in the district of Faro.

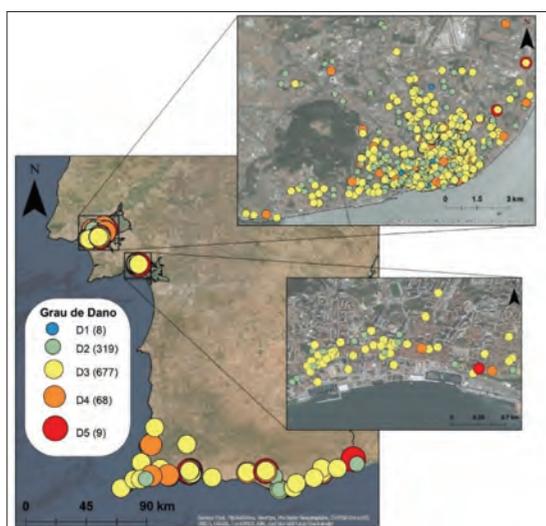


Fig. 24 - Graus de Dano atribuídos na área de Lisboa e no sul de Portugal.

Fig. 24 - DDegree of Damage assigned in the centre and south of Portugal.

No que diz respeito ao concelho de Lisboa, o elevado número de graus D3 encontra-se de acordo com as descrições recolhidas, uma vez que a grande maioria dos danos nos edifícios correspondem ao colapso de elementos não estruturais como chaminés, platibandas ou outros ornamentos. A baixa de Lisboa foi a região mais afetada, principalmente, as freguesias da Graça, Santa Justa, Santos-o-Velho e São Nicolau onde foi elevado o número de ocorrências registadas. Correspondem a zonas onde é elevado número de edifícios Pré-Pombalinos e Pombalinos (o que é ainda observado atualmente). A freguesia de São Jorge de Arroios também apresentou um elevado número de ocorrências, incidindo, essencialmente, em edifícios Gaioleiros. Em Setúbal, os graus D3 são mais incidentes na zona oeste da cidade.

Em relação às intensidades obtidas para os distritos em análise, estas apresentam algumas diferenças em relação aos valores sugeridos em estudos anteriores, nomeadamente na zona sul do país. Tal como foi referido anteriormente, Trêpa (1969) e Mendes (1969) sugerem a atribuição de uma intensidade VIII para as zonas sudoeste do distrito de Faro. No entanto, a intensidade máxima calculada para o distrito de Faro é de VII. Ao analisar as intensidades por Mezcua (1982) verifica-se que este sugere, igualmente, uma intensidade máxima para a zona sul de VII, o que está de acordo com os resultados obtidos. Para os distritos de Lisboa e Setúbal, as intensidades são semelhantes às anteriormente definidas (fig. 25).

## Conclusão

A análise de sismos passados possibilita a compreensão do impacte causado tanto ao nível das edificações como as consequências provocadas a nível social e económico.

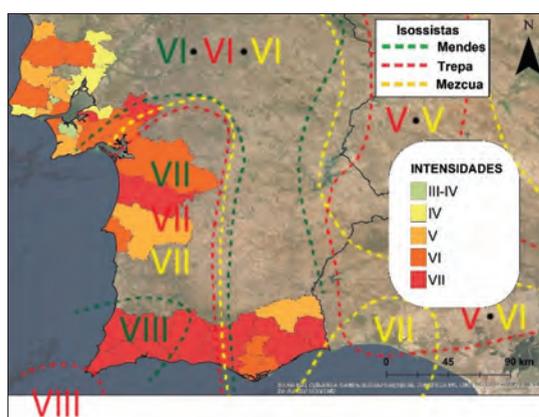


Fig. 25 - Comparação entre as intensidades obtidas e as intensidades definidas em estudos anteriores.

Fig. 25 - Comparison of the results obtained and the intensities defined by other studies.

Por conseguinte, o estudo realizado sobre o sismo de 28 de Fevereiro de 1969 permitiu compilar as diversas informações espalhadas por várias locais, desde os jornais existentes na época e alguns elementos soltos em câmaras municipais, arquivos, listas de chamadas telefónicas, entre outros, e comparar os resultados obtidos com os trabalhos publicados na altura do sismo. Este estudo, depois de uma descrição geral do que ocorreu em todo o Continente, concentrou-se essencialmente na zona Centro-Sul, designadamente nos Distritos de Lisboa, Setúbal e Faro, onde o impacte foi maior. Embora não seja um sismo muito conhecido, conclui-se que, de facto, provocou muito mais danos e mais vítimas do que anteriormente se conhecia.

Estas informações permitiram, assim, analisar um largo conjunto de edifícios atingidos, na cidade de Lisboa e outras a sul, e determinar, em cada uma delas, as zonas de maior impacte sísmico e quais as tipologias construtivas mais vulneráveis. De acordo com a EMS-98, estas correspondem a edifícios de vulnerabilidade A ou B. As construções antigas, presentes essencialmente na zona baixa de Lisboa e nas zonas rurais do Algarve, não apresentam características sismo-resistentes, sendo necessário tomar medidas que assegurem a segurança física da população.

Embora tenha sido possível aglomerar informações importantes sobre o presente tema, este deve ser alvo de um estudo contínuo. Como se trata de um acontecimento que ocorreu há mais de 50 anos houve, infelizmente, muita informação que foi perdida ou encontra-se em parte incerta, sendo essencial acrescentar mais elementos a este extenso conjunto já reunido. Nomeadamente, sobre as regiões do continente que não foram analisadas no presente trabalho. A repetição de um sismo de intensidade semelhante ou superior é inevitável, o que torna crucial o estudo de sismos passados para a criação de medidas de mitigação de risco sísmico.

### Agradecimentos Institucionais

Este texto é baseado na Dissertação de Mestrado realizada pelo 1º autor (Ana Vieira) em 2020 e não poderia ser feito sem o auxílio das seguintes entidades institucionais: Serviço Municipal de Proteção Civil de Setúbal (CMS); Serviço Nacional de Proteção Civil (à época do sismo) pelo acesso à lista de chamadas telefónicas, designadas de “fita do tempo”, 1969, efetuadas na sequência da ocorrência do sismo; Câmara Municipal de Portimão (CMP) e de Lagos (CMLagos) por permitirem acesso a informação sobre o sismo; Serviço Municipal de Proteção Civil de Loulé (CMLoulé); Hemeroteca de Lisboa, Museu de Portimão (MP) e Câmara Municipal de Vila do Bispo.

Agradece-se também a todos quantos proporcionaram recolha de elementos para este trabalho, nomeadamente, da CMS, CMP, CMLagos CMLoulé e MP. Agradece-se também a um revisor anónimo que muito contribuiu para a clarificação da primeira versão deste manuscrito.

### Referências bibliográficas

Ambraseys, N. (1985). *A Damaging Seaquake in Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volume 13 nº 3. Londres, Inglaterra, p. 421-424.

Arquivo Municipal de Portimão (1969). *Inquérito aos estragos causados pelo sismo de 28 de Fevereiro de 1969*. Processo: 005:1969.

Bucho, J. L., Aleluia, A., Guerra, V., Mendes, P. (2019). *Memória do Sismo de 1969, 28 de Fevereiro - a noite em que Portugal tremeu*. Serviço Municipal de Proteção Civil e Bombeiros (SMPCB). Setúbal, 12 p.

Custódio, S., Dias, N., Carrilho, F., Góngora, E., Rio, I., Marreiros, C., Morais, I., Alves, P., Matias, L. (2015). Earthquakes in Western Iberia: improving the understanding of lithospheric deformations in slowly deforming region. *Geophysical Journal International*, 203, no.1, 127-145.  
DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggv285>

*Escala sísmica de Rudolph para sismos sentido em navios* em Tropa, M. Relatório do inquérito levado a caso nas Províncias de Estremadura, Alto Alentejo, Baixo Alentejo e Algarve sobre o sismo de 28 de Fevereiro de 1969. Serviço Meteorológico Nacional. Lisboa, Março de 1969, Anexo VIII e IX.

ESRI ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, ARCGIS (2014) - Geographic Information System, Versão 10.3.1, Califórnia, EUA.

Ferreira, M. A. (2012). *Riscos Sísmicos em Sistemas Urbanos (Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil)*. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 21-181.

“Fita do tempo” (1969). Listagem cedida pelo Batalhão Sapadores de Bombeiros de Lisboa.

Florida, J. (2019). *Effects of the 28th February 1969 Cape Saint Vincent Earthquake from the available documentary sources*. Instituto Espanhol, 27 p.

Google Earth Pro (2019), Versão 7.3 <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/>

Grünthal, G. (1998). *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. Volume 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. Luxembourg, 99 p.

Hemeroteca Digital. *O Sismo de 1969 na imprensa portuguesa* em Hemeroteca Municipal de Lisboa. <http://hemerotecadigital.cm-lisboa.pt/EFEMERIDES/Sismo1969/Sismo1969.htm> [Consultado em Abril de 2019].

INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (1964). *X Recenseamento geral da população no continente e ilhas adjacentes*, Tomo 1, Volume 2, Parte I e II, Lisboa p. 227 a 473.

INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (1975). *1º Recenseamento de Habitação: continente e ilhas, 1970, Estimativa a 20%*, Lisboa, p. 291-306.

INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2002). *Censos 2001 - Resultados definitivos. Quadros de Apuramento (Edifícios-freguesia)*. Disponível em: [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_publicacao\\_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub\\_boui=377750&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=377750&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554) [Consultado em Setembro de 2019].

INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2002). *Censos 2001 - Resultados definitivos. Região do Algarve. Quadros de Apuramento (Edifícios-freguesia)* [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoesPUBLICACOESpub\\_boui=377828&PUBLICACOESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoesPUBLICACOESpub_boui=377828&PUBLICACOESmodo=2) [Consultado em Dezembro de 2019].

Jesus, A. V. (2017). *Vila do Bispo: Lugar de Encontros*, Vol II (Edição CM Vila do Bispo).

Lourenço, P. B., Oliveira, D., Schueremans, L., Silva, R. (2010). *A Construção em Taipa e os Sismos*. 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, p. 1-6.

Marecos, J., Castanheta, M. (1970). *Estudo do comportamento de estruturas sob a ação do sismo de 28 de Fevereiro de 1969*. Memórias nº 357, LNEC. Lisboa, 24 p.

Medvedev, S. V., Sponheuer, W. (1969). *Scale of seismic Intensity (MSK)*. Proceedings 4WCEE, 4, vol1, A2-143-153.

- Mezcua, J. (1982). Catálogo general de isossistas de la Península Ibérica. Instituto Geográfico Nacional, Madrid, España.
- Miranda, J. M., Carrilho, F. (2014). *45 Anos do sismo de 28 de Fevereiro de 1969*. Relatório IPMA. Lisboa, 17 p.
- Museu de Portimão (2019). *Efeitos do tremor de terra de 1969*. Coleção de fotografias. URL: <http://pesquisa.museudeportimao.pt/> [Consultado em Março de 2019].
- Oliveira, C. S. (2019). *Riscos Sísmicos, Aprender com o Passado: O caso de 1969*. Em Riscos Sísmicos, Aprender com o Passado, Estudos Cindínicos, (Coord: L. Lourenço e A. Gomes), Riscos - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra, 19-46.
- Page, R. e Basham, P (1985). Earthquake Hazards in the Offshore Environment. *U.S. Geological Survey Bulletin*, Volume 10, n.º 3-4, 14 p.
- Quintino, J. (1970). *O Sismo de 28 de Fevereiro de 1969*. Separata do Boletim do Laboratório Mineralógico e Geológico, Faculdade Ciências, 11, 265-292.
- Santos, A., Fonseca, N., Queirós, M., Zêzere, J. L., Bucho, J. L. (2017). *Implementation of Tsunami Evacuation Maps at Setubal Municipality*, Portugal. *Geosciences*, Volume 7, n.º 116.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences7040116>
- SMPC-LOULÉ (2019). Serviço Municipal de Proteção Civil de Loulé. Praça da República, 8104-001, Loulé.
- SIPA - SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O PATRIMÓNIO ARQUITETÓNICO. URL: [http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP\\_PagesUser/SitePageContents.aspx?id=08a335ea-db85-4fdd-862b-fe6e623e44a8](http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SitePageContents.aspx?id=08a335ea-db85-4fdd-862b-fe6e623e44a8) [Consultado em Abril de 2019].
- Teixeira, C. (1975). *Alguns aspetos geológicos dos efeitos do sismo de 28 de Fevereiro de 1969*. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Volume XIX, Portugal, 239-250.
- Trêpa, M. (1969). *Relatório do inquérito levado a cabo nas Províncias de Estremadura, Alto Alentejo, Baixo Alentejo e Algarve sobre o sismo de 28 de Fevereiro de 1969*. Serviço Meteorológico Nacional. Lisboa, 41 p.
- Wood, H.O., Neumann, F. (1933). Modified Mercalli intensity scale of 1931. *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol 2, 277-283.



RISCOS

territorium 28 (II), 2021, 115-133

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

DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-2\\_9](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_9)

Artigo científico / Scientific article



## IMPACTE DE UM ATAQUE TERRORISTA COM UMA ARMA NUCLEAR CONTRA LISBOA\*

### THE IMPACT OF A TERRORIST NUCLEAR ATTACK AGAINST LISBON

115

José Pimentel Furtado

Universidade de Lisboa

Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas (Portugal)

 0000-0002-3670-2771 [josepfurtado@sapo.pt](mailto:josepfurtado@sapo.pt)

#### RESUMO

O impacto da detonação de uma arma nuclear numa cidade é catastrófico, causando dezenas ou centenas de milhar de mortos e feridos e a destruição das estruturas urbanas. Este artigo visa investigar com maior precisão qual o impacto, nas suas componentes física e humana, de um ataque terrorista com uma arma nuclear, contra a cidade de Lisboa. Através da análise dos resultados quantitativos obtidos com um *software* que simula a realidade física de uma detonação nuclear, aplicada à área geográfica de Lisboa, conjugada com a análise de informação relativa aos bombardeamentos estratégicos à Alemanha, aos ataques nucleares a Hiroshima e Nagasaki, aos testes nucleares efetuadas durante a Guerra Fria e a outras investigações complementares, foi possível concluir que esse impacto corresponderia à destruição total do núcleo populacional e económico de Lisboa, das suas infraestruturas e de milhares de edifícios, numa extensão com cerca de 50 km<sup>2</sup>, provocando mais de 96.000 mortos e 168.000 feridos e contaminando uma vasta área abrangendo também a Península de Setúbal.

**Palavras-chave:** Terrorismo, nuclear, Lisboa.

#### ABSTRACT

The impact of the detonation of a nuclear weapon in a city is catastrophic, causing the death and injury of tens, or hundreds, of thousands of people and the destruction of the urban structures. This article aims to examine more closely what would be the physical and human impact of a nuclear terrorist attack against the city of Lisbon. The approach involved analysing the quantitative results obtained with a program that simulates the physical reality of a nuclear detonation, applied to the area of Lisbon. By coupling this with the analysis of other information concerning the strategic bombing of Germany, the nuclear attacks on Hiroshima and Nagasaki, the nuclear tests conducted during the Cold War and other related research, it was possible to conclude that this impact would entail the complete destruction of the human and economic core of the city. The infrastructure would be destroyed along with thousands of buildings within a 50 km<sup>2</sup> area, killing more than 96,000 people, wounding more than 168,000 and contaminating an extensive area including the Peninsula of Setúbal.

**Keywords:** Terrorism, nuclear, Lisbon.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 04-11-2020, sujeito a revisão por pares a 10-03-2021 e aceite para publicação em 26-04-2021. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Este artigo visa responder a uma questão: qual o impacto, nas suas componentes física e humana, de um ataque terrorista com uma arma nuclear, contra a cidade de Lisboa.

116

O impacto da detonação de uma arma nuclear numa cidade é catastrófico, resultando em dezenas ou centenas de milhar de mortos e feridos, na destruição generalizada das estruturas urbanas, físicas e sociais, com consequências ambientais, económicas, políticas e geopolíticas que poderão ser existenciais para alguns países.

Existem atualmente duas organizações terroristas que já manifestaram a intenção, e têm capacidade, para mobilizar os recursos e os apoios adequados para tentar organizar um ataque deste tipo, a *al Qaeda* e o *Daesh*. Duas outras, não tendo manifestado essa intenção, possuem igualmente a capacidade para mobilizar os recursos e os apoios adequados, o *Hezbollah* e o *Hamas*. Para a *al Qaeda* e o *Daesh* existem justificações de carácter ideológico, político e histórico que podem fundamentar a escolha de Portugal como alvo. Acresce a estes fatores ideológicos e políticos o fator geográfico, uma vez que Portugal se encontra na primeira linha de exposição a ataques lançados a partir do Atlântico Sul e do Norte de África (Furtado, 2018). A concretizar-se um ataque contra Portugal, será quase certamente dirigido contra a cidade de Lisboa e executado com uma bomba de potência compreendida entre as 10 e as 45 kt, transportada de fora do território nacional, por via marítima ou aérea (Furtado, 2018)

É assim necessário averiguar qual o impacto e as consequências de um tal ataque. Mas sem conhecer as características e dimensões reais do impacto, não é possível determinar nem avaliar as consequências, nem é possível proceder a uma tomada de decisão adequada para prevenir, mitigar e responder a uma tal situação.

Pouca, ou nenhuma, atenção tem sido prestada a esta ameaça quer pela sociedade civil em geral, quer pelo mundo académico quer, ainda, pelas autoridades nacionais responsáveis pelos sectores da segurança, da defesa nacional, da proteção civil e da saúde. Com este artigo pretendemos iniciar o debate desta questão.

Começaremos pela descrição dos principais efeitos das armas nucleares, cuja compreensão dos mecanismos de atuação é fundamental para a identificação e análise dos impactos da utilização da arma. Seguidamente procederemos à breve caracterização dos potenciais grupos terroristas, uma vez que as suas características condicionam não só o tipo de arma a utilizar, como os meios de projeção da mesma sobre o alvo. Finalmente, procederemos a uma breve caracterização do alvo, a cidade de Lisboa. Seguir-se-á uma simulação

numérica dos efeitos e impactes de um ataque nuclear, recorrendo ao *software* NUKEMAP (Wellerstein, 2012), e sobre os resultados desta simulação procederemos a uma análise quantitativa e qualitativa do impacto do ataque, no sentido de clarificar e precisar os resultados obtidos, transformando os números, círculos e polígonos obtidos através do *software* numa imagem de fácil compreensão.

Na redação deste artigo não foram tidas em conta as alterações provocadas pela crise da COVID 19, uma vez que neste momento não é ainda possível prever quais as suas consequências económicas, sociais e políticas no futuro.

## Metodologia

Esta investigação tem uma função preditiva, recorrendo ao método científico geral hipotético-dedutivo e ao método específico da experimentação. A experimentação é efetuada através de um modelo teórico numérico, que reproduz através de equações algébricas a realidade física de uma detonação nuclear, aplicada à realidade geográfica de Lisboa. Algumas das limitações deste modelo são ultrapassadas complementando os resultados da análise quantitativa com a análise qualitativa dos fatores não considerados por aquela.

### Modelo de análise

O modelo numérico utilizado é o *software* NUKEMAP criado em 2012 pelo Professor de história das ciências Alex Wellerstein, do Stevens Institute of Technology, em New Jersey, nos EUA. Este Instituto é o financiador do projeto NUKEMAP.

O NUKEMAP utiliza programas escritos por diversas entidades e utiliza-o para fins ligeiramente diferentes dos iniciais, combinando três tipos principais de *softwares*. Sobre uma base de informação geográfica Mapbox+Leaflet foi adicionada uma camada de informação demográfica, a LandScan Global Population 2011, produzida pelo Oak Ridge National Laboratory, sobre as quais funciona um conjunto de programas em JavaScript escritos pelo Prof. Wellerstein, para os quais verteu as fórmulas contidas nos dois manuais de referência, um de Fletcher *et al.* (1963) e o outro de Glasstone e Dolan (1977).

O *software* NUKEMAP funciona com tecnologia de *web browser* de forma a permitir a qualquer pessoa ver o que acontece quando uma arma nuclear é detonada. Os parâmetros da arma e o local da detonação podem ser escolhidos à livre vontade do utilizador: potência, tipo de detonação e o local. O programa utiliza uma base de dados em JavaScript que calcula as distâncias para os vários efeitos, traduzidas em coordenadas que o Google Maps API transforma em círculos e polígonos, apresentados visualmente através da interface do Mapbox.

Os círculos simulam os limites de:

- Bola de fogo: tudo o que atingir, vaporiza-se instantaneamente;
- Sobrepressões acima dos 20 psi (137,940 kPa): destruição completa dos edifícios e perto de 100% de mortes;
- Sobrepressões acima dos 5 psi (34,485 kPa): danos severos e generalizados nos edifícios com o colapso da maioria dos de habitação, elevada probabilidade de ignição de focos de incêndios entre as ruínas, morte e ferimentos generalizados entre as pessoas;
- Sobrepressões acima de 1 psi (6,897 kPa): danos ligeiros nos edifícios, quebra generalizada dos vidros provocando grande número de feridos atingidos pelos estilhaços dos elementos construtivos arrancados aos edifícios (vidros, telhas, portas, etc.);
- Níveis de radiação inicial aos 500 rem (5 Sv): morte de mais de 50% das pessoas expostas no intervalo de dois meses e morte por cancro em cerca 15% dos sobreviventes; e
- Radiação térmica de 9,3 cal/cm<sup>2</sup> (3,89 x 10<sup>5</sup> J/m<sup>2</sup>): queimaduras do 3º grau em 100% da pele exposta das pessoas expostas.

Se escolhida a opção “baixas”, os círculos são associados com a base de dados demográficos *LandScan Global Population 2011* que contém a população média em 24 horas de cada local (numa escala que o site do NUKEMAP diz ser muito fina, mas que não define), cujos efetivos são multiplicados por fatores de cálculo de baixas, dependentes da sobrepressão (psi/cm<sup>2</sup>) e das distâncias ao *ground zero*. Os resultados são apresentados no ecrã em dois números, um relativo ao número de mortos e o outro ao número de feridos. Estes cálculos são efetuados em PHP e MySQL.

Os polígonos simulam os limites das áreas contaminadas pelo *fallout* radioativo, para as intensidades de 1000 (10 Gy), 100 (1 Gy), 10 (0,1 Gy) e 1 (0,01 Gy) rad/hora. É importante notar que estas áreas são muito difíceis de prever pois dependem de muitos fatores, alguns não incluídos no NUKEMAP, como a relação entre as reações de fissão e de fusão ocorridas durante a detonação, outros, como as condições meteorológicas no momento da detonação, ou a natureza do solo no *ground zero*, exigem sistemas informáticos muito mais poderosos, trabalhando em tempo real com instrumentação instalada *in situ*. Os polígonos são calculados de forma simplificada, representando as distâncias aproximadas das várias intensidades da radiação do *fallout*, mas sem terem a preocupação de apresentar os seus contornos exatos.

#### *Limitações do modelo de análise*

O NUKEMAP foi concebido como uma ferramenta educativa e não como um simulador para planejar ataques

nucleares ou para planejar a resposta de emergência a tal tipo de acontecimentos. Para estes fins existem outros simuladores mais precisos e eficazes, embora não livremente disponíveis ao público. No entanto os resultados obtidos pelo NUKEMAP são suficientemente fiáveis para poderem ser utilizados numa avaliação geral dos impactes e consequências.

Uma das principais limitações do NUKEMAP é o facto de não considerar nem o terreno - relevo, arborização, lençóis de água, etc. - nem as condições meteorológicas, fatores que têm uma contribuição decisiva para o impacte direto das detonações. O *software* calcula a propagação dos efeitos das detonações como se estas se produzissem na superfície plana de um deserto em dia de sol, sem chuva, nevoeiro e independentemente da temperatura ambiente. A existência de edifícios, a sua altura e os diferentes tipos de construção não são tidos em conta, apesar dos edifícios contribuírem de forma significativa para distorcer os efeitos da detonação, deflectindo a onda de choque e o efeito de sopro, barrando o efeito térmico e atenuando o efeito da radiação nuclear inicial, contribuindo para o desenvolvimento de tempestades de fogo, especialmente nas zonas de grande densidade de construção.

As equações para cálculo das baixas só tomam em consideração o efeito da sobrepressão, utilizando como modelos de referência, os resultados obtidos das investigações realizadas em Hiroshima e Nagasaki. As baixas resultantes dos incêndios, da radiação inicial e do *fallout* não são consideradas.

A informação demográfica é baseada na média das 24 horas, não tendo em conta os ciclos de variação diária, semanal ou anual. Porém, ao mencionar nos resultados qual o efetivo da população considerado, permite efetuar algumas correções.

O NUKEMAP não simula os efeitos do Impulso Eletromagnético (EMP), devido às grandes variações deste efeito com a potência e a altura da explosão, com o tipo e características dos equipamentos elétricos e eletrónicos e com a falta de informação aberta sobre este tema.

#### *Discussão dos resultados*

Os resultados quantitativos obtidos através do NUKEMAP são agora analisados introduzindo correções relativas ao número de pessoas presentes no momento do ataque, ao tipo e densidade de construção prevalente na cidade de Lisboa, fatores fundamentais no processo de desencadeamento e nas consequências de uma tempestade de fogo, às implicações na mortalidade da conjugação fatal dos três principais tipos de ferimentos provocados pelas detonações nucleares - traumatismo, queimadura e síndrome de exposição aguda à radiação - e à sinergia desta conjugação de ferimentos com a

ausência de cuidados médicos, impossíveis de prestar em consequência do nível de destruição física no local e ao elevado número de feridos a socorrer em simultâneo.

#### *Vantagens e desvantagens da metodologia adotada*

118

São três as vantagens da metodologia adotada:

- Facilidade na obtenção dos resultados quantitativos;
- Facilidade na identificação da extensão desses mesmos resultados, através da representação gráfica gerada pelo NUKEMAP; e
- A interpretação dos dados quantitativos à luz dos dados qualitativos, introduz um maior rigor e clareza na compreensão daquilo que será o impacte real.

Relativamente às desvantagens, identificaram-se as três seguintes:

- Utilização pelo NUKEMAP de dados demográficos médios;
- Incapacidade do NUKEMAP em configurar os resultados de acordo com a geografia física e humana da região alvo;
- A interpretação dos dados qualitativos não é fácil e exige conhecimentos diversos muito específicos (e.g.: engenharia civil, engenharia eletrotécnica, medicina, etc.).

#### *Unidades do Sistema Internacional (SI)*

O NUKEMAP está construído com as unidades tradicionais e do Sistema Inglês, como o rem, o rad, o psi e as cal/cm<sup>2</sup>. Por esse motivo utilizaremos ao longo do artigo estas unidades, em vez das unidades do SI. Porém, a seguir à menção de uma unidade tradicional ou do Sistema Inglês, especificaremos o seu valor em unidades do SI, com os fatores de conversão entre os diferentes sistemas de unidades (TABELA I).

TABELA I - Conversão entre unidades convencionais e unidades do SI.

TABLE I - Conversion factors between traditional units and SI units

| Unidades S.I.    | Fatores de conversão                                                                                                              | Unidades Sist. Inglês e tradicional |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Sievert (Sv)     | 1 Sv = 100 rem<br>1 rem = 0,01 Sv                                                                                                 | rem                                 |
| Gray (Gy)        | 1 Gy = 100 rad<br>1 rad = 0,01 Gy                                                                                                 | rad                                 |
| Pascal (Pa)      | 1 Pa = 1,45x10 <sup>-4</sup> psi<br>1 psi = 6.897 Pa                                                                              | psi                                 |
| J/m <sup>2</sup> | 1 J/m <sup>2</sup> = 2,390x10 <sup>-5</sup> cal/cm <sup>2</sup><br>1 cal/cm <sup>2</sup> = 4,184x10 <sup>4</sup> J/m <sup>2</sup> | cal/cm <sup>2</sup>                 |

#### **Armas nucleares**

Armas nucleares (ou bombas atômicas) são engenhos explosivos, cuja explosão resulta da libertação súbita e descontrolada da energia resultante do processo de

fissão nuclear ou de fusão nuclear. O processo de fissão nuclear consiste na divisão do núcleo de um átomo em dois núcleos mais leves. O processo de fusão nuclear consiste na colisão dos núcleos de dois átomos leves, que se fundem num átomo mais pesado.

#### *Efeitos das explosões nucleares*

A detonação de uma arma nuclear produz quatro efeitos: 1) radiação nuclear inicial; 2) radiação térmica; 3) onda de choque e efeito de sopro e 4) radiação nuclear residual.

A radiação nuclear inicial é constituída principalmente por neutrões e raios gama, radiação eletromagnética de alta energia e ionizante libertada dos núcleos. Esta radiação pode percorrer grandes distâncias no ar e pode penetrar materiais de espessura considerável. Apesar de não poderem ser vistos ou sentidos pelos seres humanos, os raios gama e os neutrões produzem efeitos biológicos graves mesmo a grandes distâncias (Glasstone e Dolan, 1977, p. 8).

Dependendo do modo como a arma se encontra construída, cerca de um terço da energia total resultante da explosão é libertada sob a forma de energia térmica. Esta radiação térmica é tão intensa que, se a bola de fogo tocar na superfície terrestre, vaporiza imediatamente os materiais em que toca. A intensidade da radiação vai-se atenuando com a distância ao local da explosão e com o tempo. A detonação da bomba liberta uma quantidade enorme de energia (da ordem das kt ou das Mt de TNT) num intervalo de tempo muito curto (da ordem dos nanossegundos a segundos). Os produtos de fissão, o invólucro e os restantes materiais da bomba são aquecidos a temperaturas semelhantes às do centro do Sol, na ordem das várias dezenas de milhões de graus kelvin (podendo exceder 100.000.000° K). A temperaturas tão elevadas toda a matéria se vaporiza. Como no momento da explosão o material em estado gasoso ocupa o mesmo espaço original da bomba em estado sólido, produzem-se pressões enormes, superiores a milhões de vezes a pressão atmosférica. Em menos de um milionésimo de segundo, os materiais da bomba no estado de vapor, irradiam grandes quantidades de energia, principalmente sob a forma de raios-X invisíveis, que são absorvidos pela atmosfera envolvente, levando à formação de uma massa esférica extremamente quente e luminosa, composta pelo ar atmosférico e pelos resíduos da bomba (Glasstone e Dolan, 1977, p. 27).

A quantidade de energia libertada numa fração de tempo tão reduzida, conduzindo a temperaturas superiores a 100.000.000° K e pressões de vários milhões de atmosferas, provoca uma expansão violentíssima do gás que se encontra no interior da bola de fogo, provocando a formação de uma espécie de redoma muito fina e muito densa de ar comprimido, que se move para o exterior a grande

velocidade (várias vezes a velocidade do som), a que se chama onda de choque. A chegada da onda de choque assemelha-se a uma parede de betão em andamento, esmagando e fragmentando tudo à sua passagem. Após a passagem da onda de choque, embora a pressão diminua, continua a ser elevadíssima, com ventos que atingem centenas de km/h e que empurram, atiram, enrolam e desfazem tudo o que encontram. A estes ventos dá-se o nome de efeito de sopro (Glasstone e Dolan, 1977).

Quando se dá a detonação da bomba os átomos do explosivo nuclear, urânio ou plutónio, cindem-se noutros átomos menores, muitos deles igualmente radioativos. Estes isótopos decaem para outros isótopos através da emissão de radiação beta e gama. Dadas as elevadas temperaturas produzidas, também os restantes materiais da bomba se volatilizam. Os átomos destes materiais são igualmente bombardeados pelos neutrões emitidos na explosão, que os cindem e os transformam noutros isótopos radioativos. Quando a bola de fogo arrefece, o gás começa a condensar, formando uma nuvem radioativa cujos elementos se vão precipitando na superfície terrestre. A radiação beta e gama emitida pelos restos da bomba, constitui a radiação nuclear residual (Glasstone e Dolan, 1977, p. 27).

#### *Tipos de explosões nucleares*

A localização da explosão relativamente à superfície terrestre influencia de forma considerável os seus efeitos, sendo por isso um dos critérios principais na classificação do tipo das explosões em: submarinas, subterrâneas, de superfície, a baixa altitude e a alta altitude. No presente caso, apenas nos interessam as explosões de superfície e a baixa altitude. As explosões de superfície são realizadas na superfície terrestre ou a uma altitude tal que a bola de fogo toca na superfície terrestre, provocando uma grande quantidade de contaminação local e de *fallout*. Nas explosões a baixa altitude a bola de fogo não toca na superfície terrestre, mas a detonação dá-se abaixo dos 30 km, o que provoca a maximização da radiação nuclear inicial, do efeito térmico, da onda de choque e do efeito de sopro, mas atenuando consideravelmente a radiação nuclear residual (Glasstone e Dolan, 1977, pp. 27-45).

#### *Impacte direto das explosões nucleares*

Para efeito deste artigo, consideramos “impacte direto” o resultado imediato dos efeitos das explosões nucleares, em termos físicos, químicos e biológicos, sobre os seres vivos, as estruturas, os equipamentos e o ambiente.

A radiação nuclear inicial é emitida logo nos primeiros nanossegundos após o início da detonação uma vez que a emissão de neutrões e de raios gama faz parte integrante do fenómeno. Esta radiação altamente ionizante viaja à velocidade da luz, irradiando o ambiente

antes que qualquer outro efeito se faça sentir. Dadas as características muito penetrantes dos neutrões e dos raios gama, a proteção contra este tipo de radiação exige paredes de betão com metros de espessura para atenuar a sua intensidade até níveis seguros para a saúde humana (Glasstone e Dolan, 1977), provocando efeitos diversos no corpo humano. A curto prazo a morte celular, alterações no metabolismo celular, destruição da medula óssea, destruição das células do intestino delgado e cegueira e a médio e longo prazo a esterilidade, o cancro, a cegueira e cataratas. Outro dos efeitos da radiação nuclear inicial é o de cindir os átomos, transformando assim matéria inócua em isótopos radioativos (NATO, 1996).

A grande quantidade de raios gama emitidos quando da detonação da bomba, ioniza os átomos e as moléculas da atmosfera envolvente, arrancando-lhes os eletrões, que se deslocam para o exterior muito mais rapidamente que os núcleos atómicos carregados positivamente que, por terem maior massa, se movem mais lentamente. Como resultado, a região mais próxima da explosão fica momentaneamente com uma carga elétrica positiva, enquanto a zona mais afastada do local da explosão fica com uma carga elétrica negativa. Estas duas cargas separadas criam um campo elétrico que induz correntes fortíssimas nos circuitos elétricos e eletrónicos danificando-os (Rambousky e Sabath, 2013). No caso de explosões de superfície a intensidade do campo elétrico é de dezenas de milhar de v/m até aproximadamente a distância a que se faz sentir a sobrepressão de 10 psi (68,97 kPa) e de milhares de v/m, até aproximadamente o limite da sobrepressão de 1 psi (6,897 kPa) (OTA, 1979).

A grande intensidade da radiação térmica emitida pode provocar desde a vaporização imediata de pessoas, animais, vegetação e materiais, até à queimadura ligeira no corpo humano, assim como o desencadeamento de incêndios em diversos materiais, matando e ferindo todas as pessoas e animais que se encontrem até determinadas distâncias da explosão e destruindo tudo o que se encontre mais próximo do *ground zero*, por incineração imediata, ou por combustão posterior. Nas áreas mais afastadas, dependendo dos materiais e das condições existentes, esta radiação provoca uma enorme quantidade de focos de incêndio em simultâneo que, se encontradas as densidades de combustível e as condições meteorológicas adequadas, podem consolidar-se numa tempestade de fogo.

Existem duas maneiras através das quais as explosões nucleares podem originar incêndios: 1) absorção direta de radiação térmica por parte dos materiais e 2) consequência indireta da destruição causada pela onda de choque, em que incêndios podem ter início em equipamentos elétricos, curto-circuitos em instalações elétricas, ruturas em condutas de gás ou de outros combustíveis. Num ambiente urbano as

ignições no interior de habitações e escritórios têm maior probabilidade de se desenvolver em incêndios autossustentados, do que as ignições no exterior dos edifícios. As tempestades de fogo formam-se quando existem diversos focos de incêndios simultâneos e os gases quentes por eles produzidos, unem-se para formar uma coluna de convecção única. Este movimento ascendente de gases provoca o deslocamento horizontal maciço de ar fresco junto à superfície terrestre, para preencher a baixa pressão atmosférica gerada localmente, originando ventos horizontais que se dirigem para o interior do incêndio com velocidades que superam os 160 km/h. Estes incêndios só se extinguem quando todo o combustível existente no seu interior for consumido (Glasstone e Dolan, 1977, pp. 296-300).

A onda de choque e o efeito de sopro provocam a rutura dos tímpanos, dos pulmões, ou dos intestinos, a compressão do tórax e do abdómen produzindo a rutura do diafragma ou das vísceras sólidas (fígado, baço), a projeção e o impacte corporal e ferimentos causados pela projeção de fragmentos e destroços (Pinto, 2009, Assael e Kakosimos, 2010). Em ambiente urbano, grande percentagem dos mortos e feridos resulta do colapso e destruição dos edifícios (NATO, 1996), que esmagam quem esteja no seu interior e que atingem com os fragmentos e detritos a grandes velocidades, quem esteja no seu exterior. Nos edifícios provocam a quebra de pilares, vigas e lajes, o arrancamento dos elementos construtivos menos resistentes, como paredes em tijolo, telhas, portas e janelas, a rutura das canalizações de água, gás, eletricidade e telecomunicações e o derrube de estruturas que apresentem grandes superfícies orientadas na direção da explosão, como muros, telheiros e coberturas metálicas. Os veículos são esmagados pela onda de choque inicialmente e seguidamente projetados pelo efeito de sopro, dependendo a intensidade destes efeitos da distância a que se encontrem do *ground zero*, da robustez dos materiais e da massa dos veículos (Glasstone e Dolan, 1977).

À precipitação sobre a superfície terrestre dos restos dos elementos da bomba, chama-se *fallout*. Assume proporções muito significativas quando a detonação se concretiza à superfície terrestre, ou muito próxima desta, e a bola de fogo aspira para o seu interior poeiras, destroços e os materiais em que toca, bem como aqueles que os ventos de convecção gerados pela subida da bola de fogo na atmosfera arrastam consigo. Grande parte destes materiais é vaporizada pelas altas temperaturas no interior da bola de fogo, incorporando-se no gás que a constitui. Caso não sejam incorporados na bola de fogo, servem de núcleos de condensação em torno dos quais se condensam os vapores altamente radioativos do gás da bola de fogo. Ao precipitar-se na superfície terrestre, estas poeiras e cinzas provocam uma contaminação muito intensa que se estende por áreas muito extensas, dependendo das condições meteorológicas (Glasstone e Dolan, 1977).

Parte dos produtos da fissão, do explosivo nuclear não fissionado, dos resíduos da arma e de outros materiais envolvidos na bola de fogo, condensam-se numa fina suspensão de partículas muito pequenas com 0,01 a 20 micrómetros de diâmetro. Estas partículas podem ser transportadas até à estratosfera, especialmente se a potência da explosão for superior a 10 kt, sendo dispersas pelos ventos atmosféricos por todo o planeta. Após semanas, meses, ou anos, assentam gradualmente na superfície terrestre. No entanto este risco é muito reduzido (NATO, 1996).

#### *Fatores que afetam o impacte das explosões nucleares*

O impacte direto da detonação de uma arma nuclear depende de diversos fatores, sendo os principais o tipo de bomba, a sua potência, os seus materiais, o tipo de detonação, a natureza da superfície no local da detonação, o relevo e a rede hidrográfica, a ocupação humana do local da detonação e zonas envolventes, as condições meteorológicas no momento da detonação e nos dias posteriores à detonação. Esta multiplicidade de fatores que interagem entre si reciprocamente, faz com que seja muito complexo elaborar um modelo de simulação numérica dos efeitos das detonações nucleares, em que se pretenda obter um elevado nível de precisão.

#### **Terrorismo**

As armas nucleares que muito provavelmente um grupo terrorista poderá utilizar, não serão as ogivas com potências da ordem das megatoneladas de TNT disparadas em mísseis balísticos ou de cruzeiro, que exigem o acesso a um nível científico e tecnológico que não dispõem, mas serão armas com potências da ordem das dezenas de quilotoneladas transportadas em veículos comuns, disponíveis no mercado civil.

Utilizaremos como definição de terrorismo a definição de Schmid (2013, p. 86-87), construída com base num consenso entre diversos investigadores e académicos: *“Terrorismo refere-se por um lado a uma doutrina relativa à suposta eficácia de uma forma especial, ou tática, de geração do medo e de violência política de carácter coercivo e, por outro lado, a uma prática conspirativa de ação violenta direta, sem restrições legais ou morais, calculada e demonstrativa, tendo principalmente como alvos civis e não-combatentes, executada pelos seus efeitos propagandísticos e psicológicos em diversas audiências e partes no conflito”*.

A esta definição acrescentaremos as três precisões seguintes, importantes para caracterizar os grupos terroristas em estudo:

- a) Não consideraremos a utilização de armas nucleares pelos Estados, mesmo se recorrendo à utilização

de grupos de operações especiais, uma vez que tal prática se enquadra no âmbito da “guerra”, se utilizada contra outro Estado, ou do “genocídio”, se utilizada contra os próprios cidadãos;

- b) Igualmente, um grupo de operações especiais de um qualquer país que seja enviado com o objetivo de efetuar um ataque nuclear em território “inimigo”, disporá de equipamentos, treino, apoio e armas muito para além da capacidade de um grupo não-estatal autónomo e o seu *modus operandi* encontra-se fora do âmbito deste artigo;
- c) Este artigo aborda a possibilidade de um grupo não-estatal obter e utilizar uma arma nuclear, de forma autónoma, mesmo que para a obtenção desta arma tenha que recorrer aos arsenais, ou à colaboração de alguns agentes estatais, sendo que, estas ações decorrerão sem o envolvimento consciente e voluntário dos Estados envolvidos.

Da definição de Schmid (2013) e das precisões que introduzimos, para efeito deste artigo, considera-se grupo terrorista *“um grupo não estatal empenhado, ou com intenções de vir a empenhar-se em atos terroristas, definidos de acordo com a definição supra. Apesar de não estatal, um grupo terrorista pode recorrer a meios humanos, materiais e financeiros de um Estado, sem que esse recurso se faça de forma consentida pelo Estado envolvido”*.

Sendo um grupo não estatal e não contando com a colaboração direta de um Estado para obter a arma nuclear, o grupo terrorista terá que a construir, ou furtá-la (Furtado, 2018). Se optar pela construção, só poderá fabricar uma arma cuja potência será da ordem das poucas dezenas de kt e fabricada sem tecnologia sofisticada, tendo uma elevada probabilidade de produzir uma detonação nuclear deficiente, abaixo das 10 kt (Furtado, 2018).

Se o grupo decidir furtar uma arma, o país onde mais provavelmente encontrará condições mais favoráveis para o fazer, é o Paquistão (Furtado, 2018), cujas armas de maior potência são estimadas em cerca de 40 kt (SIPRI, 2020).

Assim, é de esperar que a potência da arma nuclear utilizada por um grupo terrorista oscile entre as 0,1 kt (arma deficiente) e as 40 kt (a mais potente arma do arsenal paquistanês).

Relativamente aos meios de projeção da arma sobre o objetivo, tratando-se de um grupo não estatal não é de esperar a utilização de meios sofisticados, sendo mais provável a utilização de uma viatura, de uma pequena embarcação, ou de uma aeronave ligeira.

A tecnologia dos *drones* encontra-se em franco desenvolvimento e, tal como vimos nos ataques lançados pelos rebeldes iemenitas contra as refinarias de petróleo

da Arábia Saudita em 2019, é de esperar que novas capacidades se venham a desenvolver, possibilitando aos grupos terroristas a utilização destes meios para a projeção da arma.

## Caracterização da cidade de Lisboa

### *Enquadramento geográfico*

O presente enquadramento climatológico foi redigido tendo como fonte a Ficha Climatológica de Lisboa 1971-2000, do Instituto de Meteorologia, a última disponível, e a informação contida no sítio da internet do Instituto Português do Mar e da Atmosfera I. P.

A cidade de Lisboa encontra-se localizada na costa Ocidental da Península Ibérica, no extremo sudeste da Península de Lisboa, compreendida entre as latitudes 38° 47' 45" N e 38° 41' 26" N e as longitudes 9° 13' 48" O e 9° 05' 58" O.

Com 100,5 km<sup>2</sup> e a menos de 10 Km de distância do Oceano Atlântico, é limitada a Sul e a Leste pelo Rio Tejo, cujo estuário se espalha pelo Mar da Palha, formando um extenso lençol onde a água doce do Tejo se mistura com a água salgada do Oceano. A Norte é limitada pela Serra da Carregueira (cota aproximada de 300 m), pela Ribeira de Odivelas e pelo Rio Trancão e a Oeste, pela Serra de Carnaxide (cota aproximada 200 m) e pela Ribeira de Algés.

A cidade ocupa sete colinas sendo Monsanto a que possui maior altitude (216 m), entre as quais correm diversas ribeiras, a maior parte das quais com os leitos totalmente artificializados, transformados em importantes eixos rodoviários urbanos.

Os principais parâmetros climáticos (TABELAS II a V) de Lisboa, foram medidos na estação meteorológica do Instituto Geofísico de Lisboa (38° 43' N; 9° 8' W; Alt. 77 m).

Na sua tese de doutoramento, Lopes (2003) (citada em Baltazar, 2010) identifica que *“em Lisboa, o regime do vento à superfície é dominado por um fluxo forte vindo de norte (50% das observações), embora apresente alguma variabilidade anual”*. O artigo de Alcoforado *et al.*, 2003 (citado por Baltazar, 2010) especifica que *“este rumo apresenta maior expressão durante os meses de Verão, enquanto o Inverno regista uma maior oscilação - rumos de nordeste, este e sudoeste”* (TABELA V).

### *Morfologia urbana*

O presente parágrafo foi redigido com base nos trabalhos da Professora Teresa Barata Salgueiro (2006) e do Engenheiro João da Silva Appleton (2001 e 2009).

As cidades históricas, em que Lisboa se enquadra, apresentam uma morfologia urbana diversificada, refletindo para além das determinantes geográficas, as

TABELA II - Temperaturas da cidade de Lisboa.

TABLE II - Temperatures in Lisbon.

| Temperaturas (°C): 1971 - 2000 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | JAN  | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEC  |
| Máxima absoluta                | 20,6 | 24,8 | 28,3 | 29,4 | 35,0 | 41,5 | 40,6 | 37,9 | 37,1 | 32,6 | 25,0 | 25,1 |
| Média                          | 11,3 | 12,6 | 14,3 | 15,3 | 17,3 | 20,3 | 22,7 | 22,9 | 21,7 | 18,4 | 14,8 | 12,4 |
| Mínima absoluta                | 0,4  | 1,2  | 2,9  | 5,5  | 6,9  | 10,3 | 13,1 | 13,8 | 10,7 | 8,0  | 3,9  | 2,4  |

Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia I.P. / Data source: Institute of Meteorology I.P.

TABELA III - Precipitação e humidade do ar na cidade de Lisboa.

TABLE III - Precipitation and Air Humidity in Lisbon

| Precipitação e humidade do ar: 1971 - 2000 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |             |
|--------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------------|
|                                            | JAN  | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV   | DEC   | Total anual |
| Humidade Relativa média ar (%)             | 86   | 83   | 76   | 73   | 71   | 69   | 67   | 68   | 73   | 79   | 83    | 86    | 76          |
| Maior Precipitação Diária (mm)             | 46.4 | 60.2 | 46.0 | 55.0 | 59.6 | 37.1 | 34.0 | 26.7 | 57.7 | 92.6 | 95.6  | 54.0  | 95.6        |
| Média da Precipitação Total (mm)           | 96.8 | 90.2 | 51.2 | 64.7 | 55.6 | 17.2 | 6.1  | 6.8  | 28.5 | 79.8 | 107.1 | 121.8 | 725.8       |
| Média de dias com precipitação             | 13.3 | 13.0 | 10.4 | 12.7 | 9.5  | 4.8  | 1.9  | 2.5  | 5.8  | 11.0 | 12.2  | 14.9  | 112.0       |

Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia I.P. / Data source: Institute of Meteorology I.P.

TABELA IV - Insolação da cidade de Lisboa.

TABLE IV - Sunlight in Lisbon.

| Número médio de dias com insolação: 1971 - 2000 |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |
|-------------------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
|                                                 | JAN | FEV | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEC  | Total anual |
| = 0%                                            | 3.1 | 2.2 | 1.0  | 0.9  | 0.7  | 0.2  | 0.2  | 0.1  | 0.3  | 0.9  | 2.3  | 4.4  | 16.3        |
| ≤ 20%                                           | 9.1 | 6.7 | 4.9  | 4.2  | 3.5  | 2.0  | 1.2  | 0.8  | 1.9  | 4.4  | 7.1  | 10.4 | 56.2        |
| ≥ 80%                                           | 9.4 | 8.9 | 11.6 | 10.6 | 11.9 | 15.3 | 20.8 | 22.0 | 15.3 | 12.3 | 10.3 | 8.9  | 157.3       |

Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia I.P. / Data source: Institute of Meteorology I.P.

TABELA V - Regime de ventos na cidade de Lisboa.

TABLE V - Wind Regime in Lisbon.

| Vento (km/h): 1971 - 2000         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
|                                   | JAN  | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEC  | Total anual |
| V/média                           | 12.2 | 13.2 | 13.0 | 13.6 | 13.7 | 13.7 | 13.9 | 13.9 | 12.1 | 11.8 | 11.7 | 13.0 | 13.0        |
| Maior valor da V/máx. instantânea | 108  | 112  | 103  | 86   | 108  | 83   | 90   | 87   | 125  | 98   | 105  | 112  | 125         |

Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia I.P. / Data source: Institute of Meteorology I.P.

vicissitudes políticas, sociais, económicas e ambientais ocorridas ao longo da sua existência. Das ruínas do povoamento pré-romano, aos edifícios modernos do Parque da Nações, várias camadas históricas se sobrepõem, evidenciadas na coexistência de estilos arquitetónicos, conceitos urbanísticos e tipos de ocupação do território de épocas muito diferentes.

Com o seu núcleo primitivo na vertente sul da colina do Castelo de S. Jorge, a cidade foi-se desenvolvendo em torno desta, extravasando as antigas muralhas para sul até ao Tejo e para poente até à zona do Martin Moniz, Praça da Figueira e Praça do Comércio. Esta é a área de ocupação mais densa, com ruas estreitas e sinuosas de características muçulmanas e medievais, ao longo das

quais se encontram pequenos edifícios com cobertura de telha, não ultrapassando os três pisos. Esta zona desenvolve-se em torno da colina do Castelo, pelos bairros da Graça, da Mouraria e da Alfama (Salgueiro, 2006).

A partir do séc. XV a ocupação da fachada ribeirinha por estaleiros navais, estabelecimentos industriais e armazéns de comércio, efetiva-se na zona da Praça do Comércio, Cais do Sodré e Santos. Acompanhando o desenvolvimento da zona ribeirinha, a urbanização da cidade estende-se para o interior e no séc. XVI um novo bairro é construído de raiz fora da cidade, o Bairro Alto. Do séc. XV ao séc. XVI a população de Lisboa passa dos 50/60.000 habitantes, para os 100/120.000, uma das poucas cidades europeias a ter mais de 100.000 habitantes à época (Salgueiro, 2006).

A destruição da baixa da cidade em 1755, provocada pela ação combinada do terramoto, do maremoto e do grande incêndio que se seguiu, deu oportunidade ao Marquês de Pombal e a Manuel da Maia e Eugénio dos Santos, de desenvolverem um tipo de urbanismo “moderno”. A Baixa é reconstruída segundo o padrão geométrico retilíneo e ortogonal, apagando a antiga estrutura medieval. Além da inovação ao nível do planeamento urbano, foi introduzida a inovação da construção antissísmica, com edifícios de quatro pisos construídos em alvenaria suportada por uma estrutura de madeira em gaiola, resistente às vibrações induzidas pelos sismos.

Na segunda metade do séc. XIX e início do séc. XX a cidade conhece um novo surto de expansão para norte, com a construção da Avenida da Liberdade e da Avenida Almirante Reis e, posteriormente, da Avenida da República. Ao longo destas avenidas foram surgindo novos bairros, como as Avenidas Novas, Campo de Ourique, a Estefânia, o Bairro Camões, o Bairro das Colónias ou o Alto de Santo Amaro. Estas edificações foram construídas com recurso às técnicas tradicionais de construção, utilizando a madeira, a pedra e o tijolo maciço.

Nos anos 30 do séc. XX, a Avenida Almirante Reis foi prolongada até à Praça Francisco Sá Carneiro, e desta saiu a Avenida Almirante Gago Coutinho até ao Aeroporto Humberto Delgado. Entre estas duas avenidas e as Avenidas Novas, o espaço foi preenchido com novas urbanizações, de onde se destaca a sul o Instituto Superior Técnico, a Alameda D. Afonso Henriques e o Bairro de São João de Deus, e a norte os bairros de São João de Brito, Alvalade e Campo Grande, o Hospital Júlio de Matos (1942) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1946). Unindo estes extremos norte e sul, a Avenida de Roma. As edificações desta época marcam a transição das técnicas tradicionais de construção, utilizando a madeira, a pedra e o tijolo maciço, para um novo material, o betão (Appleton, 2009).

Nas décadas de 1950 e 60 surgem bairros novos ao longo da Estrada do Lumiar, da Estrada da Luz e da Estrada de Benfica, ou, o mais emblemático de todos, os Olivais. Porém, a maioria dos edifícios construídos na cidade foram-no em substituição de velhos edifícios. Estes foram os primeiros edifícios a serem construídos recorrendo quase que exclusivamente ao betão, que nesta primeira fase de utilização maciça, apresentavam deficiências de organização estrutural e os betões utilizados tinham ainda um baixo desempenho mecânico (Appleton, 2009).

A partir de 1967, com a publicação do Regulamento de Estruturas de Betão Armado, assiste-se a uma melhoria significativa da resistência antissísmica dos novos edifícios. Em simultâneo, desenvolvem-se as primeiras ferramentas de cálculo automático de estruturas, permitindo um ganho substancial na precisão e na fiabilidade dos cálculos. No início dos anos 80 com a entrada em vigor de nova regulamentação, dá-se novo salto qualitativo

no desempenho dos edifícios sujeitos à ação sísmica. O computador banaliza-se e o desenvolvimento do software permite a realização do cálculo e da análise de estruturas cada vez mais complexas. Já no fim do séc. XX nova vaga de legislação, agora impulsionada pela União Europeia, produz um corpo regulamentar que acrescenta novas melhorias significativas na resistência dos edifícios (Appleton, 2009).

Nos últimos 40 anos, não foi só a quantidade e qualidade dos edifícios da cidade que cresceram, mas também o número e complexidade das infraestruturas. Abriam-se novos arruamentos e vias de circulação, como o Eixo Norte-Sul, ou a Avenida Marechal Spínola, e efetuaram-se diversas obras de arte nos eixos já existentes, como os viadutos e acessos à Segunda Circular, os túneis da Avenida da República e da Rotunda do Marquês de Pombal. A linha do Metropolitano que em 1959 tinha 5,7 km e 11 estações, passou para 44,2 km e 56 estações em 2016, cinco destas já fora dos limites administrativos da cidade.

Destacamos também o desenvolvimento efetuado nos últimos 30 anos na área das telecomunicações, da rede telefónica fixa e portátil, às redes de transmissão de dados por fibra ótica e satélite. Numa cidade que se pretende desenvolvida e competitiva no séc. XXI, a capacidade de comunicação de informação e, consequentemente, as infraestruturas sobre as quais esta comunicação se produz, são verdadeiramente estratégicas.

### *Caracterização demográfica*

Lisboa é uma cidade de dimensão média à escala europeia, com 508.368 habitantes, correspondendo a cerca de 4,9% da população total do País, com uma densidade média de 5.801,1 hab/km<sup>2</sup> (CML, 2019).

Diariamente entram na cidade uma média de 425.747 pessoas e saem 47.521 (CML, 2019) o que se traduz numa população de cerca de 887.000 na cidade, durante os dias úteis. A este número há ainda que adicionar as 12.553.476 dormidas de turistas registadas durante o ano de 2017 (CML, 2019), o que dá uma média diária de 34.393 dormidas, resultando num total de mais de 921.000 pessoas na cidade, em média, durante os dias úteis.

### **Simulação do cenário de ataque**

#### *Pressupostos*

O cenário que iremos desenvolver baseia-se na detonação de superfície de um engenho nuclear de 40 kt no topo do Parque Eduardo VII, na Alameda Cardeal Cerejeira, frente ao mastro da Bandeira Nacional, em Lisboa. A detonação ocorre às 13h30 de um dia útil da semana, no mês de outubro.

A escolha da arma de 40 kt corresponde ao cenário identificado como o mais perigoso e o segundo mais provável

por Furtado (2018), consistindo no furto de uma arma nuclear do arsenal do Paquistão. Embora a potência das armas nucleares paquistanesas não seja conhecida (SIPRI, 2020), referências a potências da ordem das 40 a 45 kt são frequentes. O valor de 40 kt é referido pelo próprio SIPRI nos seus *yearbooks* e será o valor utilizado neste artigo.

### *Cenário do ataque*

Após o desembarque em Portugal da ogiva nuclear de 40 kt, os terroristas transportam-na num veículo comercial ligeiro de caixa fechada até ao local escolhido para a detonação, o Alto do Parque Eduardo VII, conduzindo calmamente no meio do tráfego urbano. A detonação dá-se às 13h30, de um dia útil da semana, dia soalheiro do mês de outubro. A esta hora e nesta altura do ano, a cidade está cheia e a hora do almoço de um dia de sol com temperatura amena, faz com que muita gente se encontre na rua.

### *Localização do Ground Zero*

- Lisboa, Alameda Cardeal Cerejeira, frente ao mastro da Bandeira Nacional;
- Coordenadas: 38° 43' 49,86" N 09° 09' 16,82" O;
- Altitude do terreno: 103 m.

### *Dados meteorológicos*

- Temperatura do ar: 22,0° C;
- Céu: limpo;
- Visibilidade: 20 km;
- Velocidade do vento: 24 km/h;
- Direção do vento: soprando do quadrante NNO;
- Nascer do sol: 07h44; por do sol: 19h00.

### *Dados da detonação*

- Potência da arma: 40 kt;
- Combustível: <sup>235</sup>U;
- Altitude da detonação: 103 m; Altura da detonação: 0 m.

### *Resultados numéricos*

- Data e hora da simulação: 06 de setembro de 2020, 22h00m;
- Raio da bola de fogo: 0,35 km => área: 0,38 km<sup>2</sup>;
- Limite da sobrepressão de 20 psi (137,940 kPa): 0,74 km => área: 1.74 km<sup>2</sup>;
- Limite da sobrepressão de 5 psi (34,485 kPa): 1,57 km => área: 7.70 km<sup>2</sup>;
- Limite da radiação ao nível de 500 rem (5 Sv): 1,58 km => área: 7,82 km<sup>2</sup>;
- Limite da radiação térmica a 9,3 cal/cm<sup>2</sup> (3,89 x 10<sup>5</sup> J/m<sup>2</sup>) (queimaduras do 3º grau): 2,60 km => área: 21,3 km<sup>2</sup>;

- Limite da sobrepressão de 1 psi (6,897 kPa): 4,02 km => área: 50,9 km<sup>2</sup>;
- Baixas (cálculo efetuado considerando uma média de 350.590 pessoas na área do limite da sobrepressão de 1 psi (6,897 kPa), com 50,9 km<sup>2</sup>):

Mortos: 64.920; Feridos: 113.560.

### *Representação gráfica dos resultados numéricos*

Através da representação gráfica da simulação numérica, é fácil perceber a dimensão do impacte físico na destruição da cidade de Lisboa (figs. 1 e 2).

### **Impacte físico**

#### *Bola de fogo*

O veículo e os corpos dos terroristas jamais serão encontrados, foram instantaneamente vaporizados. Fazem agora parte da gigantesca bola de fogo a uma temperatura aproximada de 300.000° K, com 700 metros de diâmetro, que vaporiza tudo em que toca e se encontra no seu interior. Tudo em menos de um décimo de segundo. O El Corte Ingles, o Palácio da Justiça, o estabelecimento Prisional de Lisboa, a parte norte da Rua Castilho até ao Hotel Sana, a metade norte do Parque Eduardo VII, o Pavilhão Carlos Lopes e a Igreja de S. Sebastião da Pedreira, desapareceram engolidos pela gigantesca bola de fogo nuclear (círculo amarelo na fig. 2).

#### *Radiação nuclear inicial*

Nos primeiros microssegundos após o início da detonação uma onda de neutrões e de raios gama altamente ionizantes é irradiada, atingindo com uma dose superior a 500 rem (5 Sv), as pessoas expostas que se encontram entre a Avenida Álvaro Pais a norte, e os jardins da Estrela e do Príncipe Real a sul, o Aqueduto das Águas Livres a poente, e a Rua de Arroios a nascente, uma área densamente povoada com um raio de 1,58 km e mais de 7,82 km<sup>2</sup> (círculo verde na fig. 2). Com doses de 500 rem (5 Sv), se não houver tratamento, 50% das pessoas morrem nos dois meses seguintes, e com doses de 600 rem (6 Sv), o índice de mortalidade sobe para os 90% e a sobrevivência exige tratamentos longos e intensivos, incluindo transplante de medula óssea. Acima dos 700 rem (7 Sv) não é possível a sobrevivência (Gonçalo e Botelho, 2009, Rambousky e Sabath, 2013).

#### *Impulso eletromagnético*

Em simultâneo todos os equipamentos elétricos até 4 km de distância se fundem e os eletrónicos bem para lá dos 5 km. Não haverá um telefone ou um telemóvel

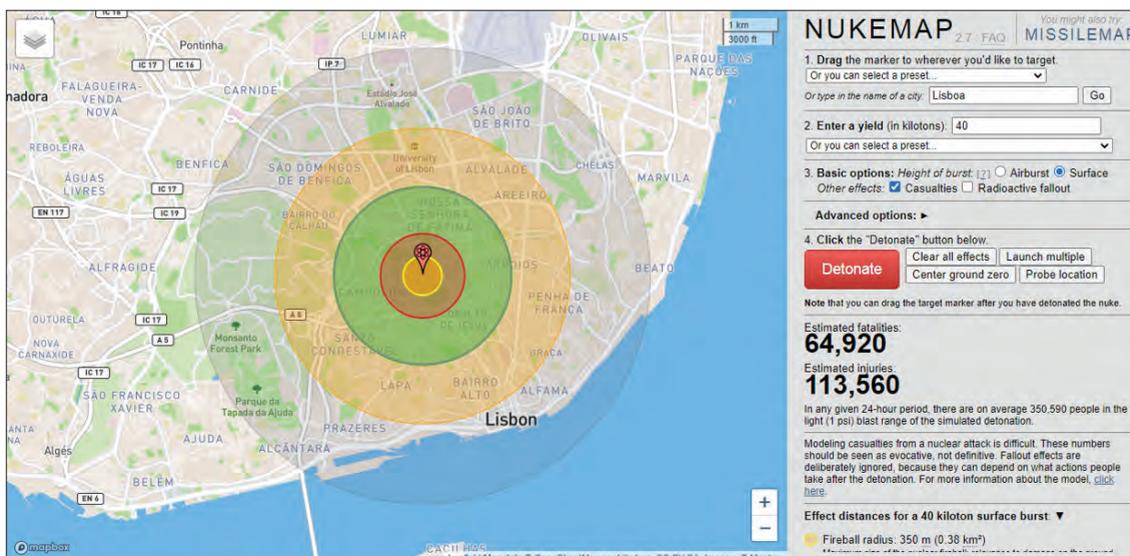


Fig. 1 - Representação gráfica da simulação numérica da detonação de uma arma nuclear em Lisboa (Fonte: <https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>).

Fig. 1 - Graphic presentation of the numerical simulation of the detonation of a nuclear weapon in Lisbon (Source: <https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>).

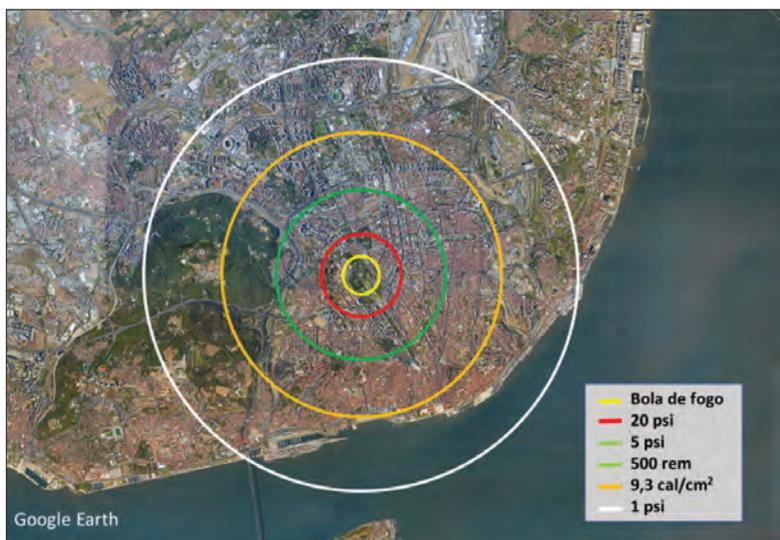


Fig. 2 - Representação gráfica da simulação numérica da detonação de uma arma nuclear em Lisboa, sobre uma fotografia aérea do Google Earth.

Fig. 2 - Graphic presentation of the numerical simulation of the detonation of a nuclear weapon in Lisbon, over an aerial photograph by Google Earth.

a funcionar, um rádio, um computador, um automóvel ou uma ambulância. A instabilidade gerada na rede de distribuição elétrica faz com que os sistemas de segurança disparem cortando a alimentação numa vasta região em torno de Lisboa, não evitando, porém, que alguns postos de transformação e subestações expludam ou se incendeiem. Automóveis e comboios que se encontrem em andamento desligam-se mantendo-se em movimento, desgovernados, até que parem ou embatem num obstáculo.

Os navios e embarcações que navegam no rio Tejo, entre a Ponte 25 de Abril a jusante, Xabregas a montante e Cacilhas a sul, ficam subitamente sem qualquer sistema elétrico e eletrónico, desgovernados e incapazes de

manobrar. Navios de cruzeiros, cacilheiros, cargueiros, pesqueiros e embarcações de recreio continuam as suas rotas em linha reta, animados pela inércia das suas massas, incapazes de comandar os lemes ou motores imobilizados. Colidem uns com os outros, com os obstáculos no meio e nas margens do rio, encalham e afundam levando para o fundo os seus ocupantes e cargas, tornando aquele troço do rio num perigoso e poluído mar de destroços.

Os aviões que se encontram a voar num raio de 5 km medido a partir do local da explosão, caem desgovernados, com os sistemas elétricos e eletrónicos fundidos. Todas as estações de rádio e de televisão com os estúdios e antenas dentro desta área ficam silenciadas.

*Radiação térmica*

A bola de fogo emite radiação térmica de grande intensidade que incendeia tudo o que encontra na sua proximidade, prédios, automóveis, árvores, pessoas, animais. Esta radiação atenua-se com a distância, mas até aos 2,6 km todas as pessoas expostas ficam gravemente queimadas com queimaduras do terceiro grau (círculo laranja na fig. 2). Entre a Alameda da Universidade e a zona ribeirinha de Santos, entre o Alto de Monsanto e o Cemitério do Alto de S. João - uma área com mais de 21,24 km<sup>2</sup> - quem está na rua verá as suas roupas, a sua pele e a sua carne incendiarem-se e se olharem na direção da bola de fogo ficarão cegos. Estão tão gravemente queimados que, se sobreviverem, ficarão seriamente incapacitados para o resto da vida. Dentro desta área, milhares de focos de incêndio cobrem instantaneamente a cidade. Nas ruas os automóveis, as árvores, o mobiliário urbano tudo se incendeia e as canalizações de gás expostas explodem. Os incêndios irrompem em todos os tipos de edifícios, sejam de habitação, administrativos, comerciais ou industriais. Na encosta oriental da Mata de Monsanto surgem inúmeros focos de incêndio.

*Onda de choque e efeito de sopro*

Décimos de segundo a segundos depois, consoante a distância ao *ground zero*, uma “parede” maciça de ar comprimido com origem na bola de fogo, avança a velocidade supersônica como um rolo compressor, esmagando tudo à passagem. Da Praça de Espanha a norte, ao Marquês de Pombal a sul, de Campolide a oeste ao Saldanha a este, uma onda de choque com uma sobrepressão superior a 20 psi (137,940 kPa) destrói todos os edifícios, esmaga todos os veículos, mata todas as pessoas. Num raio de 740 metros medido a partir do local da explosão, apenas edifícios em betão armado e preparados especialmente para este tipo de sobrepressões resistirão. Todos os outros ruirão, esmagando quem se encontre no seu interior ou na sua proximidade (círculo vermelho a fig. 2).

Para além desta distância, numa faixa circular compreendida entre os 740 m e os 1,57 km (círculo verde na fig. 2), pessoas, automóveis, autocarros e camiões que circulam nas ruas são esmagados, enquanto as estruturas dos prédios são quebradas, pilares, vigas, paredes mestras e telhados. Numa área com 7,7 km<sup>2</sup> (cerca de 9% da área edificada da cidade) correspondente a sobrepressões superiores a 5 psi (34,485 kPa), só os prédios em betão armado de construção recente ficam com as estruturas em pé, esqueletos esventrados e queimados. Os outros são arrasados, com raras exceções, não havendo grandes hipóteses de sobrevivência para os seus ocupantes, que são esmagados ou projetados com o recheio dos prédios

e com os fragmentos dos elementos de construção menos resistentes. Entre as ruínas ficam encarcerados os sobreviventes, com traumatismos gravíssimos, fraturas diversas, amputados, com os membros esmagados, aterrados com a escuridão e com o barulho medonho que os envolve, sem compreenderem o que está a acontecer. A rutura das canalizações de água é generalizada e a pressão da rede cai a zero.

Após a passagem desta parede de ar comprimido, ventos ciclónicos com velocidades de várias centenas de quilómetros por hora sopram os focos de incêndio, projetam os detritos dos prédios, as pessoas, os animais, as viaturas, os camiões, os comboios e tudo o que não esteja solidamente preso ao terreno. Nova vaga de morte se abate sobre aqueles que sobreviveram até ao momento, atingidos por estes detritos voadores ou projetados com eles. Os ventos vão diminuindo, até à dissipação da energia da onda de choque, criando no seu interior uma vasta zona de subpressão que, por uns segundos e por carência de oxigénio, extingue os focos de incêndio e sufoca os sobreviventes. Agora a pressão atmosférica irá reequilibrar-se, provocando nova frente de ventos ciclónicos, desta vez em sentido contrário ao anterior e um pouco mais fracos (200 a 300 km/h).

*Tempestade de fogo*

Estes ventos irão soprar novamente os focos de incêndio, que se extinguíram por falta de oxigénio, mas que continuam a temperaturas elevadíssimas. Agora vão reacender-se ainda com mais força, alimentados por ainda mais destroços, pelo gás natural que se escapou das condutas subterrâneas da rede urbana e pelos milhares de litros de gasóleo e de gasolina que se encontravam nos depósitos dos veículos. Pouco a pouco os focos de incêndio vão-se aglomerando, expandindo-se até se fundirem num só gigantesco incêndio lavrando por vastas zonas da cidade. Avenidas Novas, Avenida da Liberdade, Bairro Alto, Príncipe Real, Campo de Ourique, Amoreiras, Alfama, Graça, Penha de França, Anjos, Arroios, Areeiro, Alvalade e São Domingos de Benfica são alguns dos bairros onde estes incêndios gigantescos começam a crescer. Os materiais de construção utilizados, a densidade de construção, o pouco ou inexistente afastamento entre prédios, a largura das ruas, as cargas de combustível existentes nas residências (cheias de materiais combustíveis - plásticos, móveis, roupas, comida, papeis, tapetes, cortinados, atalhados, etc.) e nos edifícios de escritórios, criam as condições adequadas para o desenvolvimento de uma tempestade de fogo.

Os feridos presos nos escombros não poderão ser salvos e serão consumidos juntamente com os destroços. Aqueles que conseguirem abandonar os prédios deparar-se-ão com as ruas cheias por vários metros de altura de escombros, constituídos pelos materiais de construção

dos prédios, árvores, automóveis e corpos. Só muito dificilmente conseguirão progredir a pé, pois as ruas vão ficando progressivamente envolvidas pelas chamas e pelos gases tóxicos produzidos pela combustão dos diversos materiais, que consome todo o oxigénio da atmosfera asfixiando aqueles que ainda estejam vivos. Tal como em Hamburgo em 1943, ou Dresden em 1945, quem tentar fugir morre asfixiado, intoxicado ou queimado na sua quase totalidade (fot. 1 a 3). Aqueles que, por exemplo, se encontram refugiados em caves, prédios, ou estações de metro, terão a mesma sorte.

### Fallout

A bola de fogo inicia um movimento de ascensão, aspirando atrás de si o ar ao nível do solo. Arrefece e perde o brilho, transformando-se numa enorme nuvem radioativa em forma de cogumelo, que se desenvolve sobre a cidade (fot. 5). Às 13h50 começa a cair uma chuva intensa, com origem na nuvem negra que para sobre a cidade e que lentamente é empurrada pelo vento

para a Margem Sul. Esta chuva é também ela negra, devido às cinzas em suspensão, e altamente radioativa. Nas próximas horas vai contaminar com radioatividade os locais por onde passar, Lisboa, Almada, Barreiro e grande parte da Península de Setúbal (fig. 3).

### Impacte nas forças e serviços de socorro

Médicos, enfermeiros, polícias e bombeiros estão mortos ou gravemente feridos e apenas nas zonas mais periféricas da cidade, uma pequena percentagem está em condições de poder socorrer as vítimas, se compreender o que se está a passar, souber onde se dirigir e tiver os meios para o fazer.

Viaturas dos bombeiros, da polícia, ambulâncias e equipamentos, tudo está destruído ou inoperacional. Os destroços dos edifícios preenchem as ruas e vias de circulação em cada vez maior quantidade conforme se progride no sentido do alto do Parque Eduardo VII, ao ponto de estas não serem mais visíveis no meio do enorme monte



Fot. 1 - Pessoas carbonizadas na rua durante a fuga, no bombardeamento de Hamburgo em 1943 (Fonte: [ww2gravestone.com](http://ww2gravestone.com), 1943).

*Photo 1 - People burnt to death on the streets of Hamburg, during the air raids in 1943 (Source: [ww2gravestone.com](http://ww2gravestone.com), 1943).*



Fot. 2 - Ruas cheias de escombros. As viaturas semi-soterradas, pertenciam aos bombeiros (Fonte: [aircrewremembered.com](http://aircrewremembered.com), 1943).

*Photo 2 - Streets filled with debris. Firefighters' vehicles can be seen partially buried (Fonte: [aircrewremembered.com](http://aircrewremembered.com), 1943).*



Fot. 3 - Limpeza dos escombros nas semanas seguintes ao bombardeamento de Hamburgo (Fonte: DokuWiki at North Central College, 1943).

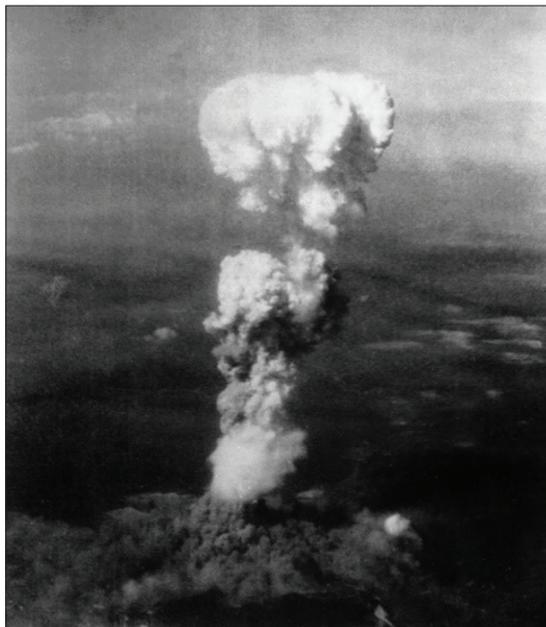
*Photo 3 - Removal of debris from the streets of Hamburg, weeks after the bombing (Source: DokuWiki at North Central College, 1943).*



Fot. 4 - Lisboa com elevada densidade de construção, a maior parte anterior à década de 1980 (Fonte: CML, sd).

*Photo 4 - Lisbon with high building density, mostly built before the 1980s (Source: CML, sd).*

de cinzas e entulho. A temperatura a que se encontra este entulho é de várias centenas de graus Celsius e circular a pé ou em viatura pelas zonas a menos de 1,6 km de distância do *ground zero* é simplesmente impossível. Em Hamburgo só foi possível entrar nas zonas ardidas dois dias depois, devido à temperatura dos destroços e os bombeiros tiveram que deitar água sobre o entulho acumulado nas ruas durante quatro semanas, até extinguirem todos os focos de



Fot. 5 - Hiroshima, 6 de agosto de 1945. Uma imensa nuvem de fumo, cinza e detritos envolve a cidade, na base do "cogumelo" (Fonte: Caron, 1945).

*Photo 5 - Hiroshima, 6 August 1945. At the base of the mushroom, a gigantic cloud of smoke, ash and debris covers the city (Source: Caron, 1945).*

reacendimento (Postol, 1986). Além da temperatura, estes detritos são radioativos. Entrar nesta zona sem proteção radiológica, implica a morte após alguns minutos ou horas no seu interior.

Todos os hospitais no centro de Lisboa (Santa Maria, S. José, Estefânia, Curry Cabral, Instituto de Oncologia, Cruz Vermelha) estão destruídos ou inoperacionais, enquanto que os localizados na periferia da cidade (Hospital das Forças Armadas, S. Francisco Xavier, Amadora-Sintra, Lusíadas e Descobertas no Parque das Nações), encontrando-se fora da área mais intensamente afetada, não têm eletricidade, os equipamentos elétricos, eletrónicos e informáticos estão fundidos, não dispõem de telefones ou rede de telemóvel, nem têm água da rede pública. Sem capacidade de deteção, de monitorização, de análise dos dados e de transmissão desta informação em tempo útil, médicos, enfermeiros, auxiliares e administrativos, não sabem nem o que aconteceu, nem que estão a ser contaminados pela gigantesca nuvem que se espalha sobre a cidade. Em poucos minutos, os hospitais que ainda têm as paredes erguidas começam a ser invadidos por uma massa de milhares de feridos em desespero, apresentando queimaduras, cortes, fraturas e amputações. Em pouco tempo, estes milhares de pacientes submergem qualquer tentativa de organizar o serviço, contaminando as instalações e o pessoal. Muitos apresentam já sintomas da síndrome de exposição aguda à radiação.

São 16h00, mas a cidade está às escuras, envolta na nuvem de fumo acre, espesso, tóxico e radioativo, do gigantesco incêndio que consumirá o seu núcleo habitacional e económico nas próximas horas. Desprovidos de equipamentos de monitorização da radioatividade e de

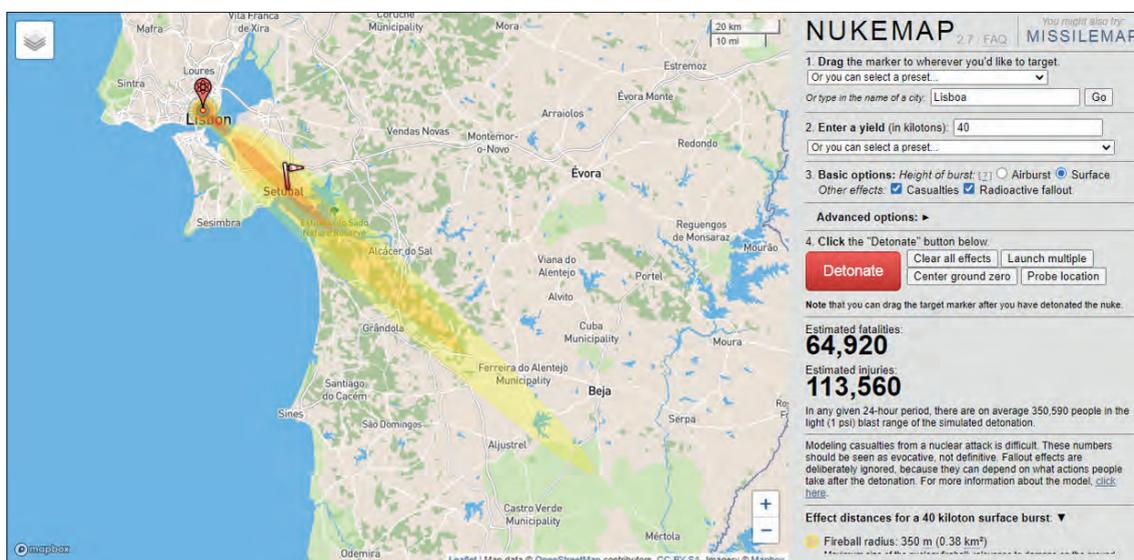


Fig. 3 - Simulação da queda de chuva radioativa de acordo com as condições meteorológicas definidas para o cenário (Fonte: <https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>).

*Fig. 3 - Simulation of the radio-active rainfall in accordance with the meteorological conditions set for the scenario (Source: <https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>).*

proteção adequados, quaisquer agentes de proteção civil que tentem entrar na cidade tornar-se-ão, eles também, em vítimas. Não há quem coordene as operações de socorro. Direção Geral de Saúde, INEM, Direção Nacional da PSP, Comando Geral da GNR, Proteção Civil Municipal, todos têm os seus “quartéis-generais” no interior da área de máxima destruição. Todos têm o seu pessoal morto, ferido e incapaz. Fazem parte das vítimas, não dos socorristas.

A Autoridade Nacional de Proteção Civil e o Estado Maior General das Forças Armadas, que se situam fora da área de máxima destruição, encontram-se suficientemente perto desta e sofrem alguns dos efeitos. Sem eletricidade, sem meios de comunicação, estão cegos e inoperacionais. Não conseguem saber o que se passa, nem avaliar a situação, nem conseguem coordenar qualquer ação de socorro. A prioridade é evacuar as instalações antes da chegada do *fallout* radioativo. A falência geral dos sistemas de telecomunicações, cujos nós principais e sedes das empresas se situam no interior da área afetada, tornará muito difícil e demorada qualquer ação que vise compreender a situação, mobilizar e dirigir os meios de socorro.

### Impacte humano

#### *Quantas pessoas serão realmente afetadas*

O *software* do NUKEMAP calculou 64.920 mortos e 113.560 feridos com base numa população média de 350.590 pessoas, dentro da área de 50.90 km<sup>2</sup> compreendida no interior do círculo correspondente à sobrepressão superior a 1 psi (6,897 kPa) (fig.s 1 e 2).

Vimos no subcapítulo da caracterização demográfica de Lisboa que a população real da cidade num dia útil, será de cerca de 921.000 pessoas. Lisboa tem 100,5 km<sup>2</sup>, dos quais 10 km<sup>2</sup> correspondem à Mata de Monsanto, zona que podemos considerar de densidade populacional desprezível, restando assim 90,5 km<sup>2</sup> onde se distribui a população.

Se considerarmos as 921.000 pessoas distribuídas uniformemente pelos 90,5 km<sup>2</sup>, teremos uma densidade média de 10.177 pessoas por km<sup>2</sup>. Ou seja, nos 50,90 km<sup>2</sup> considerados pelo NUKEMAP não teremos 350.590 pessoas, mas 10.177 x 50,9 = 518.009 pessoas.

Este valor é substancialmente maior do que o valor médio de 350.590 pessoas utilizado pelo NUKEMAP para fazer os seus cálculos de baixas, pelo que será necessário efetuar uma correção, recalculando as baixas:

$$64.920 \times 518.009 / 350.590 = 95.922 \text{ mortos}$$

$$113.560 \times 518.009 / 350.590 = 167.789 \text{ feridos}$$

Consideramos estes valores mais adequados à realidade do cenário em análise, tanto mais que a área mais intensamente afetada pelos efeitos da explosão

corresponde a uma das áreas com maior densidade de edificação da cidade e com maior densidade de distribuição de empresas, o eixo Avenida da Liberdade - Avenida Fontes Pereira de Melo - Avenida da República.

Finalmente, é ainda necessário ter em conta que o NUKEMAP não calcula as baixas resultantes do *fallout*, o que também não faremos, mas tal significa que o número de baixas reais será ainda superior ao aqui calculado.

#### *Conjugação da sobrepressão com a tempestade de fogo*

Como referido no subcapítulo do Modelo de Análise, as equações do NUKEMAP para cálculo das baixas só tomam em consideração o efeito da sobrepressão e da radiação térmica, utilizando como modelos de referência, os resultados das investigações realizadas em Hiroshima e Nagasaki, não considerando as baixas resultantes da tempestade de fogo, do *fallout* nem da radiação inicial.

Embora nem sempre se desenvolva uma tempestade de fogo na sequência de uma detonação nuclear, quando ocorre nas áreas urbanas tem um efeito devastador, conforme ilustrado no Capítulo anterior, contribuindo significativamente para o aumento do número de mortos. Este aumento do número de mortos efetua-se em detrimento do número de feridos, pois estas mortes resultam da incapacidade das pessoas que se encontram no interior da área onde ocorre a tempestade de fogo, de fugir. E estas pessoas, dada a proximidade do *ground zero*, já se encontram necessariamente feridas, sendo como tal contabilizadas pelo NUKEMAP.

Materiais diversos, expostos de forma diversa, e a diferentes temperaturas, necessitam de energias diferentes para se incendiarem. Também as condições arquitetónicas e geográficas da cidade desempenham um papel fundamental para a eclosão, ou não, da tempestade de fogo. Na execução de algumas estimativas Postol (1986) considera a energia de 10 cal/cm<sup>2</sup> (4,184 x 10<sup>5</sup> J/m<sup>2</sup>) como o limite a partir do qual se desencadeia o incêndio generalizado dos materiais e edifícios, conduzindo à situação de tempestade de fogo. Em simultâneo, o OTA estima que à sobrepressão de 5 psi (34,485 kPa), 10% dos edifícios se incendiam.

A atenuação da intensidade da radiação térmica com a distância depende de dois fatores: 1) a distância e 2) a absorção, reflexão e deflexão da radiação pela atmosfera (Glasstone e Dolan, 1977, p. 278). Desprezando a atenuação devida à atmosfera e considerando apenas a atenuação devida à distância, temos que esta é função do quadrado da distância. Sabendo que o limite das 9,3 cal/cm<sup>2</sup> se encontra a 2,6 km do *ground zero*, podemos calcular que à distância de 1,57 km - correspondente ao limite dos 5 psi (34,485 kPa) - o seu valor é de 25,5 cal/cm<sup>2</sup> (1,07 x 10<sup>6</sup> J/m<sup>2</sup>), uma radiação térmica elevadíssima que incendia quase todos os materiais.

Pode assim, considerar-se que no interior do círculo dos 5 psi (34,485 kPa) as condições extremas de destruição e de temperatura conjugadas com a elevada densidade de construção (verificar fot. 4), tornam bastante provável a eclosão de uma tempestade de fogo.

Para além da enorme quantidade de energia térmica que a tempestade de fogo liberta, a combustão dos materiais produz uma enorme quantidade de gases tóxicos - monóxido de carbono, CO; dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>; ácido cianídrico, HCN; ácido nitroso, HNO<sub>2</sub>; ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>; sulfeto de hidrogénio, H<sub>2</sub>S; dióxido de enxofre, SO<sub>2</sub>, entre outros - ao mesmo tempo que consome todo o oxigénio livre da atmosfera, matando pelo efeito combinado da intoxicação e da asfixia quem se encontra na rua. Nos grandes incêndios, as pessoas morrem frequentemente asfixiadas e intoxicadas, antes do efeito térmico produzir as suas consequências. Esta situação é particularmente importante nas situações em que as pessoas se conseguem refugiar em abrigos resistentes ao fogo, onde acabam por falecer vítimas de intoxicação e asfixia. Muitas das mortes ocorridas em Hamburgo e Dresden, produziram-se dentro dos abrigos, que apesar de terem resistido à onda de choque das bombas, não estavam preparados para manter as condições de vida em ambientes tóxicos e com carência de oxigénio.

A enorme quantidade de destroços provocada pela onda de choque, pelo efeito de sopro e pela combustão dos materiais, origina uma camada de vários metros que cobre toda a zona ardida. A sua quantidade e temperatura impedem, durante vários dias, que quem esteja abrigado possa sair do abrigo e ao mesmo tempo impede as forças de socorro de resgatarem estes sobreviventes. Em Hamburgo e Dresden várias pessoas foram encontradas mortas em abrigos intactos, assadas pelas elevadas temperaturas transmitidas pelos destroços através do solo e do betão, uma espécie de fornos de grandes dimensões, sem que tenham podido sair, ou ser resgatadas.

A combinação da destruição física com a tempestade de fogo, permite concluir que quem se encontrar dentro do círculo dos 5 psi (34,485 kPa) (círculo verde na fig. 2), tem uma probabilidade próxima de zero de sobreviver.

#### *Conjugação dos diversos tipos de ferimentos*

Quando um paciente sofre em simultâneo traumatismos graves e queimaduras do 2º ou 3º grau em mais de 20% da pele, a taxa de mortalidade sobe muito rapidamente, dependendo do tipo de traumatismos e da extensão e profundidade das queimaduras. Uma das causas frequentes da mortalidade dos grandes queimados e dos grandes traumatizados são as infeções, que têm que ser constantemente controladas.

Como as radiações nucleares atacam o sistema hematopoiético dos pacientes, destruindo a medula

óssea e inibindo a produção dos leucócitos, fundamentais na luta do organismo contra as infeções, a mais pequena ferida desenvolve uma infeção, que acaba por ser mortal.

A dose de radiação que provoca a morte a 50% das pessoas em 60 dias (DL<sub>50/60</sub>) é de 500 rem (5 Sv) (Gonçalo e Botelho, 2009), calculada para pacientes que sofrem apenas da síndrome de exposição aguda à radiação. Mas tal como em Hiroshima e Nagasaki, a quase totalidade dos feridos padecerá de traumatismos e de queimaduras em simultâneo, muitos deles dos três tipos de ferimentos, com feridas extensas, profundas e graves. Ou seja, a DL<sub>50/60</sub> descerá substancialmente para doses de radiação muito menores. Além disto, com 167.789 feridos em simultâneo, será impossível prestar um nível de cuidados médicos idênticos ao das situações normais. Nestas condições, Rotblat (1986) estima que a DL<sub>50/60</sub> desça para 220 rem (2,2 Sv).

#### *Sinergia de efeitos letais*

Verifica-se assim uma sinergia entre fatores de natureza diversa, que contribuirão para que o número de feridos que virão a falecer na sequência dos ferimentos sofridos nos quatro meses subsequentes ao ataque, seja muito elevado:

- Conjugação mortal entre traumatismo/queimadura/radiações;
- Impossibilidade de socorrer os feridos nos primeiros dias, devido à obstrução dos acessos pelos destroços a altas temperaturas e com elevados níveis de radioatividade; e
- Uma vez resgatados os feridos, a impossibilidade de prestar cuidados médicos de qualidade a um tão elevado número.

É assim de esperar que muitos destes sobreviventes das primeiras horas e dias, à semelhança do que se passou em Hiroshima e Nagasaki, venham a falecer nos quatro meses subsequentes, após um período de intensa agonia (Committee, 1981). No entanto, não é possível fazer uma estimativa com o adequado intervalo de incerteza, porque não existem dados históricos que permitam fazer extrapolações. Os dados existentes relativos ao número de vítimas em Hiroshima e Nagasaki são demasiado imprecisos para servir de base para cálculos futuros, devido ao facto de não ser possível determinar com a precisão adequada quantas pessoas se encontravam nestas cidades no momento das explosões.

Porém, relativamente à distribuição dos feridos por tipos gerais de ferimento - traumatismo, queimadura e radiação - os valores para Hiroshima e Nagasaki são de 70% traumatizados, 65% queimados e 30% radiação. A soma destas percentagens é superior a 100% porque a maior parte dos feridos apresentavam dois ou três tipos de ferimentos diferentes (Glasstone e Dolan, 1977, p. 546). O facto do cenário aqui desenvolvido ser com base numa detonação de superfície e não de baixa altitude,

como as de Hiroshima e Nagasaki, das características arquitetônicas da cidade e construtivas dos edifícios serem muito diferentes das do Japão de então e o enorme desenvolvimento tecnológico ocorrido desde 1945, com um aumento substancial da densidade de matérias combustíveis nas cidades, obrigam-nos a tomar estas percentagens com uma certa reserva, não deixando no entanto de ser uma indicação a ter em conta.

#### *Efeitos na saúde a médio e longo prazo*

Em virtude das limitadas condições do tratamento, muitos destes pacientes guardarão sequelas graves para o resto da vida, amputações, cicatrizes extensas, dolorosas e limitadoras da mobilidade ou cegueira, entre outras. Cerca de 15% dos sobreviventes (aproximadamente 25.168) falecerão em consequência de doenças do foro oncológico nos próximos anos e alguns serão afetadas as suas capacidades reprodutivas.

Não só os danos físicos terão um impacte negativo, mas também os danos do foro psicológico. As vítimas terão na sua generalidade uma experiência não só de “quase morte”, mas também de “fim do mundo”, a sensação mais referida pelos sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki. Não se trata de um acidente normal, não são atropelados, o prédio não desaba, não são apanhados num incêndio, situações em que a vítima tem a sensação de que o mundo lá fora se mantém intacto e virá em seu socorro (Thompson, 1986). No caso de uma explosão nuclear de 40 kt, a vítima tem a sensação de que também o mundo lá fora foi destruído, nada mais restando do que o caos. Esta sensação será mais intensa, porque o ataque se produz sem que ninguém esteja à espera, surge “do meio do nada” e sem qualquer razão aparente. Estado de alerta constante, fim do “mito da eternidade”, desespero permanente, depressão recorrente, complexo de culpa por ter sobrevivido (mais intenso quando pessoas queridas morrem) (Thompson, 1986), medo de contrair cancro no futuro (uma ameaça constante), temor de perder a capacidade reprodutiva, receio de ser rejeitado (uma das razões que levou a que grande número de sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki nunca o referissem, mentido sobre as suas origens e o seu paradeiro nesses dois dias trágicos (Committee, 1981)), pavor de que a situação se repita, de forma tão inesperada e tão “sem sentido” como da primeira vez (Thompson, 1986). Estes efeitos terão consequências pessoais e sociais muito severas no futuro.

#### **Conclusões**

Neste artigo procedeu-se à identificação e à avaliação do impacte físico e humano de um ataque terrorista com uma arma nuclear de 40 kt, na cidade de Lisboa, com a finalidade de conhecer quais as reais características e dimensões desse impacte.

Só através deste conhecimento, será possível avançar na determinação e avaliação das consequências sociais, económicas, políticas e geopolíticas de um tal ataque, a fim de possibilitar a tomada de decisão adequada para preveni-lo, mitigá-lo e responder-lhe.

Foi assim possível concluir relativamente ao impacte físico de uma detonação nuclear de superfície, na cidade de Lisboa, que uma bomba atómica de 40 kt produz os efeitos físicos seguintes:

- a) O raio da bola de fogo será de 350 m, cobrindo uma área de 0,38 km<sup>2</sup>;
- b) O limite da sobrepressão ao nível mínimo de 20 psi (137,940 kPa) é atingido à distância de 0,74 km, a que corresponde uma área de 1,72 km<sup>2</sup>; dentro desta área a destruição física é total;
- c) Limite da sobrepressão ao nível mínimo de 5 psi (34,485 kPa) é atingido à distância de 1,57 km, a que corresponde uma área de 7,74 km<sup>2</sup>; dentro desta área a destruição física é generalizada e diversos focos de incêndio eclodirão, consolidando-se numa tempestade de fogo que acabará por consumir tudo o que não foi ainda destruído, restando apenas em pé as estruturas em betão armado dos prédios mais resistentes; as ruas ficarão obstruídas com uma camada de vários metros de destroços, a temperaturas da ordem das centenas de graus Celsius e altamente radioativos; esta área corresponde ao núcleo social, económico e político da cidade de Lisboa;
- d) O limite da radiação ao nível mínimo de 500 rem (5 Sv) é atingido à distância de 1,58 km, a que corresponde uma área de 7,84 km<sup>2</sup>; dentro desta área mais de 50% das pessoas morrerão nos próximos dois meses vítimas da síndrome de exposição aguda à radiação, se sobreviverem aos outros efeitos;
- e) O limite mínimo da intensidade de radiação térmica de 9,3 cal/cm<sup>2</sup> (3,89 x 10<sup>5</sup> J/m<sup>2</sup>), intensidade que provoca queimaduras do 3º grau na pele humana exposta, é de 2,60 km, a que corresponde uma área de 21,24 km<sup>2</sup>;
- f) O limite da sobrepressão mínima de 1 psi (6,897 kPa) é atingido à distância de 4,02 km, a que corresponde uma área de 50,77 km<sup>2</sup>.

Estes efeitos físicos resultam no impacte humano seguinte:

- a) Mais de 263.711 baixas, repartidas entre mais de 95.922 mortos e 167.789 feridos;
- b) Dentro do círculo com 1,57 km de raio centrado no *ground zero*, nada ficará intacto, a destruição será generalizada e a probabilidade de sobrevivência será muito próxima de zero. Esta área será uma zona de morte;
- c) O número de mortos crescerá à custa do número de feridos, nos quatro meses subsequentes à explosão, em virtude da sinergia produzida: 1) pela conjugação

mortal dos ferimentos por traumatismo, queimadura e radiações, 2) pela impossibilidade de socorrer os feridos nos primeiros dias, devido à obstrução dos acessos e aos seus elevados níveis de radioatividade, e 3) uma vez resgatados os feridos, não haverá possibilidade de prestar cuidados médicos adequados a um tão elevado número em simultâneo;

- d) Muitos dos sobreviventes padecerão de sequelas físicas e psicológicas incapacitantes para o resto da vida e desenvolverão doenças do foro oncológico e do foro psicológico;
- e) A precipitação do *fallout* na Península de Setúbal provocará elevados níveis de contaminação radioativa causando ainda mais baixas, estas exclusivamente devido à exposição aguda à radiação.

Pela primeira vez, com dados e informação não classificada resultante da análise dos resultados dos bombardeamentos estratégicos à Alemanha, dos ataques a Hiroshima e Nagasaki, nas experiências nucleares dos EUA, noutras investigações conduzidas durante a guerra-fria, bem como em investigação produzida em áreas complementares, foi possível concluir com alguma precisão que o impacto de um ataque terrorista com uma arma nuclear na cidade de Lisboa resultaria na destruição total do seu núcleo populacional, económico e político, das suas infraestruturas e de milhares de edifícios, numa extensão de cerca de 50 km<sup>2</sup>, provocando mais de 96.000 mortos e 168.000 feridos e contaminando uma vasta área na região de Lisboa e na Península de Setúbal.

### Referências bibliográficas

- Abrams, H. L. (1986). Medical Supply and Demand in a Post-Nuclear-War World, in F. Solomon and R. Martson (Ed). *The Medical Implications of Nuclear War* (pp. 349-380). National Academy Press.
- Appleton, J. S. (2001) O megasismo de Lisboa no Séc. XXI ou vulnerabilidade sísmica do parque edificado de Lisboa. In Sociedade portuguesa de Engenharia Sísmica, *Redução da vulnerabilidade sísmica do edificado*, 95-104, Ordem dos Engenheiros.
- Appleton, J. S. (2009) Tipificação do parque construído. In M. S. Lopes (Org.) *Sismos e Edifícios*, 389-437, Editora Orion.
- Assael, M. and Kakosimos, K. (2010). *Fires, Explosions, and Toxic Gas Dispersions*. CRC Press.
- Baltazar, S. P. (2010) *Mapas Bioclimáticos de Lisboa*. (Dissertação de Mestrado). Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Brode, H. L., Small, R. D. (1986). A Review of the Physics of Large Urban Fires. In F. Solomon and R. Martson (Ed). *The Medical Implications of Nuclear War*, 73-95, National Academy Press.
- CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA [CML] (2019). *Economia de Lisboa em números 2019*. Câmara Municipal de Lisboa.
- CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA [CML] (s.d.). Vista panorâmica de Lisboa [imagem online]. Câmara Municipal de Lisboa. [https://informacoeseservicos.lisboa.pt/fileadmin/cidade\\_temas/urbanismo/imagens/UrbanismoDigital\\_Site1350x902.jpg](https://informacoeseservicos.lisboa.pt/fileadmin/cidade_temas/urbanismo/imagens/UrbanismoDigital_Site1350x902.jpg)
- Caron, G. R. (1945) *Atomic\_cloud\_over\_Hiroshima* [imagem online]. Domínio público. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atomic\\_cloud\\_over\\_Hiroshima.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atomic_cloud_over_Hiroshima.jpg)
- COMMITTEE FOR THE COMPILATION OF MATERIALS ON DAMAGE CAUSED BY THE ATOMIC BOMBS IN HIROSHIMA AND NAGASAKI [COMMITTEE] (1981). *Hiroshima and Nagasaki: The Physical, Medical and Social Effects of the Atomic Bombings*. Hutchinson.
- Crowl, D., Louvar, J. (2011). *Chemical Process Safety. Fundamentals with Applications* (3rd ed.). Pearson Education International.
- Daugherty, W., Levi, B., von Hippel, F. (1986). Casualties Due to Blast, Heat, and Radioactive Fallout from Various Hypothetical Nuclear Attacks on the United States. In F. Solomon and R. Martson (Ed). *The Medical Implications of Nuclear War* (pp. 207-232). National Academy Press.
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY - FEMA (2006). *National Planning Scenarios*. FEMA.
- Fletcher, E. R., Albright, R. W., Perret, R. F., Franklin, M. E., Bowen, I. G., White C. S. (1963). *Nuclear Bomb Effects Computer, (CEX-62.2) U.S. Atomic Energy Commission Civil Effects Test Operations*. U.S. Atomic Energy Commission.
- Furtado, J. P. (2018). *Portugal e o terrorismo nuclear: Pensar o impensável (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal).
- Glasstone, S., Dolan, P. J. (1977). *The Effects of Nuclear Weapons*. United States Department of Defense and Energy Research and Development Administration.
- Gonçalo, M., Botelho, M. F. (2009). Radiações e Electricidade. In Pinto, A. M. (Coord.) *Fisiopatologia. Fundamentos e Aplicações* (87-101). LIDEL - edições técnicas.
- Greer, D. S., Rifkin, L.S. (1986). The Immunological Impact of Nuclear Warfare. In F. Solomon and R. Martson (Ed). *The Medical Implications of Nuclear War* (pp. 317-328). National Academy Press.
- [Ilustração sem título da limpeza dos escombros de Hamburgo]. (1943). DokuWiki at North Central College. <https://dokuwiki.noctrl.edu/lib/exe/fetch.php?media=ger:202:2010:winter:hamburg-bombing.jpg>

- [Ilustração sem título de pessoas carbonizadas na rua durante a fuga, no bombardeamento de Hamburgo em 1943]. (1943). World War II Gravestone. <https://ww2gravestone.com/the-allied-bombing-of-hamburg-on-27-07-1943-72-years-ago/>
- [Ilustração sem título de ruas cheias de escombros em Hamburgo em 1943]. (1943). Aircrew Remembered. <http://aircrewremembered.com/editorial/resources/hamburg-after-the-1943-firestorm-3-w800.jpg>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA I. P. (2020). *Área Metropolitana de Lisboa em Números - 2018*. Instituto Nacional de Estatística I. P.
- INSTITUTO DE METEOROLOGIA I. P. (s.d.). Ficha Climatológica de Lisboa. Instituto Português do Mar e da Atmosfera I. P. [http://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn\\_71-00\\_LISBOA\\_GEOFISICO.pdf](http://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_71-00_LISBOA_GEOFISICO.pdf)
- North Atlantinc Treaty Organization [NATO] (1996). *NATO Handbook on the Medical Aspects of NBC Defensive Operations, A Med P-6(B)*. Departments of the Army, the Navy and the Air Force.
- OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT [OTA] (1979). *The Effects of Nuclear War*. Congress of the United States.
- Pinto, A. M. (2009). Agentes Mecânicos. In Pinto, A. M. (Coord.) *Fisiopatologia. Fundamentos e Aplicações* (87-101). LIDEL - edições técnicas.
- Postol, T. A. (1986). Possible Fatalities from Superfires Following Nuclear Attacks in or near Urban Areas. In F. Solomon, R. Martson (Ed). *The Medical Implications of Nuclear War* (pp. 15-72). National Academy Press.
- Rambousky, R., Sabath, F. (2013), Characteristics of Nuclear and Radiological Weapons. In A. Richardt, B. Hülseweh, B. Niemeyer and F. Sabath (Ed). *CBRN Protection. Managing the threat of Chemical, Biological, Radioactive and Nuclear Weapons* (pp. 125-166). Wiley-VCH.
- Rotblat, J. (1986). Acute Radiation Mortality in a Nuclear War. In F. Solomon and R. Martson (Ed). *The Medical Implications of Nuclear War* (pp. 233-250). National Academy Press.
- Salgueiro, T. B. (2006). *Lisbonne. Périphérie et centralités*. L'Harmattan.
- Schmid, A. P. (2013). *The Routledge Handbook of Terrorism Research*. Routledge.
- Stockholm International Peace Research Institute [SIPRI] (2020). *SIPRI Yearbook 2020: Armaments, Disarmament and International Security*. Oxford Univ. Press.
- Thompson, J. (1986). Psychological Consequences of Disaster: Analogies for the Nuclear Case. In F. Solomon and R. Martson (Ed). *The Medical Implications of Nuclear War* (pp. 290-316). National Academy Press.
- Wellerstein, A. (2012). *NUKEMAP*. <https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>

(Página deixada propositadamente em branco)



RISCOS

territorium 28 (II), 2021, 135-144

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

DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-2\\_10](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_10)

Artigo científico / Scientific article



135

A CIÊNCIA DA AVALIAÇÃO DO RISCO:  
“EVIDENCIAÇÃO” DE LIMITES EPISTEMOLÓGICOS INEVITÁVEIS\*

THE SCIENCE OF RISK ASSESSMENT:  
EVIDENCE OF INEVITABLE EPISTEMOLOGICAL LIMITS

António Betâmio de Almeida

Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico  
Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos (Portugal)  
ORCID 0000-0003-2614-1234 [betamio.almeida@ist.utl.pt](mailto:betamio.almeida@ist.utl.pt)

RESUMO

O autor apresenta uma análise da estrutura epistemológica associada à avaliação do risco considerada como componente fundamental da gestão do risco, em sentido lato. Após a justificação da seleção desta componente das outras que constituem a gestão do risco (sentido restrito) e de crises, apresentam-se algumas características do risco e da respectiva avaliação que evidenciam desafios e limites epistemológicos específicos e inevitáveis. A “evidenciação” destes limites e dos efeitos na ética e na comunicação do risco é uma manifestação positiva da maturidade e da consolidação desta área do conhecimento e um incentivo a desenvolvimentos futuros.

**Palavras-chave:** Risco, avaliação do risco, epistemologia, incertezas e ética.

ABSTRACT

The author presents an analysis of the epistemological structure associated with risk assessment considered as a fundamental component of risk management, in a broad sense. After justifying the selection of this component from the others that constitute risk and crisis management (restricted sense), some characteristics of the risk and the respective assessment are presented that show specific and inevitable challenges and epistemological limits. The disclosure of these limits and the effects on risk communication and ethics is a positive manifestation of the maturity and consolidation of this area of knowledge and an incentive for future developments.

**Keywords:** Risk, risk assessment, epistemology, uncertainties and ethics.

\* O texto deste artigo foi submetido em 26-04-2021, sujeito a revisão por pares a 13-05-2021 e aceite para publicação em 01-06-2021.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução“”

O conceito *risco* na atualidade é o resultado de uma evolução histórica (Bernstein, 1998) associada a atividades e comportamentos humanos. É um conceito intrínseco à natureza humana que se expressa na vontade de sobrevivência, estabilidade e proteção ou em atos ousados de alteração de uma situação para obtenção de benefícios potenciais. A referida evolução histórica do *risco* conduziu a duas exigências inerentes ao conceito: a exigência de conhecimentos adequados e a exigência de justificação de decisões e ações.

No que respeita ao corpo de conhecimentos exigidos, constata-se uma tendência forte para que sejam conhecimentos com carácter científico ou em que sejam aplicadas metodologias consideradas científicas. Justifica-se, assim, uma reflexão sobre a *epistemologia do risco*, nomeadamente as suas características e condicionamentos ou limites especiais.

A estruturação geral dos conhecimentos e das ações no domínio do risco pode ser designada por *Gestão do Risco (em sentido lato)* e compreende duas componentes fundamentais: 1) a *avaliação do risco* e 2) a *mitigação ou gestão do risco (em sentido restrito) e a gestão de crises*. Esta é uma clivagem que é adoptada no presente texto por se considerar que as referidas duas componentes têm características intrínsecas substancialmente diferentes sendo a primeira componente aquela que é objeto de maior atenção por parte do autor, nomeadamente a análise quantitativa do risco (A. Q. R.). Contudo, as questões levantadas são também pertinentes para outras formas de avaliação do risco.

Alguns aspetos particulares, designados por “diluições” (no sentido de “difusos”), condicionam o conhecimento científico da avaliação do risco e merecem ser referidos, nomeadamente a “diluição” epistémica resultante das incertezas e o “factor tempo” de exposição ao risco. Na subcomponente designada por apreciação do risco, a ética intervém na preparação de decisões sequentes e é também condicionada pelas incertezas inerentes à avaliação do risco.

O principal objetivo da reflexão é o de suscitar o interesse renovado pela estruturação filosófica das teorias do risco e por uma comunicação mais consistente, relativamente à questão da confirmação ou validação (“*ex-ante*” ou “*ex-post*”), dos resultados da avaliação do risco e da justificação das ações propostas para mitigação ou “tratamento” de riscos.

### Avaliação e Gestão do Risco e de Crises. Uma diferenciação

Conforme foi referido, a *Gestão do Risco (em sentido lato)* pode ser entendida como a designação de uma estrutura geral de conhecimentos associados ao(s)

risco(s) e que compreende as seguintes componentes (Almeida, 2011a, 2011b e 2014):

- *Avaliação do Risco*: definição, identificação, cenarização, análise e apreciação;
- *Mitigação do Risco*: *redução* ou tratamento do risco (medidas de prevenção e proteção, participação pública e planos de contingência), monitorização, comunicação e preparação da resposta a crises (medidas de recuperação e resiliência. Esta é também a estrutura definida pela Norma ISO 31 000 relativa à gestão do risco (ISO,2009). Uma análise detalhada da teoria do risco é apresentada em Lourenço e Almeida, 2018.

A mitigação do risco tem uma estrutura predominantemente operacional, também designada por *Gestão Operacional do Risco* ou *Gestão do Risco (em sentido estrito)*, que é anterior à manifestação ou realização do(s) risco(s): é uma gestão “*ex-ante*”. A *gestão de crise* é uma gestão de uma situação posterior à manifestação de um risco ou de um acontecimento imprevisto relevante: é uma gestão “*ex-post*”.

A avaliação do risco tem uma aplicação particular de conhecimentos e tem por objetivo a caracterização do risco e o suporte de decisões. É uma avaliação “*ex-ante*” que gera conhecimentos para as ações operacionais de mitigação.

A clivagem entre estas duas componentes foi antecipada e justificada num relatório de uma Comissão do National Research Council (N. R. C.) dos E. U. A. (NRC,1983) o qual teve impactes relevantes. De acordo com Brown e Goble,1990, “[...] *o modelo conceptual da avaliação do risco e da gestão do risco proposto pela Comissão, embora realçando a incerteza científica na avaliação do risco e o papel da ciência política em assumir essa incerteza explicitamente, apresenta a avaliação do risco como uma atividade científica objetiva, distinta da gestão do risco, ao excluir os valores institucionais, políticos e sociais*”. De acordo com estes autores, este modelo de separação “*veio sublinhar de um modo explícito a separação da avaliação científica da formulação de políticas públicas reforçando assim a imagem da avaliação como sendo objetiva*”.

Nas diversas áreas de intervenção, esta separação nem sempre é aplicada, conforme se exemplificou com a Norma ISO 31 000, mas a mitigação do risco e a gestão de crises têm características diferentes das da avaliação do risco, não obstante incluírem também conhecimentos técnicos e científicos para suporte de decisões. Nas áreas da gestão financeira e empresarial e na atividade política, a tomada de decisões em “ambiente de risco” utiliza técnicas desenvolvidas para ter em conta as incertezas, mas consideramos que nesses casos o objetivo fundamental pode não ser a gestão ou mitigação de riscos.

Está assim justificada a diferenciação, no âmbito do presente texto, das designações *em sentido lato* e *em sentido restrito* para a gestão do risco, sendo a avaliação do risco o objeto principal de reflexão deste artigo e a gestão do risco, quando referida, corresponderá à designação *em sentido restrito*.

### A Questão da Definição do Risco

Regra geral, um corpo estruturado de conhecimentos tem como elemento primordial a definição de um conceito que caracteriza e limita o domínio da sua intervenção. No caso presente esse conceito é designado, como já foi referido, por *risco*. No domínio da Economia, a quantificação da incerteza por probabilidades foi definida por Frank Knight (1885-1972) como a condição necessária para se poder aplicar o termo *risco* (Knight, 1921). É uma definição que se tornou histórica, mas que é discutível. Em Direito, o *risco* pode estar associado a decisões humanas em contraponto a situações naturais de perigo (Brito, 2012).

Ao contrário do que acontece em outros domínios do conhecimento, não há uma aceitação universal da definição do *risco*. A definição não só depende da área de aplicação e da perspectiva disciplinar de análise, como o conceito está embebido na linguagem comum e traduz estados de pensamento e de sensações dos humanos. Não obstante o esforço de convergência e uniformização da definição do conceito por parte de autores e organizações nacionais e internacionais, nomeadamente pela elaboração de glossários (e. g. ISO, 2009 e SRA, 2015) ou na proposta de definições consideradas ajustadas e racionais (Almeida, 2011a) e Lourenço e Almeida, 2018) persiste uma “diluição” (1) original e irredutível na definição do objecto do corpo estruturado de conhecimentos que nos interessa.

O aspecto comum às diferentes definições do *risco* talvez seja a noção de estar associado a alterações de um “estado do mundo”. Alterações impostas, mas indesejáveis, que induzem consequências negativas que se pretendem evitar ou alterações provocadas deliberadamente (oportunidades) para se obterem vantagens relevantes, mas que podem ter efeitos danosos. Este segundo tipo de ações está, em geral, associado a comportamentos ousados tidos como positivos e especialmente elogiados nos domínios da gestão empresarial e financeira (a “cultura do *risco*” ou a “apetência pelo *risco*”), para além da conhecida admiração e respeito por ações guerreiras designadas por heróicas. Neste texto, é o primeiro tipo de alterações que está subjacente nas reflexões desenvolvidas.

Tal como é assinalado por Aven, 2016, as diferentes definições podem ser agrupadas em descrições qualitativas globais (e. g. “a possibilidade de uma ocorrência infeliz”) e em descrições métricas (e. g.

“o valor expectável de consequências”). Em Aven *et al.*, 2011, é apresentada uma análise comparativa das perspectivas conceptuais de 11 definições do *risco*. Com efeito, a natureza intrínseca do *risco* é “difusa” e existem diferentes definições consoante as perspectivas: é algo subjetivo, um estado de espírito, ou é algo objetivo que existe independentemente dos humanos? É uma abstração, uma ideia ou realidade mental construída pelos humanos e que é reconhecida e aceite como o são as entidades matemáticas?

Em 2021, em resultado da pandemia da Covid19, a utilização pública do termo *risco* tornou-se frequente, sendo aplicada a diferentes tipos de situações e de indicadores. Na comunicação do *risco*, nomeadamente na gestão de crises, o rigor de uma definição técnica raramente é seguido. O termo coloquial *risco* tende então a ser utilizado o que pode ameaçar a eficácia da comunicação de medidas de prevenção e de proteção.

### A Questão do Conhecimento na Avaliação do Risco

#### *Epistemologia aplicada*

A epistemologia é o ramo da Filosofia que se ocupa do conhecimento, nomeadamente do conhecimento científico, e dos respectivos fundamentos lógicos (Wenning, 2009). De acordo com a definição clássica atribuída a Sócrates/Platão o conhecimento é uma “*crença verdadeira devidamente justificada*”. Esta definição não é consensual e tem sido objecto de análises críticas e de propostas alternativas consideradas mais rigorosas. Há perspectivas filosóficas que consideram desnecessária a justificação da crença (Sackris e Beebe, 2013). Mais adiante este aspeto será de novo abordado. Uma definição deve relacionar a expressão que define (*definiens*) com o que é definido (*definiendum*), tendo em conta, idealmente, algumas condições lógicas (Dutant e Engel, 2017, p. 35). A definição da avaliação do *risco* pode ser a seguinte: “O processo que permite identificar, caracterizar e estimar ou calcular o valor de um *risco*”.

Admite-se, como hipótese, que o processo da avaliação é científico: obedece a critérios de demarcação científica reconhecidos. As metodologias adoptadas na avaliação do *risco* podem ser as de uma ciência social e serem baseadas na percepção social (Slovic, 2000) ou mesmo numa perspectiva completamente subjetiva, como Shrader-Frechette defende na seguinte afirmação: “[...] *não existe qualquer diferença entre risco percebido e risco atual, porque não existe nenhum risco, excepto o risco percebido*” (Shrader-Frechette, 1991).

A forma de caracterizar o valor de algo, seja um objeto ou uma ideia, não é única: pode ser qualitativa e descrita por palavras e indicadores aproximados ou

ser quantitativa e descrita numericamente (métrica do risco). Adota-se como referência para a reflexão neste texto a designada análise quantitativa do risco (A. Q. R.) como uma constituinte fundamental da avaliação. A A. Q. R. foi impulsionada pela exploração de centrais nucleares o que exigiu, nos E. U. A., uma avaliação dos riscos mais convincente e exigente, para enfrentar as resistências públicas face a um eventual acidente (USNRC, 1975 e 1978). Este método de avaliação passou a constituir um quadro de referência para grandes projetos de engenharia e um método de comparação entre diferentes riscos públicos. Foi a génese de um modelo para as avaliações quantitativas do risco (Apostolakis, 2003, Kaplan e Garrick, 1981 e Aven, 2020). No entanto, as questões epistemológicas associadas colocam-se também noutros métodos de avaliação do risco.

Considerando a aplicação da definição clássica de conhecimento à avaliação do risco, uma questão epistemológica coloca-se na convicção de verdade e de justificação adequada face às suas características específicas.

A avaliação quantitativa do risco mobiliza um conjunto de conhecimentos de base racional ou empírica obtidos por métodos sistemáticos, e que poderão ser confirmados ou refutados. Espera-se que a justificação de um conhecimento científico seja exigente e que obedeça mais a critérios de objectividade do que a critérios de verdade, mas a realização de testes empíricos que ponham à prova hipóteses e resultados nem sempre é possível, em particular no caso das ciências sociais e humanas.

### Especificidades Gerais da Avaliação do Risco

A estruturação da avaliação quantitativa do risco depende da definição do âmbito da análise, dos objetivos pretendidos e da métrica a aplicar. De um modo geral, há que considerar, simultaneamente, as seguintes componentes:

< cenário, incerteza, consequências, conhecimentos de suporte >

- **Cenário:** compreende a definição da situação de risco a avaliar, incluindo o sistema espacial e o tempo em exposição face aos acontecimentos futuros identificados no presente;
- **Incerteza:** constitui, com o tempo futuro, um condicionamento fundamental da avaliação do risco no que respeita os respetivos limites epistemológicos;
- **Consequências:** implica o conhecimento do que estará exposto aos acontecimentos e da respetiva vulnerabilidade aos mesmos;
- **Conhecimentos de suporte:** compreende o conjunto de conhecimentos disponíveis para aplicar na determinação do valor do risco.

Na avaliação do risco existe uma clivagem crítica entre a aplicação dos conhecimentos e a justificação dos resultados, que ocorrem num tempo presente, e a manifestação de acontecimentos associados a essa avaliação, que ocorre num período de tempo futuro. A incerteza no conhecimento do valor obtido pela avaliação do risco é a resultante do conjunto de incertezas associadas a todas as componentes referidas e exige uma métrica ou uma caracterização própria adequada, tal como nas diferentes áreas da ciência. Não é, contudo, possível atuar com base em acontecimentos futuros desconhecidos: ocorre uma diferenciação epistemológica e ontológica entre o presente e o futuro.

### As Incertezas Intervenientes

A incerteza global é uma característica fundamental do risco conforme já foi referido. Na Norma ISO 31 000 a incerteza tem uma posição central na definição de risco (ISO, 2009):

“Risco = Efeito da incerteza nos objetivos”.

As diferentes incertezas associadas às componentes de uma avaliação do risco podem ser agrupadas nos seguintes tipos:

- **Incertezas aleatórias:** associadas a uma variabilidade natural com características aleatórias irreduzíveis. A caracterização deste tipo de incerteza é baseada na experiência do passado e na aplicação de “probabilidades”;
- **Incertezas epistémicas:** decorrentes de um conhecimento insuficiente. Podem ser reduzidas no presente se o conhecimento aumentar, desde que o novo conhecimento não venha a desvelar mais incertezas. Também podem ser caracterizadas por “probabilidades” ou outros métodos apropriados;
- **Incertezas ontológicas:** incertezas irreduzíveis associadas aos acontecimentos futuros e que não podem ser eliminadas por conhecimentos no presente.

Por “probabilidades” designamos não só o conceito usual de probabilidades como, também, a integração de outros conceitos ou instrumentos matemáticos equivalentes para quantificar incertezas (e. g. teorias da evidência, “difusas” ou da possibilidade). Os dois primeiros tipos de incertezas têm sido os mais identificados, mas os trabalhos recentes de alguns autores (e. g. Aven *et al.*, 2011; Eldevik *et al.*, 2017, Lane e Maxfield, 2004; Nja *et al.*, 2017 e Hansson, 2004) justificam que se considerem a importância e a singularidade das incertezas ontológicas na avaliação e análise do risco. A quantificação das incertezas aleatórias por probabilidades estimadas (e. g. probabilidades de tipo frequencista) com base em séries de acontecimentos ocorridos ou em resultados (e. g. medições) de ensaios sistemáticos laboratoriais

é um procedimento corrente que conduz à definição (quantitativa) do risco Risco(i) associado a um cenário i:

$$\text{Risco}(i) = \text{Probabilidade}(i) \times \text{Consequências}(i)$$

ou seja, é o valor expectável (“*expected*”) do valor das consequências ou danos associados ao cenário i (Almeida, 2011a)). Em rigor, a probabilidade (i) deve ser a probabilidade composta dos diversos eventos aleatórios que ocorrem na cadeia causal desencadeada pelo acontecimento inicial. No caso de cenários múltiplos e da possibilidade de variações contínuas de efeitos a formulação matemática do risco resultante pode tornar-se muito complexa.

Esta caracterização probabilística não está isenta de erros e incertezas: depende da qualidade dos dados e da confiança na estabilidade futura das características dos eventos. Na ausência de dados ou conhecimentos adequados para caracterizar as incertezas aleatórias, pode ser necessário aplicar probabilidades subjetivas baseadas em conhecimentos ou percepções pessoais (como um grau de crença) ou metodologias especiais para a caracterização destas incertezas, nomeadamente a adopção de probabilidades “imprecisas”, incorporando valores mínimos e máximos (Coolen *et al.* 2010 e Walley, 2000).

Para a quantificação das consequências e das incertezas epistémicas associadas (e. g. informação incompleta, ambiguidades ou limites de precisão em medições) existe uma panóplia de técnicas e de métodos matemáticos. Algumas formas de conhecimento podem ser encapsuladas em modelos computacionais que permitem a simulação numérica de processos complexos para uma avaliação das consequências ou para testar o grau de eficácia de medidas de mitigação. Mas os resultados dos modelos matemáticos têm incertezas epistémicas decorrentes da parametrização ou da qualidade dos dados que podem ser tidas em conta (e. g. com a utilização da técnica de Monte Carlo ou de intervalos de incerteza).

As incertezas ontológicas estão associadas à possibilidade da ocorrência no futuro de estados e de acontecimentos completamente imprevisíveis e incontroláveis. O conhecimento dessas ocorrências, no presente, não pode deixar de ser incerto, indeterminado ou mesmo impossível. Admite-se assim a possibilidade de ocorrência de acontecimentos nunca antes conhecidos ou mesmo imaginados, sem a possibilidade de confirmação no presente. Inclui a incerteza no conhecimento de comportamentos de humanos em situações futuras inesperadas. O conjunto de cenários considerados na avaliação e na análise do risco não é, assim, completo e a incerteza ontológica pode ser uma forma de ignorância absoluta (o “*desconhecido desconhecido*” referido em Flage e Aven, 2015). Esta incerteza muito dificilmente poderá ser avaliada e integrada, de um modo consistente, no valor expectável das consequências, como acontece com outros tipos de incertezas.

A relevância das incertezas ontológicas depende da extensão territorial definida (definição do sistema em análise) e da duração temporal futura da exposição ao(s) risco(s). O factor “tempo futuro” constitui um parâmetro que afeta as incertezas ontológicas: quanto maior a duração da exposição, mais acontecimentos não previstos nos cenários adotados podem ocorrer. Sendo humanamente impossível considerar todos os cenários possíveis segue-se, em geral, o critério de adotar os mais prováveis ou os que podem provocar mais danos.

O conjunto das incertezas na avaliação do risco pode afetar de modo significativo o valor esperado de um processo científico constituindo uma forma de “diluição” (2) do rigor ou da garantia do resultado pretendido: um valor (quantificado) do risco. As incertezas colocam um desafio epistemológico relevante nas ciências e na ética (Ludwig, 2019) e a conjugação dos diferentes operadores e métricas das incertezas pode afetar o significado do resultado como valor expectável das consequências.

#### Validação da Análise Quantitativa e da Apreciação do Risco

##### *Limites epistemológicos da AQR*

A avaliação do risco tem por finalidade criar conhecimento para fundamentar decisões relativas à mitigação de riscos ou para informar decisões relativas a determinados objetivos sobre os riscos associados. Esse conhecimento e essas decisões podem ter um grande impacto social sob diversas formas. É um conhecimento que pode ser um instrumento de poder e, atualmente, os meios de comunicação social amplificam este conhecimento e este poder. É, assim, inevitável ter de considerar a justificação credível do conhecimento ou da informação resultante da avaliação do risco.

Ao apresentar-se como uma avaliação quantitativa baseada na aplicação de processos científicos, esta justificação torna-se mais exigente e necessária nos processos de participação pública.

Em muitos conhecimentos científicos (e. g. nas ciências da natureza) a justificação pode ser baseada nos resultados de ensaios laboratoriais controlados ou de experiências cruciais e na aplicação de conhecimentos aceites como consolidados. É conhecido que não há verdades científicas absolutas, mas, em geral, deve haver sempre a possibilidade de colocar à prova as teorias e os enunciados científicos. É esta uma preocupação relevante da filosofia da ciência que envolve os objetivos e os métodos de demonstração, confirmação, consistência, corroboração e de falseabilidade ou refutabilidade. K. Popper (1902-1994) e outros filósofos analisaram as características e exigências de um conhecimento científico. Estas exigências têm que se adaptar aos diferentes tipos

de ciência (e. g. às ciências sociais) mas mantêm-se como garantes do que entendemos por validação desse conhecimento e garante da respetiva “autoridade”.

No caso da avaliação quantitativa do risco podem ser identificados limites ou condicionamentos específicos a uma validação exigente dos conhecimentos produzidos que designamos por limites epistemológicos relevantes:

- Fundamentação da quantificação de incertezas (“probabilidades” e frequências), baseadas na experiência do passado e do presente e projetada no futuro (e. g. problema da indução baseada em probabilidades);
- Impossibilidade de confirmação ou refutação direta do valor calculado para um risco (ou para as probabilidades associadas) ou do valor expectável das consequências de um acontecimento;
- Incompletude dos cenários e dos processos causais considerados na avaliação, atendendo à indeterminação e ignorância irreduzíveis decorrentes das incertezas ontológicas. O problema clássico da “existência de sol no dia seguinte” baseada na experiência comprova a complexidade da indução e da incerteza ontológica.

Em termos práticos, a “certeza” científica do risco fica diluída (“diluição” (3)) e a prova do valor do risco, no presente e no futuro, não pode ser completamente concludente, excetuando os casos especiais controláveis com uma regularidade quase perfeita, determinística e verificável, num período de tempo limitado. Em alguns casos é possível uma prática laboratorial intensa, como acontece no caso dos riscos em saúde e em medicamentos (e. g. os riscos de vacinas), mas há também limites éticos e incertezas insuperáveis.

A discussão sobre a validação científica da avaliação e análise quantitativas do risco faz emergir a clivagem entre duas perspetivas opostas relativas à natureza dos riscos: a perspetiva realista e a perspetiva construtivista. A primeira posição defende a existência objetiva de um risco, sendo a probabilidade uma característica (ou propensão, um conceito apresentado a partir de 1957 por K. Popper, 1992) do mundo. O progresso científico é uma garantia na aceitação da melhor forma de aproximação objetiva à realidade. A segunda posição considera as probabilidades como quantificações de graus de crença pessoais, um argumento e não uma prova, não podendo o risco ser independente de quem o avalia.

Uma revisitação muito completa do problema da validação da análise quantitativa do risco pode ser encontrada em Goerlandt *et al.*, 2017 e Seiler e Alvarez, 1994. Em rigor, é difícil afirmar que uma avaliação quantitativa do risco cumpre todos os critérios de validação científica tidos como indispensáveis, mas pode-se exercer um controlo relativo à qualidade, consistência e coerência dos métodos utilizados.

A comparação com outros casos, a monitorização, a adaptação e a revisão periódica da avaliação podem justificar a A. Q. R. como um dos processos credíveis, a par de outros, para apoio a decisões envolvendo o conceito *risco*, mas o debate sobre a questão da avaliação do risco ser ou não ser uma ciência irá continuar.

### Apreciação do Risco e Ética

A apreciação do risco constitui uma ponte entre a análise (quantitativa) do risco, considerada como baseada em factos, e a tomada de decisões e a gestão do risco e de crises que devem ter muito em conta valores e impactes sociais e políticos. A apreciação do risco prepara um quadro de apoio à decisão com base nos seguintes objetivos:

- Classificação genérica dos riscos individuais e societais como aceitáveis, toleráveis ou não toleráveis;
- Preparação do risco como um custo, ou um benefício quantificado, para análises económicas que justifiquem ou orientem decisões.

No primeiro caso há que definir limites tendo em conta a combinação de probabilidades ou frequências e as consequências. A utilização dos diagramas F-N (probabilidades de excedência *versus* consequências) permite a definição de zonas de admissibilidade e de não admissibilidade tendo em conta um critério de aversão do risco. Os resultados da análise quantitativa do risco são assim utilizados como suporte a decisões e a normas oficiais. Mas quando as incertezas nas probabilidades de ocorrência e a caracterização dos eventos são muito elevadas (e. g. falta de dados ou de experiência) há que alterar a gestão do risco e concentrar a ação na mitigação das consequências ou das vulnerabilidades em vez da mitigação do risco (e. g. pode ser o caso dos riscos das alterações climáticas).

A perda da validade do conceito de probabilidade e da importância da incerteza ontológica está evidente na aplicação dos princípios da precaução e cautelares como se exemplifica nesta declaração de uma Comissão Ética Alemã (Aven, 2019), associada à decisão de encerrar as centrais nucleares no país em 2022:

*“Nuclear energy is not acceptable because of its catastrophic potential, independent of the probability of large accidents occurring and also independent of its economic benefit to society”.*

O valor expectável ou de esperança matemática das consequências ou danos (perdas), com a ponderação pelas probabilidades (quando possível), pretende fornecer um valor corrigido dessas perdas, no presente, em resultado das incertezas na ocorrência do acontecimento no futuro. A valoração de perdas em valor monetário permite assim a associação do risco a custos

e a benefícios, no presente, para justificar decisões com base na relação custo-benefício. Uma relação que suscita dúvidas éticas e dificuldades particulares quando os eventos extremos têm uma probabilidade de ocorrência calculada ou estimada muito pequena e consequências muito relevantes. Uma avaliação recente das análises risco-custo-benefício é apresentada em Fischhoff, 2015. Parece ser aconselhável uma análise mais ampla, não tão redutora, integrando as partes interessadas e os conhecimentos disponíveis em diferentes dimensões, nomeadamente a ética.

Tal como no problema da justificação do conhecimento, as incertezas e as probabilidades colocam questões éticas especiais. Estas questões resultam da “diluição” (2) da certeza dos atos ou situações no futuro, que se podem ou não realizar, o que pode afetar a aplicação da ética (“diluição” (4)) nas decisões decorrentes da apreciação e da gestão do risco (McCarthy, 1997, Hansson, 2004, Tannert *et al.*, 2007, Brannmark, 2010, e Welch, 2017). Questões que, de um modo semelhante, também se colocam na aplicação do Direito aos problemas associados a esse tipo de decisões. Indicam-se alguns exemplos:

- Tendo como base informações baseadas em frequências ou probabilidades, o comportamento de um decisor ou a percepção de um sujeito recetor das decisões pode ser vítima de erros involuntários do ponto de vista do rigor científico (e. g. na reação ou interpretação de informações sobre determinados riscos, como os associados a medicamentos ou vacinas), o que induz a necessidade de um apoio muito influente de peritos para elucidar os limites epistemológicos ou ultrapassar um eventual fosso ético (“*ethical gap*”) entre o desejado e o possível adotando margens de segurança adequadas (Hansson, 2004). A influência dos peritos nos decisores pode suscitar problemas num sistema democrático (Brito, 2012 e Turner, 2003). Alguns acontecimentos revelam que a aceitação de critérios de risco mínimo ou a fixação de situações impossíveis por parte de peritos não se justificava (e. g. o acidente na central nuclear de Fukushima em 2011, Vasconcelos *et al.*, 2015), o que suscita prudência na confiança ilimitada em critérios baseados no passado quando aplicados a eventos excecionais;
- A aceitação de um número potencial de vítimas humanas, decorrentes da aplicação de critérios de aceitabilidade de riscos sociais ou de avaliações de risco-benefício, levanta questões relativas ao valor da vida humana considerado como um mero elemento estatístico (tal como na aceitação “*ex-ante*” de vítimas colaterais numa decisão de guerra). Em termos de comunicação implica também um problema moral pela incapacidade de garantir segurança a cada indivíduo concreto atendendo

a que o modo de realização da probabilidade é “cego” ou depende de um conjunto de fatores pessoais incontroláveis;

- Conhecidos os valores éticos de um conjunto de situações bem determinadas, qual será a alteração desses valores quando essas situações são cenários associados ou ponderados por probabilidades de ocorrência? Aplicam-se os mesmos valores éticos aos valores expectáveis das consequências ou é adequado alterar e adaptar esses valores? Hansson, 2004, desenvolveu diferentes perspetivas para enfrentar esta “diluição” (4) ética.

A decisão ética e a justificação de um conhecimento sujeitos a um condicionamento puramente probabilístico pode conduzir a erros ou a paradoxos exigindo a mobilização de conhecimentos de suporte adicionais para a decisão. A coerência desse conjunto alargado de conhecimentos poderá garantir uma aproximação mais fiável à decisão ética ou à “certeza” na decisão mais adequada (Lehrer, 1986 e Wenning, 2009).

#### O Presente e o Futuro da Avaliação e Gestão do Risco

A transição entre presente e futuro na avaliação do risco impõe uma reflexão sobre os conhecimentos que herdámos do passado e as tendências que detetamos. Uma análise reflexiva sobre conceitos e métodos é oportuna (e. g. Hansson, 2005, e Aven, 2020).

O tempo presente (2020-21) veio desvelar, por via da pandemia Covid19, alguns aspectos particulares que, não constituindo revelações totalmente inesperadas, evidenciam algumas questões epistemológicas e éticas relevantes:

- A avaliação e a gestão de riscos e crises entrelaçados com elevadas incertezas, ignorâncias e efeitos muito perigosos (morte de pessoas, perdas económicas e crise social);
- A necessidade de medidas com efeitos opostos e a dificuldade na previsão da evolução da crise sanitária, atendendo à dificuldade ou impossibilidade de calcular ou estimar probabilidades ou de garantir medicamentos eficazes;
- A dificuldade na aceitação da justificação de medidas preventivas ou de proteção e na comunicação concertada da avaliação de perigos ou de riscos por parte de especialistas com acesso à comunicação social (fascínio por números e avaliações quantitativas);
- A intervenção do “fator tempo”: a duração prolongada da crise propiciando novos riscos e perigos como incertezas quase-ontológicas (aparecimento aleatório de surtos ou de variantes do vírus).

As redes sociais e as plataformas de comunicação permanente induzem uma fragmentação na divulgação científica e uma “diluição” (5) na confiança do conhecimento científico (e. g. a propagação do “negacionismo”). A ciência tem um processo de consolidação próprio e a nova capacidade de divulgação, quase instantânea, por parte de especialistas a título individual e sem análise crítica pelos pares, gera confusão e uma “diluição” epistémica perigosa.

Nas condições da referida pandemia, a avaliação quantitativa dos riscos torna-se difícil, excepto nalguns casos concretos em que é possível aplicar estatísticas a um grande número de casos (e. g. os riscos de efeitos secundários de vacinas). As decisões de gestão e de ação tornam-se preponderantes e, de um modo quase empírico ou por tentativas, tentam adaptar-se à evolução da situação. Podem constituir uma aplicação ou aproximação do que se designa por gestão do risco adaptativa (Rice e Dunbar, 2016) e não uma manifestação de desorientação.

A aplicação de métodos científicos exige tempo e dados. Os modelos computacionais já são, no presente, uma ferramenta indispensável. As novas tecnologias podem vir a atenuar as incertezas epistémicas e a melhorar a fiabilidade da análise probabilística das incertezas aleatórias. A utilização de algoritmos e da “inteligência artificial” (IA) pode fornecer à avaliação do risco melhores e mais rápidos resultados e superar em alguns aspetos a capacidade humana. Podem ter em conta uma maior diversidade de cenários e detetar correlações que poderiam parecer impossíveis. Mas as técnicas de aprendizagem automática (“*machine learning*”) de IA exigem muitos dados, o que é uma limitação difícil de ultrapassar, e não poderão eliminar totalmente as incertezas ontológicas. A análise dinâmica (constante no tempo) e adaptativa dos riscos a situações inesperadas utilizando estas tecnologias foi apresentada, com um exemplo de aplicação, por Paltrinieri *et al.*, 2019, e a área financeira e a indústria dos seguros têm particular interesse na aplicação destas tecnologias à gestão do risco (Aziz e Dowling, 2018).

A utilização deste tipo de equipamento na produção de conhecimento e de estruturação de decisões envolve, em 2021, uma particularidade epistemológica: a dificuldade ou a impossibilidade de se conhecer o percurso racional seguido e a justificação dos resultados, o que implica uma tendência para a aceitação, ou a submissão sem crítica, da atuação da IA. Uma tendência mais preocupante para a democracia que a atual influência de comissões de peritos ou cientistas. É mais uma (possível) “diluição” (6) epistemológica da avaliação do risco no futuro.

## Considerações Finais

A avaliação do risco pode diferenciar-se da mitigação do risco e da gestão de crises pela utilização de metodologias e de conhecimentos multidisciplinares que se pretendem aplicar de um modo relativamente neutro. A gestão do risco (*em sentido restrito*) e das crises tem um cariz mais operacional envolvendo atividades e técnicas específicas sujeitas a decisões que têm em conta diversos condicionamentos, recursos e valores sociais e políticos. Há duas razões para se pretender considerar a avaliação do risco como uma ciência: a primeira é a necessidade de ter mais credibilidade perante a opinião pública e os decisores políticos; a segunda é uma compreensível procura de reconhecimento através de um estatuto académico diferente.

O texto evidencia características epistemológicas específicas da avaliação do risco: seis “diluições” da certeza desejada ou considerada como referência abrangendo a definição de risco, as incertezas (e. g. as incertezas ontológicas), a aplicação de “probabilidades” e a exposição ao “fator tempo”, a aplicação de critérios de validação, as questões éticas, a fragmentação comunicacional do conhecimento e a aplicação de novas tecnologias, nomeadamente a “inteligência artificial”, associadas a processos epistemológicos difusos.

No entanto, a utilização intensiva de metodologias científicas, consistentes e multidisciplinares, nas teorias do risco proporciona uma validação suficiente da avaliação do risco desde que se aceite a “dúvida razoável” e prudente. É a validação baseada na confiança do “coerentismo epistemológico” dos seus componentes, como acontece de modo semelhante em muitas especialidades de Engenharia, e na convicção de ser a melhor forma de garantir a proteção face a ameaças futuras.

## Referências bibliográficas

- Almeida, A. (2011a). *Incertezas e Riscos. Conceptualização Operacional*, Esfera do Caos, 237p.
- Almeida, A. (2011b). *Risco e gestão do risco: questões filosóficas subjacentes ao modelo técnico conceptual*, Territorium 18, Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, 23-31.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723\\_18\\_2](http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_18_2)
- Almeida, A. (2014). Gestão do risco e da incerteza: conceitos e filosofia subjacente. *Realidades e Desafios na Gestão dos Riscos, Diálogo entre Ciência e Utilizadores*, Imprensa da Universidade de Coimbra, 19-29.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8330-23-1\\_2](http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8330-23-1_2)
- Apostolakis, G. (2003). *How Useful is Quantitative Risk Assessment?*, M.I.T., Engineering System Division, Working Papers Series (ESD-WP-2003-05), 17 p.

- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation, *European Journal of Operational Research*, 253, Elsevier, 1-13.
- Aven, T. (2019). The cautionary principle in risk management: Foundation and practical use, *Reliability Engineering and System Safety*, 191, 6 p.
- Aven, T. (2020). Three influential risk foundation papers from the 80s and 90s: Are they still state-of-the-art? *Reliability Engineering and System Safety*, 193, 8 p.
- Aven, T., Renn, O. e Rosa, E. A. (2011). On the ontological status of the concept of risk. *Safety Science*, 49 (8-9), 1074-1079.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.04.015>
- Aziz, S. e Dowling, M. (2018). AI and machine learning for risk management, *SRN Electronic Journal*, January, 18 p., URL: <https://ssrn.com/abstract=3201337>
- Bernstein, P. L. (1998). *Against the Gods. The Remarkable Story of Risk*, J. Wiley, New York, 383 p.
- Branmark, J. e Sahlin, N. (2010). Ethical Theory and the Philosophy of Risk: First Thought, *Journal of Risk Research*, 13, 149-161.
- Brito, M. (2012). Direito Administrativo, Perigo, Risco e Princípio Democrático. *Direitos das Catástrofes Naturais*, Carla Amado Gomes (ed.), Capítulo VII, Almedina, 323-354.
- Brown, H. e Goble, R. (1990). The Role of Scientists in Risk Assessment. *RISK: Issues in Health and Safety*, Vol. 1, n.º 4, 283-311.
- Coolen, F. P. A., Troffaes, M. C. M. e Augustin, T. (2010). *Imprecise Probability*, International Encyclopedia of Statistical Science, Springer, 5 p.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2\\_296](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2_296)
- Dutant, J. e Engel, P., eds (2017). *Philosophie de la Connaissance, Croyance, Connaissance, Justification*, VRIN, Textes clés de philosophie de la connaissance, 448 p.
- Eldevik, S., Hafver, A., Jakopanec, I. e Pedersen, F. B. (2017). *Risk, Uncertainty, and "What if" - a practical view on uncertainty and risk in the knowledge - and physical domain*, ESREL Conference Paper.  
DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315210469-149>
- Fischhoff, B. (2015). *The Realities of risk-cost-benefit analysis*, Science 350 (6260), 8 p.
- Flage, R. e Aven, T. (2015). Emerging risk - Conceptual definition and a relation to black swan type of events. *Reliability Engineering and System Safety*, 144, 61-67.
- Goerlandt, F., Khakzad, N. e Reniers, G. (2017). Validity and Validation of Safety-Related Quantitative Risk Analysis. *Safety Science*, 99, Part B, Elsevier, 127-139.
- Hansson, S. (2004). *Philosophical Perspectives on Risk*, Techné 8:1, 10-35.
- Hansson, S. (2005). Seven Mythes of Risk. *Risk Management: An International Journal*, 7 (2), 7-17.
- ISO - International Organization for Standardization (2009). *Risk Management - Principles and Guidelines*, ISO/TC 262 Risk Management, 24 p.
- Kaplan, S. e Garrick, B. (1981). On The Quantitative Definition of Risk, *Risk Analysis*, Vol.1, n.º 1, p 11-27.
- Knight, F. (1921). *Risk, Uncertainty and Profit*, Boston, Cambridge, Houghton Mifflin, 387 p.
- Lane, D. e Maxfield, R. (2004). Ontological Uncertainty and Innovation. *Journal of Evolutionary Economics*, January, 48 p.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00191-004-0227-7>
- Leher, K. (1986). The coherence theory of knowledge, *Philosophical Topics*, 14, 5-25 (e em Dutant e Engel (2017), 111-141).
- Lourenço, L. e Almeida, A. (2018). Alguns Conceitos à Luz da Teoria do Risco, Imprensa da Universidade de Coimbra. *Riscos e Crises. Da teoria à plena manifestação*, Série "Riscos e Catástrofes", Vol. 6, 18-77.  
DOI: [https://doi.org/10.14195/978-989-26-1697-1\\_1](https://doi.org/10.14195/978-989-26-1697-1_1)
- Ludwig, C. (2019). Para uma concepção epistemológica da incerteza. *Revista da Faculdade de Direito UFPR*, Curitiba, Brasil, Vol. 64, n.º 1, 97-117.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rfdufpr.v64i1.62405>
- McCarthy, D. (1997). *Rights, Explanation, and Risks*, Ethics, The University of Chicago Press, Vol. 107, n.º 2, 205-225.
- Njå, O., Solberg, Ø. e Braut, G. S. (2017). *Uncertainty - Its Ontological Status and Relation to Safety*, "The Illusion of Control" (cap. 2), Safety Management, G. Motet e c. Bieder (eds.), 5-21.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1983). *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*, Ruckelshaus, Risk, Science and Democracy, Vol 1, Issues in Science and Technology, 19 (1985).
- Paltrinieri, N., Comfort, L. e Reniers, G. (2019). Learning about risk: machine learning for risk assessment. *Safety Science*, 118, 475-486.
- Popper, K. (1992). *Un Univers de Propensions. Deux études sur la causalité et l'évolution*. Editions de L'Éclat, Collection tiré à part (Sciences Humaines et Sociales), 80 p.
- Rice, C. e Dunbar, W. (2016). A framework for adaptive risk management in the planning, design, and construction of mining projects, *Proceedings of Risk and Resilience Mining Solutions Conference*, Vancouver, Canada, InfoMine, 213-230, ISBN: 978-1-988185-00-2.

- Sackris, D. e Beebe, J. (2013). Is Justification Necessary for Knowledge?, *Advances in Experimental Epistemology*, 175-192.
- Seiler, F. e Alvarez, J. (1994). The Scientific Method in Risk Assessment. *Technology: Journal of The Franklin Institute*, Vol. 331 A, 53-58.
- Shrader-Frechette, K. (1991). *Risk and Rationality: Philosophical Foundations for Populists Reforms*, Los Angeles, University of California, 84 p.
- SRA (2015). *Society for Risk Analysis Glossary*, 9 p., URL: <https://www.sra.org/wp-content/uploads/2020/04/SRA-Glossary-FINAL.pdf>
- Slovic, P. (2000). *The Perception of Risk*, London, Earthscan, 473 p.
- Tannert, C., Elvers, H. D. e Jandrig, B. (2007). *The ethics of uncertainty. In the light of possible dangers, research becomes a moral duty*, EMBO reports, Vol.8, n.º 10, 892-896.
- Turner, S. (2003). *Liberal Democracy 3.0 Civil Society in an Age of Experts*, Sage Publications, 154 p.
- USNRC - UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (1975). *WASH-1400 - Reactor Safety Study*, NUREG-75/014 (Rasmussen Report), Washington, USA, 198 p.
- USNRC - UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (1978). *Risk Assessment Review Group Report to the U.S. Nuclear Regulatory Commission*, USNRC Ad-hoc Review Group, NUREG/CR-0400, Washington, USA, 66 p.
- Vasconcelos, V. D., Soares, W. A. e Costa, A. C. L. D. (2015). FN-CURVES: preliminar estimation of severe accident risks after Fukushima, *2015 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2015 São Paulo, SP, Brazil, October 4-9, 2015* Associação Brasileira de Energia Nuclear - ABEN (ISBN: 978-85-99141-06-9).
- Walley, P. (2000). Towards a unified theory of imprecise probability. *International Journal of Approximate Reasoning* 24, 125-148.
- Wenning, C. (2009). Scientific epistemology: How scientists know what they know, *J. Phys. Tchr. Educ. Online*, 5(2), Illinois State University Physics Dept., 3-15.
- Welch, J. (2017). Coping with Ethical Uncertainty. *Diametros, A Journal of Philosophy*, 53 (2017), 150-166.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.13153/diam.53.0.1105>



RISCOS

territorium 28 (II), 2021, 145-167

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

DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-2\\_11](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_11)

Nota / Note



## APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA HIDRALERTA EM SITUAÇÕES DE TEMPESTADE\*

APPLICATION AND TESTING OF THE HIDRALERTA SYSTEM UNDER STORM CONDITIONS

145

Ana Catarina Zózimo

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC ((Portugal)

ORCID 0000-0001-5948-6824 [aczozimo@lneac.pt](mailto:aczozimo@lneac.pt)

Liliana Pinheiro

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC ((Portugal)

ORCID 0000-0001-8604-5450 [lpinheiro@lneac.pt](mailto:lpinheiro@lneac.pt)

Maria Inês Santos

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC ((Portugal)

ORCID 0000-0002-9614-0846 [misantos@lneac.pt](mailto:misantos@lneac.pt)

Conceição Juana Fortes

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC ((Portugal)

ORCID 0000-0002-5503-7527 [jfortes@lneac.pt](mailto:jfortes@lneac.pt)

### RESUMO

O HIDRALERTA é um sistema de avaliação, previsão e alerta do risco da ocorrência de situações de emergência associadas aos efeitos da agitação marítima (galgamento, inundação e navios amarrados) em zonas costeiras e portuárias. Sendo um sistema de alerta, é fundamental que funcione corretamente, quer em situações correntes (apenas emitindo alertas quando tal se justifique), quer em situações de tempestade. Neste trabalho são apresentados os desenvolvimentos efetuados até à data na validação do sistema em situações de tempestade, com a sua aplicação na simulação do furacão Lorenzo e das depressões Elsa e Fabien. Da análise efetuada pode concluir-se que os alertas emitidos pelo sistema estiveram em concordância com os danos/ocorrências reportadas localmente, o que contribui para reforçar a confiança no sistema que está a ser desenvolvido. A característica diferenciadora deste trabalho é que a avaliação do risco é efetuada com base nos parâmetros específicos do risco que se pretende prever, como caudais de galgamento ou as forças nas amarrações, e não apenas em parâmetros meteorológicos e oceanográficos.

**Palavras-chave:** HIDRALERTA, galgamentos, navios amarrados, furacão Lorenzo, depressões Elsa e Fabien.

### ABSTRACT

HIDRALERTA is a forecast, early warning and risk assessment system for port and coastal areas that uses estimates of sea-waves and water levels to evaluate overtopping/flooding events and risks associated with mooring ships. As a warning system, it is especially important that it gives an appropriate response in mild (with no false alarms) and storm conditions alike. This work presents the developments made so far to validate the system under storm events, with its application in the simulation of hurricane Lorenzo and the storms Elsa and Fabien. It can be concluded from the qualitative analysis that was performed that the warnings emitted by the system were in agreement with the damage/occurrences reported at the site. These results serve to reinforce confidence in the HIDRALERTA system. The distinguishing feature of this work is that the risk assessment is based on specific parameters related to the actual risk being predicted, such as overtopping discharges, or ship's mooring loads, and not only in met-ocean parameters.

**Keywords:** HIDRALERTA, overtopping, moored ships, hurricane Lorenzo, Elsa and Fabien storms.

\* O texto desta nota foi submetido em 18-01-2021, sujeito a revisão por pares a 11-02-2021 e aceite para publicação em 18-05-2021.

Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Em zonas costeiras, os galgamentos e as inundações associadas, resultantes da ocorrência de tempestades marítimas, podem causar danos muito significativos em infraestruturas, edifícios e equipamentos, e alterações da morfologia costeira (erosão costeira), bem como colocar em perigo vidas humanas, animais, ou o ecossistema em geral. Por outro lado, em zonas portuárias estes fenómenos podem ainda ser responsáveis por danos nas estruturas portuárias e nos navios atracados e por problemas na operacionalidade portuária.

Devido à sua localização geográfica, a costa Portuguesa (e as suas zonas portuárias) é particularmente exposta a tempestades, cuja frequência e intensidade leva à ocorrência de vários episódios de galgamentos e inundações costeiras, com consequências gravosas ao nível económico, ambiental e humano.

Nesse sentido, é fundamental que as autoridades responsáveis estejam dotadas de ferramentas e metodologias que permitam antever a ocorrência destes fenómenos de modo a implementarem atempadamente medidas/procedimentos que evitem ou minimizem os danos causados por estes fenómenos. No fundo, pretende-se uma ferramenta de gestão dos riscos associados aos efeitos da agitação marítima em zonas costeiras e portuárias.

No entanto, existe apenas um número limitado de sistemas de alerta e previsão de galgamentos e inundações costeiras, sendo reduzido o número daqueles que são aplicados a zonas portuárias. Alguns exemplos são o TRITON (Lane *et al.*, 2008), o SWEEP-OWWL (Stokes *et al.*, 2021), o iCoast (Gracia *et al.*, 2014), o EW-Coast (<https://www.cima.ualg.pt/ew-coast/>) e o projeto RISC-KIT (van Dongeren *et al.*, 2018). A forma de estimar o risco é diferente de sistema para sistema. Por exemplo, o sistema SWEEP-OWWL (Stokes *et al.*, 2021) emite alertas para uma série de perfis em zonas costeiras no Reino Unido, em que os fenómenos de empolamento, rebentação, espraçamento e galgamento são estimados através de formulações empíricas. Trata-se de um sistema que consegue prever a existência ou não de galgamento e tem alguma capacidade em distinguir risco baixo ou elevado.

O sistema iCoast (Gracia *et al.*, 2014) fornece alertas para o galgamento e respetiva inundações, tanto para costas arenosas, como para zonas portuárias, no mar Mediterrâneo, através da utilização de modelos numéricos em tempo real. Os sistemas TRITON, RISC-KIT e EW-Coast utilizam uma abordagem mais eficiente em termos de tempo de cálculo, que é baseada em simulações previamente efetuadas. O sistema TRITON utiliza estimativas de galgamento efetuadas previamente com recurso a formulações semi-empíricas, a redes neuronais ou a modelos numéricos (dependendo

da complexidade da estrutura de proteção), para prever os riscos de galgamento na Escócia. Os sistemas RISC-KIT e EW-Coast consideram uma abordagem probabilística e redes Bayesianas, que são treinadas com resultados de modelos numéricos, para preverem inundações costeiras a partir de uma série de condições fronteiriças em vários locais na Europa. No entanto, os sistemas baseados em simulações prévias, para além de envolverem uma incerteza adicional inerente ao método de interpolação utilizado, obrigam à repetição de todas as simulações sempre que alguma das condições iniciais se altere (por exemplo, a batimetria ou as características das estruturas). Essa repetição das simulações com os dados atualizados acarreta um custo muito elevado em termos de tempo computacional.

De todos os sistemas apresentados acima, apenas o iCoast é aplicado em zonas portuárias, e nenhum deles aborda os riscos relacionados com os navios amarrados.

O sistema HIDRALERTA (Poseiro, 2019, Fortes *et al.*, 2020, Pinheiro *et al.*, 2020) é um sistema de previsão, de alerta e de avaliação do risco, para zonas costeiras e portuárias, da ocorrência de situações de emergência associadas a riscos induzidos pelas ondas, nomeadamente o galgamento e respetiva inundações, e o risco para os navios amarrados. Fornece previsões com 72 horas de antecedência das características da agitação marítima, das suas consequências e dos níveis de risco associados. O primeiro protótipo do sistema, desenvolvido para o porto e baía da Praia da Vitória (Ilha Terceira, Açores), encontra-se operacional desde setembro de 2015. Estão atualmente em fase de testes e validação três novos sistemas desenvolvidos para os portos da Madalena do Pico e de São Roque do Pico (Ilha do Pico, Açores), e Ericeira (Portugal Continental). Outros três sistemas estão a ser desenvolvidos para o porto de Sines, o porto de Peniche e a zona costeira da Costa da Caparica.

Como exemplo da utilidade deste sistema, pode-se referir o apoio prestado às entidades locais antes e durante a passagem do furacão Alex sobre a Região Autónoma dos Açores, a 15 de janeiro de 2016 (fot. 1). O HIDRALERTA identificou, no dia 7 de janeiro de 2016, o sistema de baixas pressões atmosféricas a partir do qual, no dia 14 de janeiro de 2016, se formou o furacão. A utilização das ferramentas disponibilizadas pelo sistema HIDRALERTA, aliada ao conhecimento e experiência das entidades locais, permitiu apoiar a tomada de decisão no que se refere a medidas de prevenção e minimização de risco, e obter dados preciosos e necessários à avaliação exaustiva e minuciosa dos “*outputs*” do sistema e à sua posterior calibração.

Por se tratar de um sistema de alerta, é fundamental que o mesmo funcione corretamente, quer em situações correntes para garantir que o sistema não emite alertas quando tal não se justifica, quer em situações de tempestade.



Fot. 1 - Porto da Praia da Vitória durante o furacão Alex (15 de janeiro de 2016 entre as 9h e as 12h) (Fotografia de António Araújo/Lusa).

Photo 1 - Praia da Vitória harbour during the passage of hurricane Alex (15 January 2016 between 9 a.m. and 12 a.m.) (Photography by António Araújo/Lusa).

Este trabalho apresenta os desenvolvimentos efetuados até à data na validação do sistema em situações de tempestade, que consistiram na aplicação dos protótipos desenvolvidos para os portos da Madalena do Pico, de São Roque do Pico e da Ericeira durante a passagem do furacão Lorenzo e das depressões Elsa e Fabien. São também apresentados os resultados de simulações efetuadas para o porto das Lajes das Flores, devido ao grande impacto do furacão Lorenzo nesse porto.

Nos capítulos seguintes apresentam-se o sistema HIDRALERTA, os testes efetuados em situações de eventos extremos e, finalmente, as principais conclusões retiradas do trabalho desenvolvido.

## Sistema HIDRALERTA

### Arquitetura geral do sistema

O sistema HIDRALERTA é constituído por quatro módulos (fig. 1): I - Caracterização da Agitação Marítima; II - Galgamento e Navegação; III - Avaliação do Risco e IV - Sistema de Alerta. Os três primeiros módulos estão implementados e funcionam no Nó Central de Computação Grid (NCG) da Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída (INCD). O INCD é uma iniciativa conjunta da FCCN, unidade de Computação da Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT), do LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas) e do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e fornece serviços de computação à comunidade científica. O quarto módulo (Sistema de Alerta) encontra-se implementado num servidor *web* e funciona como *interface* entre os resultados do sistema e os seus utilizadores.

O sistema funciona diariamente e em cada dia emite previsões para as 72 horas seguintes, com intervalo de três horas. O intervalo das previsões e a sua atualização são limitados pelos dados de previsões disponibilizados pelo ECMWF.

Nos subcapítulos seguintes são descritos, de forma sucinta, os quatro módulos do sistema HIDRALERTA.

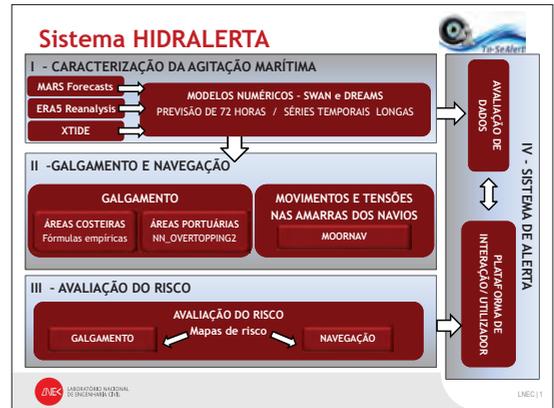


Fig. 1 - HIDRALERTA. Esquema modular do sistema.

Fig. 1 - HIDRALERTA. Modular scheme of the system.

### Módulo I - Caracterização da agitação marítima

O objetivo deste módulo é a determinação das características da agitação marítima na zona em estudo (zonas portuárias ou costeiras) em termos de altura de onda significativa ( $H_s$ ), período de onda (médio,  $T_m$ , ou de pico,  $T_p$ ) e direção média ( $\theta_m$ ). Os dados são fornecidos ao largo da zona em estudo pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo, ou *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) (Persson, 2001), que utiliza modelos numéricos de previsão da agitação marítima à escala regional, como é o caso do modelo WAM (WAMDI Group, 1988). A sobrelevação meteorológica é obtida através de uma estimativa com base na pressão atmosférica ao nível do mar. Os dados das previsões da agitação marítima fornecidos pelo ECMWF provêm do *Meteorological Archival and Retrieval System* (MARS) e os dados referentes às séries temporais de reanálise de agitação marítima provêm do catálogo ERA5. O nível da maré astronómica na mesma região é estimado com o modelo XTide (Flater, 1998), ao qual pode ser associada a sobrelevação de origem meteorológica. As características da agitação marítima ao largo são posteriormente transferidas para a zona costeira ou para a entrada do porto com modelos numéricos de propagação de ondas. Estes modelos reproduzem com diferentes graus de aproximação as transformações das características físicas das ondas ao longo da sua propagação. A definição e formulação teórica desses fenómenos de propagação e deformação da agitação marítima encontram-se detalhados no *Coastal Engineering Manual* (USACE, 2002).

O modelo numérico de geração e propagação de ondas SWAN (Booij *et al.*, 1999; SWAN Team, 2006), é um modelo não linear espectral, baseado na equação de conservação da ação da onda e capaz de simular quer a geração das ondas devido à ação do vento, quer a propagação de espectros de ondas irregulares em regiões costeiras de

dimensão intermédia. Quando se trata de uma zona abrigada ou portuária, de dimensão mais reduzida, utiliza-se o modelo DREAMS (Fortes, 2002), que permite transferir as características da agitação marítima da zona da entrada do porto para a zona abrigada ou para o interior do porto. O modelo DREAMS é um modelo linear de elementos finitos, baseado na equação de declive suave para simular a propagação de ondas regulares, a qual descreve os efeitos combinados da refração e da difração de ondas lineares harmónicas propagando-se em fundos de inclinação suave. Permite também considerar a reflexão parcial ou total nas suas fronteiras, sendo por isso adequado para zonas portuárias.

Embora os modelos numéricos utilizados no sistema HIDRALERTA possuam algumas limitações, nomeadamente a rebentação no modelo DREAMS é efetuada de modo simplificado e este modelo não contempla interações não lineares, a razão da sua inclusão prende-se principalmente com o facto de se pretender um sistema de previsão em tempo real eficiente, em termos de rapidez de resposta (tempo computacional) e robusto (estabilidade do modelo, ou seja, que forneça sempre uma resposta ao utilizador e não tenha “*blow-ups*” frequentes que exijam a intervenção da equipa de desenvolvimento). Os modelos que contemplam os fenómenos não lineares são tipicamente muito consumidores de tempo e dão origem a problemas de instabilidade numérica, pelo que a sua introdução no sistema HIDRALERTA terá de ser avaliada com bastante cautela.

### Módulo II - Galgamentos e navegação

O módulo II efetua a estimativa: a) dos galgamentos/inundações em áreas costeiras e infraestruturas portuárias e b) dos movimentos dos navios, das tensões nas amarras e das forças nas defensas.

Relativamente à estimativa dos galgamentos, no presente trabalho é utilizada a ferramenta neuronal NN\_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005), desenvolvida no âmbito do projeto europeu CLASH - *Crest Level Assessment of Coastal Structures by Full Scale Monitoring, Neural Network Prediction and Hazard Analysis on Permissible Wave Overtopping* (Van der Meer *et al.*, 2005; Van Gent *et al.*, 2005, 2007). Esta ferramenta processa os resultados produzidos por 700 redes neuronais artificiais num único modelo computacional (neuronal), fornecendo o valor médio do caudal de galgamento,  $q$ , e outros parâmetros estatísticos daquela amostra de resultados. A ferramenta NN\_OVERTOPPING2 tem como base de dados cerca de 8400 combinações de pares dados-resultados provenientes de estudos de galgamento realizados em protótipo e/ou em modelo físico reduzido para diversas características da agitação/nível de maré e diversos tipos de estruturas (tais como quebra-mares de talude e

verticais, defesas costeiras). Os ensaios em modelo físico foram efetuados em diferentes laboratórios da Europa, América e Japão. Estão atualmente em desenvolvimento estudos para a utilização dos modelos SWASH (Zijlema *et al.*, 2011) e XBeach (Roelvink *et al.*, 2015) na estimativa dos galgamentos.

Os parâmetros de entrada da ferramenta neuronal NN\_OVERTOPPING2 incluem informação sobre a agitação marítima, nível de maré e geometria da estrutura ou da secção em estudo.

Os resultados do NN\_OVERTOPPING2 são: o valor médio de  $q$  ( $m^3/s/m$  ou  $l/s/m$ ), os intervalos de confiança (obtidos a partir de outros valores característicos de  $q$ , em que o intervalo de confiança de 95% é  $[q_{2.5\%}; q_{97.5\%}]$ , de 90% é  $[q_{5\%}; q_{95\%}]$ , etc.) e o valor de  $q$  esperado no protótipo, i.e., o valor de  $q$  corrigido para ter em linha de conta alguns efeitos de escala e de modelo.

Os valores do caudal médio de galgamento,  $q$ , são correspondentes a uma dada condição de agitação marítima e nível de maré verificada em cada secção transversal analisada das estruturas na zona de estudo.

No caso dos navios amarrados, o importante é avaliar os movimentos e as forças a que o navio está sujeito quando se encontra atracado a um cais no interior de um porto, e sujeito à agitação marítima, maré e ventos. Neste caso, a determinação dos movimentos e das forças no sistema de amarração de um navio acostado, sujeito à agitação e vento incidentes, é realizada utilizando o módulo de comportamento de navios amarrados MOORNAV (Santos, 1994).

O módulo de comportamento de navios amarrados, MOORNAV, inclui 2 modelos numéricos (Santos, 1994):

- WAMIT (Korsemeier *et al.*, 1988), que resolve, no domínio da frequência, os problemas de radiação e de difração da interação de um corpo flutuante livre (navio) com as ondas regulares nele incidentes;
- BAS (Mynett *et al.*, 1985), que monta e resolve, no domínio do tempo, as equações de movimento de um navio amarrado no posto de acostagem, considerando as séries temporais das forças devidas às ondas incidentes no navio, as funções de resposta a impulso do navio e as relações constitutivas dos elementos do sistema de amarração (cabos de amarração e defensas).

A aplicação dos modelos WAMIT e BAS, cuja metodologia se encontra descrita em Pinheiro *et al.* (2015), exige a definição das características do navio e do sistema de amarração que se pretende monitorizar. O modelo WAMIT calcula os coeficientes hidrodinâmicos de um navio específico, tendo em conta a geometria do seu casco e a distribuição de massas (inércias). Por sua vez, o modelo BAS utiliza as relações constitutivas e as coordenadas

das extremidades das amarrações e pontos de contacto das defensas. Assim, o sistema MOORNAV fornece sempre resultados específicos de um determinado navio amarrado com uma amarração pré-definida. O navio considerado nos cálculos apresentados neste trabalho é um *ferry* com um comprimento da área flutuante de 37,4 m, uma boca de 10 m e um calado de 3,4 m. A forma do casco foi discretizada com 3464 painéis planos retangulares e triangulares. As relações constitutivas dos cabos de amarração variam de forma não linear entre 0 kN e 656 kN, correspondente à tensão máxima de rotura do cabo, e que corresponde a um alongamento de 16%. As defensas pneumáticas, que evitam o contacto do navio com o cais, têm um comportamento à compressão não linear com uma força de compressão máxima de 880 kN para uma deflexão de 0,4 m. É importante notar que, num determinado porto, atracam diferentes tipos de navios, com diferentes características e com distintos sistemas de amarração. Assim a aplicação do sistema MOORNAV e a sua integração no sistema HIDRALERTA terá de ser efetuada para cada navio/sistema de amarração para o qual se pretenda conhecer o nível de risco.

Os resultados da simulação numérica consistem em séries temporais de:

1. Movimentos e rotações do centro de gravidade do navio;
2. Forças nas amarras e defensas.

### Módulo III - Avaliação do Risco

No módulo III é efetuada a avaliação do risco de galgamento e do risco para os navios amarrados. Essa avaliação é efetuada com base nos resultados obtidos no módulo II (fig. 2). É de notar que a avaliação do risco para os navios amarrados e para os galgamentos funcionam autonomamente, ou seja, os resultados do módulo de Galgamentos não são usados no módulo de Navegação. Os riscos definidos para a navegação dizem respeito a forças e movimentos induzidos pela agitação, vento e correntes. Existe uma atividade contemplada nos riscos de galgamento que diz respeito aos navios amarrados no tardo de uma estrutura galgável, que é o afundamento de navios, mas este risco é uma consequência direta do galgamento, e por isso encontra-se contemplado no módulo de galgamento.

Atualmente, a avaliação de *risco de galgamento* é efetuada, para áreas costeiras e áreas portuárias, recorrendo à definição de níveis de risco de 0 a 3, em que 0 corresponde à não existência de risco e 3 corresponde ao nível mais elevado de risco. Esta avaliação inicia-se pela divisão do local de estudo em subzonas, atendendo ao perfil transversal da estrutura e ao tipo de utilização da zona protegida pela estrutura e, conseqüentemente, à variabilidade do caudal médio admissível de galgamento. Seguidamente, são estabelecidos os caudais críticos

de galgamento associados a cada secção de estrutura analisada tendo em conta a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada. Neste trabalho consideram-se as recomendações de Pullen *et al.* (2007) e em informação fornecida pelas autoridades locais como base para o estabelecimento dos caudais críticos. Por último, são definidos os níveis de risco, 0 a 3, para cada atividade desenvolvida, com base nos caudais críticos de galgamento associados. Estes níveis de risco devem ser definidos em conjunto com as autoridades locais. Os grupos de atividades consideradas contemplam a circulação de pessoas e veículos, embarcações, edifícios, equipamentos e estruturas portuárias. Cada atividade tem um símbolo associado, cuja cor se altera conforme o nível de alerta (TABELA I).



Fig. 2 - Esquema do fluxo de dados e resultados nos módulos I, II e III do sistema HIDRALERTA.

Fig. 2 - Scheme of the data flow of modules I, II and III of the HIDRALERTA system.

TABELA I - Código de cores convencionado no sistema HIDRALERTA para os graus de risco de galgamento de 0 a 3.

TABLE I - HIDRALERTA system colour code for the overtopping risk levels 0 to 3.

|         | Nível de Alerta |   |   |   |
|---------|-----------------|---|---|---|
|         | 0               | 1 | 2 | 3 |
| Símbolo |                 |   |   |   |

A avaliação de *risco para os navios amarrados* é efetuada recorrendo à definição de níveis de risco de 0 a 3 para os limiares das condições meteorológicas e oceanográficas (altura de onda e velocidade do vento no interior do porto) e de 0 a 3 para os limiares de movimentos dos navios e de forças no sistema de amarração. Os alertas referentes às condições meteorológicas e oceanográficas, e aos movimentos dos navios adotam uma simbologia própria (TABELA II).

TABELA II - Código de cores convencionado no sistema HIDRALERTA para os graus de risco meteorológicos, oceanográficos e de movimentos dos navios.

TABLE II - HIDRALERTA system colour code for the met-ocean and ships' movements risks.

|                              | Nível de Alerta                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                              | 1                                                                                 | 2                                                                                 | 3                                                                                 |
| Altura de onda               |  |  |  |
| Velocidade do vento          |  |  |  |
| Movimentos de um navio ferry |                                                                                   |                                                                                   |  |

150

Os limites admissíveis para os movimentos dos navios são baseados nas recomendações existentes (Elzinga *et al.*, 1992; OCIMF, 1992; PIANC, 1995; e PIANC, 2012), que têm em consideração a natureza das atividades, as características do navio e a necessidade de assegurar a segurança de pessoas e de infraestruturas. As consequências da excedência desses limites ditam a natureza dos limites impostos: limites operacionais, acima dos quais a movimentação de carga fica condicionada ou impossibilitada, e limites de segurança, acima dos quais existe risco para pessoas, para bens, para o navio, ou para as estruturas de acostagem.

#### Módulo IV - Sistema de alerta

O sistema de alerta permite a previsão, em tempo real, de situações de emergência para uma determinada área de interesse e o envio automático de mensagens de alerta para as autoridades responsáveis.

Este módulo cria e disponibiliza todos os resultados do sistema através de uma plataforma *web* (aurora.lnec.pt, de acesso restrito), nomeadamente, previsões a 3 dias e resultados obtidos nos módulos I, II e III. A plataforma *web* contém um conjunto de funcionalidades, das quais se destacam os mapas de alerta, que assinalam

os elementos/atividades que se podem encontrar em perigo e que são construídos com os resultados obtidos no módulo III.

As previsões emitidas automaticamente a cada 24 horas são analisadas, apoiando a elaboração de dois boletins diários (um respeitante aos galgamentos e um respeitante à navegação) onde se resumem os aspetos mais relevantes da previsão para as 72 horas seguintes. Esse boletim, independentemente da previsão, é enviado diariamente para as entidades com responsabilidades na gestão da zona costeira e portuária, de modo a permitir alertar, com 72 horas de antecedência, para a possibilidade de ocorrência de temporais com potencial para originarem galgamentos ou movimentos de navios com consequências nefastas. Permite também validar o sistema no que se refere à ocorrência e magnitude dos galgamentos e dos movimentos dos navios, através do feedback recebido das entidades locais.

#### Ferramenta de validação de resultados

Dada a complexidade da previsão de alguns dos fenómenos em estudo e do facto dos modelos numéricos terem um determinado grau de incerteza inerente, o seu ajuste com a realidade, ou calibração, deve ser efetuado com base em dados reais. Para tal, criou-se uma ferramenta de validação integrada na plataforma *web*. Esta ferramenta permite que a equipa de desenvolvimento possa ir fazendo os ajustes necessários ao sistema e que o utilizador tenha um grau de confiança adicional nas previsões. Esta validação disponibiliza, em tempo real, os dados da boia ondógrafo da Praia da Vitória (em colaboração com o projeto ESTRAMAR, Estratégia Marino-Marítima de I+D+i em la Macaronesia, financiado pelo programa MAC 2007-2013 de Cooperação Transnacional Madeira-Açores-Canárias-Cabo Verde) e compara-os diretamente com os resultados do sistema HIDRALERTA para a localização da boia, sendo possível visualizar todo o histórico de comparação através de um gráfico dinâmico. Nessa comparação são analisados três parâmetros: altura significativa (fig. 3), direção de onda e período de pico de onda. Esta ferramenta está, atualmente, apenas disponível para o protótipo do porto da Praia da Vitória.

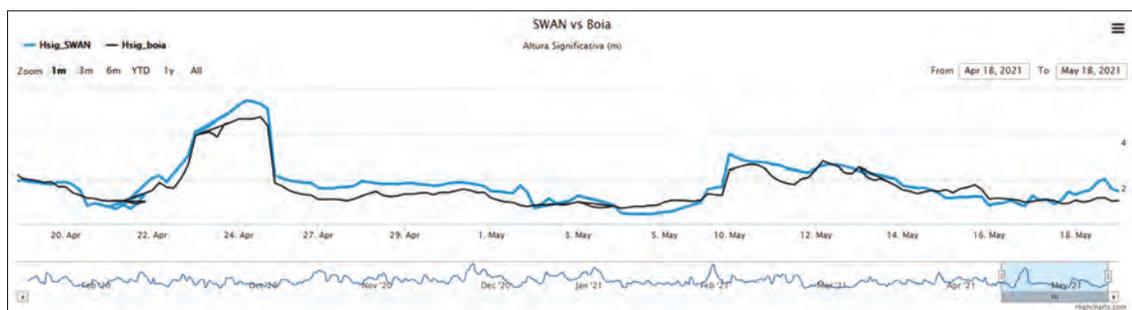


Fig. 3 - Validação em tempo real do modelo SWAN com os dados da boia ondógrafo da Praia da Vitória. Altura significativa da onda.  
Fig. 3 - Validation, in real time, of the SWAN model results, with data from Praia da Vitória wave buoy. Significant wave height.

### Teste do sistema HIDRALERTA em situações de eventos extremos

Por se tratar de um sistema de alerta, é fundamental que o mesmo funcione corretamente em situações de tempestade, pelo que foram até à data desenvolvidos diversos testes, nomeadamente para o furacão Lorenzo (outubro de 2019) e as depressões Elsa e Fabien (dezembro de 2019). Como não existem dados, quer dos galgamentos verificados, quer dos movimentos dos navios e das forças nas amarras, a validação possível é apenas qualitativa, pelo que foi adotada a seguinte metodologia:

1. Utilizar os dados de ondas ao largo respeitantes às datas de ocorrência dos eventos extremos;
2. Efetuar as simulações com o sistema HIDRALERTA;
3. Analisar os alertas emitidos pelo sistema e verificar se os mesmos estão em concordância com os danos reportados pelas autoridades.

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se os testes efetuados para o furacão Lorenzo (portos da Madalena do Pico, de São Roque do Pico e das Lajes das Flores) e para as depressões Elsa e Fabien (portos da Madalena do Pico, de São Roque do Pico e da Ericeira).

#### *Furacão Lorenzo*

O furacão Lorenzo foi considerado a tempestade mais forte a atingir as ilhas dos Açores nos últimos 20 anos (como furacão de categoria entre 2 e 1), atingindo o recorde como a mais forte tempestade de nordeste de categoria 5 observada na bacia do Atlântico Norte.

De acordo com o *National Hurricane Center (NHC, NOAA)*, o furacão Lorenzo teve origem numa tempestade tropical, que se afastou da costa oeste de África a 22 de setembro, tendo aumentado a sua intensidade ao longo do seu percurso. A tempestade atingiu o seu pico inicial de intensidade no início do dia 27 de setembro com ventos máximos de 230 km/h e uma pressão central de 939 mbar. Mais tarde, a 29 de setembro, atingiu a categoria 5, tornando-se o furacão mais oriental de todos os registados na bacia do Atlântico com igual intensidade, excedendo os 35 furacões de categoria 5 que ocorreram desde os anos 1920 (Zelinsky, 2019). Com uma rota dirigida para noroeste, o furacão Lorenzo atingiu o grupo Ocidental dos Açores a 2 de outubro, passando a oeste da Ilha das Flores entre as 4h00 e as 4h30, com ventos fortes de cerca de 163 km/h e ondas que atingiram alturas significativas de 15 m (predominantemente de sudoeste). Mais de 171 incidentes foram registados em todas as ilhas, tendo os danos totalizado cerca de 330 milhões de euros. Os incidentes referiram-se principalmente a queda de árvores, inundações, destruição de estradas, cortes de eletricidade e inundações costeiras. Os danos mais graves ocorreram no porto das Lajes das Flores, o único porto

comercial da ilha das Flores, incluindo a destruição da parede do muro cortina, de blocos de betão, de cais e de edifícios (fot. 2).



Fot. 2 - Impacte do Furacão Lorenzo nos Açores. Porto das Lajes das Flores no dia 2 de outubro de 2019 (Fotografia de: a) Frederico Fournier; b) André Palma).

*Photo 2 - Impact of hurricane Lorenzo in the Azores. Port of Lajes das Flores on 2 October 2019 (Photography by: a) Frederico Fournier; b) André Palma).*

#### *Porto da Madalena do Pico*

A vila da Madalena do Pico localiza-se na zona oeste da Ilha do Pico, nos Açores. A vila tem vindo a desenvolver-se nos últimos 50 anos através do seu porto. Atualmente, a vila define-se como principal eixo de comunicação com a Ilha do Faial. A proteção do porto da Madalena do Pico é efetuada por intermédio de duas estruturas principais: o molhe norte e o quebra-mar oeste.

O momento mais crítico do furacão Lorenzo na Madalena do Pico ocorreu às 9h do dia 2 de outubro de 2019. A intensidade do furacão é visível nos resultados dos modelos WAM e SWAN para esse instante (fig. 4 e 5).

Foi efetuada a validação dos resultados obtidos pelos modelos WAM e SWAN com os dados da boia BOND5 (CLIMAAT) (Azevedo *et al.*, 2008), localizada na ilha da Graciosa (fig. 6). Infelizmente, a boia mais próxima da área de estudo, BOND4 (localizada no Faial), não se encontrava operacional durante esse período.

Os resultados dos modelos WAM e SWAN foram comparados com os dados registados na boia BOND5, em termos dos seguintes parâmetros de agitação marítima (fig. 7): BOND5 - altura significativa de onda,  $H_s$ , período máximo da onda,  $T_{max}$ , e direção média da onda,  $\theta_m$ ; WAM e SWAN - altura de onda espectral,  $H_{m0}$ , período de pico da onda,  $T_p$ , e direção média da onda,  $\theta_m$ , para a localização da boia.

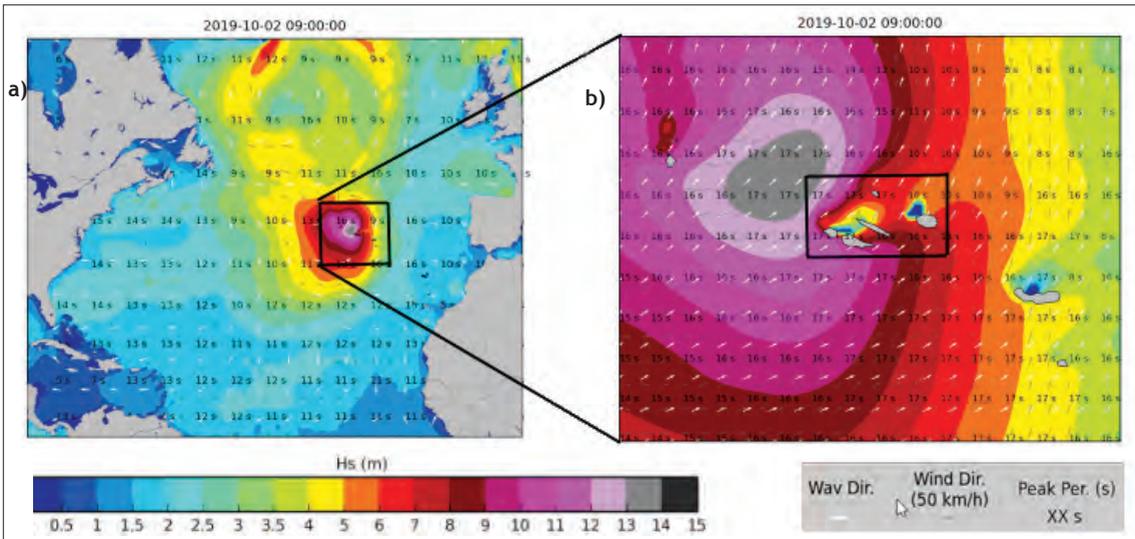


Fig. 4 - Resultados do modelo WAM (altura de onda significativa, período de pico, direção média da onda, direção do vento) para o dia 2 de outubro de 2019 às 9h. a) Atlântico Norte, b) Arquipélago dos Açores.

Fig. 4 - WAM model results (significant wave height, peak period, mean wave direction, wind direction) for 2 October 2019, 9 a.m. a) North Atlantic, b) Azores Archipelago.

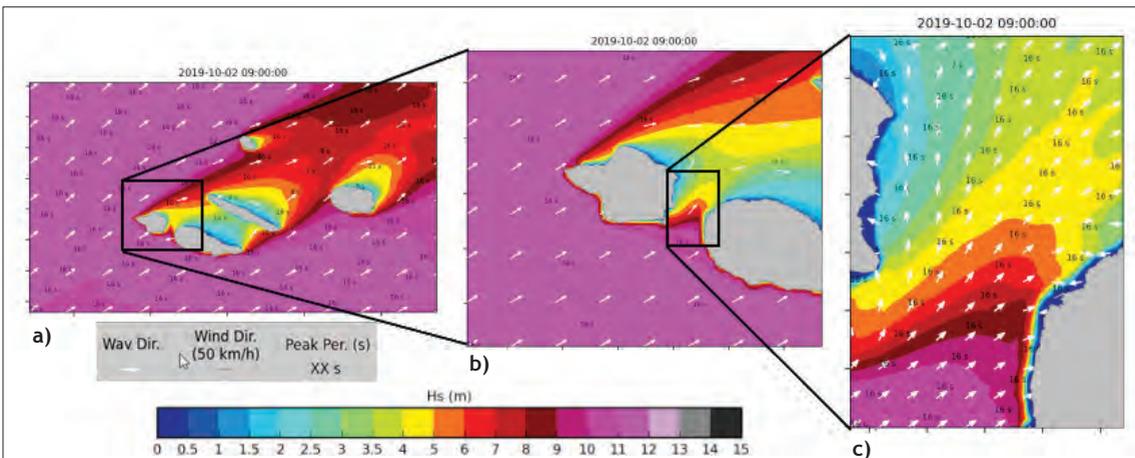


Fig. 5 - Resultados (altura de onda significativa, período de pico e direção média da onda) do modelo SWAN para 2 de outubro de 2019 às 9h. a) Grupo Central do Arquipélago dos Açores, b) Ilhas do Faial e do Pico, c) Canal do Faial

Fig. 5 - SWAN model results (significant wave height, peak period and mean wave direction) for 2 October 2019, 9 a.m. a) Azores Archipelago, central Group, b) Faial and Pico islands, c) Faial Channel.



Fig. 6 - Localização da boia BOND5, coordenadas 39° 05.24' N e 27° 57.52' W.

Fig. 6 - Location of BOND5 wave buoy, coordinates 39° 05' 24" N and 27° 7' 52" W.

A 2 de outubro de 2019 as medições da boia variaram nas gamas de  $1,5 \text{ m} < H_s < 3,5 \text{ m}$ ,  $10 \text{ s} < T_p < 21 \text{ s}$  e  $150^\circ < \theta_m < 340^\circ$ . O pico da tempestade ocorreu aproximadamente às 9h, com  $H_s = 3,5 \text{ m}$ ,  $T_p = 21 \text{ s}$  e  $\theta_m = 340^\circ$ . Para todos os parâmetros de onda, o modelo SWAN teve um andamento similar ao da BOND5 ao longo do dia, ao contrário do que aconteceu com o modelo WAM. A altura significativa de onda foi o único parâmetro claramente sobrestimado pelo modelo WAM (em 4,5 m às 9h). O modelo SWAN sobrestimou ligeiramente a altura significativa da onda (em 0,5 m às 9h). O período de pico das ondas foi geralmente sobrestimado pelo modelo WAM, embora tenha havido subestimação entre as 7h e as 17h (4 s às 9h). Tal como a boia BOND5, o modelo SWAN previu uma rotação da direção média da onda de

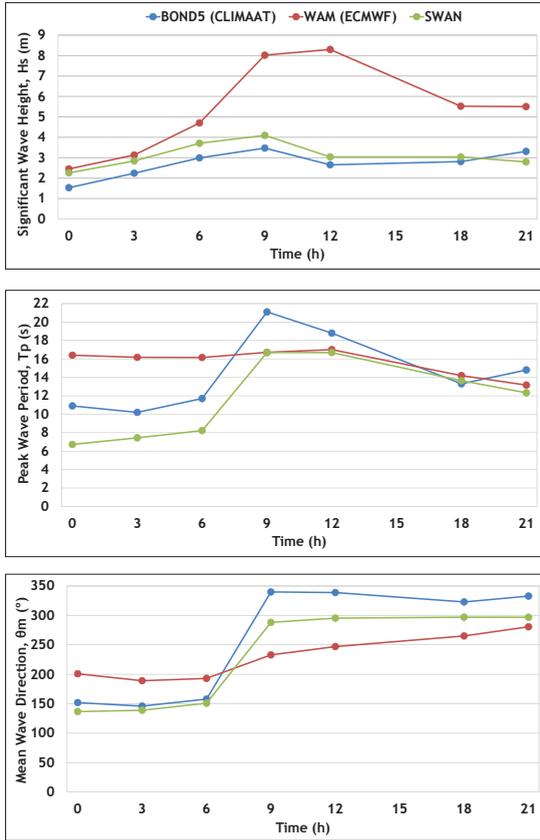


Fig. 7 - Comparação dos dados da boia BOND5 com os resultados dos modelos WAM e SWAN para o dia 2 de outubro de 2019.

Fig. 7 - Comparison between the data from BOND5 wave buoy and the results from the models WAM and SWAN on 2 October 2019.

cerca de 150° para 300° às 6h (com  $\theta_m = 290^\circ$  às 9h), contrastando com o modelo WAM, que previu direções médias situadas sempre entre cerca de 190° e 280° (com  $\theta_m = 230^\circ$  às 9h). A análise estatística da correlação entre os parâmetros de agitação marítima, medidos e estimados, confirma a análise anterior (TABELA III). Foram usadas diversas medidas estatísticas de erro: Erro Quadrático Médio Normalizado (*NRMSE*, Eq. 1), Diferença Simples Normalizada do Erro (*NBIAS*, Eq. 2) e Coeficiente de Correlação (*r*, Eq. 3).

$$NRMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{S_i - O_i}{O_i} \right)^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$NBIAS = \sum_{i=1}^N \frac{O_i - S_i}{O_i} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2}} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que *N* é o número de pares de resultados, *S<sub>i</sub>* são os valores estimados numericamente, *O<sub>i</sub>* são os valores medidos e  $\bar{S}$  e  $\bar{O}$  são, respetivamente, a média dos valores estimados e dos valores medidos.

Os resultados destacam a vantagem de usar o modelo SWAN para propagar o clima de ondas desde o largo até à localização da boia, ao invés de adotar diretamente as características de onda fornecidas pelo modelo WAM.

Os resultados do modelo DREAMS (fig. 8) mostram que as ondas chegam ao porto com uma direção predominante de noroeste. As maiores alturas de onda ocorreram no quebra-mar norte, aumentando desde o tronco do quebra-mar até à cabeça (aproximadamente 5 m < *H<sub>mo</sub>* < 9 m). No quebra-mar oeste, as alturas de onda variaram entre 4 m e 6 m, afetando tanto o tronco como a cabeça do molhe. Em algumas áreas no interior do porto, a altura de onda significativa estimada foi superior a 1,5 m, impossibilitando as operações de atracação. Isto está de acordo com o que foi observado no local (fot. 3).

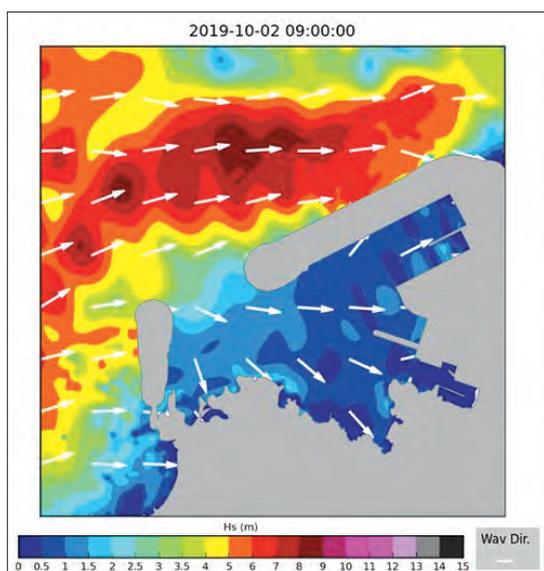
As estimativas do galgamento foram obtidas usando a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 e são apresentadas sob a forma gráfica (fig. 9), na qual são representados círculos vermelhos com diferentes diâmetros para as 50 seções transversais estudadas. Quanto maior o círculo, maior o caudal médio de galgamento estimado. Se não houver galgamento numa determinada secção, o símbolo correspondente será um ponto cinzento. A imagem também indica o máximo caudal médio estimado. Para o quebra-mar norte, às 9h, *q* aumentou em direção à

TABELA III - Análise estatística, para o dia 2 de outubro de 2019, da relação entre os valores medidos pela boia BOND5 e os valores estimados pelos modelos WAM e SWAN.

TABLE III - Statistical analysis for 2 October 2019 of the relation between the values measured by the wave buoy and the values estimated by WAM and SWAN models.

|              | $H_s/H_{m0}$ |           | $T_{max}/T_p$ |           | $\theta_m$ |           |
|--------------|--------------|-----------|---------------|-----------|------------|-----------|
|              | Boia/WAM     | Boia/SWAN | Boia/WAM      | Boia/SWAN | Boia/WAM   | Boia/SWAN |
| <i>NRMSE</i> | 1,131        | 0,205     | 0,268         | 0,208     | 0,247      | 0,116     |
| <i>NBIAS</i> | -0,980       | -0,146    | -0,089        | 0,189     | 0,101      | 0,104     |
| <i>r</i>     | 0,705        | 0,762     | 0,211         | 0,928     | 0,894      | 0,996     |

cabeça, variando entre 0,17 l/s/m e 165 l/s/m. Para o quebra-mar oeste, o valor máximo previsto de  $q$ , para a secção imediatamente antes da cabeça do quebra-mar, foi de 1,9 l/s/m. Não foram previstos galgamentos assinaláveis dentro do porto.



**Fig. 8** - Resultados (altura de onda significativa, direção de onda) do modelo DREAMS para o Porto da Madalena do Pico, para o dia 2 de outubro de 2019 às 9h.

**Fig. 8** - DREAMS results (significant wave height, wave direction) for Madalena do Pico Port on 2 October 2019 at 9 a.m.

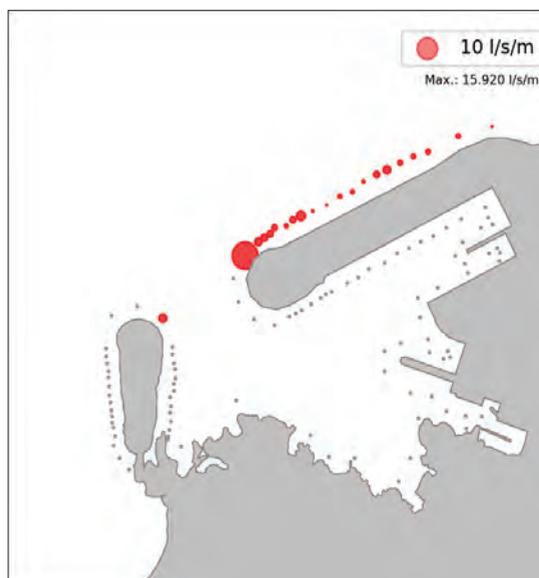


**Fot. 3** - Agitação no interior do porto da Madalena do Pico durante o furacão Lorenzo, 2 de outubro de 2019 (Fotografia de AFP/Getty Images).

**Photo 3** - Waves inside Madalena do Pico port during hurricane Lorenzo, 2 October 2019 (Photography by AFP/Getty Images).

O valor máximo do caudal médio de galgamento previsto, para cada instante e em cada seção transversal das estruturas, é comparado com os limites pré-estabelecidos de  $q$ . Esses limites foram definidos em estreita colaboração com as autoridades locais da Madalena do Pico e baseiam-se nas recomendações de Pullen *et al.* (2007).

Notar que o porto foi dividido em várias zonas com características semelhantes (materiais, geometria, elementos fisiográficos e utilização) (fig. 10 a). Foram analisados os alertas emitidos pelo sistema HIDRALERTA para os galgamentos para as 9h do dia 2 de outubro de



**Fig. 9** - Representação gráfica do caudal médio galgado estimado com o modelo NN\_Overtopping2, para o Porto da Madalena do Pico, a 2 de outubro de 2019 às 9h.

**Fig. 9** - Graphical representation of the estimated mean overtopping discharge with NN\_OVERTOPPING2 for Madalena do Pico Port on 2 October 2019, 9 a.m.

2019, para cada uma das zonas estudadas (fig. 10 b). A indicação das atividades em perigo refere-se a cada uma das zonas do porto.

Foi emitido um aviso vermelho para a zona da cabeça do quebra-mar norte e avisos laranja para os troncos dos quebra-mares norte e oeste.

É de notar que estes são apenas avisos preliminares, uma vez que o módulo IV do sistema HIDRALERTA ainda está a ser calibrado com as tempestades anteriores para a Madalena do Pico.

O furacão Lorenzo teria um grande impacto no *ferry* caso este estivesse atracado no porto da Madalena do Pico, tendo sido previsto pelo sistema que atingiriam o navio amarrado ondas com cerca de 1,5 m a 2,5 m de altura significativa e com períodos elevados, em conjugação com ventos fortes desfavoráveis às amarrações. Os maiores esforços nas amarrações verificar-se-iam às 6h do dia 2 de outubro (fig. 11). Tal conduziu à emissão pelo sistema de um alerta máximo (nível 3) no Cais Novo. Caso o sistema já estivesse em funcionamento à data da tempestade, este alerta teria sido uma indicação para que se optasse pela atracação do navio noutro cais mais abrigado ou eventualmente noutro porto, o que conduziria a menores esforços nas amarrações. Uma outra opção em caso de emissão deste nível de alerta seria o reforço dos cabos de amarração identificados como estando em alto risco com cabos adicionais, duplicando a sua resistência, de forma a evitar uma potencial rotura dos mesmos (fig. 12).

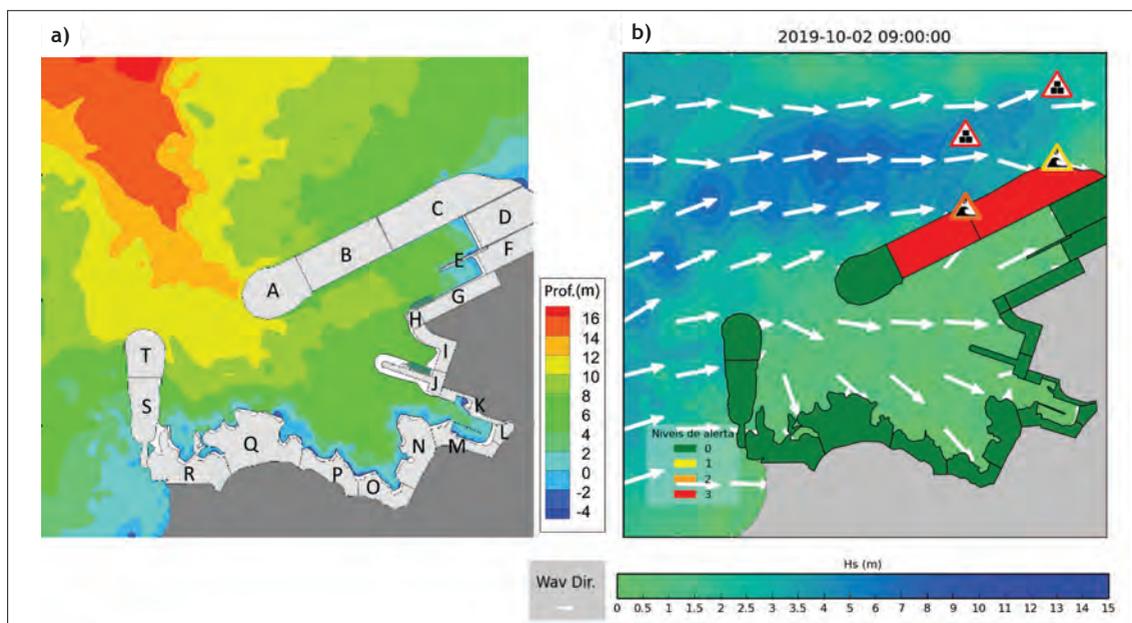


Fig. 10 - Divisão do porto em zonas com características semelhantes a);  
Galgamentos - alertas gerado pelo sistema para o Porto da Madalena do Pico, a 2 de outubro de 2019, 9h b).

Fig. 10 - Division of the port in zones with similar characteristics a);  
Overtopping - alerts provided by the system for Madalena do Pico Port on 2 October 2019, 9 a.m. b).

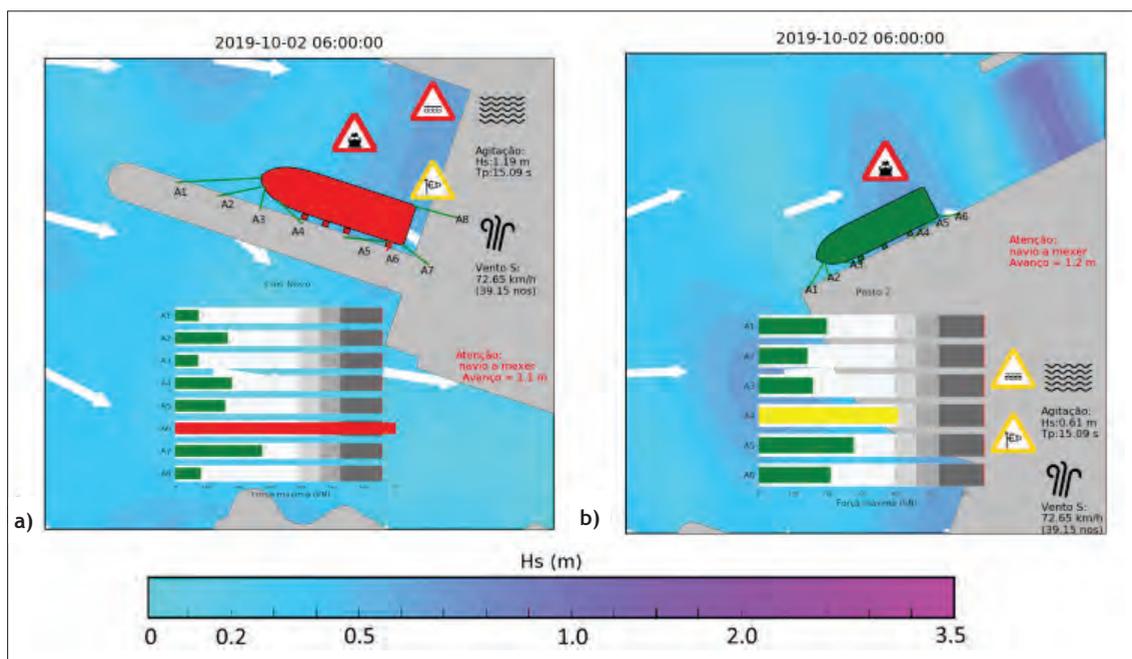


Fig. 11 - Navios amarrados. Agitação marítima, forças nas amarras e alertas gerados pelo sistema para o Porto da Madalena do Pico, 2 de outubro de 2019 às 6h. a) Cais Novo, b) Posto 2.

Fig. 11 - Moored ships. Wave conditions, forces on the mooring lines and alerts provided by the system for Madalena do Pico Port on 2 October 2019 at 6 a.m. a) Cais Novo, b) Posto 2.

#### Porto de São Roque do Pico

O porto de S. Roque do Pico situa-se na costa Norte da Ilha do Pico, na Região Autónoma dos Açores, costa esta caracterizada por taludes rochosos que atingem

profundidades elevadas muito próximo da linha de costa. A zona portuária é protegida por um quebra-mar com um comprimento aproximado de 400 m, composto por dois treços retos de 200 m cada.

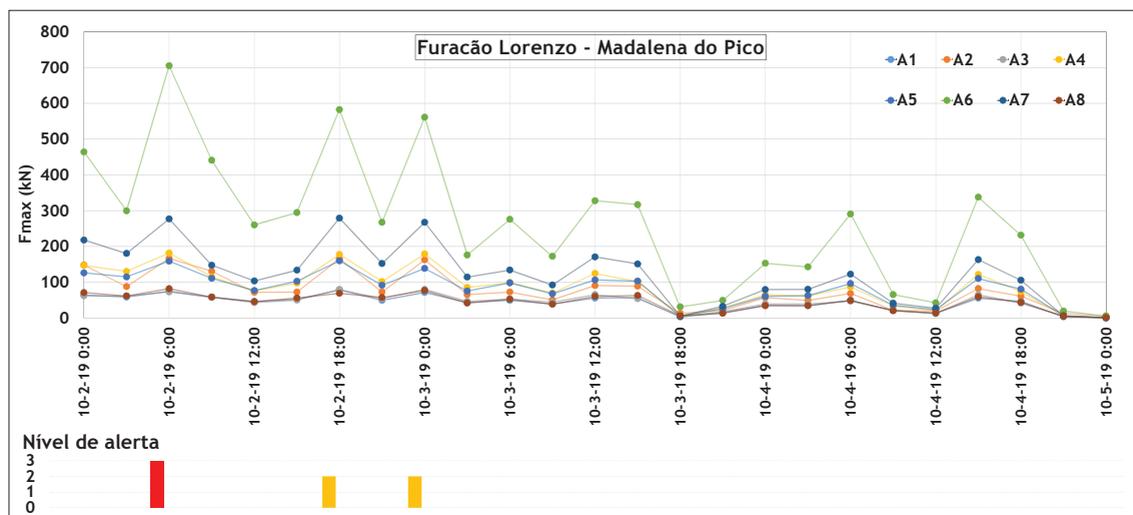


Fig. 12 - Cais Novo. Forças nos cabos de amarração durante o furacão Lorenzo para o porto da Madalena do Pico.

Fig. 12 - Cais Novo. Mooring lines forces during hurricane Lorenzo for Madalena do Pico port.

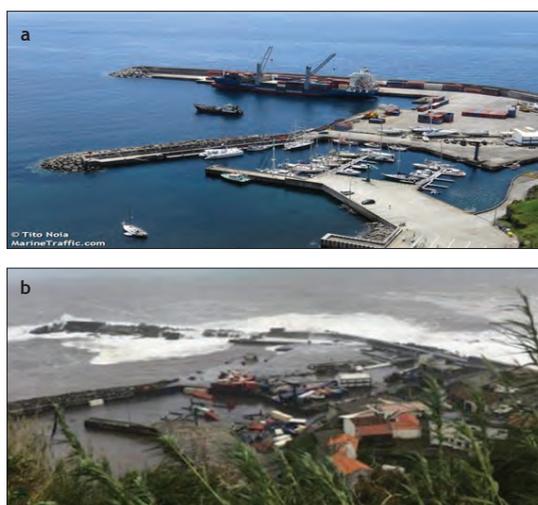
Os efeitos do furacão Lorenzo no porto de São Roque do Pico foram analisados com o sistema HIDRALERTA para os movimentos dos navios amarrados e forças no sistema de amarração. Os alertas gerados pelo sistema no dia 2 de outubro de 2019 às 6h e às 9h (fig. 13) demonstraram que o porto de São Roque do Pico, por se encontrar protegido naturalmente da agitação proveniente de sul e de oeste, e por se ter verificado um decréscimo dos períodos de onda até à entrada do porto, não teria tantos problemas relativamente aos movimentos do navio amarrado. Adicionalmente, os ventos de sul e de sudoeste que se fizeram sentir contribuiriam para que o navio permanecesse junto ao cais, minimizando as tensões nas amarras. Em consequência, foi emitido pelo sistema apenas um aviso elevado (nível 3) para a agitação marítima, para as 6h do dia 2 de outubro, em que a mesma se fez sentir com alguma intensidade ( $H_s=1,05$  m) e foi emitido um aviso vermelho para o movimento do navio. Este aviso é particularmente importante para a segurança no embarque e desembarque de passageiros e veículos. O limite de segurança imposto para navios *ferry* de passageiros é de 0,6 m na amplitude de movimentos do navio. Nos restantes instantes de previsão o aviso foi moderado e apenas para o movimento do navio. Também foram emitidos avisos amarelos ou laranja para a intensidade do vento. Para as forças nas amarras, não se previram esforços excessivos (fig. 13 e 14). Em suma, conclui-se que o *ferry* estaria seguro neste porto, embora não fosse recomendável que realizasse qualquer operação nesse dia.

#### Porto das Lajes das Flores

O porto das Lajes das Flores situa-se na costa sudeste da ilha das Flores e está protegido por dois quebra-mares, o quebra-mar principal que protege a totalidade do porto

e o cais comercial, e um segundo, denominado “cais de abrigo”, no interior do porto, de proteção principalmente aos setores de pesca e recreação (fot. 4).

O quebra-mar principal representa a principal estrutura de proteção portuária contra a agitação marítima, apresentando uma orientação SO-NE. Com um comprimento total de aproximadamente 300 m, os taludes do tronco 2(V):3(H) e 1(V):2(H) na cabeça são protegidos por tetrápodes e cubos Antifer, respetivamente.



Fot. 4 - Porto das Lajes das Flores, antes e depois do Furacão Lorenzo: a) Tito Noia, julho de 2016, b) Portos dos Açores, outubro de 2019.

Photo 4 - Lajes das Flores Port before and after the passage of hurricane Lorenzo: a) Tito Noia, July 2016, b) Portos dos Açores, October 2019.

De acordo com as autoridades locais, durante o furacão Lorenzo, vários eventos de galgamento ocorreram desde cerca das 3h da manhã, especialmente no quebra-mar

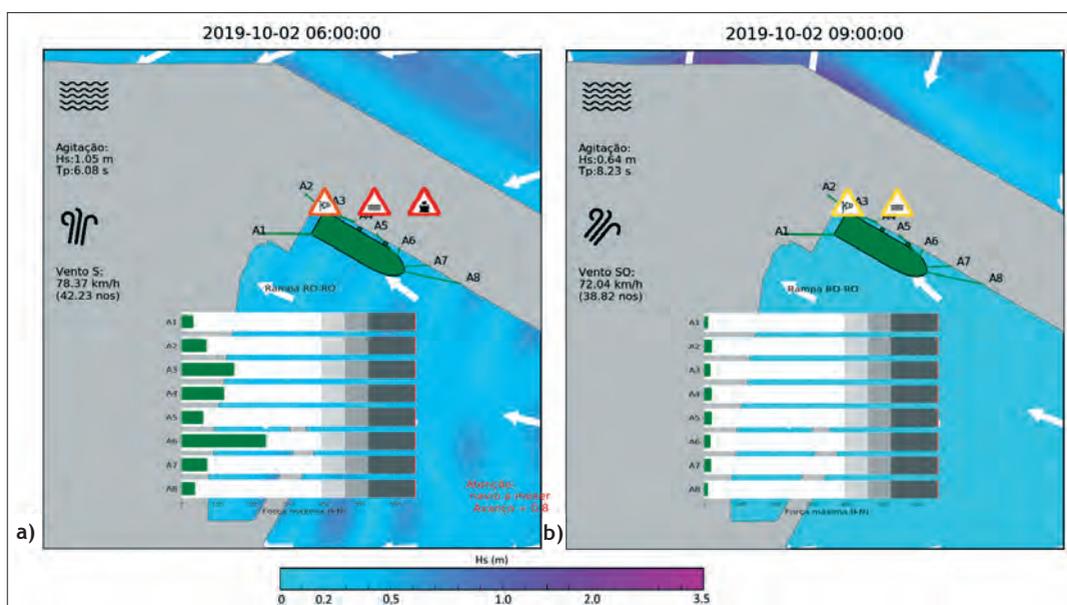


Fig. 13 - Navios amarrados. Agitação marítima, forças nas amarras e alertas gerado pelo sistema para o Porto de São Roque do Pico, a 2 de outubro de 2019, a) 6h, b) 9h.

Fig. 13 - Moored ships. Wave conditions, forces on the mooring lines and alerts provided by the system for São Roque do Pico Port on 2 October 2019, a) 6 a.m., b) 9 a.m.

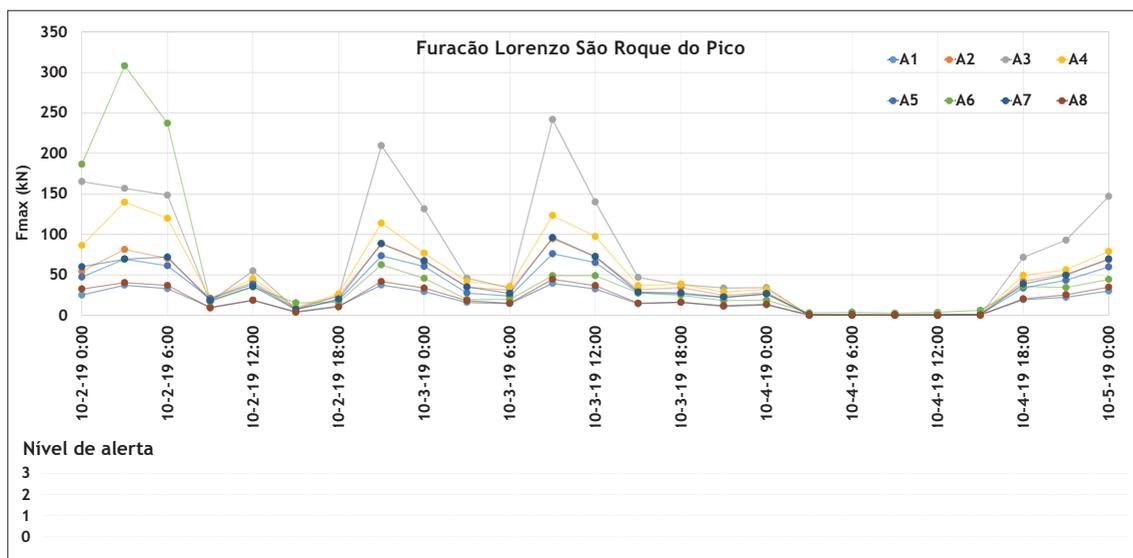


Fig. 14 - Forças nos cabos de amarração durante o furacão Lorenzo para o porto de São Roque do Pico.

Fig. 14 - Mooring lines forces during hurricane Lorenzo for São Roque do Pico port.

principal, inicialmente apenas no seu enraizamento e posteriormente abrangendo todo o tronco e a cabeça. Foi também observada forte agitação no interior do porto,

que causou graves danos, incluindo a destruição da parede do muro cortina, de parte do cais e da doca, de edifícios, de navios e barcos de pesca, e de contentores (fot. 5).



Fot. 5 - Impacto do furacão Lorenzo no Porto das Lajes das Flores, outubro de 2019 a) e b) André Palma, c) Diário de notícias.

Photo 5 - Impact of hurricane Lorenzo on Lajes das Flores Port, October 2019 a) and b) André Palma, c) Diário de Notícias.

Analisaram-se os resultados dos modelos WAM, SWAN e DREAMS para as 6h do dia 2 de outubro de 2019 (fig. 15 e 16), o momento mais crítico do furacão no porto das Lajes das Flores. Às 6h, quando o furacão Lorenzo passou a sul da Ilha das Flores, os modelos WAM e SWAN previram que, perto do porto de Lajes das Flores, as ondas teriam uma direção predominante de sudoeste, com uma altura espectral,  $H_{m0}$ , a variar entre 10 e 14 m e um período máximo de onda,  $T_{max}$ , de cerca de 15 s. As ondas aproximaram-se da entrada do porto com um rumo sul (fig. 16). As maiores alturas de onda ocorreram no quebra-mar principal, aumentando desde o enraizamento do quebra-mar até à sua cabeça, atingindo uma  $H_{m0}$  de cerca de 15 m. A altura significativa das ondas dentro do porto foi estimada como sendo sempre superior a 1,5 m em algumas áreas, o que está de acordo com as observações *in situ* relatadas.

O quebra-mar principal foi a estrutura mais afetada do porto de Lajes das Flores. Às 6h da manhã, o valor do caudal médio galgado aumentou em direção à cabeça, atingindo o seu máximo na secção P11, pouco antes da cabeça do quebra-mar (fig. 17). Os valores do caudal médio de galgamento variaram entre 22 l/s/m e 720 l/s/m no quebra-mar principal. Para além de galgar a estrutura de proteção principal do porto, as ondas, devido à sua altura, acabaram por rebentar sobre a estrutura, sendo este fenómeno o causador de grande parte da destruição verificada.

O sistema HIDRALERTA, para as 6h (fig. 18), emitiu alertas vermelhos para todas as três zonas consideradas: cais comercial e a área antes do quebra-mar principal,

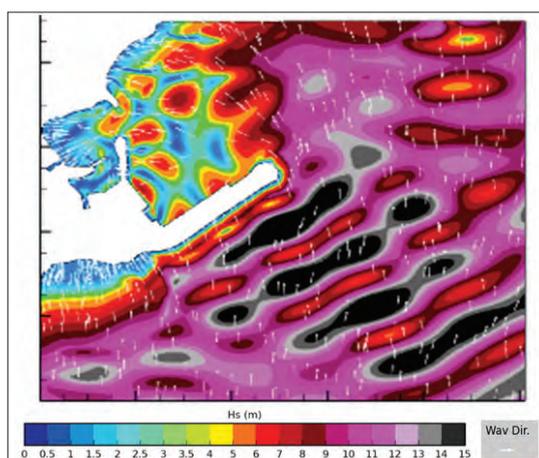


Fig. 16 - Porto das Lajes das Flores. Resultados do modelo DREAMS a 2 de outubro de 2019 às 6h.

Fig. 16 - PPorto das Lajes das Flores. Results for the model DREAMS, on 2 October 2019, 6 a.m.

tronco e cabeça do quebra-mar principal. Mais uma vez, as previsões estão de acordo com as observações *in situ*.

#### Depressões Elsa e Fabien

A depressão Elsa formou-se no Golfo do México a 13 de dezembro de 2019 e foi-se movendo gradualmente para nordeste ao longo da costa do Canadá a 16 de dezembro. A depressão Elsa começou depois a acelerar para este à frente da depressão Fabien. O sistema que se tornaria na depressão Fabien formou-se a 17 de dezembro e emergiu

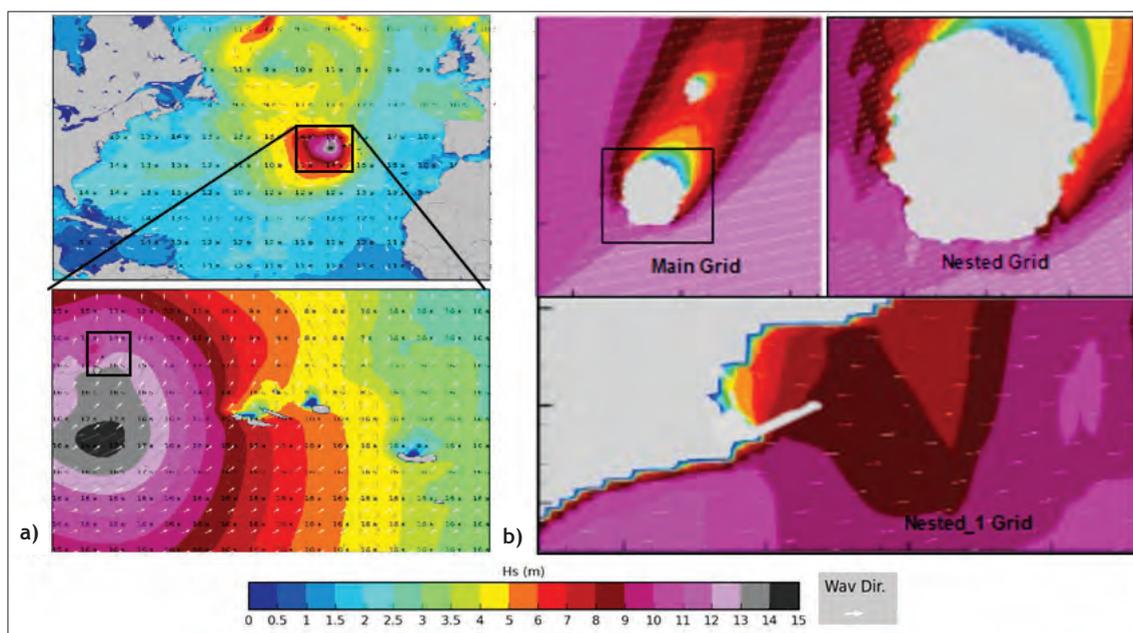


Fig. 15 - Porto das Lajes das Flores. Resultados (altura de onda significativa, período de pico, direção média da onda, direção do vento) dos modelos a) WAM e b) SWAN a 2 de outubro de 2019 às 6h.

Fig. 15 - Porto das Lajes das Flores. Results (significant wave height, peak period, mean wave direction and wind wave) for the models a) WAM and b) SWAN on 2 October 2019, 6 a.m.

no Oceano Atlântico no dia 19. A depressão Fabien foi-se intensificando durante a sua travessia pelo Atlântico, mas foi ligeiramente retardada pela depressão Elsa, que estava estacionada sobre o Atlântico Norte há alguns dias. Posteriormente, a depressão Fabien acelerou para sul em relação à depressão Elsa. As depressões Elsa e Fabien passaram por Portugal Continental, entre dia 18 e 22 de dezembro de 2019 e foram classificadas como depressões tropicais. No arquipélago dos Açores o pico da depressão Elsa foi sentido mais cedo (a partir do dia 14 de dezembro) (fig. 19).

No arquipélago dos Açores, a agitação marítima foi caracterizada por ondas de altura significativa até 10 m, velocidades do vento de cerca de 75 km/h e rajadas

acima de 90 km/h. Mais de 37 incidentes foram relatados em todas as ilhas, causando alguns danos de custos menores. O grupo central foi atingido por ondas com rumo noroeste com alturas significativas de cerca de 8 a 9 m, tendo afetado ambos os portos da ilha do Pico.

Em Portugal Continental, desde o final da tarde de dia 18 de dezembro de 2019, a tempestade Elsa provocou inúmeras ocorrências, na sua maioria quedas de árvores, movimentos de terras, inundações e quedas de estruturas. Dezenas de estradas ficaram cortadas, habitações danificadas e os rios galgaram algumas localidades. Logo após a depressão Elsa, a depressão Fabien fez-se sentir principalmente na zona Norte e Centro de Portugal Continental, com ventos fortes de sudoeste (fig. 19).

*Porto da Ericeira*

O porto da Ericeira está localizado na costa oeste de Portugal continental, a cerca de 30 km a norte de Lisboa e tem como objetivo principal o abrigo a uma pequena frota de pesca artesanal. É um porto de reduzidas dimensões constituído por um molhe, que também funciona como cais de acostagem, e por uma rampa de varadouro. Para a validação dos resultados do modelo SWAN para as depressões Elsa e Fabien (dias 17 a 22 de dezembro de 2019) foram utilizados os dados de uma boia situada ao largo da Nazaré e para a validação das previsões do sistema de cálculo do grau de risco foram considerados os danos reportados. A boia costeira encontra-se à profundidade de 90 m (fig. 20) e é operada e mantida pelo Instituto Hidrográfico (fig. 20).

Para o período das depressões Elsa e Fabien foram efetuadas simulações com o intervalo de 1 h, obtendo-se um total de 143 pares de resultados SWAN/dados da boia.

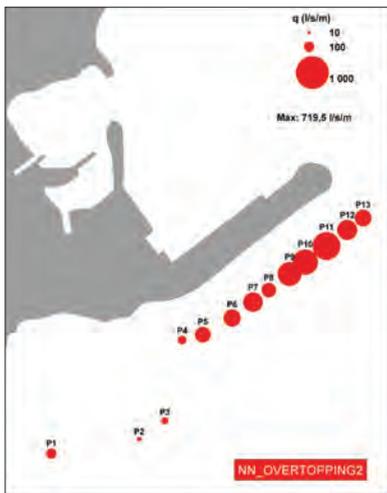


Fig. 17 - Representação gráfica do caudal médio galgado estimado com o modelo NN\_OVERTOPPING2, para o Porto das Lajes das Flores, a 2 de outubro de 2019 às 6h.

Fig. 17 - Graphical representation of the estimated mean overtopping discharge with NN\_OVERTOPPING2 for Lajes das Flores Port on 2 October 2019, 6 a.m.

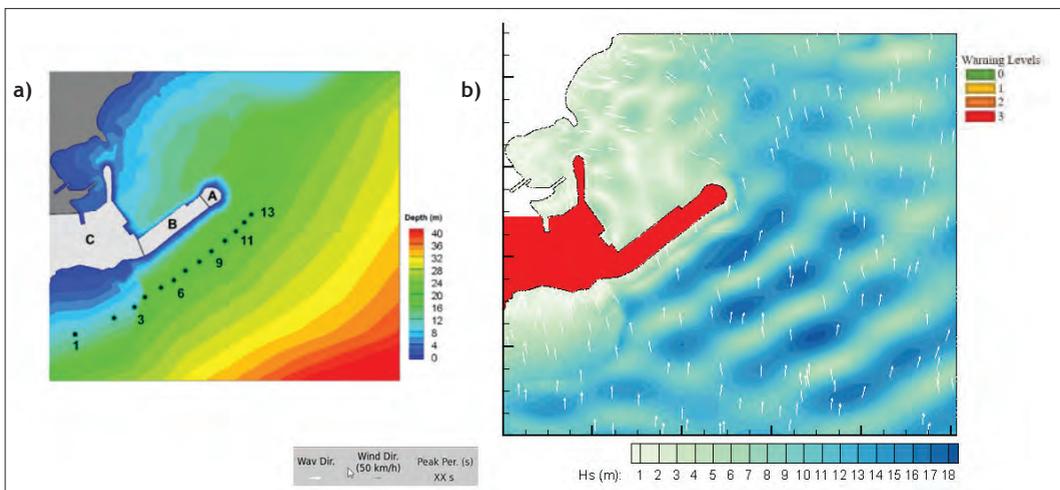


Fig. 18 - Divisão do porto em zonas com características semelhantes a); Galgamentos - alertas emitidos pelo sistema para o Porto das Lajes das Flores, a 2 de outubro de 2019 às 6h b).

Fig. 18 - Division of the port in zones with similar characteristics a); Overtopping - alerts provided by the system for Lajes das Flores Port on 2 October 2019, 6 a.m. b).

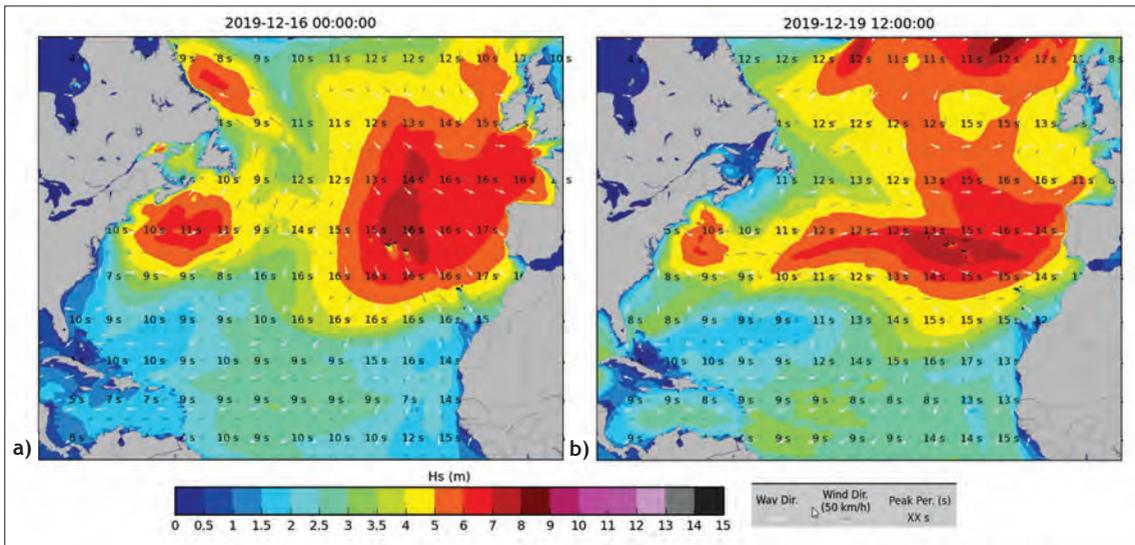


Fig. 19 - Resultados (altura de onda significativa, período de pico, direção de onda média, direção do vento) do modelo WAM: a) dia 16 de dezembro de 2019 às 0h, b) dia 19 de dezembro de 2019 às 12h.

Fig. 19 - WAM model results (significant wave height, peak period, mean wave direction, wind direction): a) 16 December 2019 at 0 a.m., b) 19 December 2019 at 12 a.m.

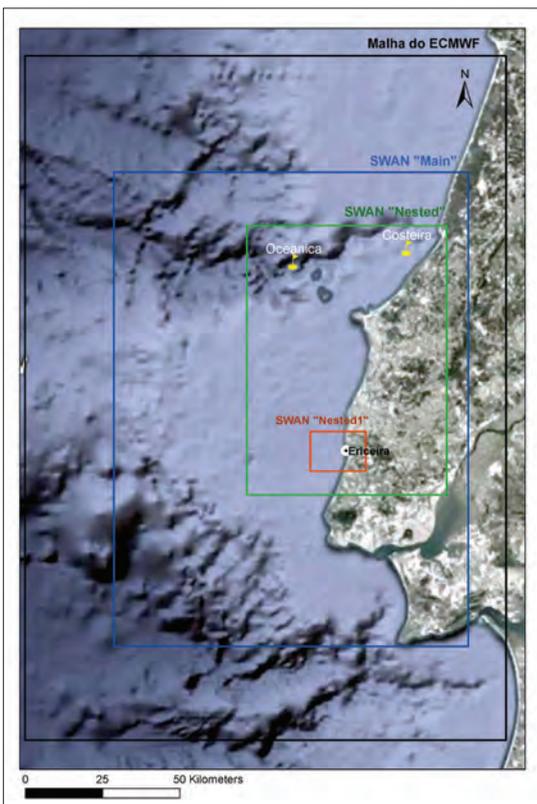


Fig. 20 - Localização das boias Oceânica e Costeira ao largo da Nazaré. Malha do ECMWF e domínios computacionais do SWAN.

Fig. 20 - Location of the wave buoys off the coast at Nazaré. ECMWF grid and SWAN computational domains.

Foram utilizados os seguintes parâmetros estatísticos para a comparação entre os resultados do modelo SWAN e os dados da boia costeira: média, desvio padrão, *NRM*-

*SE*, *NBIAS* e coeficiente de correlação (*r*). Para a altura significativa de onda ( $H_s$ ) e o período de pico ( $T_p$ ) foram utilizadas as formulações apresentadas acima nas Eq. 1, 2 e 3 para a simulação do furacão Lorenzo no porto da Madalena do Pico.

Para as direções médias ( $\theta_m$ ), a média de cada amostra foi calculada através da média circular:

$$\bar{O} = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \bar{O}}{\cos \bar{O}} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

O coeficiente de correlação circular foi dado por:

$$r_c = \frac{\sum_{i=1}^n \sin(O_i - \bar{O}) \sin(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\sin(O_i - \bar{O}))^2 \sum_{i=1}^n (\sin(S_i - \bar{S}))^2}} \quad (\text{Eq. 5})$$

A análise dos valores dos parâmetros estatísticos para a comparação efetuada para o período entre 17 e 22 de dezembro de 2019 (TABELA IV), demonstrou uma boa concordância entre os dados das boias e os resultados do modelo SWAN, tendo-se verificado que o modelo reproduziu melhor  $\theta_m$  e  $H_s$  do que  $T_p$ . Verificou-se ainda que o modelo subestimou a altura de onda significativa durante a situação de tempestade, o que poderá conduzir à não emissão de alertas pelo sistema em eventos em que os mesmos deveriam ser emitidos. Consequentemente, serão necessários melhoramentos a este nível.

Notar que o porto foi dividido em quatro zonas com características semelhantes (materiais, geometria, elementos fisiográficos e utilização) (fig. 21 a): A - Enraizamento, B - Troço inicial do tronco, C - Tronco final do tronco, D - Cabeça.

TABELA IV - Valores da Média, Desvio padrão, *NRMSE*, *NBIAS* e *r* para a comparação dos resultados do modelo SWAN com os dados da boia Costeira para o período entre 17 e 22 de dezembro de 2019.

TABLE IV - Average, standard deviation, *NRMSE*, *NBIAS* and *r* for the comparison of the SWAN results with the data from the coastal wave buoy for the period between 17 and 22 December 2019.

|               | $H_s$ |       | $T_p$  |        | $\theta_m$ |         |
|---------------|-------|-------|--------|--------|------------|---------|
|               | boia  | SWAN  | boia   | SWAN   | boia       | SWAN    |
| Média         | 4,134 | 4,633 | 13,684 | 13,607 | 273,536    | 274,421 |
| Desvio padrão | 1,258 | 1,027 | 2,280  | 1,703  | 16,628     | 19,997  |
| <i>NRMSE</i>  | 0,207 |       | 0,103  |        | 1,307      |         |
| <i>NBIAS</i>  | 0,121 |       | -0,006 |        | 0,003      |         |
| <i>r</i>      | 0,807 |       | 0,781  |        | 0,934      |         |

Foram obtidos os valores do caudal médio de galgamento em diversos perfis, denominados P8, P9, P10\_2, P3\_2, P11\_1, P12 e P4 (fig. 21 b) do molhe do porto da Ericeira, para o período de 15/12/2020 a 23/12/2020. Para cada um dos perfis, foi também determinado o valor máximo de  $q$  obtido para os dias analisados, assim como o dia em que esse valor de  $q$  foi obtido (fig. 21 b). Foram obtidos, para os perfis P3\_2 (fig. 22a), P11\_1 (fig. 22b), P12 (fig. 22c) e P4 (fig. 22d), os valores de  $q$  para cada simulação horária efetuada, os valores de  $SWL$  e ainda os valores de  $H_s$  e de  $T_p$  obtidos com o modelo DREAMS no pé de talude do respetivo perfil.

Verificou-se que os valores de  $q$  foram aumentando com a proximidade à cabeça do molhe. Foram

atingidos valores de  $q$ , principalmente a partir do perfil P3\_2 que estão acima do intervalo limite (50-200 l/s/m) definido por Pullen *et al.* (2007) a partir do qual poderão existir danos na estrutura mesmo que os seus coroamento e tardoz estejam bem protegidos. O maior impacte das depressões não foi igual em todos os perfis (fig. 22 a, b, c, d). Enquanto nos perfis P3\_2, P11\_1 e P4 os maiores valores de  $q$  ocorreram durante o dia 22 (tempestade Fabien), no perfil P12 foi durante a tempestade Elsa (19/12/2020) que se verificaram os maiores valores de  $q$ .

Efetivamente, o farolim do molhe ficou bastante danificado e houve também danos na cabeça do molhe, com o deslocamento de cubos Antifer do manto (fot. 6).

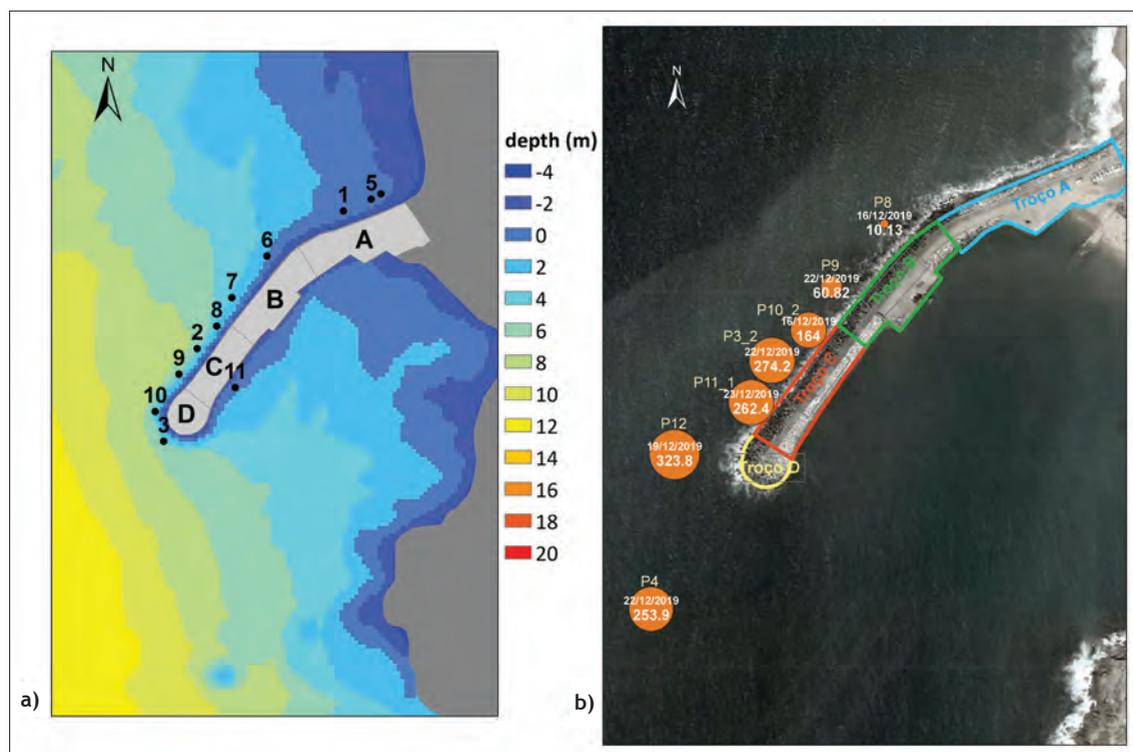


Fig. 21 - Divisão do porto em zonas de características semelhantes a); Valores máximos de  $q$  nos dias 15-23 de dezembro de 2019 b).

Fig. 21 - Division of the port in zones with similar characteristics a); Maximum values of  $q$  in the period 15-23 December 2019 b).

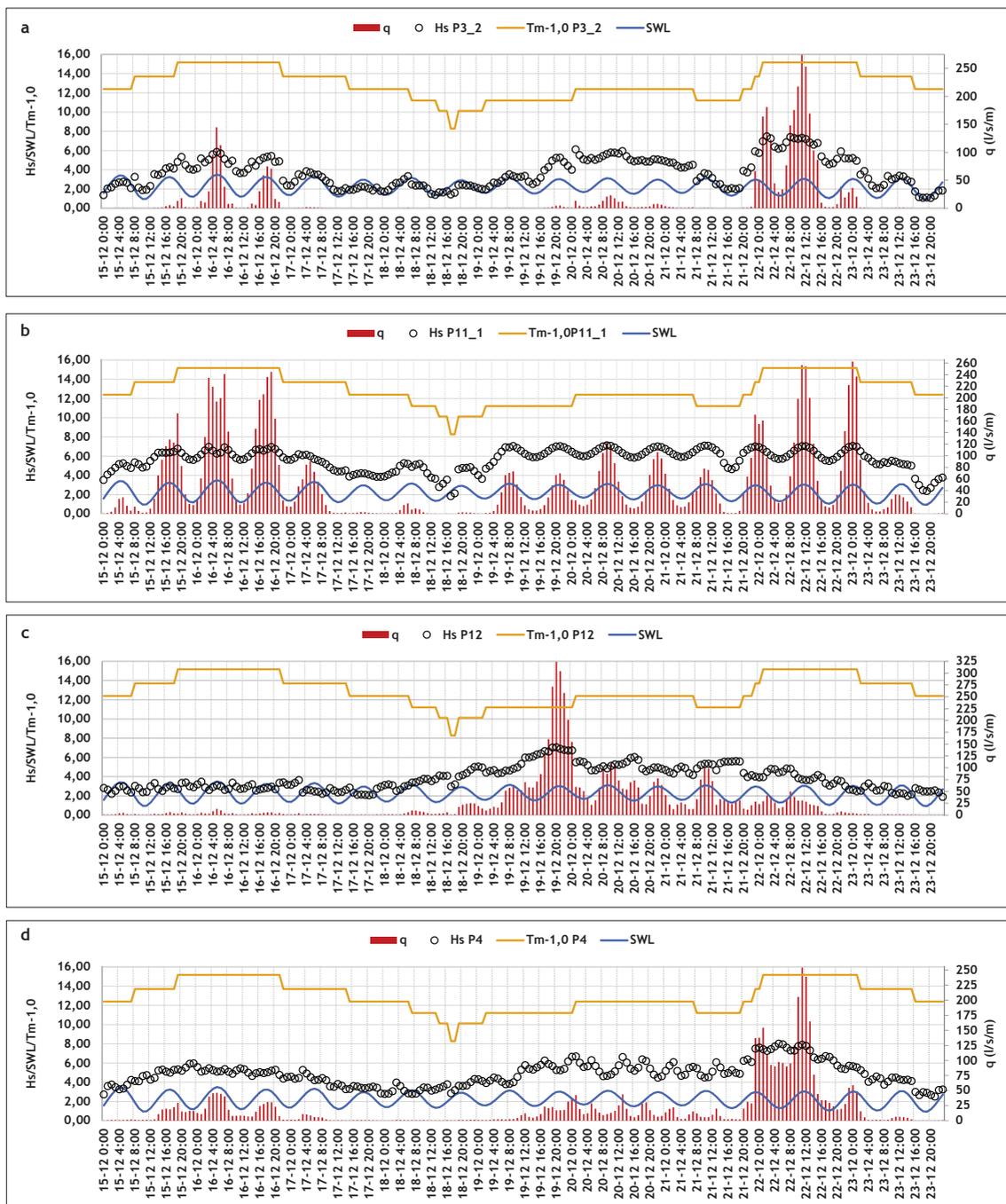


Fig. 22 - Valores do caudal  $q$  obtidos para cada simulação horária efetuada, valores de SWL e valores de  $H_s$  e de  $T_p$  obtidos com o modelo DREAMS no pé de talude dos perfis P3\_2 (a), P11\_1 (b), P12 (c) e P4 (d).

Fig. 22 - Discharge values for each simulation, SWL, and  $H_s$  and  $T_p$  values obtained by DREAMS model at the toe of the profiles P3\_2 (a), P11\_1 (b), P12 (c) and P4 (d).

### Porto de São Roque do Pico

Foram analisados os resultados do sistema em termos do comportamento de um navio de passageiros *ferry* atracado no porto de São Roque do Pico aquando da passagem da depressão Elsa em duas localizações: rampa Ro-Ro e Posto 2. Observaram-se alturas de onda elevadas no interior do porto. Da análise dos alertas emitidos pelo

sistema para os navios amarrados (fig. 23) e da estimativa das forças nos cabos de amarração para o período da depressão Elsa (fig. 24), pode verificar-se que foram emitidos alertas máximos para a maioria das simulações, para os dois locais de amarração do navio de passageiros *ferry*. Esses avisos vermelhos estenderam-se desde o dia 14 até ao dia 16 de dezembro, voltando a verificar-se um agravamento da situação no dia 18. Para o dia 21



Fot. 6 - Cabeça do molhe do porto da Ericeira. Danos no farol e na cabeça (13/01/2020) (Fotografia de L. Silva).

Photo 6 - Head of breakwater at Port of Ericeira. Damage to the light and to the head (13/01/2020) (Photography by L. Silva).

de dezembro, data da depressão Fabien, também foram emitidos alertas vermelhos. Neste cenário, a segurança do navio amarrado estaria muito comprometida, mesmo com reforço de amarração, e o mais sensato seria optar por atracar o navio noutra porto mais protegido, por exemplo no porto da Horta, que se encontra abrigado para as ondas de noroeste.

Porto da Madalena do Pico

Foram analisados os resultados do sistema em termos do comportamento de um navio de passageiros ferry atracado no porto da Madalena do Pico aquando da passagem das depressões Elsa e Fabien. Da análise dos

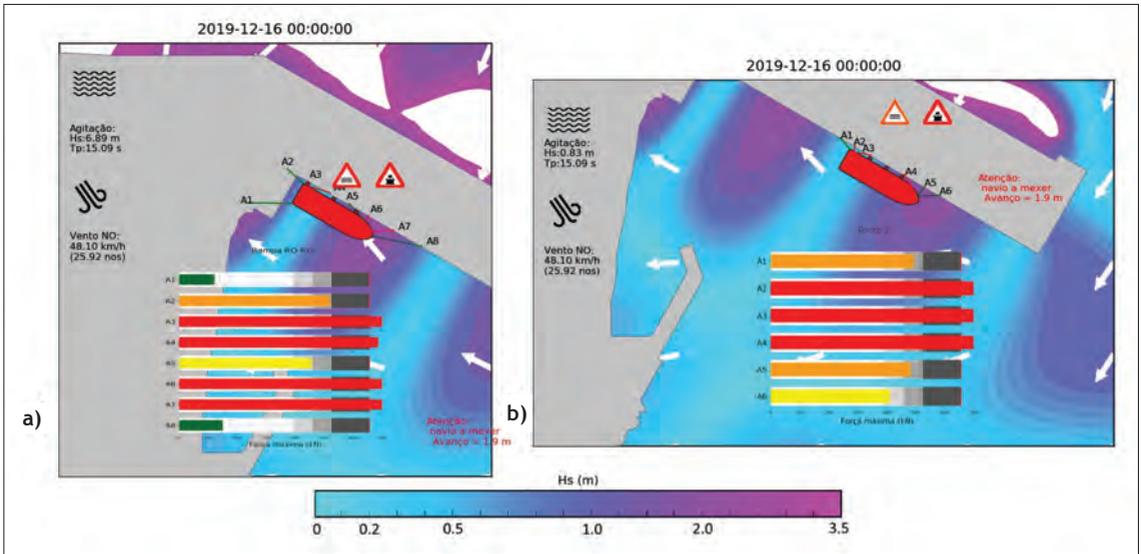


Fig. 23 - Navios amarrados. Agitação marítima, forças nas amarras e alertas gerado pelo sistema para o Porto de São Roque do Pico no dia 16 de dezembro de 2019 às 0h. a) Rampa RO-RO, b) Posto 2.

Fig. 23 - Moored ships. Wave conditions, forces on the mooring lines and alerts provided by the system for São Roque do Pico Port on 16 December 2019 at 0 a.m., a) RO-RO ramp, b) Posto 2.

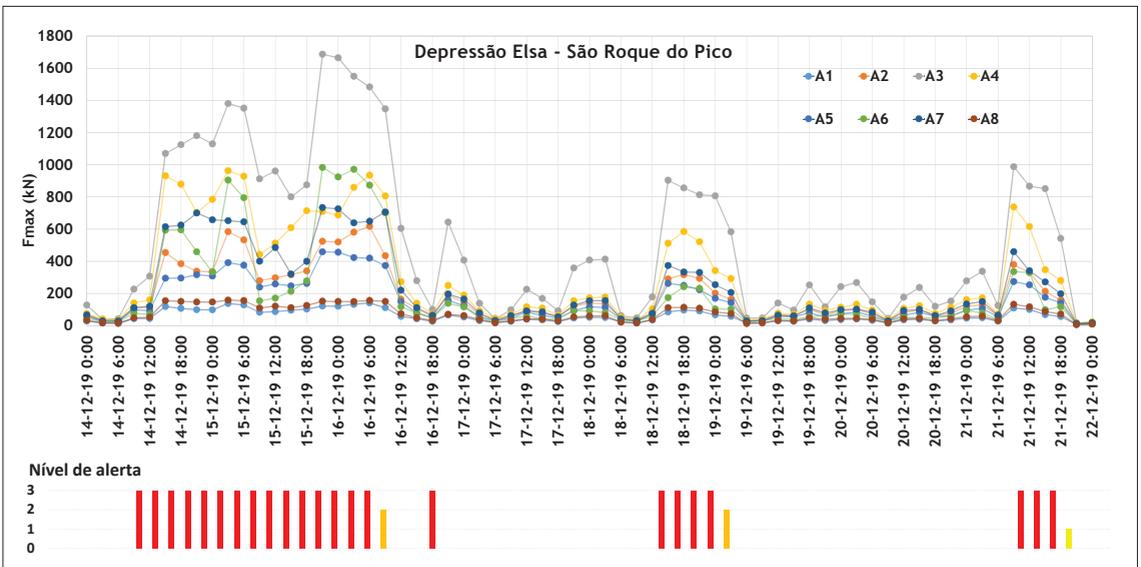


Fig. 24 - Forças nos cabos de amarração durante as depressões Elsa e Fabien para o porto de São Roque do Pico.

Fig. 24 - Mooring lines forces during Elsa and Fabien storm for São Roque do Pico port.

resultados obtidos com o modelo DREAMS para as 0 horas do dia 16 de dezembro de 2019 (fig. 25) e da estimativa das forças nos cabos de amarração para o período das depressões Elsa e Fabien (fig. 26), verificou-se que a tempestade Elsa teria um forte impacto no ferry atracado no Porto da Madalena do Pico, com ondas de altura significativa estimada de 1,5 m a 2,5 m a incidirem no navio, em conjugação com períodos elevados e ventos fortes desfavoráveis às amarrações. Consequentemente, foram emitidos pelo sistema alertas

máximos (nível 3) desde o dia 14 de dezembro até ao início do dia 17 e novamente durante dos dias 18 e 19 de dezembro. Durante a tempestade Fabien foram também emitidos avisos vermelhos (fig. 26). Neste cenário, o navio também não poderia ficar amarrado no porto da Madalena do Pico, sendo o local mais seguro efetivamente aquele onde o navio acabou por ficar, o porto da Horta, que se encontra abrigado das ondas dos quadrantes norte, oeste e sul.

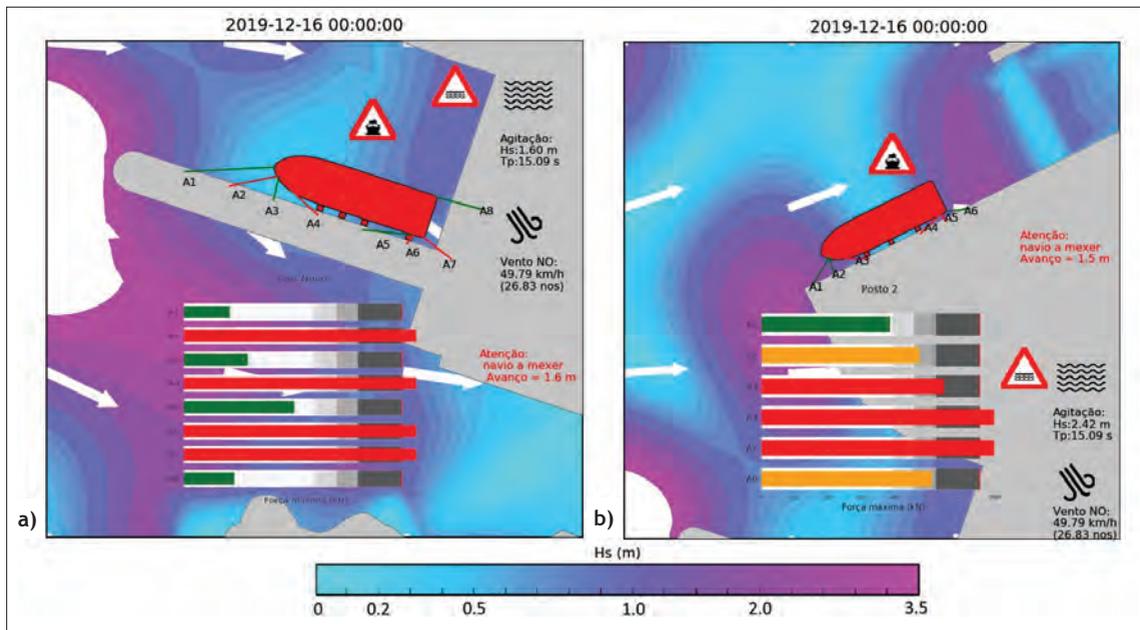


Fig. 25 - Navios amarrados. Agitação marítima, forças nas amarras e alertas gerados pelo sistema para o porto da Madalena do Pico, durante a depressão Elsa, dia 16 de dezembro às 0h. a) Cais Novo, b) Posto 2.

Fig. 25 - Moored ships. Wave conditions, forces on the mooring lines and alerts provided by the system for Madalena do Pico on 16 December 2019 at 0 a.m. a) Cais Novo, b) Posto 2.

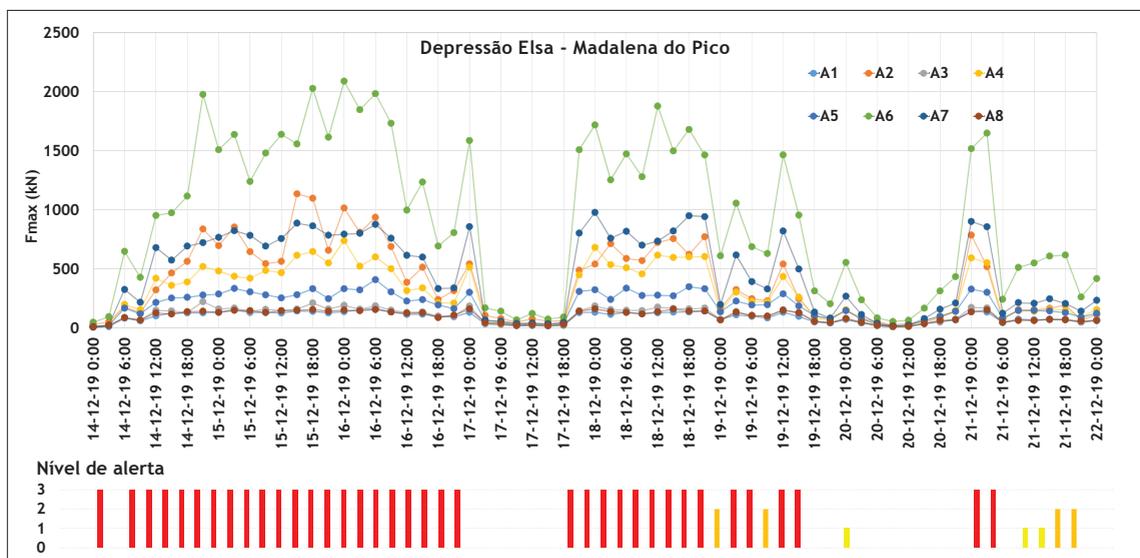


Fig. 26 - Forças nos cabos de amarração durante as depressões Elsa e Fabien para o porto da Madalena do Pico.

Fig. 26 - Mooring lines forces during Elsa and Fabien storms for Madalena do Pico port.

## Conclusões

Devido à grande frequência e intensidade de tempestades na costa portuguesa que põem em perigo populações e infraestruturas portuárias/costeiras, é fundamental que as autoridades responsáveis estejam dotadas de ferramentas para a gestão dos perigos e riscos associados a estes fenómenos. Essas tempestades são responsáveis pela ocorrência de galgamentos e de movimentos excessivos dos navios atracados em zonas portuárias.

O sistema HIDRALERTA (Poseiro, 2019, Fortes *et al.*, 2020, Pinheiro *et al.*, 2020) efetua a previsão, o alerta e a avaliação do risco, com 72 horas de antecedência, relativos à ocorrência de situações de emergência associadas ao galgamento e respetiva inundação, e à segurança de navios amarrados. É aplicável tanto em zonas costeiras, como em zonas portuárias. Desde setembro de 2015 que se encontra operacional o primeiro protótipo do sistema (porto e baía da Praia da Vitória, na Ilha Terceira, Açores), estando em fase de testes e validação os protótipos dos portos da Madalena do Pico e de São Roque do Pico (Ilha do Pico, Açores) e da Ericeira (Portugal Continental). Atualmente, estão em fase de desenvolvimento os protótipos do sistema para os portos de Sines e de Peniche, e para a zona costeira da Costa da Caparica.

Por se tratar de um sistema de alerta, é fundamental que forneça informações coerentes e fiáveis, quer em situações correntes (para garantir que o sistema não emite alertas quando tal não se justifique), quer em situações de tempestade.

Este trabalho apresenta os desenvolvimentos efetuados até à data na validação do sistema em situações de tempestade, que consistiram na aplicação dos protótipos desenvolvidos para os portos da Madalena do Pico, de São Roque do Pico e da Ericeira para a simulação do furacão Lorenzo e das depressões Elsa e Fabien. Foram também apresentados resultados de simulações efetuadas para o porto das Lajes das Flores para o furacão Lorenzo.

Da análise qualitativa efetuada, pode-se concluir que os alertas emitidos pelo sistema estiveram em concordância com os danos/ocorrências reportadas localmente, o que contribui para reforçar a confiança no sistema que está a ser desenvolvido. Estes testes servem também para realçar a importância do sistema, nomeadamente ao nível da segurança para os navios amarrados no grupo central do Arquipélago dos Açores, pois permite a gestão das operações (cuidados especiais no embarque e desembarque de passageiros e veículos ou cancelamento de viagens), do local de atracação do navio, conforme o porto que se afigura mais protegido para um determinado evento, e até da necessidade de reforço de amarrações.

O melhoramento contínuo é inerente ao processo de desenvolvimento de qualquer ferramenta, pelo que existem já diversas melhorias a serem implementadas no sistema. No curto prazo, as melhorias que se pretendem implementar são no sentido de tornar o sistema mais robusto e fiável. A robustez é conseguida através da revisão detalhada do código para evitar falhas no sistema e prever a implementação de metodologias alternativas, p. ex. no caso de ausência de previsões de um dos fornecedores de dados meteorológicos, recorrer a outros fornecedores alternativos (p. ex. o *Copernicus Marine Service*, o centro americano NOAA, ou outros servidores nacionais ou europeus). Para garantir a fiabilidade do sistema, é imperativo efetuar uma validação mais aprofundada de todos os tipos de resultados do sistema e estabelecer uma metodologia que permita uma validação em contínuo. Neste âmbito refira-se: a) validação mais exaustiva dos resultados do modelo SWAN com dados de boias; b) a pertinência e adequação dos alertas gerados, do ponto de vista das autoridades portuárias locais ou outras entidades responsáveis pela segurança das pessoas e bens na orla costeira e portuária; b) a utilização de mais dados históricos, para além dos registos das boias, como, por exemplo, registos de galgamentos, estragos, acidentes, interrupções de operações portuárias ou outros eventos, devidos à agitação marítima, que poderiam ter sido previstos pelo sistema; d) a utilização de dados de vídeo-monitorização de forma a validar os alertas emitidos, pelo menos, em termos de existência ou não de galgamento e de qual a sua magnitude.

A médio prazo serão implementadas novas ferramentas para a estimativa dos galgamentos, tanto em estruturas portuárias, como em zonas costeiras, com o recurso a modelos numéricos, e proceder-se-á à implementação de avaliação de risco de forma mais quantitativa com recurso, por exemplo, a análises multicritério. A longo prazo, serão estudados novos modelos para a definição da agitação no interior das zonas portuárias e que incluam fenómenos não contemplados pelo modelo DREAMS. No entanto, quaisquer alterações neste âmbito terão sempre de ser bastante ponderadas, pois não podem comprometer a capacidade de o sistema correr em tempo real.

O objetivo último do sistema HIDRALERTA é tornar-se uma ferramenta de apoio à decisão útil e fiável na gestão da segurança, que venha a ser utilizada diariamente pelas entidades locais e portuárias. Caso seja atingido esse objetivo, o HIDRALERTA será uma mais valia para as populações e para as atividades económicas que dependem da operacionalidade dos portos e das estruturas de defesa costeira, dando dessa forma um maior retorno ao investimento público feito em Ciência, concretamente através dos diversos financiamentos concedidos desde o início do seu desenvolvimento.

## Agradecimentos

O sistema HIDRALERTA tem-se desenvolvido no âmbito de diversos projetos de investigação: o projeto To-SEAlert - Wave overtopping and flooding in coastal and port areas: Tools for an early warning, emergency planning and risk management system (Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017), o projeto ECOMARPORT (ref: PO INTERREG MAC 2014-2020), o projeto BLUESAFEPOR - Sistema de Segurança para Navios em Manobra e Amarrados em Portos (ref: FA\_04\_2017\_016) e o projeto BSAFE4SEA - Breakwaters SAFETY control through a FORecast and decision support SystEm Analysis, (Ref. PTDC/ECI-EGC/31090/2017). Os autores agradecem a todos os elementos da equipa dos diferentes projetos que contribuem para o desenvolvimento do sistema HIDRALERTA. Agradece-se ainda o financiamento de entidades públicas nacionais como a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. e o Fundo Azul da Direção Geral das Políticas do Mar da República Portuguesa, e internacionais, como a Comissão Europeia. Os autores agradecem também a colaboração da Portos dos Açores, SA, a disponibilização dos dados das boias pelo Instituto Hidrográfico e o acesso à infraestrutura digital de suporte à investigação pelo INCD (Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída).

## Referências bibliográficas

- Azevedo, E. B., Mendes, P., Gonçalo, V. (2008). Projectos CLIMAAT e CLIMARCOST Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos, Clima Marítimo e Costeiro. *In Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa - WSCRA08*.
- Booij, N., Ris, R. C., Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geog. Res.*, C4, 104, 7649-7666.
- Coeveld, E. M., van Gent, M. R. A., Pozueta, B. (2005). *Neural Network: Manual NN\_OVERTOPPING2, CLASH WP8 - Report BV*.
- Elzinga, T., Iribarren, J. R., Jensen O. J. (1992). Movements of moored ships in harbors. *In Proceedings of 23<sup>rd</sup> International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, 3216-3229.
- Flater, D. (1998). *XTide Manual: Harmonic Tide Clock and Tide Predictor*. Technical Report, USA. URL: <https://flaterco.com/xtide>
- Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Pinheiro, L., Poseiro, P., Serrazina, V., Mendonça, A., Smithers, N., Santos, M. I., Barateiro, J., Azevedo, E. B., Salvador, M., Reis, F. V. (2020). The HIDRALERTA system: Application to the ports of Madalena do Pico and S. Roque do Pico, Azores. *Journal of Aquatic Ecosystem Health & Management*. DOI: <https://doi.org/10.1080/14634988.2020.1807295>
- Fortes, C. J. E. M. (2002). *Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos (Doctoral Dissertation)*. IST-UL.
- Gracia, V., García-León, M., Sánchez-Arcilla, A., Gault, J., Oller, P., Fernández, J., Sairouni, A., Cristofori, E., Toldrà, R. (2014). A new generation of early warning systems for coastal risk. The iCoast project. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(34), 18. DOI: <https://doi.org/10.9753/icce.v34.management.18>
- Korsemeier F. T., Lee C. H., Newman J. N., Sclavounos P. D. (1988). The analysis of wave effects on tension-leg platforms. *In proceedings of 7th International Conf. Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Houston, Texas, 1-14.
- Lane, A., Hu, K., Hedges, T., Reis, M.T. (2008). New north east of England tidal flood forecasting system. *FLOODrisk 2008, Flood Risk Management: Research and Practice*, 1377-1387.
- Mynett, A. E., Keunig, P. J., Vis, F. C. (1985). The dynamic behaviour of moored vessels inside a harbour configuration. *In proceedings of Int. Conf. on Numerical Modelling of Ports and Harbours*, Birmingham, England: 23-25 April, Cranfield: BHRA, The Fluid Engineering Centre.
- OCIMF - OIL COMPANIES INTERNATIONAL MARINE (1992). *Mooring equipment guidelines*. Witherby e Co. Ltd.
- Persson, A. (2001). *User Guide to ECMWF Forecast Products. Meteorological Bulletin M3.2*. ECMWF, August, 115p.
- PIANC - PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES (1995). *Criteria for movements of moored ships in harbors*. Technical report Permanent International Association of Navigation Congresses, PIANC Supp.to bulletin no. 88.
- PIANC - PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES (2012). *Guidelines for berthing structures related to thrusters*. PIANC, Brussels, Belgium.
- Pinheiro, L. V., Fortes, C. J. E. M., Abecasis Jalles, B. M, Santos, J. A. (2015). Simulation of wave action on a moored container carrier inside Sines' Harbour. *Maritime Technology and Engineering*, Guedes Soares and Santos (Eds) Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02727-5.
- Pinheiro, L., Fortes, C., Reis, M. T., Santos, J., Soares, C. G. (2020). Risk forecast system for moored ships, *In proceedings of vICCE (virtual International Conference on Coastal Engineering)*, 6 a 9 de outubro.
- Poseiro, P. (2019). *Forecast and Early Warning System for Wave Overtopping and Flooding in Coastal and Port*

- Areas: Development of a Model and Risk Assessment (Doctoral Dissertation)*. IST-UL.
- Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H., Van Der Meer, J. (2007). *EurOtop: Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment manual*. Kuste.
- Roelvink, D., Dongeren, A., van, McCall, R., Hoonhout, B., van Rooijen, A., van Geer, P. de Vet, L., Nederhoff, K. (2015). *XBeach Manual*. Deltares, UNESCO-IHE, Delft University of Technology.
- Santos, J. A. (1994). *MOORNAV - Numerical model for the behaviour of moored ships*. Final report, Lisbon: Report 3/94-B, Proj NATO PO-Waves.
- Stokes, K., Poate, T., Masselink, G., King, E., Saulter, A., Ely, N. (2021). Forecasting coastal overtopping at engineered and naturally defended coastlines. *Coastal Engineering*, 164, 103827.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>
- SWAN TEAM (2006). *Swan User Manual version 40.51*. Department of Civil Engineering and Geosciences, Delft university of Technology, Delft, The Netherlands, 111 p.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS - USACE (2002), Coastal Engineering Manual (CEM), Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (6 volumes).
- Van der Meer, J. W., Van Gent, M. R. A., Pozueta, B., Verhaeghe, H., Steendam, G.J., Medina, Jr. (2005). Applications of a neural network to predict wave overtopping at coastal structures. *In proceedings of ICE Coasts, Structures & Breakwaters'05*, Thomas Telford, London, 259-268.
- van Dongeren, A., Ciavola, P., Martinez, G., Viavattene, C., Bogaard, T., Ferreira, O., Higgins, R., McCall, R. (2018). Introduction to RISC-KIT: Resilience-increasing strategies for coasts. *Coastal Engineering*, 134, 2-9.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.10.007>
- Van Gent, M. R. A., Pozueta, B., Van Den Boogaard, H. F. P., Medina, Jr. (2005). *D42 Final Report on Generic Prediction Method*. CLASH WP8 Report, Delft, Holanda, 33 p.
- Van Gent, M. R. A., Van Den Boogaard, H., Pozueta, B., Medina, J. (2007). Neural network modeling of wave overtopping at coastal structures. *Coastal Engineering*, 586-593.
- WAMDI Group (1988). The WAM Model - A third generation ocean wave prediction model. *J. Physical Oceanography*, 18, 1775-1810.
- Zelinsky D. A. (2019). *National Hurricane Center Tropical Cyclone Report: Hurricane Lorenzo (AL132019)*. NOAA/NWS, 22 p.  
URL: [www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL132016\\_Lorenzo.pdf](http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL132016_Lorenzo.pdf)
- Zijlema, M. Stelling, G., Smit, P. (2011). SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coastal Engineering*, 58(10), 992-1012.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/J.COASTALENG.2011.05.015>

(Página deixada propositadamente em branco)



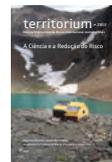
RISCOS

territorium 28 (II), 2021, 169-184

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

DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-2\\_12](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_12)

Nota / Note



REDUÇÃO DE RISCOS DE DESASTRES (RRD) E INTERNACIONALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO:  
OS GRUPOS DE PESQUISA DO ESPÍRITO SANTO (BRASIL)\*

DISASTER RISK REDUCTION (DRR) AND INTERNATIONALIZATION OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE:  
THE RESEARCH GROUPS OF ESPÍRITO SANTO (BRAZIL)

Emmanuel Gorza Ferreira

Universidade Vila Velha (Brasil)

ORCID 0000-0002-1291-2141 [emmanuel\\_ferreira@hotmail.com](mailto:emmanuel_ferreira@hotmail.com)

Teresa Cristina da Silva Rosa

Universidade Vila Velha (Brasil)

Laboratório Núcleo de Estudos Urbanos e Socioambientais

ORCID 0000-0001-6613-5088 [tsrosaprof@gmail.com](mailto:tsrosaprof@gmail.com)

RESUMO

A emergência de atores além Estado na gestão de riscos é um fato reconhecido pelos marcos internacionais de Sendai e Hyogo para Redução de Riscos de Desastres (RRD). A comunidade científica é um destes atores. A presente pesquisa objetivou compreender a dinâmica de divulgação do conhecimento científico sobre RRD produzido pela comunidade científica do Espírito Santo (Brasil) na perspectiva da internacionalização da ciência. Para a busca das produções científicas capixabas (ou espírito-santenses), utilizou-se o diretório de grupos de pesquisas e a plataforma *Lattes* do CNPq dos seus líderes. Analisaram-se as produções desde 2010 até junho de 2019 em termos da internacionalização através de duas categorias de publicações: trabalhos publicados em anais de congressos internacionais e artigos científicos publicados em periódicos internacionais, em língua inglesa ou com co-autores estrangeiros. Os resultados apontam a possibilidade futura de um *soft power*, dada a evolução capixaba ao longo da década estudada, porém dependente do esforço de órgãos de fomento nacionais e estaduais e de suas políticas públicas de produção e disseminação de conhecimentos voltadas para RRD.

**Palavras-chave:** Redução de Riscos de Desastres, internacionalização do conhecimento, produção científica, grupos de pesquisa, Espírito Santo.

ABSTRACT

The emergence of actors other than the State in risk management is recognized by Sendai and Hyogo International F for Disaster Risk Reduction (DRR). The scientific community is one of these actors. This research aims to understand the dynamics of dissemination of scientific knowledge about DRR produced by the scientific community of Espírito Santo (Brazil) from the perspective of the internationalization of science. For the search of scientific production in Espírito Santo, we used the directory of research groups and the *Lattes* platform (from CNPq) of its leaders. The production from 2010 to June 2019 were analysed in terms of internationalization through two categories of publications: papers published in the fields of international conferences and scientific articles published in international journals, in English or with foreign co-authors. The results indicate the future possibility of a soft power given the evolution of Espírito Santo citizens throughout the decade studied, but dependent on the effort of national and state funding agencies and their public policies for the production and dissemination of knowledge focused on DRR.

**Keywords:** Disaster Risk Reduction, internationalization of knowledge, scientific production, research groups, Espírito Santo.

\* O texto desta nota corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 11-01-2021, sujeito a revisão por pares a 11-02-2021 e aceite para publicação em 09-03-2021. Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

O número de desastres que vem atingindo as populações no Brasil tem aumentado progressivamente nos últimos anos (Sausen, Lacruz, 2015). Estes desastres ocorrem em diferentes áreas do país, mas as áreas urbanas vêm sendo as mais atingidas. E diversos atores/agentes procuram estabelecer estratégias de enfrentamento dentro da perspectiva da redução de riscos de desastres (RRD). Assim, Sulaiman e Jacobi (2018, p. 54) afirmam que “[...] é necessário promover uma cultura focada na prevenção, ao incentivar novas mentalidades e comportamentos que contribuam para a redução de risco de desastre”. É neste contexto que o presente trabalho se insere, como esforço em favor da divulgação de conhecimento em nível internacional, se voltando para a produção em RRD da comunidade científica do Espírito Santo (ES), também chamada de comunidade científica capixaba.

Assim como outras regiões costeiras do país, o estado brasileiro do Espírito Santo inicia o seu processo de desenvolvimento urbano a partir de 1960-70 (Castiglioni, 2019). Neste sentido e aliado a este processo, se instalam, de um lado, grandes projetos de desenvolvimento econômico e, de outro, uma ocupação dos ecossistemas locais de modo desordenado (Da Silva Rosa *et al.*, 2018). Baseada numa relação Sociedade-Natureza de viés antropocêntrico (Küster, *et al.*, 2015), esta trajetória desenvolvimentista vai expor ao risco populações, principalmente, as mais vulnerabilizadas pelos processos de desenvolvimento e urbanização economicamente centrados.

A questão da RRD pode ser relacionada à área das Relações Internacionais (RIs) quando esta procura compreender as relações entre os diferentes atores, não somente entre Estados (países), mas também considerando a diversidade de atores sociais não estatais em níveis que vão da esfera do internacional até a esfera do local ou seja, do território. Os atores locais podem ser contextualizados aqui como agentes sociais ou econômicos, podendo ser indivíduos ou instituições que realizam ou desempenham atividades, ou, então, estabelecem relações num determinado território, muitas vezes, pode ser incentivado à internacionalização quando esta beneficia a sua causa.

A internacionalização de estudos científicos em RRD pode ser benéfica para a ampliação de conhecimentos na temática de RRD, por exemplo, na percepção de problemas comuns e também no enriquecimento da discussão deste tema em diferentes realidades histórico-culturais, socioeconômicas, políticas, geográficas e climáticas contribuindo para as formas e ações de enfrentamento dos riscos e dos desastres. Logo, entende-se que a produção de conhecimento em RRD pode, em tratando de problemáticas de cunho local ou regional e ao se internacionalizar, pode servir como

incentivo ao surgimento de mais produções na área em outras regiões no sentido de incentivar um maior engajamento para a temática por outras comunidades científicas bem como estender a compreensão sobre a processo de construção de riscos de desastres além de promover o compartilhamento de ações, entendidas como sendo boas práticas. Vale ressaltar que, desta forma, a internacionalização deste conhecimento reforça as recomendações onusianas para RRD tal como posto no Marco de Sendai: “*Promover esforços comuns, em parceria com a comunidade científica e tecnológica, a academia e o setor privado para criar, divulgar e compartilhar boas práticas em nível internacional*” (UNISDR, 2015, p. 12).

Esta comunicação buscou compreender a dinâmica de divulgação do conhecimento científico sobre RRD produzido pela comunidade científica do Espírito Santo (Brasil) na perspectiva da sua internacionalização através do levantamento da produção deste. O mapeamento vai apontar, de um lado, os temas de maior interesse dos pesquisadores capixabas identificados através do recurso de nuvem de palavras; e de outro, a internacionalização desta produção científica em publicações de caráter internacional. Portanto, a discussão dos resultados irá, dentro do contexto capixaba, elucidar temas relativos aos estudos dos riscos de desastres.

Da mesma forma que a comunidade científica espírito-santense (comumente chamada de capixaba) se beneficia da influência de conhecimentos produzidos em outros países (em geral, centrais e hegemônicos), busca-se discutir o potencial de influência do conhecimento na perspectiva do *soft power*. Para Nye (p. 94-109, 2008), “*Soft power é a capacidade de afetar outros para obter os resultados que se quer através da atração em vez de coerção ou pagamento. O poder suave de um país repousa em seus recursos de cultura, valores e políticas*” (tradução livre dos autores). Nesta perspectiva, a divulgação científica e internacionalização deste conhecimento pode ser vista como um elemento estratégico de influência de um Estado sendo ambos reforçados por políticas públicas de fomento à produção científica. Esta estratégia pode incentivar a ação de atores não governamentais na esfera internacional, podendo ser benéfica às comunidades e à própria sociedade civil ao disseminar, por exemplo, as boas práticas em RRD em nível internacional como sugere o Marco de Sendai além de uma noção de cultura conjunta de desenvolvimento sustentável internacional englobando economia, qualidade de vida, educação, acesso à informação, saúde e distribuição menos desigual de renda (Romeiro, 2012).

Cabe aqui ressaltar a importância da proatividade de atores locais desta comunidade em estados brasileiros não tão hegemônicos, como São Paulo, quanto aos

seus esforços para se manterem em uma interconexão internacional através da divulgação dos conhecimentos produzidos. O Brasil é um país territorialmente muito vasto e as suas questões geográficas podem influenciar bastante diferenças socioeconômicas, culturais e políticas que podem afetar questões relativas à RRD bem como a própria evolução de estudos sobre a temática. Além disso, as ofertas e oportunidades relacionadas à acesso a bolsas de estudo e financiamentos de pesquisa são desiguais dependendo de cada região ou estado. Logo, é de suma importância a análise das práticas de produção científica em RRD por parte de estados menos hegemônicos como é o caso do Espírito Santo.

É no contexto da RRD e, mais abrangente, do desenvolvimento sustentável que se insere a relevância da pesquisa cujos resultados são aqui apresentados. Além disto, a RRD e as RIs discutem temáticas contemporâneas diversas sobre as quais os diferentes atores sociais se posicionam politicamente numa agenda internacional bem como local. As declarações e os acordos estabelecidos no âmbito internacional são exemplos que vão, também, no caso específico da RRD, reforçar a necessidade de inserir a comunidade científica como um ator e o conhecimento científico como sendo um balizador importante (UNISDR, 2015).

A crescente preocupação internacional referente ao aumento de desastres conduziu a Assembleia-Geral da ONU, em 1989, a aprovar a resolução 44/236 que designava a década de 90 como sendo a Década Internacional para a Redução de Desastres Naturais/DIRDN (Rodrigues, 2018) marcando o início da ascensão dos esforços em RRD em nível mundial. Esta estratégia internacional representou o culminar de um longo processo de reflexão que se concretizou, em 2005, no Quadro de Ações de Hyogo, que perduraria como um esforço internacional de alcance dos objetivos para a RRD entre os períodos de 2005 a 2015. A implantação do referido quadro teve um progresso na integração da RRD nos níveis local e nacional pelas partes interessadas, levando a uma diminuição dos danos, em específico, da mortalidade no caso de alguns desastres (A/CONF.224/L.2 e Corr.1, cap. I, resolução 2, 2015). A criação do quadro incentivou a articulação entre atores sociais focados na questão da RRD, o que inclui a comunidade acadêmico-científica voltada para esta área e, baseando-se nos registros de pesquisa aqui realizados e encontrados, observa-se que os resultados relativos à internacionalização capixaba em RRD começaram a sair do zero dentro deste recorte temporal, de acordo com a pesquisa CNPq e Lattes. Além disso, com vistas a ampliar a meta de Hyogo e reforçar a necessidade de implantação de novas estratégias, um novo acordo foi adotado.

O marco pós-2015 para a RRD foi adotado na Terceira Conferência Mundial sobre a Redução de Riscos de Desastres, realizada de 14 a 18 de março de 2015,

em Sendai, Miyagi, no Japão, ficando conhecido, em português, como o “Marco de Sendai”, que se tornou o atual conjunto de medidas e objetivos para o desenvolvimento das RRD nas nações signatárias do projeto na ONU, renovando, reformulando e adicionando propostas para a meta final até 2030 (UNISDR, 2015). Este documento delimita cinco prioridades de ação: 1.) Garantir que a RRD seja uma prioridade nacional e local, com uma forte base institucional para sua aplicação, o que reforça a importância da pesquisa do tema pela comunidade científica; 2.) Identificar, avaliar e monitorar os riscos de desastres, o que pode ser objeto de estudos por pesquisadores da área; 3.) Melhorar o aviso prévio, que pode ser intensificado com a maior disseminação dos conhecimentos tanto localmente quanto internacionalmente; 4.) Usar conhecimento, inovação e educação para construir uma cultura de segurança e resiliência em todos os níveis, o que consolida a importância da área temática para a ciência; 5.) Reduzir os fatores de irrisgação subjacentes e fortalecer a preparação para desastres, para que possamos responder de maneira eficaz em todos os cenários, o que se remete ao acesso a conhecimentos e saberes de modo a contribuir para a maior resiliência (General Assembly, 2015). Fica evidente a importância da comunicação entre os setores locais e nacionais principalmente para a dar maior agilidade ao processo de RRD, buscando motivar um trabalho conjunto dos diferentes atores sociais respeitando as recomendações estabelecidas pela comunidade internacional. Dentre estes atores, vale ressaltar o papel da comunidade científica tanto na produção quanto na disseminação do conhecimento como forma de contribuir para a maior resiliência das populações.

Se, até década de 1980, o Brasil pouco avançou na área de prevenção de desastres, o mesmo não se pode dizer sobre a década de 2010 quando foi aprovada a sua Política Nacional de Proteção e Defesa Civil onde de acordo com o “Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC, autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres e dá outras providências” (Casa Civil, 2012). O Marco de Ações de Hyogo e o Marco de Sendai adotados reafirmaram a necessidade, em nível nacional, de uma política capaz de reforçar as ações no Brasil através do alinhamento das especificidades brasileiras com as prioridades do último marco. Esta política se torna, assim, um instrumento que orienta as ações de RRD no país.

Para apoiar a implementação deste Sistema Nacional, uma das medidas sugeridas é a de fortalecimento da área de pesquisa, especificamente no estabelecimento de uma rede de pesquisadores bem como na definição

de uma agenda de pesquisas (Portella, 2017) na área de RRD. Considerando a importância deste fortalecimento, compreende-se que uma das estratégias pode ser a internacionalização da comunidade científica através, por exemplo, da disseminação do conhecimento produzido em periódicos de circulação internacional bem como a associação ou cooperação com grupos de pesquisadores estrangeiros entre outras estratégias (Alisson, 2013 *apud* Farias, 2017). Apesar de o Brasil ser um país de governo democrático não federativo, mas, sim, centralizado, ou seja, com menor autonomia para os estados, o fomento nacional à internacionalização pode ser verificado inclusive em nível estadual, como veremos posteriormente, através de editais das suas agências de fomento, dentre outros investimentos.

Como proposto acima, compreende-se que o processo de internacionalização da produção científica pode ser um fator de consolidação desta área de estudo. Neste sentido, a conjugação de esforços tanto do estado brasileiro bem como de outros países é fundamental, proporcionando uma maior dispersão da RRD e dos seus conhecimentos, que, ao ser massificada, pode funcionar como engrenagem motriz dos meios para a alcance dos objetivos estabelecidos pelo estado brasileiro sob recomendações do Marco de Sendai de uma sociedade mais resiliente, ou seja, com capacidade de resposta e de enfrentamento aos desastres.

Neste contexto, procuraremos verificar se a internacionalização da ciência capixaba em RRD pode refletir o esforço do estado brasileiro através de instituições nacionais e estaduais, como veremos no capítulo da Revisão da Literatura. Além disso, conversaremos com temáticas relevantes à área de riscos e desastres ao trazermos os temas mais abordados das produções dos líderes de grupos de pesquisas capixabas em RRD. Isso trará um retrato regional/local e temporal sobre a temática (fig.1 e 2). E finalmente, elucidaremos o que foi feito pela internacionalização espírito-santense quanto às publicações em RRD destes líderes dentro do recorte temporal da pesquisa (fig. 3 e 4), sendo esse um modo de trazer à tona as temáticas mais abordadas por suas produções, bem como trazer um pouco da realidade capixaba relativa à riscos para um campo de discussão também internacional.

Este artigo está organizado em dois tópicos principais que consistem em: (1) uma revisão de literatura sobre Relações Internacionais, RRD e internacionalização da ciência e da produção de conhecimento como estratégia de *soft power*; (2) uma apresentação da metodologia utilizada no levantamento de dados e uma discussão dos resultados encontrados através do mapeamento de obras (artigos e publicações em anais de congressos internacionalizados) capixabas em RRD e a sua relação com o *soft power* apreendido como uma estratégia de internacionalização.

## Revisão da literatura

Esta parte visa trazer um levantamento de informações sobre a internacionalização científica em RRD como instrumento de *soft power* em um mundo cada vez mais interdependente, abordando os meios de fomento à internacionalização brasileira e capixaba, trazendo também autores capixabas, brasileiros, e internacionais em RRD.

É imprescindível o estudo sobre as relações de poder entre as ações na área de Relações Internacionais. Um dos principais instrumentos de manutenção de tais relações foi nomeado por Joseph Nye em 1980 como *Soft Power* e conceituado em seu livro "*Soft Power: The means to Success in World Politics*" (Nye, 2005). Esta visão consiste em acionar instrumentos inter e trans estatais de utilização da atração e do convencimento sob a ótica das RI de forma a não se utilizar da coação através da força (*hard power*). Tal instrumento pode ser colocado em prática em uma grande variedade de áreas, temáticas e possibilidades, se estendendo de relações econômicas a questões socioculturais, políticas etc. e traz consigo um dos grandes paradigmas do século XXI abordado por Nye e Keohane (1977) denominado como interdependência complexa. Desde a sua proposição teórica pelos autores, a interdependência complexa fortalece cada vez mais a noção de *soft power* por colocar luz sobre atores até então marginais perante as visões clássicas das RIs, sobre a interação entre os diferentes elementos que compõem o Sistema Internacional, bem como temáticas da Agenda Internacional, se distanciando, assim, da visão do realismo das RIs. Na citação abaixo, Keohane e Nye procuram definir o que seria essa perspectiva teórica:

*"Como seria o mundo se três pressupostos básicos do realismo fossem invertidos? Esses pressupostos são que os Estados são os únicos protagonistas importantes, a força militar é o instrumento dominante e a segurança é a meta dominante. Ao contrário, podemos postular uma política mundial muito diferente: 1) Os Estados não são os únicos protagonistas importantes - protagonistas transnacionais atuando através das fronteiras de Estados são os maiores agentes; 2) A força não é o único instrumento importante - a manipulação econômica e o uso de instituições internacionais são os instrumentos dominantes; e 3) A segurança não é meta dominante - a guerra é meta dominante. Podemos rotular esse mundo antirrealista de interdependência complexa"* (Keohane, Nye Jr., 1988, p. 264, como citado em Cademartor, 2016).

Dentro desta perspectiva, o fomento à internacionalização científica, reforçado em alguns países por ações de Organizações Internacionais que, para Keohane e Nye, são um dos sustentáculos de uma interdependência

complexa, pode estar inserido no espectro de execução do *soft power*. Para acompanhar a intensificação destas tendências que são fruto de um mundo cada vez mais interdependente, é interessante ressaltar os estudos de Herz (1997) sobre o debate no entorno do papel das Instituições Internacionais, do retorno da dimensão cultural à pesquisa nas Relações Internacionais e da nova legitimidade de estudos de caráter normativo. Para o tema central deste artigo, é importante atentarmos o protagonismo de Instituições Internacionais como a ONU e seus trabalhos que, dentre muitas outras ações e feitos fundamentais ao longo das décadas, sendo ela a responsável pelos Quadros de Ação de Hyogo (2005-2015) e de Sendai (2015-2030) sobre RRD. Em seus documentos finais, ambos os marcos chamam a atenção para o papel dos centros de promoção de cooperação regional para a Redução de Riscos de Desastres (Freitas, *et al.*, 2019). que, como explicitado anteriormente, lançam uma luz sobre o papel da cooperação científica e internacionalização.

Neste projeto de internacionalização científica, organismos de fomento à ciência em nível nacional e subnacional são fundamentais. Para tanto, no Brasil, tanto o Espírito Santo como outros estados brasileiros contam com instrumentos governamentais e mistos, consistindo em instituições de pesquisa ou de fomento à pesquisa onde estão situados os pesquisadores. Dentre as instituições de fomento à pesquisa, vale citar: A CAPES/MEC que desde 2007 possui uma Diretoria de Relações Internacionais que visa, através de parcerias internacionais, fornecer bolsas de estudos para pesquisadores, grupos de pesquisa e instituições acadêmicas (PNPG CAPES, 2011). Em 2018, o investimento foi de 300 milhões de reais e 36 instituições de ensino e pesquisa foram selecionadas para serem beneficiadas. (CAPES/MEC, 2018); O CNPq/MCTIC que atua na internacionalização desde 1951, possuindo convênios e parcerias estabelecidos com instituições de ciência e tecnologia em 35 países. Além disso, ele atua conjuntamente com países lusófonos como Portugal, Moçambique, Cabo Verde, São Tomé e Príncipe (CNPq, 2018); A FINEP a qual selou em 2020 acordos de cooperação bilateral com instituições da Espanha, França, Finlândia, Noruega, Reino Unido, Suécia, Holanda e Canadá para oferecer apoio à execução de projetos cooperativos apresentados por brasileiros e estrangeiros em parceria (FINEP, 2020). Além destas instituições, vale ressaltar outras instituições de desenvolvimento de pesquisa com reconhecimento internacional: O Instituto Butantan, cujas pesquisas frequentemente atuam em conjunto com centros de pesquisas de outros países, possuindo vacinas e soros exportados para cerca de 30 países conseguiu, em 2018, a patente para produção de vacinas contra dengue nos Estados Unidos (Carta Campinas, 2018); A Fundação Oswaldo Cruz que oferece cursos de mestrado em países como Argentina, Moçambique e Angola e participa de várias redes colaborativas internacionais

do Cone Sul além de colaborar conjuntamente com o Programa Institucional de Internacionalização (Print) da CAPES (Fiocruz, 2020); A Embrapa que atua com a Agência de Promoção de exportações e Investimentos (Apex) que juntas apoiam 14 mil empresas relacionadas ao mercado internacional e está realizando 53 projetos em parcerias com entidades nacionais e internacionais representativas do setor privado (Embrapa, 2020); O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) que realizou em 2017 parcerias específicas com 14 diferentes institutos de pesquisas espaciais de outros países além de incentivar a vinda de pesquisadores estrangeiros renomados para trabalhar em projetos de pesquisas brasileiros (INPE, 2017).

Todas estas instituições brasileiras revertem parte de seu capital para reforçar e subsidiar a internacionalização de pesquisas e pesquisadores, proporcionando, ao Brasil, à sua ciência e aos brasileiros, a oportunidade de fomento às ideias e sugestões incentivadas por Organizações Internacionais em seus documentos. No recorte deste artigo, a temática RRD é um exemplo desta oportunidade.

Em nível estadual, podem ainda, ser citadas as Fundações de Amparo à Pesquisas (FAPs), junto do Conselho Nacional das Fundações de Amparo à Pesquisa (Confap), que já investiu mais de 100 milhões de reais em programas de internacionalização (FAPES, 2016). É no espectro das FAPs que se insere a FAPES. Ela atua como instituição de fomento à internacionalização da produção acadêmico-científica do estado do Espírito Santo (FAPES, 2020). ao fornecer através de seus editais, bolsas para estudantes, pesquisadores, apoios para projetos inovadores, organização de eventos científicos no estado e apoio para publicações de artigos técnico-científicos capixabas, com diferentes programas relacionados à internacionalização científica de pesquisas e pesquisadores do estado quase todos os meses do ano (FAPES, 2020). Em seu âmbito, é que pode ocorrer a internacionalização científica em RRD partindo do espectro local.

O caráter normativo da internacionalização pode ser associado às pesquisas desenvolvidas em instituições brasileiras que reúnem estudos e produções científicas sobre RRD e buscam sua internacionalização. Já a dimensão cultural e territorial aqui abordada se encontrará com foco no estado do Espírito Santo, onde o mapeamento da produção científica dos líderes dos grupos de pesquisa capixabas foi feito. Acredita-se que com tal mapeamento seja possível a compreensão do modo pelo qual a comunidade científica capixaba está procurando se inserir no cenário internacional da governança em RRD como um dos seus atores. Deste modo, este artigo procura fazer uma análise do potencial dos artigos capixabas mapeados nessa temática bem como sua parcela de internacionalização contribuindo na produção científica em RRD além de observar, separadamente, o potencial de internacionalização através do detalhamento na

participação de pesquisadores associados a grupos de pesquisa em instituições de ensino e pesquisa na autoria dos trabalhos identificados, além daqueles que possuem publicações em Anais de Congresso Internacionais.

Do ponto de vista acadêmico-científico, a internacionalização dos estudos em RRD faz-se necessária ao trazer diferentes experiências, estudos e contribuições para a área e torná-los acessíveis ao redor do mundo num esforço de “*compartilhar conhecimentos e boas práticas*” (*Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*, 2015, p. 14 (tradução nossa)). É evidente o caráter global do problema dos desastres. Como exemplo deste caráter, Freitas e Portella (2017) são pesquisadores de instituições brasileiras (LabRed e Fiocruz, respectivamente) e estudam os desafios da criação e ação de uma rede brasileira de pesquisa em Redução de Risco e Desastres. Já a autora americana Mercer (2010) discute se políticas e estratégias mais agressivas para a RRD como as adotadas na Nova Guiné estão surtindo efeito e se são passíveis de adoção para outros países muito acometidos com as mudanças climáticas. Pesquisadores como o peruano Ulloa (2011) abordam a grande mudança dos meios de comunicação social e, baseado nisso, traçam as novas estratégias para disseminação dos estudos em RRD. Neste sentido, a importância do fomento à internacionalização e conexão global do conhecimento em RRD é inerente não apenas à própria existência desta área de estudo bem como é de interesse da população em geral na perspectiva de uma agregação de um conhecimento cada vez maior e mais global de modo a contribuir para a mitigação das vulnerabilidades das populações, sejam elas de onde forem, e para a gestão dos riscos de desastres.

#### **Ciência como *soft power*: o caso da produção científica Capixaba em RRD e da sua internacionalização**

Esta parte visa demonstrar o desenho metodológico, e posteriormente ilustrar os resultados através de gráficos que trarão os resultados da pesquisa, seguidos de sua discussão e interpretação.

##### ***Desenho metodológico***

O desenho metodológico adotado para o mapeamento dos artigos publicados de líderes de grupos de pesquisas científicas capixabas sobre a temática RRD envolveu duas etapas:

- Etapa de levantamentos: (1.a) dos grupos de pesquisa no Espírito Santo registrados no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq até junho de 2019 (CNPQ, 2019); (1.b) da produção científica (artigos) de líderes de grupos espírito-santenses entre 2010 até junho de 2019 (CNPQ e Lattes, 2019), além do mapeamento de publicações em RRD apresentadas em Anais de

Congresso internacionais por autores capixabas. Para ambos os levantamentos foram empregadas as seguintes palavras-chave: Redução de Riscos de Desastres; Riscos de Desastres; Riscos; RRD; Desastres;

- Etapa de sistematização dos dados levantados através da construção de um gráfico e dois mapas que tratam dos dados coletados na pesquisa, os quais serão detalhadamente discutidos ao longo do texto: um quadro com as palavras-chave mais frequentes nas publicações mapeadas de modo a produzir uma nuvem de palavras (fig. 2) - é um gráfico digital que mostra o grau de frequência das palavras em um texto. Quanto mais a palavra é utilizada, mais chamativa é a representação dessa palavra no gráfico. As palavras aparecem em fontes de vários tamanhos e em diferentes cores, indicando o que é mais relevante e o que é menos relevante no contexto (A Rede, 2015) - onde essa representação visual de uma lista hierarquizada das palavras/termos mais frequentes orientou a meta-análise do *corpus* selecionado. A partir do mapeamento da produção de autores-líderes de grupos capixabas, foi feito um trabalho analítico buscando verificar em que medida esta produção pôde contribuir para a internacionalização do conhecimento. Como estratégias de internacionalização do conhecimento e/ou da comunidade científica, podem ser citadas: disseminação do conhecimento produzido em periódicos de circulação internacional bem como a associação ou cooperação com grupos de pesquisadores estrangeiros entre outras estratégias (Alisson, 2013 *apud* Farias, 2017). Os preceitos aqui considerados para a análise da internacionalização das obras contidas no espectro de pesquisa se baseiam em alguns aspectos: tratam-se de autores brasileiros com obras apresentando ao menos uma das seguintes características: disposição da publicação em outro idioma além do português; participação de autor(es) ou co-autor(es) estrangeiro(s); publicações em redes internacionais de conhecimento.

O desenvolvimento deste artigo é composto por quatro subtópicos, sendo o primeiro referente a um gráfico temporal da produção de artigos por autores de líderes de grupos capixabas (fig.1) que demonstra a produção em cada ano da década passada (2010-2019), além de justificar os limites da pesquisa nesse recorte de tempo. O segundo subtópico se refere a Nuvem de Palavras (fig. 2) detalhada acima. Os dois subtópicos seguintes foram elaborados para indicar o desempenho da difusão internacional capixaba, sendo: o primeiro (1) indica através da fig.3 a distribuição da participação de autores capixabas em RRD que obtiveram publicações em Anais de Congressos no escopo internacional, levando em consideração o número de produções publicadas em anais internacionais na área RRD. O segundo (2),

revela, a distribuição de artigos em RRD publicados pelos autores capixabas líderes dos GPs mapeados na pesquisa em plataformas internacionais (fig. 4), sendo elas: Elsevier; *Estudios Rurales*; *Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati* (SISSA); *Canadian Center of Science and Education* (CCSE), totalizando 6 dentre os 10 artigos internacionalizados.

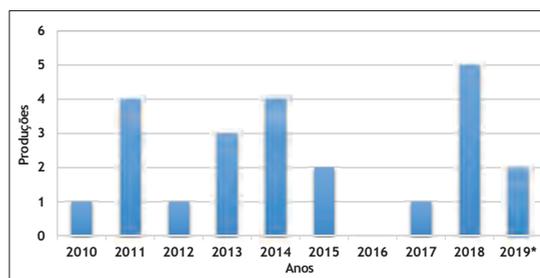
O desenho metodológico aqui adotado tem limites. Por exemplo, existem pesquisadores que trabalham nesta área temática, mas, por força dos procedimentos metodológicos selecionados para este estudo, os grupos aos quais eles estão ligados podem não ter sido identificados pelo motor de busca do diretório do CNPq quando empregadas as palavras-chave da pesquisa bem como o recorte temporal. Além disso, se na descrição do grupo de pesquisa não tiver sido inserido pelo líder nenhuma das palavras chaves, o motor de busca não terá condições de identificá-lo. Como este mapeamento é uma etapa inicial da pesquisa, a limitação metodológica vai, de certa forma, aparecer, ainda, no estudo sobre a internacionalização, pois a produção analisada está atrelada aos limites citados.

#### ***Grupos de pesquisa capixabas que abordam a RRD: análise da publicação de artigos***

Este tópico visa a análise do recorte temporal da pesquisa. Também busca contextualizar o surgimento do interesse na produção de conhecimento científico sobre redução de riscos de desastres no estado por parte dos líderes de grupos de pesquisas (GP) do Espírito Santo mapeados dentro do motor de busca descrito na metodologia.

O presente estudo apreende a temática de RRD como integrando o rol de temáticas ambientais. Neste sentido, vale lembrar que tais temáticas, tradicionalmente, são de interesse das Ciências Naturais sendo, mais recentemente, objeto das Ciências Sociais e Humanas (Hannigan, 2009). Estas últimas passam a se interessar por tais temáticas quando estas passam a ser apreendidas como um fenômeno ou problema social, integrando, por conseguinte, a agenda científica. O Brasil reproduz esta tendência mundial. Este interesse tardio provavelmente vai, também, se referir à temática de RRD visto que no país e no mundo a área de pesquisa de riscos, historicamente, é de interesse, inicialmente, da engenharia e geotecnia (Wisner *et al.*, 2003; Quarantelli, 2005; Mattedi, 2017).

O interesse tardio pela área de RRD se refletiu no levantamento feito quando se observou que nenhum dos líderes identificados pela metodologia empregada no estudo havia publicação em RRD anterior a 2010. Isso justifica o recorte temporal de busca a partir de 2010. As publicações encontradas empregam as palavras-chave da pesquisa a partir do ano de 2010 até junho de 2019 consultando-se os Lattes de cada líder capixaba (fig. 1).



\* O valor pode sofrer alterações, pois a pesquisa foi realizada até junho de 2019. The value may change, since the survey was conducted until June 2019.

Fig. 1 - Produções em RRD por ano no Espírito Santo (Fonte dos Dados: Currículo Lattes, 2019).

Fig. 1 - DRR productions per year in Espírito Santo (Data source: Lattes Curriculum, 2019).

Um outro aspecto sobre o ES a chamar a atenção é a sua história ambiental. A sua região urbana - onde se localiza a capital Vitória e municípios satélites - também conhecida como região metropolitana da Grande Vitória (RMGV) ilustra o processo de modernização e internacionalização de sua economia com o desenvolvimento periférico tardio do estado e o consequente processo de urbanização de seu território.

*“A partir da década de 1980, consolidou-se no Estado uma economia urbano-industrial, caracterizada por uma estrutura produtiva diversificada, com ênfase no comércio e na industrialização. Os novos focos de dinamismo que se anunciavam na estrutura produtiva e gradativamente se consolidaram, privilegiaram a região da capital e suas redondezas que passaram a concentrar os investimentos e a população”* (Castiglioni, 2009, p. 100).

Além de tardia, sua urbanização não planejada se deu em um relativo curto período de tempo, de forma acelerada. Para Oliveira, Moreira e Lyra (2005), o crescimento urbano da RMGV foi marcado pela expansão da periferia, principalmente por meio de invasões e loteamentos clandestinos em morros, baixadas e mangues posteriormente aliado à construção em massa de habitações populares de baixo padrão. Esta ocupação de áreas de preservação permanente (APP) sem intervenção do poder público, além de fragilizar os ecossistemas, colaborou para a vulnerabilização das comunidades no enfrentamento de desastres.

Evidenciando que o processo de construção de risco tem um caráter histórico-social, esta história ambiental pode ser apreendida, assim, como um dos fatores explicativos do interesse tardio de pesquisas e produção de RRD como apontado acima. Ou seja, é compreensível que as preocupações da população e da comunidade científica das ciências sociais e humanas se voltem para um objeto quando o mesmo apresenta visibilidade em nosso



dois autores com artigos relacionados à área de engenharia ambiental e sanitária, voltados para temas tais como atividades de conservação ambiental, o desenvolvimento de métodos para diminuir a poluição ambiental, a avaliação do impacto ambiental, entre outros. Isso, em teoria, dialoga com as outras palavras-chaves aparecendo na nuvem - empresas, sustentabilidade - e que norteiam o debate tanto na esfera local quanto internacional. Uma outra publicação que mostra este diálogo é Barroso e Alencar (2014), que falam sobre a regularização ambiental como um procedimento a ser realizado por pessoas físicas e jurídicas toda vez que pretendem iniciar ou já tiverem iniciado uma atividade ou empreendimento sobre qualquer forma de se utilizar dos recursos naturais. Cabe esclarecer que esta regularização está prevista em lei federal brasileira (Lei 12.651 de 25/05/2012 (Brasil, 2012).

A segunda palavra com maior frequência é “empresas”, provavelmente indicando um interesse do conjunto de artigos analisados para a relação destas com o meio ambiente em contexto de sociedade capitalista ocidental. Mesmo que as empresas possuam em sua maioria uma base economicamente centrada, elas podem atuar em favor da redução de riscos de desastres. Hahn *et al.* (2010, p. 6) atentam, na citação, para o papel dos atores econômicos na busca de ações mitigadoras: “[...] em relação à subscrição de riscos ambientais [...], que apresentem soluções adequadas aos empresários e que passem a questionar a sua exposição a esse tipo de risco”. Além disso, o Marco de Sendai coloca que as empresas devem integrar o risco e o desastre em sua gestão, indicando a necessidade de um trabalho colaborativo entre elas e de atores como a comunidade científica no alcance de tal objetivo (UNISDR, 2015). O debate sobre empresa numa perspectiva da RRD levanta o questionamento sobre a relação entre economia e meio ambiente ou da sustentabilidade ou da insustentabilidade do sistema capitalista (Andrade, 2008; Cavalcante 2010) que a agenda internacional da RRD coloca como sendo temáticas inter-relacionadas.

Neste contexto de empresas, vale mencionar a publicação parte do corpo analisado de Nossa *et al.* (2015) que trata dos “acidentes ambientais”, podendo estes terem uma origem natural ou ocorrer por intervenção humana. Em seu conteúdo, os autores trazem o papel dos seguros (quarta palavra mais frequente segundo a nuvem) como mecanismo de ajuda na diminuição dos passivos ambientais causados pelas empresas, os seguros de riscos ambientais e o nível de oferta desses seguros no Brasil. Cabe lembrar que os passivos ambientais são definidos como todo o tipo de impacto adverso causado ao meio ambiente por um determinado empreendimento e que ainda não tenha sido reparado (Ribeiro e Gratão, 2000). A redução de passivos ambientais das empresas é um tema que pode, de alguma forma, contribuir para a sustentabilidade de empreendimentos poluidores, desde

que sejam preocupação antes da implantação de suas atividades. Neste contexto, outra publicação do corpus, Nossa S.N (2017), aborda a sustentabilidade empresarial.

Quanto à palavra “sustentabilidade”, ela ocupa a terceira posição dentre aquelas de maior frequência. Dentro do corpus analítico, Silva Júnior, Vasconcelos e Silva (2013) abordam os ambientes dos negócios sustentáveis. Já Nossa, Teixeira e Funchal (2011) discutem o índice de sustentabilidade empresarial (ISE) além da percepção de risco e reação aos acidentes ambientais (sic) relacionados a mineradoras no mercado brasileiro. Silva Júnior *et al.* (2019) tratam da sustentabilidade como uma questão social bem como da responsabilidade corporativa como parte importante na mudança no cenário de riscos já que as atividades das corporações possuem um impacto, muitas vezes, em larga escala sobre a sociedade civil, onde as empresas teriam responsabilidades com a esta última.

Nesta perspectiva de atuação de diferentes atores, Da Silva Rosa, Soares e Meneghetti (2019) apresentam um estudo de caso sobre a sustentabilidade urbana em Vila Velha relativa e a RRD, reafirmando a importância da ação de atores locais com relação às práticas locais de RRD. Em outro artigo mapeado, o tema educação ambiental é tratado como estratégia para a redução de riscos de desastres (Da Silva Rosa *et al.*, 2015).

Como podemos observar, as três palavras mais citadas na nuvem são temáticas interconectadas, onde “ambientais” pode representar o sistema ecológico ou a natureza e “empresas” o modelo capitalista neoliberal. Ambas palavras são elementos na contemporaneidade mundial ao lado da “sustentabilidade”, sendo esta a tentativa da modernidade em buscar atenuar a degradação ambiental e o processo de construção de riscos.

Vale ainda serem feitas pelo menos mais duas observações sobre o que mostra a nuvem de palavras. Uma referente em na cor preta (fig. 2) que têm uma frequência menor às três analisadas acima. A quarta palavra mais frequente é “seguro”, que está relacionada às medidas e questões de segurança envolvidas na RRD quanto a noção de seguro como “*Instrumento que visa garantir a reparação de danos (pessoais ou materiais) causados involuntariamente a terceiros, em decorrência de poluição ambiental*” (Bitar e Ortega, 1998, p. 499). A quinta palavra mais abordada é “risco” que poderia ter aparecido com maior ênfase já que os desastres têm tido uma ocorrência considerável no estado do Espírito Santo.

A outra observação se refere a presença de palavras em inglês considerando que o mapeamento feito identificou publicações em inglês. São elas: “*Environmental*”, em português “Ambiental” e “*Climate*” (clima), indicando uma possível associação entre os desastres e padrões meteorológicos ou climáticos. Uma das publicações do corpus analítico ao listar os fatores influenciando o

processo de construção de vulnerabilidades, aponta para a multifatorialidade e para a complexidade do tema RRD quando (Da Silva Rosa *et al.*, 2014).

Enfim, a análise da nuvem de palavras buscou identificar os termos mais abordados nas publicações do corpus analítico de forma a fazer uma leitura geral da produção da comunidade científica identificada dentro de um dado recorte temporal determinado e das limitações metodológicas já especificadas.

*Participação dos líderes de grupos de pesquisa capixabas em RRD em escopo internacional (1)*

Este item visa focar, nos trabalhos completos publicados em anais de congressos internacionais mapeados de acordo com o tema RRD. A partir daqui, inicia-se uma parametrização dos dados sobre a produção capixaba em RRD exterior destes trabalhos. Para tal, foi feito um mapeamento destas obras através do currículo Lattes de cada líder de grupo de pesquisa.

Os resultados da pesquisa mostram a distribuição das publicações, evidenciando uma preferência por congressos de âmbito nacional, um total de 69, sendo destas 23 publicadas em Anais de Congresso capixabas e 42 publicadas em Anais de Congresso de outros estados brasileiros. Apesar da predominância de publicações em Anais de Congressos nacionalmente, observa-se um esforço de internacionalização do conhecimento em RRD produzido no estado visto que 23 obras, equivalente a 28% do total de obras publicadas em anais de congressos, foram internacionalizadas através desse meio de divulgação de conhecimento científico. Isso reforça o esforço e compromisso de parte considerável da comunidade científica capixaba em RRD com a internacionalização.

Foram levantados os países onde os pesquisadores capixabas participaram de congressos internacionais e tiveram os seus trabalhos completos publicados em seus anais. O gradiente de cor verde mostra o número de trabalhos por país (fig. 3).

Observa-se que a internacionalização capixaba através de trabalhos em anais de congresso em RRD privilegiou com mais frequência congressos no Chile e na Argentina visto que foram mapeados no total de oito (8) trabalhos (ou seja, quatro obras internacionalizadas em cada um destes países). Além disso, foram mapeados quatro (4) trabalhos em congressos na Bolívia, na Colômbia, na Nicarágua e no México (com uma obra cada um), totalizando doze (12) trabalhos em anais de eventos latino-americanos (46 % do total). 38% destes trabalhos foram apresentados em congressos internacionais de países com maior proximidade ao Brasil, ou seja, países sul-americanos. Considerando os três (3) trabalhos em anais de congressos nos Estados Unidos da América, verifica-se que 57 % desta produção mapeada está voltada para o continente americano.

Com relação ao continente europeu, mapeou-se o total de nove (9) trabalhos em anais de congressos (35%), sendo que Portugal bem como a Polônia apresentam, cada um, duas produções capixabas publicadas em anais. A Espanha, Áustria e Croácia também estão presentes no mapeamento, tornando a Europa um dos continentes mais receptores deste material capixaba no tema. Além da presença europeia e das Américas, na África, somente um (1) trabalho foi apresentado em congresso no Quênia, oportunizando a visibilidade da produção em RRD.

Finalmente, chama atenção o baixo interesse em apresentar trabalhos em países da Comunidade de

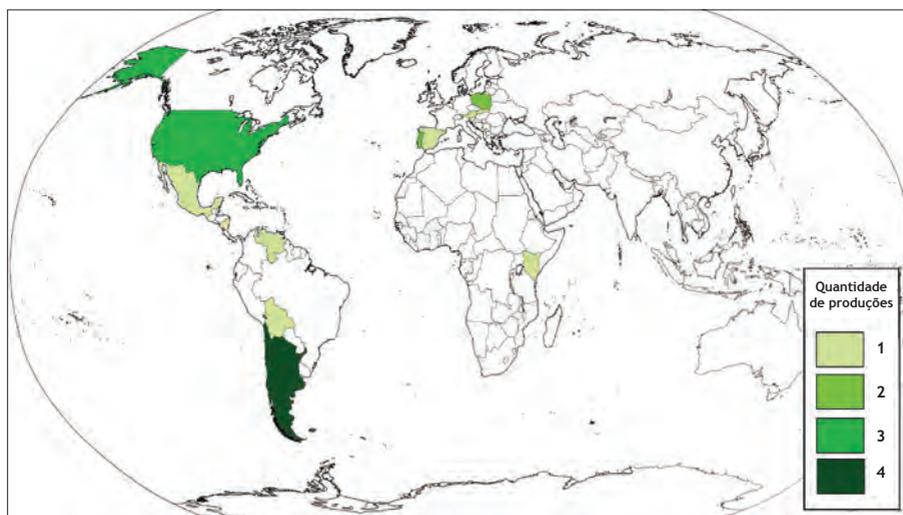


Fig. 3 - Participação dos autores capixabas em RRD no escopo internacional por número de produções/anais na preterida área (Fonte dos dados: Plataforma Lattes, 2019).

Fig. 3 - Participation of the authors from Espírito Santo about DRR in the international arena by number of productions published in International Congresses in the addressed area (Data source: Lattes Platform, 2019).

Língua Portuguesa (CPLP). O caso de Portugal, com um quantitativo extremamente pequeno, tratando-se de um país lusófono, pode indicar uma desconexão com a sua comunidade acadêmica que poderia ser enriquecedora para o intercâmbio nesta área. A título de ilustração, a Associação Portuguesa de Riscos e Desastres (Riscos - Disponível em: <http://www.riscos.pt/#:~:text=%EF%BB%BFV%20Congresso%20Internacional%20de%20Riscos%20Decorrer%C3%A1%20de%2012,do%20risco.%20Agir%20hoje%20para%20proteger%20o%20amanh%C3%A3%22>), ligada a Universidade de Coimbra, promove a cada três anos seu congresso internacional sobre riscos além de ter publicações voltados para estas temáticas (*Territorium* - Disponível em: <https://territorium.riscos.pt/> e Estudos Cíndicos - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Disponível em: [https://www.riscos.pt/publicacoes/sec/volume\\_2/](https://www.riscos.pt/publicacoes/sec/volume_2/)). O caso da comunidade de língua portuguesa africana também aponta um possível distanciamento de sua comunidade científica mesmo havendo seis países africanos de língua portuguesa.

*Participação dos líderes de grupos de pesquisa capixabas em RRD em escopo internacional (2)*

Nesse subtópico, analisaremos, a partir dos artigos mapeados, o potencial de internacionalização do conhecimento produzido sobre a temática (RRD) de acordo com os critérios já citados no desenho metodológico para serem considerados como produção com tal potencial.

Os resultados encontrados foram: Dos 23 (57%) artigos mapeados, 13 (43%) foram internacionalizados e 10 não foram internacionalizados até o momento da

pesquisa. Observa-se que quase metade dos artigos preenchem os critérios estabelecidos no estudo para a internacionalização da produção científica. Percentualmente, é uma quantidade expressiva de artigos publicados em periódicos, a qual sugere um potencial de internacionalização do conhecimento científico capixaba. Dentro destes 43%, três (3) obras apresentaram colaboração de autores estrangeiros, cinco (5) estavam em inglês e seis (6) foram publicados em periódicos internacionais. Ainda vale atentar que seis (6) dos dez (10) artigos apresentaram mais de um destes critérios de internacionalização (fig. 4).

Mesmo que a diferença dos artigos preenchendo os critérios de internacionalização deste estudo seja pequena, é importante chamar a atenção para o fato de que estamos lidando com um interesse capixaba pela ciência em RRD relativamente novo na medida em que se tem o crescimento de suas publicações a partir da década de 2010 como vimos anteriormente.

Também foram considerados na pesquisa apenas líderes de grupos de pesquisas (GP) capixabas em RRD. Porém, cabe, também, considerar dois outros aspectos relativos à dinâmica da produção científica em RRD no ES. Um deles é a quantidade de pesquisadores que formam a equipe de cada GP e o outro se refere aos co-autores das publicações identificadas. Ambos os aspectos remetem a possibilidade de associação ou colaboração de pesquisadores de outras regiões ou de países com os líderes capixabas, podendo ser um vetor em favor da internacionalização científica.

O mapa a seguir abordará 6 dos 10 artigos que preencheram os critérios de internacionalização deste estudo, sendo estes 6 necessariamente preenchendo o critério: artigo

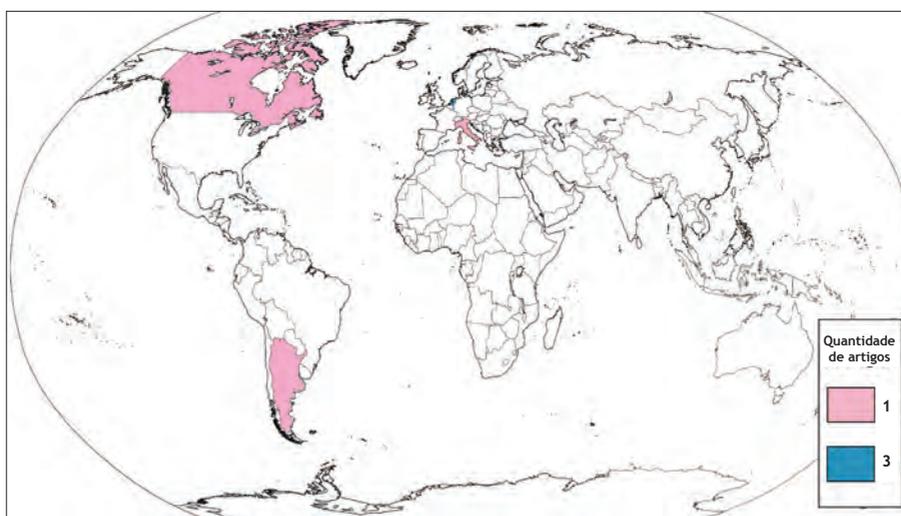


Fig. 4 - Artigos de líderes de Grupos de Pesquisa Capixabas que abordam RRD com publicações em plataforma internacional (Fonte dos dados: Plataforma CNPq e Lattes, 2019).

Fig. 4 - Articles by leaders of Research Groups from Espírito Santo that address DRR with publications on an international platform (Data source: CNPq and Lattes Platform, 2019).

com publicação em plataforma internacional, buscando dar uma noção de onde o conhecimento capixaba em RRD tem sido apresentado.

Quanto aos artigos científicos publicados em periódicos internacionais de acordo com os critérios citados anteriormente, foram encontrados três (3) artigos publicados na Holanda e um (1) em cada um destes países: Itália (a presença de um artigo sendo publicado Instituto de Pesquisa *Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati* (SISSA)), Argentina e Canadá (o *Canadian Center of Science and Education* (CCSE) acrescenta a presença da internacionalização capixaba em RRD no continente americano). Isso mostra um certo interesse na internacionalização do conhecimento produzido pela comunidade capixaba seis (6) entre dez (10) (fig. 3) Vale ressaltar a forte influência da empresa holandesa Elsevier (disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br>), uma das que mais dominam publicações científicas no mundo inteiro, por onde foram publicados os três artigos citados, podendo demonstrar a sua influência junto aos autores capixabas. Cita-se aqui, também, o certo interesse dos cientistas capixabas mapeados (fig. 4) em publicar na América Latina (sendo o caso do portal de publicações argentino *Estudios Rurales* - disponível em: <http://ppct.caicyt.gov.ar/estudios-rurales>) por conta, talvez, da proximidade geográfica e cultural. Estes dados apontam para o que já havia sido observado (fig. 4): o interesse de internacionalização do conhecimento capixaba em RRD se concentra principalmente na Europa e nas três Américas.

Finalmente, as características da internacionalização da produção capixaba em RRD identificadas neste estudo encaixam-se na definição comumente usada no século XX, especialmente, no período da Guerra Fria, como sendo parte de políticas ditas como *low politics*. Em outras palavras, elas se remetem a uma política alternativa ao *mainstream* das *high politics* como abordado acima. No presente artigo, compreende-se que a busca por essa internacionalização do conhecimento pode ser vista como um mecanismo de *soft power* no sentido de vir a fazer parte de uma política nacional e estadual implementada por agências de fomento científico voltada para incrementar a divulgação deste conhecimento como forma de poder e de influência na esfera internacional. Para Knight (2004, p. 5), a “[...] internacionalização está mudando o mundo da educação superior, ao passo que a globalização está mudando o mundo da internacionalização” (tradução livre dos autores). Diante do exposto aqui, espera-se que ocorra uma evolução ainda mais significativa da internacionalização científica capixaba em RRD no futuro, beneficiando-se da onda de globalização do conhecimento a fim de que possa, um dia, ocupar um espaço na esfera do poder brando (*soft power*).

## Conclusão

Buscou-se, no presente artigo, trazer à luz o possível potencial de internacionalização de conhecimentos científicos capixabas em RRD. O esforço identificado aqui pode ser situado dentro do que pregam os marcos onusianos de RRD sobre a internacionalização e o intercâmbio de conhecimentos em RRD. Através das pesquisas feitas no diretório de grupos de pesquisa do CNPq e na plataforma Lattes mapeando a produção de conhecimento capixaba, fica evidenciado um potencial de influência quantitativamente ainda baixo, mesmo que presente, com tendência crescente. Vale lembrar que o Espírito Santo tem cinco grupos de pesquisa identificados segundo os critérios da pesquisa, cabendo lembrar que é um estado brasileiro, na temática central deste estudo, com baixa representatividade em termos de produção científica se comparado com São Paulo ou Rio de Janeiro, por exemplo. Mesmo assim, os dados de pesquisa apontam que o poder de *soft power* é possível de vir a se tornar maior e mais reconhecido visto a evolução capixaba ao longo da década estudada. É claro que este esforço dos pesquisadores capixabas depende em grande medida do esforço de órgãos de fomento nacionais e estaduais com base em políticas de produção e disseminação de conhecimentos, em especial, em RRD, temática emergente mundialmente.

Foi observado que os grupos de pesquisa no Espírito Santo com interesse em RRD estão relacionados à duas universidades, apesar de existirem outras instituições de ensino superior (total de 31), e um instituto de pesquisa (Instituto Jones dos Santos Neves - IJSN) estadual na Região Metropolitana da Grande Vitória, área de rápida urbanização nos últimos 30 anos. Este processo se relaciona com a tendência de aumento de problemas ambientais na região e o crescente embate de interesses entre progresso economicamente centrado em detrimento da preservação ambiental. Isso se remete aos fatores contribuintes aos riscos de desastres, o que gera a necessidade da inclusão desta temática no estado, como houve/está havendo um interesse de pelo menos 5 grupos de pesquisa capixabas na preterida área.

Adivulgação e disseminação dos estudos capixabas em RRD pode ser vista numa abordagem da internacionalização da ciência e de conhecimentos localmente produzidos. Neste estudo, isso vem em forma de produções científicas elaboradas no cerne dos grupos identificados, o que é um importante registro sobre a compreensão e evolução tanto da produção de conhecimento sobre a temática no ES quanto do processo de produção de riscos e desastres no estado. Isso é fundamental para que não se repitam as mesmas inadequações cometidas no passado além de desenvolver cada vez mais interesse nessa área de forma a incorporar e contribuir com a evolução e aplicação das práticas em RRD em outras regiões do mundo, não

apenas no campo acadêmico-científico e educacional, mas também no cotidiano das sociedades.

Além disto, saber sobre a dinâmica de produção de conhecimento é imprescindível para que haja uma comunicação entre a comunidade acadêmica e a instância política no sentido de vir subsidiar o processo de formulação de políticas públicas, inserindo as questões ambientais como um todo e, em particular, as relacionadas à redução do risco de desastres. Este ponto é ressaltado nos marcos onusianos sobre RRD, o que nem sempre ocorre a contento devido a características próprias ao poder público no país.

Sobre o mapeamento elaborado neste estudo e os resultados obtidos, tanto para os presentes autores quanto para os futuros e para a área da sociologia do conhecimento, espera-se que os dados expostos sobre a nuvem de palavras sejam um parâmetro de como a comunidade científica capixaba vem trabalhando sobre o tema ao longo desta década. Espera-se que os indicativos da internacionalização do conhecimento em RRD do estado através dos dados expostos e discutidos anteriormente sejam um fator motivador para os novos pesquisadores capixabas que visem a produção de conhecimento científico nesta área.

Espera-se que o presente estudo proporcione uma porta que abra novos interesses e possibilidades para a comunidade científica como ator da governança ambiental local e internacional. A identificação de grupos de pesquisa pode consolidar cooperações tanto nacionalmente quanto internacionalmente nas questões em RRD, gerando tanto benefícios para a sociedade civil organizada quanto à produção de contribuições capixabas para esta área de pesquisa no Brasil e no mundo, abrindo um vasto leque de produção e de difusão de conhecimentos em RRD.

### Referências bibliográficas

- A REDE EDUCA (2015). Crie a sua nuvem de palavras. Recuperado em 10 dezembro, 2019. Disponível em: <http://www.arededuca.org.br/crie-a-sua-nuvem-de-palavras/>
- Andrade, D. C. (2008). Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica (1ª ed.). Campinas: Unicamp.
- Beck, U. (2010). A política na sociedade de risco. 1(17). Genève: Revue du Mauss, 376-392.
- Bitar, O.Y., Ortega, R.D. (1998). Gestão Ambiental. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). 32, 499-508.
- BRASIL (2012). Lei n.º 12.561 de 25 de maio de 2012. Recuperado em: 8 março, 2021. Disponível em: Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. L12651 (planalto.gov.br).
- Bringham, J. R. e Gunther, W. M. R. (2011). Participação Social em Programas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos. Engenharia Sanitária e Ambiental. *SciELO*, 16, 421-430. Recuperado em: 2 fevereiro, 2021. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n4/a14v16n4.pdf>
- Cademartor, L. H. U., e Santos, P. C. (2016). A Interdependência Complexa e a Questão dos Direitos Humanos no Contexto das Relações Internacionais. *Revista Brasileira de Direito*. UFSC, 12(2). Recuperado em 27 março, 2020. Disponível em: <https://seer.imes.edu.br/index.php/revistadedireito/article/view/1584/1052>
- CAPES (2011). Plano Nacional de Pós-Graduação (PNPG) 2011-2020. Recuperado em 6 julho, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/pnpg-miolo-v2-pdf/view>
- CARTA CAMPINAS (2018). Instituto Butantan consegue patente nos EUA para produção da vacina contra dengue. Recuperado em 23 junho, 2020. Disponível em: <https://cartacampinas.com.br/2018/06/instituto-butantan-consegue-patente-nos-eua-para-producao-da-vacina-contradengue/>
- CASA CIVIL. Lei n.º 12.608, PNPDEC (2012). Recuperado em 10 abril, 2020. Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm#:~:text=Art.,desastres%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%94ncias](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm#:~:text=Art.,desastres%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%94ncias)
- Castiglioni, A. H. (2009). *Revista Geografares*. Vitória: Universidade do Espírito Santo. 1(7), 100. Recuperado em: 8 março, 2021. Disponível em: (PDF) Mudanças na estrutura demográfica do Espírito Santo ocorridas durante a segunda metade do século XX (researchgate.net).
- Castiglioni, A. H. (Dez 2019). Transição migratória e urbana no estado do Espírito Santo - 1950 a 2010. *Caminhos da Geografia - revista online*. Uberlândia, 20(72), 33-53. Recuperado em 25 julho, 2020. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/41307/27555>
- Cavalcante, C. (2010). Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. São Paulo: estudos avançados, 24 (68).
- Clemente, I. (Mai/Ago 2018). Paradiplomacia y relaciones transfronterizas. vol.18 no.2. Porto Alegre. *Civitas*, Revista de Ciências Sociais. Recuperado em 1 agosto, 2020. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-60892018000200319&lang=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-60892018000200319&lang=pt)
- CNPq (2019). Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Recuperado em 5 fevereiro, 2020. Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/web/dgp>
- CNPq (2019). Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Recuperado em 12 outubro, 2020. Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/web/dgp>

- Cova, G., Fonseca, M. N. da., SchimurE, N. K. A. da C., Fernandes, C. A. M., Stringari, D. (mar 2018). Inventário da produção científica sobre riscos e desastres entre as instituições Redesastre (PR). *Segundo Seminário Internacional de Proteção e Defesa Civil*. Recuperado em 1 dezembro, 2020. Disponível em: <http://www.ceped.pr.gov.br/arquivos/File/resumo.pdf>
- Da-Silva-Rosa, T., Mendonça, M., Gava, T. e Souza, R. M. (2015). A educação ambiental como estratégia para redução de riscos socionaturais? Estudos de casos no Rio de Janeiro e Pernambuco. *SciELO*, 18, 211-230. Campinas. Recuperado em 7 março, 2021. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2015000300013&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2015000300013&lng=pt&tlng=pt)
- Da-Silva-Rosa, T., Reginensi, C., Gava Monteiro, T., e Matos de Souza, R. (2018). O cruzamento das ausências e das presenças na tessitura de vulnerabilidades e de riscos de desastres em áreas de desenvolvimento tardio: o caso de Vila Velha (Espírito Santo, Brasil). *Estudios Rurales*, 8(15). Disponível em: <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/estudios-rurales/article/view/14087>
- de Freitas, C. M., Barcellos, C., Silva, D. X., da Silva, M. A., e Rocha, V. (2019). Mudanças Climáticas, Redução de Riscos de Desastres e Emergências em Saúde Pública nos níveis Global e Nacional. *Fiocruz*, São Paulo, 1, 37-66. Recuperado em 13 setembro, 2020. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/40346/2/FREITAS-CARLOS-et-al-Mudanças-climáticas-redução-de-riscos-de-desastres-e-emergências-em-saúde-pública.pdf>
- EMBRAPA (2020). Embrapa e Apex-Brasil assinam acordos de cooperação para aumentar competitividade do agro nacional. Recuperado em 20 setembro, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54370247/embrapa-e-apex-brasil-assinam-acordos-de-cooperacao-para-aumentar-competitividade-do-agro-nacional>
- FAPES (2016). Fapes debate os caminhos para consolidar internacionalização da pós-graduação. Recuperado em 28 setembro, 2020. Disponível em: <https://fapes.es.gov.br/Not%C3%ADcia/fapes-debate-os-caminhos-para-consolidar-internacionalizacao-da-pos-graduacao>
- FAPES (2020). Programa de apoio à excelência da pós-graduação capixaba - PROAPEX. Recuperado em 29 setembro, 2020. Disponível em: <https://fapes.es.gov.br/Media/fapes/Importacao/edital-07-2020-proapex.pdf>
- Farias, S. A (jul/ago 2017). Internacionalização dos periódicos brasileiros. *SciELO*. São Paulo. 57(4), 401-404. Recuperado em 25 julho, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rae/v57n4/0034-7590-rae-57-04-0401.pdf> (acesso: 30 out 2020).
- FINEP (2020). Acordos de cooperação. Recuperado em 28 setembro, 2020. Disponível em: [http://finep.gov.br/a-finep-externo/fontes-de-recurso/33-internacional/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70&Itemid=195](http://finep.gov.br/a-finep-externo/fontes-de-recurso/33-internacional/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=195)
- FIOCRUZ (2020). Sobre o Print Fiocruz. Recuperado em 28 setembro, 2020. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/sobre-o-print-fiocruz>
- Freitas, M., e Portella, S. (2017). Os desafios da criação e ação de uma rede brasileira de pesquisa em redução de risco e desastres. 1º Workshop Brasileiro de Avaliação de Ameaças, Vulnerabilidades, Exposição e Redução de Risco de Desastres - BRAHVE. Recuperado em 14 maio, 2020. Disponível em: [http://www.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/Mario\\_Freitas.pdf](http://www.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/Mario_Freitas.pdf)
- Gabel, M. (Ed.). (2008). *Internationalisation of European Higher Education: "An EUA/ACA Handbook"* (Vol. 1). dr josef raabe verlags gmbh. Recuperado em 3 março, 2020. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=YFUHTTEeDhkC&oi=fnd&pg=PP20&dq=Internationalisation+of+European+Higher+Education&ots=QexPTMKo7w&sig=B6Hx9DOtPEpBCCfLhOnrAyo-qA#v=onepage&q&f=false>
- GENERAL ASSEMBLY (23 jun 2015). *United Nations A/RES/69/283. Resolution adopted by the General Assembly on 3 June 2015*. Distr.: General 23 June 2015. 19(c). Recuperado em 14 abril, 2020. Disponível em: [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_69\\_283.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_69_283.pdf)
- Hahn, A. V., Rezende, I. A. C., e Nossa, V. O seguro ambiental como mecanismo de minimização do passivo ambiental das empresas. *FURB*. 6(2), 61-81. Recuperado em 27 setembro, 2020. Disponível em: <http://proxy.furb.br/ojs/index.php/universocontabil/article/view/889/1279>
- Hannigan, J. A. (2009). *Sociologia ambiental* (1ª ed.). Petrópolis, RJ: Vozes, 21-24.
- Herz, M. (2 jan 1997). Teoria das Relações Internacionais no Pós-Guerra Fria. *SciELO*, 40(2), 1-9. Rio de Janeiro. Recuperado em 23 dezembro, 2019. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0011-52581997000200006](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0011-52581997000200006)
- INCAPER (2019). Dados médios da série histórica da estação meteorológica localizada no município de Vitória/ES (Ilha de Santa Maria - convencional). 2019. Recuperado em 5 maio, 2020. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-vitoria>
- INPE (2017). Plano Institucional de Internacionalização da Pós-Graduação 2018-2022. Recuperado em 5 setembro, 2020. Disponível em: <http://print.dpi.inpe.br/wp-content/uploads/2019/02/PII-INPE-2018-2022-Plano-Institucional-Intl-PT-BR.pdf>

- Keohane, R. O, e Nye, J. S. (2011). *Power and Interdependence: World Politics in Transition (4ª ed.)*. Boston: Little Brown, 7-15.
- Knight, J. (2004). Internationalization remodeled: definition, approaches, and rationales. *Journal of studies in international education*. 8(1), 5-31.
- Küster, E. O., Loiola, J. L., Ferri, K. C. F., e Nascimento, S. S. B. (13 Out 2015). Uma abordagem da relação sociedade/natureza em duas vertentes de educação ambiental. *Anais da XII Semana de Licenciatura*. Jataí, 40-46. Recuperado em 5 junho, 2020. Disponível em: [revistas.ifg.edu.br/semlic/article/view/489](http://revistas.ifg.edu.br/semlic/article/view/489)
- Leff, E. (2006). Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza. Rio de Janeiro, RJ: *Civilização Brasileira*. vol. 2 (1), 11-14.
- Mattedi, M. (2017). Dilemas e perspectivas da abordagem sociológica dos desastres naturais. *Revista de Sociologia da USP. Tempo Social*, 29(3), 261-285. Recuperado em 1 dezembro, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ts/v29n3/1809-4554-ts-29-03-0261.pdf>
- Mercer, J. (2010). *Disaster risk reduction or climate change adaptation: Are we reinventing the wheel?* International Development. John Wiley & Sons, Ltd. 22 (2), 247-264. Recuperado em 10 outubro, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jid.1677>
- Mink, P., Souza, A. L. F., Lagioia, U. C. T., Kato, M. T. e Nossa, V. (2015). Unisinos: Revistas Unisinos. São Leopoldo, 12, 52-67. Recuperado em: 8 março, 2021. Disponível em: <http://www.revistas.unisinos.br/index.php/base/article/view/base.2015.121.05/4526>
- Nossa, V., Santos, V. R. e Nossa, S. N. (2017). Repec: Revista de educação e pesquisa em contabilidade. Brasília: 11, 87-105. Recuperado em: 8 março, 2021. Disponível em: <http://www.repec.org.br/repec/article/view/1719/1288>
- Nye, J. S. (2008). Public diplomacy and soft power. *The annals of the American academy of political and social Science*. Newbury Park, CA: Sage Publications Inc (1ª ed.). 616, 94-109.
- Nye, J. S (2005). *Soft Power: The Means to Success in World Politics (1ª ed.)*. New York, NY: PublicAffairs, 29-31.
- Oliveira, E. G., Moreira, G. X., Lyra, R. M. (20 Mar 2005). Caracterização das ocupações desordenadas nos municípios de vitória e vila velha - ES: Um estudo das favelas e loteamentos irregulares. *Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina*. Universidade de São Paulo. Recuperado em 12 dezembro, 2019. Disponível em: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Geografiasocioeconomica/Ordenamientoterritorial/34.pdf>
- PORTAL MEC (2018). Levantamento das ações de internacionalização da rede federal de educação profissional e tecnológica e resultados do GT de políticas de internacionalização. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Recuperado em 5 setembro, 2020. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/maio-2018-pdf/87481-acoedes-de-internacionalizacao/file>.
- Portella, S. L. D. (2017). *O saber urgente do saber das urgências: redução de riscos e desastres no Brasil (Tese de doutoramento)*. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal. Recuperado em 6 setembro, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/79583>
- Quarantelli, E. L. A (2015). *Social Science research agenda for the disaster of the 21st century: theoretical, methodological and empirical issues and their professional implementation*. In Perry Y, R.W. and Quarantelli, E.L. (ed.) *What is a disaster? New answer to old questions*. International Research Committee on Disasters. 1(2), 325-396.
- Rodrigues, M. A, (2018). *Direito Ambiental Esquemático*. (5a ed.). São Paulo: Saraiva Educação, 58-61. Recuperado em 10 abril, 2020.
- Romeiro, A. R. (2012). Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. *Estudos Avançados*. 2, 65-92. Recuperado em 5 agosto, 2020. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/eav/article/view/10625/12367>
- Sausen, T. M., Lacruz, M. S. P. (2015) *Sensoriamento remoto para desastres (1ª ed.)*. São Paulo: Oficina de Textos. 1, 16-23.
- Silva Junior, A., Martins-Silva, P. O., Vasconcelos, K. C. A., Silva, V. C., Brito, S. L. M. S., Monteiro, J. M. R. (2019). Scienedirect: *Journal of cleaner production*. Rio de Janeiro. 207, 600-617. Recuperado em: 8 março, 2021. Disponível em: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618330191?via%3](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618330191?via%3)
- Soares, F., Meneghetti, S., Da-Silva-Rosa, T. (2019). FOZ: *Revista Científica*. São Mateus. 1, 40-55. Recuperado em: 8 março, 2020. Disponível em: <http://ivc.br/revista/index.php/revistafoz/article/view/81/42>
- Sulaiman, R. J. (2018) *Olhares e saberes para a redução de risco de desastre*. São Paulo, 50-52. Recuperado em 9 abril, 2020. Disponível em: [http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos\\_download/melhorprevenir\\_ebook.pdf](http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf)
- Teixeira, E. A., Nossa, V., Funchal, B. (2011). O índice de sustentabilidade empresarial (ISE) e os impactos no endividamento e na percepção de risco. *SciELO*, 22, 29-44. Recuperado em: 5 março, 2021. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-70772011000100003&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-70772011000100003&lng=pt&tlng=pt)

Ulloa, F. (2011). *Manual de gestión de riesgos de desastres para comunicadores sociales. Flood Resilience Portal, Peru*. UNESCO. 1, 33-40. Recuperado em 6 agosto, 2020. Disponível em: <http://repo.floodalliance.net/jspui/handle/44111/2151>

UNISDR - UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (2015). Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030 (A/CONF.224/L.2). Recuperado em 7 abril, 2020. Disponível em: [https://www.unisdr.org/files/43291\\_63575sendaiframeworkportunofficialf.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_63575sendaiframeworkportunofficialf.pdf)

UNISDR (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030*. 5EN5000 1ª edição, 201. Recuperado em 5 julho, 2020. Disponível em: [https://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf)

Vasconcelos, K. C. A., Silva Junior, A. and Silva, P. O. M. (2013). Educação Gerencial para Atuação em Ambientes de Negócios Sustentáveis: Desafios e

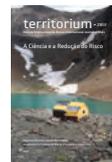
Tendências de uma Escola de Negócios Brasileira. *SciELO*, 14, 45-75. São Paulo. Recuperado em: 8 março, 2021. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-69712013000400003&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-69712013000400003&script=sci_abstract&tlng=pt)

Villa, R. D., Tostes, A. P. B. (Jul 2006). *Lua Nova: Revista de Cultura e Política Democracia cosmopolita versus política internacional*. São Paulo. 1(66), 69-107. Recuperado em 29 maio, 2020. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-64452006000100005&lng=en&nr m=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-64452006000100005&lng=en&nr m=iso)

Wisner, B., Blaikie, P., Blaikie, P. M., Cannon, T., Davis, I. (2003). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters (2ª ed.)*. London: Routledge, 4-5.



RISCOS



SILENCIO! SILENCIO! SILENCIO! ALGUÉM ESTÁ A PEDIR AJUDA!\*

SILENCE! SILENCE! SILENCE! SOMEONE IS ASKING FOR HELP!

185

António Fidalgo

Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Escola Superior Agrária  
Técnico Superior de Riscos e Proteção Civil (Portugal)

ORCID 0000-0002-7306-9151 [fidalgo.aluis@gmail.com](mailto:fidalgo.aluis@gmail.com)

Ana Sá Fernandes

Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Escola Superior Agrária  
Técnico Superior de Riscos e Proteção Civil (Portugal)

ORCID 0000-0001-5883-1382 [sa.fernandes.na@gmail.com](mailto:sa.fernandes.na@gmail.com)

### RESUMO

Não saber reconhecer quando se deve pedir o *mayday* pode ser um problema para o sucesso de resgate de um bombeiro. O sucesso do pedido de *mayday* vai aumentar com as ações proactivas do Comandante das Operações e das equipas no terreno, enquanto que o défice de formação leva a que a informação e os procedimentos importantes não sejam valorizados. Declarar um *mayday* não é só pegar no rádio e pedir ajuda. Primeiro tem de se saber reconhecer um *mayday*, como se deve declarar um pedido de ajuda e o que fazer de seguida. A abordagem ao *mayday* na formação dos bombeiros estagiários ainda está numa fase embrionária dado ter sido introduzida na reformulação dos conteúdos de formação no segundo semestre de 2019. O estudo desenvolvido tem como objetivo principal compreender o que é o *mayday*.

**Palavras-chave:** Bombeiro, segurança, *mayday*.

### ABSTRACT

Not recognizing when to call for 'mayday' can be a problem for a firefighter's rescue success. The success of requesting mayday will increase with the proactive actions of the Operations Commander and the teams on the ground, while the training gap means that important information and procedures are not valued. Declaring a 'mayday' isn't just about picking up the radio and asking for help. First you must know how to recognize a 'mayday' call, how to declare a request for help and what to do next. The mayday approach to training trainee firefighters is still at an embryonic stage as it was introduced in the recast training content in the second half of 2019. The main objective of the study is to understand what 'mayday' is.

**Keywords:** Firefighter, safety, mayday.

\* O texto desta nota foi submetido em 09-08-2020, sujeito a revisão por pares a 21-10-2020 e aceite para publicação em 16-11-2020.

Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Quando alguém estava em apuros e queria pedir ajuda precisava de ter uma forma de chamar a atenção de outra pessoa e que fosse facilmente reconhecido como um pedido de ajuda. O termo *mayday* tem a sua origem no francês sendo hoje reconhecido internacionalmente por todos como um pedido de socorro (Clark, 2003; Norwood, 2012; Salka Jr., 2016). É um termo de uso comum por navios e aeronaves e mantém o seu princípio, ser utilizado quando há risco de vida e a tripulação precisa de assistência urgente (Clark, 2002; Clark, 2003; Feyst, 2009; Norwood, 2012; Salka Jr., 2016).

Todos os dias os bombeiros deslocam-se em resposta a uma emergência para mais um dia normal de trabalho, mas haverá o dia em que algo corre mal e de repente, passam a ser parte da emergência (Clark, 2002). A formação às recrutas dos bombeiros foi reformulada no ano de 2019 onde foi introduzido pela primeira vez o termo *mayday* e o procedimento a adotar perante uma emergência. O presente estudo surge na necessidade de aprofundar e compreender o tema tendo como objetivo principal compreender o que é o *mayday* e como objetivos específicos conhecer o procedimento *mayday* e reconhecer quando se deve declarar um *mayday*.

Quando um *mayday* é ouvido no Teatro de Operações (TO), os operacionais pensam de imediato que um desastre aconteceu (Feyst, 2009). A carga emocional e o significado intrínseco a esse pedido, por norma, causa mais angústia e stress nos operacionais do que qualquer outro incidente (Robertson, 2007; Sendelbach, 2003).

Para os bombeiros não é fácil reconhecerem que precisam de ajuda (Brouwer, 2014a). A filosofia, o lema e o treino dos bombeiros são no sentido de socorrerem os outros, logo não se conseguem identificar com o papel de vítimas (Brouwer, 2014b; Gaumont, 2009). Desde sempre o ser humano teve dificuldade em aceitar a mudança, o que o leva a resistir. Um dos maiores desafios do ponto de vista da segurança é consciencializar os operacionais que é necessária uma mudança cultural (Bator, 2018).

Na literatura deparamo-nos com crenças e pressupostos que são barreiras para o *mayday*. Percebemos que situações onde o pedido é retardado deve-se à existência de uma réstia de esperança de que o operacional vai conseguir encontrar o caminho de volta (Brouwer, 2014a) ou o pensamento que pode encontrar alguém da sua equipa pelo caminho tal como acontecia na formação (Gaumont, 2009).

Porém, ainda é frequente encontrar um estigma de ser considerado covarde (Ludwig, 2007), ser fraco (Brouwer, 2014a; Riffe e Patin, 2008; Gaumont, 2009), ser ridicularizado pelos restantes elementos (Kirby e Lakamp, 2013) ou vir a sofrer uma repreensão (Ludwig, 2007; Kirby e Lakamp, 2013).

As ideias pré-concebidas de não quererem admitir que podem ter problemas e precisarem de ser resgatados deve ser alterada (Brouwer, 2014a; Gaumont, 2009; Robertson, 2007) até porque o pedido de um *mayday* tem o potencial para ser declarado a qualquer momento, em qualquer lugar desde que o bombeiro entra em ação porque teve um problema (Ludwig, 2007; Mclees, 1997).

Quando um bombeiro entra para a recruta, ao longo da sua formação são transmitidos diversos conceitos entre os quais a importância e a forma como se procede perante um *mayday*. Porém, se o *mayday* não for treinado regularmente ou se for um termo desconhecido, quem pede ou recebe um pedido de socorro dificilmente saberá interpretar o que está a acontecer podendo mesmo ignorar porque não está alerta para o procedimento (Brouwer, 2014a; Norwood, 2012). O treino contínuo e o reforço da importância atempada de fazer o pedido permite ao operacional estar preparado para o pior cenário e desenvolver uma memória musculada e automática do que fazer (Norwood, 2012).

Nem sempre num momento de stress extremo, o operacional pode ser capaz de se recordar do acrónimo para pedir um *mayday*. Da mesma forma que são esperadas ações por parte do Comandante de Operações de Socorro (COS), o importante é que o operacional saiba transmitir a informação essencial (exemplo: localização, o seu nome e que recursos necessita) que permitam o seu resgate (French, 2004). Ao COS é esperado que faça um planeamento sobre potenciais problemas que possam surgir. Se conseguir prever o pior cenário, é possível aumentar as hipóteses de sucesso (Sendelbach, 2003).

No decorrer das operações os bombeiros são reativos e atuam em função do que está a acontecer. É importante que os bombeiros adotem uma postura mais proactiva, prevenindo o que vai acontecer (Daley, 2012). Detetado um problema, se em 60 segundos o operacional não tiver conseguido resolver o problema deve declarar o *mayday* (Brouwer, 2011; Brouwer, 2014b) dado que não reconhecer a tempo pode ter consequências graves, tais como, o atraso no resgate ou mesmo a sua morte (Mclees, 1997).

Atrasar o *mayday* apenas vai atrasar o resgate, quanto mais tardio for declarado o *mayday* mais tempo vai demorar a Equipa de Intervenção Rápida (RIT) a proceder ao resgate (Feyst, 2009; Gaumont, 2009; Kirby e Lakamp, 2013; Ludwig, 2007).

Embora conhecida por diferentes nomes, a equipa de resgate, isto é, a RIT, a Equipa de Assistência Rápida (RAT), a Equipa de pesquisa e a Assistência ao Bombeiro (FAST), são equipas cujo objetivo é resgatar os Bombeiros em perigo (Stelle, 2014).

Foi feita uma pesquisa na base de dados b-ON e EBSCO com as palavras-chave *firefighter*, *safety* e *mayday*. A pesquisa foi delimitada ao período de 2009 a 2020 e foram

considerados como critérios de inclusão todos os artigos que abordavam o tema *mayday* em qualquer língua.

### Entender o *mayday*

Salka Jr. (2017) apresenta o *mayday* (pedido de socorro) como um conceito usado em situações de risco de vida, seja porque o bombeiro avalia que está em perigo ou porque considera que a evolução do cenário pode levar à sua morte. Nos Estados Unidos da América, quando um *mayday* é emitido todos os bombeiros reconhecem de imediato a gravidade e seriedade da situação.

Qualquer bombeiro pode emitir um *mayday* desde que esteja perante uma verdadeira emergência. Este termo não deve ser vulgarizado pelo que apenas em situações de necessidade de resgate iminente ou problemas que possam levar ao risco de vida do bombeiro é que deve ser declarado (Rossi, May e Ramirez, 2016).

*Mayday! Mayday! Mayday!* É a comunicação via rádio que ninguém espera ouvir num TO. Os bombeiros fazem formação e treinam para o pior dia de cada pessoa ou comunidade, mas nunca podemos esquecer que embora raros, os bombeiros também podem ter o seu pior dia (Gettemeier e Bird, 2016; Rossi *et al.*, 2016, Sergi, 2016). A declaração de um *mayday* é um dos piores pesadelos que pode acontecer num TO (Mason, 2014). De tal forma, que a maioria nega falar que um acontecimento como este tem a probabilidade de acontecer porque acreditam que ao haver uma cultura de silêncio o evento não aconteça (Goplin, 2012).

A natureza dos bombeiros assenta no sucesso das ocorrências e no salvamento de vidas e proteção de bens, o seu lema é entrar, resolver o problema, resgatar vítimas e em casos extremos dar a vida pelo próximo. Porém, os bombeiros são humanos, tem sentimentos, sentem dor e vivem momentos de stress e frustração, contudo, a sua perseverança em acreditar que o insucesso não é uma opção e os seus mecanismos de sobrevivência fazem com que lutem dia após dia pelo sucesso (Rossi *et al.*, 2016).

Quando um incidente desta magnitude acontece vai implicar que o COS tenha uma equipa de resgate pronta para intervir e reconquistar o controlo da ocorrência. A carga de trabalho vai aumentar, as prioridades vão ter de ser redefinidas e vai ser exigido aos operacionais um esforço extra para manter a disciplina e o conhecimento na ação (Gettemeier e Bird, 2016; Mason, 2014).

Os estudos realizados nos últimos anos verificaram que a principal causa que predispõem os bombeiros às fatalidades nos incêndios estruturais são a desorientação no interior da estrutura e o ficarem presos. Na prática, qualquer bombeiro, até o mais experiente, pode num instante ser sobrecarregado por fatores imprevisíveis (e.g., instabilidade estrutural, reduzida visibilidade,

fumo denso, carência de oxigênio) que o pode desorientar (Scandariato, 2012).

Sem dúvida que o objetivo de qualquer instituição é treinar o seu bombeiro para que ele não se coloque numa posição de ter de declarar um *mayday*, mas se tiver a infelicidade de se ver face a um evento crítico é importante que ele saiba reconhecê-lo e despoletar o alerta (Goplin, 2012).

Uma simples lanterna que avaria e impede a progressão do bombeiro, o bombeiro que fica nervoso e não cumpre ordens dentro do edifício ou até uma pequena queimadura que impeça a continuidade do combate são razões válidas para que um bombeiro, se se sentir em perigo peça ajuda. A decisão para pedir um *mayday* vai depender da experiência e o que o bombeiro considera ser uma situação de risco, não há respostas certas ou erradas, apenas a certeza de que em caso de necessidade se deve emitir o alerta (Salka Jr., 2017).

Uma das principais funções do COS é planejar corretamente o incidente e garantir que a função comando e controle funcionam. O pior que pode acontecer no planeamento de um TO é ser detetado que há uma lacuna no planeamento, função ou treino quando a ocorrência evoluir de maneira desfavorável (Scandariato, 2012).

Após confirmar um pedido de *mayday*, o COS deve gerir o novo incidente e ao mesmo tempo deve continuar a gerir o incidente (Houston, 2009).

Um *mayday* deve, idealmente, ser comunicado no máximo em 60 segundos depois de detetado o problema. Este pode ser o colapso parcial da estrutura, um evento adverso próximo que coloque em causa a segurança, as condições para um *flashover* e a lesão de um bombeiro (Mason, 2014).

### A baixa casuística do *mayday*

O *Mayday* é um evento raro o que origina muitas vezes a que os operacionais se desleixem no treino do procedimento de comunicação de um *Mayday*. Os exercícios realizados para testar os procedimentos são importantes e permitem minimizar tempos na transmissão da informação, rever os protocolos e preparar as equipas para que quando um *Mayday* for declarado estejam mecanizados no procedimento (Scandariato, 2012).

Goplin (2012) verificou que 50% dos bombeiros no seu estudo não sabiam em que situações deveriam declarar um *mayday*. Tornando-se preocupante quando 46% da amostra mencionou que mesmo perante um *flashover* ou *backdraft* não tinham intenções de declarar um *mayday*.

O pedido de ajuda pode ser feito por inúmeras situações sendo mais comum em situações em que o bombeiro fique

preso no interior do edifício, por colapso do interior do edifício, desaparecimento de um bombeiro ou separação de um elemento da equipa, emaranhamento de fios que levam à imobilização do bombeiro, insuficiente capacidade de ar ou exposição ao fogo (Rossi *et al.*, 2016; Smith, 2015; vonAPPEN, 2014).

O orgulho e a vergonha são sentimentos muito comuns que surgem entre muitos bombeiros quando tem de declarar um *mayday* (Rossi *et al.*, 2016). Muitos bombeiros mencionaram no estudo de Goplin (2012) que não declararam ou atrasaram um pedido de *mayday* porque acreditavam que a partir do momento que fizessem um pedido de *mayday*, os restantes elementos iriam julgar sem fundamento, iriam desprezá-los e seriam motivo de gozo. Alguns bombeiros referiram que em alguns quartéis eram desencorajados a não declarar um *mayday* porque se acreditava que numa ocorrência nunca seria possível chegar a esse extremo. E de acordo com Smith (2015), em alguns corpos de bombeiros, os operacionais recebiam castigos internos por ter declarado *mayday*.

Para facilitar a tomada de decisão de quando deve pedir ajuda, o bombeiro pode utilizar o acrónimo FACT (vonAPPEN, 2014) ou o acrónimo I-O-U My Life (Ciampo, 2015) para declarar um *mayday* para um ou mais bombeiros em perigo. O acrónimo FACT representa (vonAPPEN, 2014):

- F para queda (*Fall*): algo da estrutura colapsou em cima do bombeiro, caiu de um piso para outro ou dentro de algo;
- A de Ar na garrafa: o aparelho respiratório está com problemas ou o ar está a terminar;
- C para aprisionado (*caught*): ficou preso/emaranhado por fios dentro da estrutura;
- T para preso (*trapped*): o bombeiro está desorientado ou ficou encurralado por um incêndio.

Embora similar, o acrónimo I-O-U My Life tem uma visão diferente de avaliar a iminência do *mayday* e baseia-se em cinco parâmetros (Ciampo, 2015):

- I de *Imminent Collapse* (colapso iminente): Quando um bombeiro detetar um colapso iminente da estrutura deve transmitir um *mayday* e informar a sua localização. Todos no TO devem ouvir a comunicação e quem estiver perto do colapso por ordem do COS ou por sua iniciativa devem retirar do local indicado para uma área segura;
- O de Ocorreu um colapso: Quem detetar o colapso da estrutura ou parte dela deve dar a localização do colapso. Se houver feridos também o deve comunicar para dar seguimento à operação de resgate;
- U de *Unconscious or serious life threatening injury* (Lesão grave, inconsciente ou risco de vida):

Quem declara o *mayday* de um bombeiro ferido, inconsciente ou em risco de vida deve descrever de forma sucinta a gravidade, o tipo de lesões, a localização em que se encontra dentro da estrutura, qual o possível trajeto mais rápido para o resgate e os recursos necessários;

- *My (Missing member)* de Meu (bombeiro desaparecido): No combate a um incêndio a equipa pode progredir junta ou parcialmente separada. O *mayday* deve ser declarado quando não se consiga comunicar com algum membro da equipa, seja por via verbal ou por comunicação via rádio. A comunicação deve ser feita pela equipa e deve conter o nome, o corpo de bombeiros, a missão e a última localização conhecida;
- *Life (lost or trapped members)* de Vida (bombeiros perdidos ou presos): Quando um bombeiro se perde da equipa ou fica preso deve transmitir o *mayday* e comunicar a identidade do bombeiro, a última localização conhecida e os recursos necessários para o resgate.

Um *mayday* deve ser declarado mal o bombeiro perceba que algo não está bem e precise de ajuda adicional mesmo que ainda tenha capacidade de se deslocar no interior da estrutura. O bombeiro deve ter em mente que o *mayday* pode ser cancelado ou retirado a qualquer momento (Mason, 2014; Rossi *et al.*, 2016). Enquanto o bombeiro tenta junto da equipa medidas de auto-resgate, o COS vai articular com a equipa RIT e dar início a outros procedimentos para agilizar o resgate. O *mayday* não deve ser atrasado, primeiro deve emitir o pedido de ajuda e depois tentar resolver o problema (Mason, 2014; Sergi, 2016).

### O protocolo *mayday*

Os protocolos têm como propósito simplificar os procedimentos ao estruturar qual é a sequência de ações que se deve seguir. Se não existir um protocolo ou o mesmo for inespecífico vai impedir que haja agilidade e o conhecimento necessário para as equipas saberem quando o mesmo deve ser acionado. Esta ausência de pedido ou um pedido tardio pode condicionar e por vezes, inviabilizar um resgate com sucesso (Goplin, 2012).

Após uma ocorrência é importante investigar o que originou o incidente. Se no decorrer da investigação for concluído que uma equipa com formação em *mayday* não fez o pedido de ajuda ou o fez atrasado, é importante que se analise o que motivou a equipa a ter essa ação. Independentemente das conclusões do incidente, as mesmas não devem ser usadas para punir a equipa. Devem ser entendidas como uma melhoria do processo para que se aprenda o que está mal e assim aprender a não se repetir o mesmo erro (Goplin, 2012).

Um bom planeamento para uma resposta rápida numa situação *mayday* é fundamental para o sucesso. A partir do momento que se ouça um *mayday* nas comunicações é importante que o COS faça uma confirmação do mesmo. Na eventualidade de não ser possível obter confirmação por parte de quem fez o pedido deve-se iniciar uma busca e salvamento de imediato. O COS deve definir uma equipa RIT que se irá ocupar com o resgate, fornece a informação necessária tal como a última localização conhecida, o canal de comunicação e dá conhecimento da identidade da equipa (Houston, 2009).

A definição de ordens claras e concisas são essenciais para que o COS mantenha o domínio sobre os seus homens e evite que haja tentativas de *freelancing*. Em ocorrência de grande envergadura, o ideal seria o COS delegar a gestão das operações de resgate num elemento graduado de modo a se preocupar apenas com a gestão das operações do combate e assim evitar perder o comando e controlo das duas operações (Brouwer, 2014b; Houston, 2009).

Iniciada a operação de resgate é importante rever o equipamento disponível na zona de sinistro e as equipas disponíveis. Dada a exigência de resposta que um *mayday* implica é importante que o COS solicite os recursos materiais e humanos necessários para a intervenção. Não esquecer de pedir os meios de socorro e se ainda não tiver um oficial de ligação com esses meios deve solicitá-lo para coordenar os meios de socorro que irão prestar o apoio à equipa que solicitou apoio. Uma boa leitura do terreno é fundamental, depois da primeira equipa RIT entrar no edifício é necessário ter outras equipas RIT constituídas e prontas a inverter. Se não tiver equipas RIT disponíveis devem ser solicitadas novas equipas para dar apoio à equipa RIT ou para proteção da mesma (Houston, 2009).

Entrar num edifício em chamas é uma atividade perigosa de alto risco para os operacionais que entram no seu interior. Quando uma equipa RIT é acionada para resgatar um bombeiro pode encontrar um ambiente substancialmente pior do que aquele que existia à entrada da primeira equipa (Gettemeier e Bird, 2016) e encontrar um interior com riscos extremos (Smith, 2015). O potencial de se verem perante numa situação de *mayday* torna-se substancialmente maior pelo que é pertinente haver recursos materiais e humanos adequados e de reserva em cada incidente (Mason, 2014).

Quando um bombeiro está em apuros é importante que usem um acrónimo organizado que lhe permita saber estruturar a informação. Existem vários acrónimos desde NUCAN (vonAPPEN, 2014), LIP (Mason, 2014), e o LUNAR o mais comum (Houston, 2009; Robertson, 2012; Rossi *et al.*, 2016; Sergi, 2016). O que importa é que o bombeiro estruture a sua informação para ser clara, objetiva e curta de modo a que mesmo numa situação de pânico consiga transmitir a informação necessária sem consumir muito ar (Sergi, 2016).

O acrónimo mais comum e que permite estruturar a informação é o LUNAR: L - localização, U - Unidade, N - Nome, A - Missão e ar no arica, R - Recursos necessários que está descrito abaixo (Houston, 2009; Robertson, 2012; Rossi *et al.*, 2016):

- L de localização: É importante ser o mais claro e exato possível. Informar o ponto de entrada, piso e localização dentro do edifício. No escuro pode ser difícil perceber onde está, contudo, fazendo um raciocínio dedutivo do que sente à sua volta (exemplo: cama, fogão) pode permitir saber se está numa cozinha, num quarto, num escritório ou noutra divisão. Se puder ser mais minucioso deve dar detalhes sobre a localização dentro do compartimento (exemplo: junto de uma porta, debaixo de uma janela, dentro de uma banheira) e se conseguir ver luzes ou sons de dentro do edifício ou provenientes do exterior. Em resumo, deve dar a melhor informação geográfica da sua localização no interior da estrutura de forma a que a equipa RIT consiga fazer o resgate o mais rápido possível;
- U de Unidade: Embora pareça um dado insignificante, é importante saber qual a equipa porque permite que o COS cruze informação com outras equipas próximas ou que já tenham estado nessa parte do edifício para perceber como evolui o incêndio nessa zona. Em resumo deve fornecer qual a unidade onde estava;
- N de Nome: Transmitir o nome do bombeiro (comum o sobrenome, mas não o número interno) que está em apuros permite determinar, em conjunto com outros dados, qual a equipa a que pertence e quem são os outros elementos. Esta informação é vital porque permite determinar se estará alguém desaparecido;
- A de Ar no ARICA: Num ambiente hostil onde não é possível ao ser humano respirar é importante saber qual a capacidade de ar que o bombeiro ainda tem;
- R de Recursos necessários: Nesta fase existem duas opções: o material que precisa para fazer um auto-resgate (por exemplo a colocação de uma escada da parte exterior na janela onde se encontra) ou que equipamento é necessário para o resgate (por exemplo: uma garrafa com ar comprimido, uma alavanca para o libertar porque está preso). Em resumo qual será o equipamento ou meios humanos que serão necessários para que o resgate seja feito com sucesso e o que está a ser feito para corrigir o problema.

Outro acrónimo que pode ser utilizada é o LIP: Localização, Identificação e Problema que significa:

- L de Localização (qual a localização do bombeiro dentro da estrutura);
- I de Identificação (o bombeiro deve transmitir o seu nome [preferencialmente o sobrenome], o corpo de

bombeiros a que pertence e a missão que lhe foi atribuída) e;

- P de Problema (que recursos materiais e humanos precisam para um resgate com sucesso, o que está a ser feito pelo bombeiro para resolver o problema e a necessidade de ar comprimido) (Mason, 2014).

O acrónimo que também é usado por algumas unidades é o NUCAN que descreve:

- N de Nome (o nome de quem pede ajuda);
- U de Unidade (localização geográfica da equipa e designação da equipa);
- C de Condições (descrever qual o motivo e gravidade do pedido de ajuda);
- A de Ações/Ar (o que está a ser feito para resolver a situação e qual a quantidade de ar que têm) e
- N de Necessidades (que recursos são precisos para um resgate com sucesso) (vonAPPEN, 2014).

Em caso de necessidade alguns protocolos mencionam que se deve carregar no botão laranja do rádio similar ao botão de pânico do SIRESP® para declarar o pedido de ajuda (Ciampo, 2015; Mason, 2014; Salka Jr., 2017). Após declarar o pedido de ajuda deveria ativar o APS (Rossi *et al.*, 2016).

Uma vez que o operacional implementa as primeiras ações para a sua sobrevivência, deve colocar em prática uma das inúmeras técnicas de auto-resgate que existem (Rossi *et al.*, 2016) dado que irá aumentar a sua hipótese de sobrevivência em 50% (Sergi, 2016) e quando treinadas e compreendidas aumentam o poder mental de vontade de sobrevivência face a uma situação adversa (Rossi *et al.*, 2016).

O operacional deve ainda depois de ativar o APS garantir que não há nenhum obstáculo a tapá-lo para ficar visível e audível. Se tiver oportunidade e capacidade deve posicionar-se junto a uma parede com a lanterna ligada na posição de intermitente a apontar para o teto ou para a porta e com o APS virado para cima. Adicionalmente, deve pegar na ferramenta e bater contra, por exemplo, uma parede. O objetivo é fazer barulho para que a RIT escute e siga o som. É preciso ter atenção que esta ação pode provocar um aumento do consumo de ar como consequência do esforço (Sergi, 2016).

### Formação e treino contínuo

A diminuição da casuística dos incêndios dá a falsa sensação de que se pode reduzir à frequência do treino, contudo, a formação e treino nas situações em que há menos casuística deve ser otimizado e aumentada a frequência com que é executada (vonAPPEN, 2014).

A formação é importante para se conseguir sistematizar os procedimentos em particular quando se está

numa posição de decisão. Foi demonstrado que o comandante das operações de socorro mesmo com muita experiência pode perder oportunidades, pode deixar passar comunicações críticas e ter uma resposta menos eficiente se não tiver formação e treino contínuo na gestão de operações (Scandariato, 2012). Ao operacional espera-se que treine os procedimentos, conheça onde está o equipamento de emergência nos veículos, saiba técnicas de auto-resgate e onde está o seu equipamento pessoal de auto-resgate no fato (vonAPPEN, 2014).

A análise e aprendizagem com os incidentes passados são das melhores formas para se aprender e modificar procedimentos para que no futuro não seja possível acontecerem de novo. Expor os incidentes, falar sobre eles e melhorar permite ao bombeiro otimizar as suas oportunidades de sobrevivência no futuro (Rossi *et al.*, 2016).

Por esse motivo, desde que são admitidos no corpo de bombeiros, parte da formação incide no procedimento *mayday* e no peso que a sua emissão têm num TO e na importância que tem cada bombeiro ter o seu rádio (Rossi *et al.*, 2016; Salka Jr., 2017).

A formação e treino contínuo permitem aumentar a autoconfiança, o conhecimento e criar disciplina no procedimento *Mayday*. Sem a estrutura do treino e do conhecimento, os bombeiros envolvidos na operação não terão a calma necessária nem controlar o impulso de querer ajudar quem pede *Mayday*. Se essa falta de disciplina se impuser, a tarefa do COS vai ficar mais difícil porque tem de gerir um resgate com sucesso e qualquer distração pode ser um novo problema (Rossi *et al.*, 2016; Scandariato, 2012).

### A comunicação via rádio

Sentimentos como o medo, ansiedade, raiva e frustração devem ser trabalhados e controlados porque se ficarem descontrolados levam a más decisões. A resposta gerada por uma situação adversa intensa pode levar o operacional à exaustão física e mental e originar reacções irracionais. Por exemplo, uma ansiedade descontrolada promove a perda do pensamento cognitivo enquanto a frustração por não conseguir solucionar o problema ou atingir os objetivos delineados levam o operacional a ser impulsivo e a agir de forma pouco racional (Rossi *et al.*, 2016).

Quando o bombeiro se vir perante um *mayday* deve tentar controlar a sua respiração, manter a calma e transmitir a informação necessária que o ajude a ser resgatado. Enquanto aguarda o resgate vai ouvir muitas comunicações via rádio da equipa de resgate pelo que deve tentar controlar o stress e a respiração porque esses fatores quando não controlados levam à redução das habilidades cognitivas e potenciais tomada de decisões menos assertivas (Sergi, 2016).

É importante que os bombeiros tenham em atenção alguns princípios de bom funcionamento para uma melhor transmissão da comunicação tais como: a posição do rádio portátil e a posição do microfone. Por exemplo, o rádio deve estar posicionado no bolso superior do casaco para que a colocação da antena esteja numa posição elevada para permitir aumentar o poder de transmissão da comunicação. Caso contrário, o COS incorre no risco de receber comunicações ilegíveis ou de fraca qualidade (Scandariato, 2012).

Mas antes de tudo isto é importante que todos os bombeiros tenham o seu próprio rádio porque quando tiverem de pedir ajuda não ter rádio não pode ser a opção (Salka Jr., 2017). Debate-se que uma comunicação via rádio deve ser intuitiva, seguir um protocolo *standart* e ser simples para se poder utilizar numa situação de stress (Scandariato, 2012). Basta um bombeiro sem rádio precisar de ajuda e não conseguir emitir o pedido para que toda a cadeia por mais bem elaborada que esteja parta pelo seu elo mais fraco.

Houston (2009) sugere que o centro de gestão de comunicações (em Portugal denominado CDOS ou CNOS) pode ser útil e um auxílio para o COS. Num *mayday* o centro de gestão de comunicações pode orientar, de imediato, qual os canais de comunicação alternativos para o TO, monitorizar as comunicações feitas e confirmar informação que o COS possa não ter ouvido ou não compreendido.

Quando um pedido de ajuda é declarado, todos os bombeiros no TO devem cessar comunicações e aguardar que o COS estabeleça a comunicação e receba o *mayday* (Ciampo, 2015), contrariando a tendência que se tem observado de haver um aumento no fluxo de comunicações que se mistura com o pedido de ajuda (Gettemeier e Bird, 2016). Para facilitar, os operacionais devem estar preparados para mudar o canal de manobra uma vez que quem fez o pedido de ajuda está numa situação de perigo e sobre um elevado stress logo, assume-se que não está nas melhores condições para modificar o canal de manobra (Scandariato, 2012).

O bombeiro em perigo deve dizer *mayday* três vezes seguidas e depois, o COS diz ao bombeiro *mayday* para transmitir a informação através de um dos acrónimos (Mason, 2014; Robertson, 2012; Rossi *et al.*, 2016; VonAppen, 2014). O *mayday* repete-se 3 vezes porque assim não há margem para ser confundido com outra palavra ou ser considerado um engano (Norwood, 2012).

No fim da comunicação o COS deve questionar o bombeiro de potenciais perigos e riscos que a equipa RIT pode encontrar e da existência de mais bombeiros em perigo. É vital que o COS avalie as condições no interior e a estabilidade do edifício e pondere o envio da RIT ou a retirada das equipas. Todos os esforços para

o resgate devem ser feitos, mas é fundamental primar pela segurança da RIT e das outras equipas. O COS deve avaliar se há condições de segurança para realizar o resgate ou se está no momento de simplesmente dar a ordem de retirar todas as equipas do interior e assumir que não há condições de segurança para chegar ao(s) bombeiro(s) em perigo (Smith, 2015).

Tomada a decisão de resgate, é importante que se redirecione as comunicações para novos canais de rádio e apenas fique quem pede *Mayday* no canal de rádio inicial. A finalidade desta separação será permitir um canal com comunicações eficazes e ininterruptas entre o interior e o COS (Houston, 2009; Rossi *et al.*, 2016; Scandariato, 2012).

Salka Jr. (2016), considera que alterar o canal rádio das equipas é incorreto. Defende que devido à pouca sensibilidade do equipamento de proteção será difícil às equipas alterar corretamente a frequência podendo ficar sem comunicações. Considera ainda que não havendo cruzamento de informação entre todas as equipas dado que ficariam isoladas, não será possível partilhar a evolução dos trabalhos, nomeadamente o desenvolvimento de condições de perigo.

A alteração de canais de comunicação poderá ser um procedimento difícil, mas permite manter a disciplina nas comunicações e assim evitar que se percam comunicações importantes por parte de quem emitiu um *mayday*. Só com esta separação de canais de comunicação será possível reduzir o tráfego, diminuir o alarmismo das restantes equipas e focar apenas em quem precisa de ajuda (Houston, 2009).

Embora seja esperado que todas as equipas estejam preparadas para alterar o seu canal de manobra (Gettemeier e Bird, 2016), por vezes, levanta-se a questão de que por falta de treino, as outras equipas podem não conseguir mudar de canal manobra com sucesso e assim, inviabilizar a troca de comunicação com o COS e tornar-se num problema adicional (Scandariato, 2012). Se não for possível atribuir outro canal manobra às equipas, o COS deve instituir disciplina e conter comunicações desnecessárias com as equipas. Depois de estruturar o resgate e organizar o TO deve preparar a informação a ser transmitida à comunicação social (Smith, 2015).

### Considerações importantes sobre o tema

VonAppen (2014), o bombeiro para perceber o que está a acontecer precisa de formação, conhecimento, experiência e prática. Ele não pode passar pela sua carreira alegremente sem reconhecer os riscos a que está exposto. É possível ter um dia mau, mas não pode haver comodismo para que todos os dias sejam maus. É preciso estar alerta e atento à constante evolução que

acontece à sua volta. Não reconhecer o que está errado revela inconsciência e incompetência do próprio face à sua profissão.

Um dos princípios de sucesso para um *mayday* é que todos os bombeiros saibam os fundamentos básicos para manusear um equipamento rádio, principalmente se estiverem perante uma emergência (Scandariato, 2012). Outro princípio é o treino periódico em contexto real-simulado do procedimento que potencia a atuação numa situação emergente (Goplin, 2012).

Alguns bombeiros não acreditam em declarar um *mayday* porque não reconhecem as capacidades dos outros bombeiros, será o momento que nos deve fazer parar e refletir porque é que mesmo com treino não há confiança (Goplin, 2012) e muitas vezes acreditam que são invencíveis e que nunca lhes irá acontecer a si a necessidade de declarar um *mayday* (Rossi *et al.*, 2016). E por vezes, consideram que pedir ajuda cedo demais ou conseguirem resolver o problema antes da chegada da equipa RIT pode diminuí-los e serem motivo de gozo por parte dos restantes elementos (Kirby e Lakamp, 2013).

Um COS deve ser proativo e antever adversidades que possam surgir no decorrer das operações. Uma equipa RIT de três elementos é uma equipa muito pequena para executar as ações exigidas (aceder, localizar, extrair para o exterior). Caso se depare com um numero reduzido de elementos RIT e necessite de proceder a um resgate, é legítimo que o COS use os recursos disponíveis naquele momento tais como, equipas na zona de concentração e reserva ou que estejam a desempenhar ações não críticas para integrar a RIT até que cheguem reforços (Houston, 2009).

Assim, a solução deve ser temporária e sempre que possível garantir uma equipa RIT no TO, isto porque, mesmo uma equipa RIT bem treinada pode ter problemas no interior do edifício (Feyst, 2009) dado que se vai expor a riscos adicionais ao entrar na estrutura que está a arder (Clark, 2002). Por essa razão, é importante que o operacional, além da comunicação normal com a RIT, transmita para o exterior, sempre que possível, informações importantes sobre o incêndio e a integridade da estrutura (Brouwer, 2014b; Clark, 2002; Norwood, 2012; Stelle, 2014).

Quando a transmissão do *mayday* não for clara é importante que o COS questione de novo porque sem a informação correta, o resgate pode estar condenado a falhar. Pontos essenciais a reter serão a localização, a condição do operacional (por exemplo: ferimentos) e a autonomia de ar (Crandall, 2004; Feyst, 2009).

Concluída a transmissão via rádio da informação, o COS deve incentivar o operacional a ativar o Alarme Pessoal de Segurança (APS) (Crandall, 2004; Norwood, 2012; Riffe e Patin, 2008) se o mesmo ainda não tiver

pressionado o APS (Brouwer, 2014b; Clark, 2002; Ludwig, 2007; Sendelbach, 2003). Para otimizar a sinalização da sua presença deve ligar a lanterna (Crandall, 2004) e se tiver possibilidade pegar numa ferramenta e fazer barulho com ela. Durante todo o processo, o operacional deve procurar um caminho de fuga para melhorar a sua probabilidade de sobrevivência (Brouwer, 2014b; Sendelbach, 2003).

O processo de *mayday* é uma operação que não pode ter distrações, o COS não deve assumir as duas funções, a de gestão do combate ao incêndio e do resgate porque não vai conseguir gerir eficientemente as duas (Abbott, 2016). Uma vez que todo o processo requer dedicação e não pode ter distrações, é importante ter outro elemento de comando no local para que um se ocupe do *mayday* e articule com a equipa RIT e o outro graduado fique com a operação de combate ao incêndio (Brouwer, 2014b; Feyst, 2009).

### Conclusão

O *mayday* torna-se fundamental nas situações em que há risco de vida sendo importante definir bem o procedimento *mayday* e treiná-lo para que não haja dúvidas no momento de emergência (Brouwer, 2014a; Clark, 2004; Salka Jr., 2016). Caso não esteja instituída uma norma sobre o procedimento a adotar, é urgente que tal se faça (Brouwer, 2014a; Rielage, 2014) mas com atenção para que haja uniformização e conhecimento dos termos por todos (Salka Jr., 2016). É essencial que os Corpos de Bombeiros e as entidades competentes se reúnam e desenvolvam uma normativa nacional, clara e objetiva (Goplin, 2012). Não adianta ter um procedimento prático se muitos que o vão usar ou se podem deparar com ele não reconheçam os termos e procedimentos utilizados.

É importante que, numa altura em que a construção dos edifícios é cada vez mais constituída por matérias altamente combustíveis e, portanto, verdadeiras armadilhas e bombas relógio, é pertinente que os bombeiros percebam que retardarem um pedido de ajuda pode significar uma morte antecipada.

A diferença entre ter a probabilidade de ser resgatado em tempo útil ou não vai depender da informação transmitida. Para evitar informação desnecessárias quando se transmite o *mayday*, existem nomenclaturas que podem simplificar a transmissão da informação e otimizar o sucesso do pedido.

Existem ações referidas como procedimentos normais pelos bombeiros, tais como, só sair quando a autonomia do aparelho respiratório entra na reserva, incentivar a abanar o APS quando ele começa a tocar, retardar o pedido de *mayday* (Brouwer, 2014a), entrar com as equipas sem rádios. Velhos hábitos, quando errados ou

que coloquem em causa a segurança, apesar de serem considerados normais, devem ser revistos e alterados em prol da segurança (Brouwer, 2014a; Salka Jr., 2016).

O treino periódico permite aos operacionais prepararem-se para que quando o evento crítico aconteça não haja descoordenação nem perdas de tempo desnecessárias (Scandariato, 2012). Cada incêndio evolui de maneira diferente e dinâmica. Quando as equipas entram para um edifício tudo se torna desconhecido e imprevisível. Facilmente um bombeiro pode ficar desorientado ou preso como consequência do colapso da estrutura (Mason, 2014).

Antecipar as ações num TO permite ao COS planejar potenciais necessidades dos operacionais e recursos tais como: meios humanos e materiais para uma rápida intervenção (Scandariato, 2012).

Quando o *mayday* surgir é importante fazer a sua confirmação para determinar o que será preciso no resgate. É importante o envio de uma equipa RIT capaz de executar a tarefa de resgate ao mesmo tempo que as restantes equipas se mantenham na sua missão de combate. O COS deve ter uma check-list dos passos a seguir numa situação *mayday*. Não é desprestígio ter uma lista de rápida verificação que só vai permitir que os passos não sejam esquecidos. Um dos pontos de consulta deve ser a avaliação das condições do edifício e a progressão do incêndio. É importante avaliar as condições de segurança e perceber a viabilidade da estrutura, se necessário deve escolher um elemento que se ocupe de fazer a avaliação contínua da estrutura (Houston, 2009).

É importante que as instituições acompanhem a evolução e reconheçam a importância de adotar novas medidas e novos protocolos por forma a criar uma nova cultura de segurança associada a pensamentos proativos e que eliminem as ideias pré-concebidas de oposição ao *mayday*. Só ultrapassando a resistência à mudança é que se torna possível gerir ocorrências mais seguras. Na verdade, as conclusões de vários relatórios de incidentes, demonstraram que muitas mortes em serviço foram consequência de uma cultura de segurança inexistente (Goplin, 2012).

O *mayday* é aquela pequena palavra que nenhum operacional, pelo significado que lhe está associado, quer ouvir ser declarado no TO (Abbott, 2016; Daley, 2012; Gaumont, 2009; Riffe e Patin, 2008) porque implica que um Bombeiro passou a ser uma vítima (Brouwer, 2014a; Gaumont, 2009; Robertson, 2007).

A única garantia que os Bombeiros têm numa situação de perigo de vida é que nada está garantido e, portanto, recusarem desistir de sobreviver é o lema que cada um deve manter a qualquer custo. Numa situação adversa, a sensação de isolamento do mundo causa um elevado

grau de stress e insegurança. Cada um reage de maneira diferente perante uma determinada situação de stress e, portanto, seja ele de caráter físico, mental ou uma combinação dos dois podem ter resultados inesperados no Bombeiro (Rossi *et al.*, 2016).

Compete a todos prepararem-se para o pior dia para que quando ele chegar os operacionais estejam no seu melhor. Igualmente importante é manter sempre a memória daqueles que fizeram o sacrifício máximo e aqueles que erraram para que se aprenda e não se repita a história (Gettemeier e Bird, 2016).

## Bibliografia

- Abbott, D. (2016). *Training & Tactics - The Mayday Project*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/12156553/the-mayday-project>
- Bator, C. (2018). Collaborating for Firefighter Safety and Health. *Fire Engineering*, 171(6), 37-40.
- Bird, G., Gettemeier, B. (2016, Feb). Calling Mayday. *FireRescue Magazine*, 34(2), 34-37.
- Brouwer, E. (2011). *Trainer's Corner: Disentanglement drills*. *FireFighting in Canada*. Disponível em <https://www.firefightingincanada.com/trainers-corner-8650/>
- Brouwer, E. (2014a). *Trainer's Corner: Are you tough enough to call a mayday?*. *FireFighting in Canada*. Disponível em <http://magazine.firefightingincanada.com/publication/?m=1044&i=219844&p=33&pp=1>
- Brouwer, E. (2014b). *Trainer's Corner: Permission to call a mayday?*. *FireFighting in Canada*. Disponível em <http://magazine.firefightingincanada.com/publication/?i=222872&p=32&pp=1&view=issueViewer>
- Clark, B. (2002). *Safety & Health - Mayday! Mayday! Mayday!*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/10574007/mayday-mayday-mayday>
- Clark, B. (2003). *Safety & Health - We Have Permission To Use The Word Mayday*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/10573233/we-have-permission-to-use-the-word-mayday>.
- Clark, B. (2004). *Training & Tactics - Calling a Mayday: The Drill*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/10515446/calling-a-mayday-the-drill>.
- Ciampo, M.N. (2015). I-O-U My Life. *Fire Engineering*, 168(6), 92-92.
- Crandall, S. (2004). *Learning to "E.S.C.A.P.E."*. Disponível em <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-157/issue-10/features/learning-to-escape.html>.
- Daley, M. (2012). *Safety & Health - Why Firefighters Call "Mayday"*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/10732324/why-firefighters-call-mayday>.

- Feyst, M. (2009). *Back to Basics: Mayday, mayday, mayday*. Disponível em <http://www.firefightingincanada.com/structural/back-to-basics-mayday-mayday-mayday-3874>
- Gaumont, D. (2009). *Mayday! Mayday!*. Disponível em <http://www.firefighternation.com/article/firefighter-safety-health/mayday-mayday>
- Gettemeier, B. S., Bird, G. (2016). Calling Mayday. *Fire Rescue*, 11(2).
- Goplin, R. (2012). The Protocol of the Mayday Call. *Fire Engineering*, 165(1), 32-34.
- Houston, T. (2009). The IC's Guide to a Mayday Response. *Fire Engineering*, 162(3), 36-40.
- Kirby, M., Lakamp T. (2013). When to call for Help. *FireRescue Magazine*, 166(12), 20-23.
- Ludwig, G. (2007). *Safety & Health - Mayday Should Not Be "Mother-May-I?" Games*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/10503650/maydays-should-not-be-mother-may-i-games>
- Mason, M. (2014). Structural Firefighting: Rapid Intervention and NFPA 1407. *Fire Engineering*, 167(4), 54-61.
- Mclees, M. (1997). *Training & Tactis - Mayday on the fireground*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/1054438/mayday-on-the-fireground>
- Norwood, P. (2012). *Handling The Mayday: The Fire Dispatcher's Crucial Role*. Disponível em <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-165/issue-6/departments/real-world-rit/handling-the-mayday-the-fire-dispatchers-crucial-role.html>
- Rielage, R. (2014). *How mayday training saved 1 firefighter's life*. Disponível em <http://www.firerescue1.com/cod-company-officer-development/articles/1644925-How-mayday-training-saved-1-firefighters-life/>
- Riffe, J., Patin, L. (2008). *Safety & Health - "Mayday!" Made Simple*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/10493738/mayday-made-simple>
- Robertson, H. (2007). *Mayday 101*. Disponível em <http://www.firefighternation.com/article/training-0/mayday-101>
- Robertson, H. (2012). A Closer Look at LUNAR. *Fire Rescue*, 7(2).
- Rossi, M., May, G., Ramirez, R. (2016). Think F.A.S.T.: Firefighter Advanced Survival Techniques. *Fire Engineering*, 169(3), 20-38.
- Salka Jr., J. J. (2016). *Training & Tactis - Defining the Mayday*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/12198971/fire-scene-defining-the-mayday>
- Salka Jr., J.J. (2017). Calling for Help. *Firehouse*, 42(4), 130.
- Scandariato, K. (2012). Command and Mayday Training. *Fire Engineering*, 165(4), 129-132.
- Sendelbach, T. (2003). *Training & Tactics - Managing the Fireground Mayday*. Disponível em <http://www.firehouse.com/article/10541890/managing-the-fireground-mayday>
- Sergi, J. M. (2016). *Survival Options for the Down Firefighter*, 169(3), 93-97.
- Smith, J. (2015, Jun). Firefighter Rescue: Managing Maydays. *Firehouse*, 40(6), 22-30.
- Stelle, M. (2014). *Four Commonsense Steps to Preventing a Firefighter Mayday*. Disponível em <http://www.firefighternation.com/article/firefighter-safety/four-commonsense-steps-preventing-firefighter-mayd>
- vonAPPEN, M. (2014). Successful Training Depends on Practice and Trust. *Fire Engineering*, 167(4), 139-146.



RISCOS



UNHA NOVA XERACIÓN DE LUMES?  
ACTAS DO COLOQUIO GALAICO-PORTUGUÉS SOBRE INCENDIOS FORESTAIS

Luciano Lourenço

Universidade de Coimbra, NICIF, CEGOT e RISCOS  
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo (Portugal)  
ORCID 0000-0002-2017-0854 [luciano@uc.pt](mailto:luciano@uc.pt)

No passado dia 14 de junho o *Consello de Cultura Galega* procedeu ao lançamento de um novo livro, intitulado: *Uma nova geração de lumes?* e que corresponde às *Atas do Colóquio Galaico Português sobre Incêndios Florestais*, em boa hora realizado e, por isso, esta publicação só poderá pecar por tardia, apesar do esforço desenvolvido pelo Coordenador da obra, o Prof. Doutor Francisco Diaz-Fierros.

Apesar do atraso com que foi dada à estampa, esta edição merece ser divulgada, pois trata-se de uma obra de grande relevância, que se apresenta organizada em seis capítulos, os quais permitem deixar para a posteridade os temas então tratados nesse Colóquio.

Tanto a abrangência temática, como a qualidade dos assuntos nele abordados, bem merecem e justificam esta publicação, pelo que o Consello de Cultura Galega bem como o Coordenador da obra estão de parabéns!

De facto, numa rápida análise aos temas tratados, é de realçar a excelente panorâmica traçada por Diaz-Fierros sobre os Incêndios florestais, na Galiza e em Portugal, a qual constitui um excelente enquadramento para os temas que se lhe seguem.

O trabalho seguinte versa sobre: *Os incendios forestais do cambio global xa estan aquí. Un desafío e unha ocasión para lograr unha resposta social consensuada*, da autoria do Prof. Doutor José António Vega e de mais quatro seus colaboradores. Neste estudo ressalta o facto das mudanças globais não serem apenas climáticas, como alguns pretendem fazer crer, mas, como se demonstra, essas mudanças resultaram fundamentalmente das profundas transformações sociais e económicas que o mundo rural sofreu no último meio século.

Por outro lado, merece ser sublinhada uma das conclusões deste estudo: *Os últimos graves incendios de 2017 foron un aviso - nunha escala limitada - do que pode suceder nos próximos anos se non reaccionamos como sociedade*, ou seja, torna-se necessário encontrar uma resposta social para os incêndios, já que eles terão de passar a ser encarados, essencialmente, como um risco social, quer na sua origem, quer nas consequências que desencadeiam.



Fig. 1 - Reprodução do capa "Uma nova xeración de lumes? Actas do Colóquio Galaico-Português sobre Incendios Forestais".

Fig. 1 - Reproduction of the cover "A new generation of fires? Proceedings of the Galician-Portuguese Colloquium on Forest Fires".

De facto, as soluções tecnológicas, preconizadas por alguns, por mais inovadoras e importantes que sejam no combate aos incêndios florestais, não solucionam o problema, sobretudo se, anteriormente, não foram resolvidas as questões sociais que levaram ao abandono do campo e da floresta e, por outro lado, se não vierem a ser implementadas medidas que permitam que a floresta volte a gerar riqueza, em vez de continuar a ser pasto das chamas.

Com efeito, mesmo depois dos mediáticos incêndios de 2017 e da muita tinta que, na altura, correu sobre o assunto, pouco de concreto se fez depois disso e ainda

haverá muito trabalho a realizar para que o cenário dos incêndios florestais se altere, como se comprova com os grandes incêndios que, nos anos seguintes, continuaram a lavar em Portugal, designadamente em:

- (I) Monchique, no ano de 2018, com 26 764 ha;
- (II) Vila de Rei e Mação, no ano seguinte, de 2019, com 9 249ha; e, por último;
- (III) Proença-a-Nova, no ano de 2020, com 16 510 ha.

Como sugerem os autores no título deste capítulo, estaria na altura de aceitar o desafio e de aproveitar a ocasião para encontrar uma resposta social concertada, mas, pelos resultados observáveis no território então queimado, parece ter sido mais uma oportunidade perdida!

O texto seguinte, da autoria do Prof. Doutor Edelmiro López Iglesias, centra a sua análise num importante aspeto particular que decorre da problemática social, colocando a tónica nos *Factores estruturais que contribúen ao problema dos incendios en Galicia: mudanzas no medio rural e deficiencias na xestión do territorio*.

Trata-se de insistir na importância das mudanças ocorridas no meio rural e nas deficiências que conduzem a uma má gestão do território, muitas das quais resultam das profundas alterações que a sociedade sofreu sobretudo a partir de meados do século passado.

Torna-se, então, necessário e urgente encontrar soluções que não só permitam travar o contínuo despovoamento do interior e, sobretudo, das áreas rurais, mas também sejam capazes de encontrar novas formas de organização da estrutura fundiária, começando pelas propriedades abandonadas, que venham a possibilitar uma gestão adequada do território agroflorestal.

O capítulo seguinte, da autoria do Prof. Doutor Juan Picos Martín, trata da *Orde e desorde no espazo forestal*, e não é mais do que a voltar às causas que conduziram à falta de gestão e, por conseguinte, à desordem no espaço florestal, apontando algumas soluções que seria necessário implementar para ajudar a inverter a tendência para os espaços florestais continuarem a arder e, assim, diminuir a recorrência dos montes queimados.

Um dos exemplos, apresentado pelo autor, sobre a desordem no espaço florestal, diz respeito às interfaces urbano-florestais, um tema que o signatário aborda no capítulo seguinte, com exemplos de situações deste tipo observadas em Portugal.

Nesse capítulo, depois de uma apresentação sintética sobre a evolução anual do número de ocorrências e da área queimada em Portugal, descrevem-se, através de

um breve apontamento histórico, alguns exemplos de áreas de interface urbano-rurais que foram afetadas por incêndios florestais, para demonstrar que o fenómeno, não sendo novo, tem vindo a ganhar acuidade nos últimos anos, em consequência de muitos dos aspetos mencionados anteriormente, e que se não houver medidas concretas que permitam contrariar esta tendência, terá propensão a agravar-se no futuro.

O último capítulo, da autoria do Eng.º António Salgueiro, versa sobre a *Preparação do Sistema de Defesa para [responder ao] Comportamento Extremo do Fogo*, uma vez que, ao longo dos últimos anos, sobretudo fruto da falta de gestão dos espaços florestais, antes mencionada e que tem levado à sistemática acumulação de combustível, o comportamento do lume tem sido cada vez mais violento.

Pela pertinência destes textos, cabe, pois, salientar a relevância, o interesse e a importância desta obra, que o Consello de Cultura Galega acabou de dar à estampa e que contextualiza a realidade dos incêndios florestais na fachada atlântica ocidental da Península Ibérica a Norte do rio Tejo, ou seja, na Galiza e no Norte e Centro de Portugal, regiões muito semelhantes quanto aos fatores que permitem desencadear e alimentar a progressão dos incêndios florestais, constituindo, por isso, um importante contributo para o conhecimento do risco de incêndio florestal, razão pela qual bem merece a sua divulgação.

Apesar do atraso com que saiu, relativamente à data de realização do Colóquio, felicitamos os autores, o Conselho de Cultura Galega, bem como o Coordenador desta obra, o Prof. Doutor Francisco Diaz-Fierros, pela magnífica edição que acabaram de publicar e para a qual desejo os maiores sucessos editoriais, pois bem merece ser conhecida.

A apresentação que foi feita sobre este livro pode ser vista em <http://consellodacultura.gal/especiais/nova-xeracion-de-lumes/> e o livro pode ser descarregado em: <http://consellodacultura.gal/publicacion.php?id=4416>.

Outras duas obras sobre a temática dos incêndios florestais, antes publicadas pelo Consello de Cultura Galega e também coordenadas por Diaz-Fierros, podem ser igualmente descarregadas e versam, respetivamente, sobre:

- *Por unha nova cultura forestal fronte aos incendios. Informes e conclusións* (2007), disponível em: <http://consellodacultura.gal/publicacion.php?id=1357>
- *Os incendios forestais en Galicia* (2006), disponível em: <http://consellodacultura.gal/publicacion.php?id=163>

Boas leituras!



RISCOS

territorium 28 (II), 2021, 197-198

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

DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-2\\_15](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_15)

Notícia / News



## RISCOS E DESASTRES NO BRASIL: UM DIÁLOGO COM A SOCIOLOGIA PRAGMÁTICA DAS TRANSFORMAÇÕES

197

Fabrizio Cardoso de Mello

Universidade Vila Velha, Programa de Pós-Graduação em Sociologia Política, PNPd-CAPES (Brasil)

ORCID 0000-0003-2674-107X [fc\\_mello@gmail.com](mailto:fc_mello@gmail.com)

Teresa da Silva Rosa

Universidade Vila Velha, Núcleo de Estudos Urbanos - Neus

Programa de Pós-Graduação em Sociologia Política, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade (Brasil)

ORCID 0000-0001-6613-5088 [tsrosaprof@gmail.com](mailto:tsrosaprof@gmail.com)

Marcos Barreto de Mendonça

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (Brasil)

ORCID 0000-0002-0708-9728 [mbm@poli.ufrj.br](mailto:mbm@poli.ufrj.br)

Francis Chateauraynaud

Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Groupe de Sociologie Pragmatique et Réflexive (França)

ORCID 0000-0002-8507-4134 [francis.chateauraynaud@ehess.fr](mailto:francis.chateauraynaud@ehess.fr)

Josquin Debaz

Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Groupe de Sociologie Pragmatique et Réflexive (França)

ORCID 0000-0002-9604-9014 [josquin.debaz@gmail.com](mailto:josquin.debaz@gmail.com)

Nos dias de hoje vemos avançar a noção de que os riscos e os desastres não são naturais (Maskrey, 1993). Com efeito, são ambos produtos da interação entre fatores biogeofísicos e a dinâmica social das relações humanas, estas responsáveis pela criação de padrões culturais, econômicos e políticos com incidências específicas e variadas sobre o que é considerado “natural”. Uma das contribuições das ciências sociais ao debate interdisciplinar sobre os desastres e seus riscos é justamente chamar a atenção à complexidade de tais padrões. Eles variam geográfica e historicamente, são entrecortados por lógicas de poder e, a partir delas, (re)produzem diferentes formas de desigualdade entre os atores sociais que deles participam. Na modernidade, a geopolítica é uma das categorias em que essa desigualdade se manifesta. Enquanto alguns países como os Estados Unidos da América, o Japão, a Austrália e as nações da Europa Ocidental conformam um “norte” (geopolítico) global, que concentra recursos e privilégios políticos, econômicos e epistêmicos, demais regiões do mundo, entre elas a América Latina, encontram-se em situações (semi)periféricas. A heteronomia daí resultante atravessa várias regiões da vida social, entre elas a relação com o meio-ambiente e com a produção de riscos.

No livro *Sociologia Pragmática das Transformações em Diálogo: Riscos e Desastres no Brasil Contemporâneo* (fig. 1) nós, os organizadores e a organizadora, assim como os autores e autoras que contribuíram à coletânea com seus capítulos, buscamos abordar a temática dos desastres



Fig. 1 - Reprodução da capa "Sociologia Pragmática das Transformações em Diálogo: Riscos e Desastres no Brasil Contemporâneo".

Fig. 1 - Reproduction of the cover "Pragmatic Sociology of Transformations in Dialogue: Risks and Disasters in Contemporary Brazil"

compartilhando justamente das duas orientações especificadas acima. Por um lado, entendemos que os desastres são construídos historicamente ao longo da forma como sociedades humanas relacionam-se com o ambiente. Por outro lado, levamos em consideração que a devida caracterização deste elemento histórico, e da forma como ele se expressa no presente e é projetado no futuro, é fundamental para uma análise empiricamente adequada daquele fenômeno. Empreendemos tal esforço tendo a sociedade brasileira contemporânea em alça de mira. Deste modo, o objetivo mais geral do volume foi traçar um panorama dos tipos de desastres ambientais e tecnológicos que vêm se manifestando no Brasil ultimamente, das experiências daqueles afetados por eles, ou envolvidos em seu enfrentamento, bem como da produção científica que vem sendo construída em torno de tais questões.

Os desastres em questão refletem a trajetória pós-colonial e semiperiférica brasileira. No curso do livro, deparamo-nos com capítulos que retratam situações ligadas a rompimentos de barragens de minério - com destaque para o Desastre da Samarco, ocorrido em 2015 na cidade mineira de Mariana (Chateauraynaud e Debaz, Trigueiro, Lampier Jr., Pinheiro, Campos) -, desastres que partiram de eventos meteorológicos extremos (Mello, Pinheiro), riscos associados à ocupação territorial e à moradia urbana (Reginensi, Lolive e Okamura; Okamura e Lolive). Também são discutidos os problemas institucionais encarados por atores políticos de diferentes origens na gestão dos riscos no Brasil (Serva, Goulart e Camacho, Campos, Marchezini). Assim, tanto o problema do desenvolvimento socioeconômico globalmente condicionado, quanto os processos de urbanização tardios e acelerados e os desafios democráticos de enfrentamento de riscos e desastres atravessam os trabalhos que compõem o livro. Isso reforça a mensagem de que desastres e riscos não devem ser analisados sem a devida consideração das desigualdades e vulnerabilidades que contribuem à sua existência.

A sociologia pragmática contemporânea é uma referência fundamental ao livro. Preocupada com a complexidade dos riscos, a não-linearidade dos processos políticos e a reflexividade dos atores a pragmática das transformações foi uma abordagem que influenciou particularmente nosso trabalho de organização. Aqui, buscamos levá-la além do cenário francês, de onde se originou sob direção de Francis Chateauraynaud. No universo abrigado pela coletânea, ela se abre ao diálogo com os contextos empírico e intelectual brasileiro por meio dos trabalhos de campo de Chateauraynaud e Josquin Debaz, com a síntese proposta por Fabrício Mello com o trabalho teórico do sociólogo José Maurício Domingues e com intercâmbios diretos e indiretos, com intensidade variável, com os demais autores de capítulos (ver os

textos de Mendonça e Marchezini, Siqueira, Reginensi e Mendonça para o primeiro caso). De tal maneira, o volume marca um momento de “brasileirização” desta vertente pragmática, conforme nos comentou por e-mail nosso colega Jacques Lolive. Seus dois capítulos em coautoria com Cintia Okamura, aliás, marcam uma última, mas não menos importante, via de diálogo que o livro estabelece à pragmática das transformações, desta vez com outras vertentes e autores da sociologia pragmática contemporânea.

Estruturalmente, a coletânea se divide em quatro partes. Uma primeira se dá em torno da discussão sobre o olhar específico da pragmática das transformações ao seu tema central. A segunda apresenta diferentes considerações metodológicas desenvolvidas a partir da pesquisa em cenários de risco e desastres. A terceira é composta por textos que analisam casos e questões de forte teor empírico, sem desconsiderar preocupações teóricas e metodológicas do debate sobre riscos e desastres. A quarta e última parte, como já indicado acima, debruça-se sobre a vida institucional de gestores do risco. Com exceção da primeira parte, desenvolvida por um diálogo entre dois pesquisadores franceses e dois brasileiros (Chateauraynaud e Debaz, Mendonça e Marchezini), todas as demais são introduzidas por contextualizações que sintetizam os eixos de suas respectivas discussões (parte 2 - Siqueira, parte 3 - Mendonça, parte 4 - Serva).

Finalmente, cabe mencionar que o livro é um desdobramento da realização do Colóquio Franco-Brasileiro sobre Riscos e Desastres (em setembro de 2019 em Vila Velha, ES, Brasil). Tanto o volume, quanto o evento foram encabeçados por pesquisadores da Universidade Vila Velha; da *École des Hautes Études en Sciences Sociales-Paris* (EHESS, França); e da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, Brasil). As três instituições foram muito importantes para este projeto. Da mesma forma, evento e livro contaram com o suporte decisivo do auxílio a eventos internacionais concedido pela CAPES por meio do PAEP-01-2019-1239652P (processo 88881.359951/2019-01). A todos estes apoios, agradecemos imensamente.

#### Referências bibliográficas

- Maskrey, A. (org) (1993). *Los desastres no son naturales*. Bogotá: La Red, 137 p. Disponível em: <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- Mello, F. C., da Silva Rosa, T., Mendonça, M. B., Chateauraynaud, F. e DebaZ, J. (orgs) (2021). *Sociologia Pragmática das Transformações em Diálogo: Riscos e Desastres no Brasil Contemporâneo*. Vitória: Milfontes, 288 p. Disponível em: [https://editoramilfontes.com.br/acervo/Sociologia\\_pragmatica.pdf](https://editoramilfontes.com.br/acervo/Sociologia_pragmatica.pdf)

## XIV ENCONTRO NACIONAL DE RISCOS

199

Fernando Félix

Universidade de Coimbra

NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais (Portugal)

ORCID 0000-0001-8509-6010 [ffelix@fl.uc.pt](mailto:ffelix@fl.uc.pt)

Adélia Nunes

Universidade de Coimbra, NICIF, CEGOT e RISCOS

Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo (Portugal)

ORCID 0000-0001-8665-4459 [adelia.nunes@fl.uc.pt](mailto:adelia.nunes@fl.uc.pt)

A Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança (RISCOS), em colaboração com o Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), o Departamento de Geografia e Turismo e a Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra (FLUC), estão a organizar o XIV Encontro Nacional de Riscos subordinado ao tema “Risco de cheias e risco de inundações fluviais: Aprender com o passado”, que decorrerá nos dias 16 e 17 de julho de 2021, no Teatro Paulo Quintela, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

O XIV Encontro Nacional de Riscos visa colocar a comunidade científica, bem como os agentes de proteção civil, os órgãos de soberania regionais/locais, os professores dos ensinos básico e secundário (curso acreditado pelo CCPFC) e a população em geral, a refletir sobre o que fazer em caso de situação de catástrofe provocada pela manifestação do risco de cheias e do conseqüente risco de inundações fluviais. Aprender com o passado para melhorar o presente e o futuro, consciencializar de que a frequência e a intensidade destes eventos hidrológicos excepcionais terão tendência para aumentar e afetar um número crescente de pessoas e bens, serão outros dos desafios deste Encontro.

À semelhança dos Encontros anteriores tem como mote visitar acontecimentos mais ou menos catastróficos, registados em Portugal, cuja efeméride “redonda” ocorra nesse ano (neste caso, as inundações de 2001, em particular as do rio Mondego), para deles retirar os ensinamentos que podem transmitir e, assim, aprender com essas experiências e construir territórios resilientes.

Convidam-se à participação neste evento: Investigadores de Instituições de Ensino Superior; Agentes de Proteção Civil (Bombeiros, Forças de Segurança, Forças Armadas, Prestadores de cuidados de Saúde, ...), Técnicos e Profissionais dos diversos organismos, públicos e privados, ligados à avaliação dos riscos, gestão de catástrofes, ordenamento do território, educação e comunicação; Estudantes de doutoramento, mestrado e licenciatura; Membros das comunidades civil e de associações e/ou organizações não-governamentais, interessados ou que



The poster for the XIV National Meeting of Risks features a central title 'XIV ENCONTRO NACIONAL de RISCOS' in large, bold letters. Below it, the theme is stated: 'RISCO DE CHEIAS E RISCO DE INUNDAÇÕES FLUVIAIS: APRENDER COM O PASSADO'. The dates '16-17 de julho de 2021' and the location 'Teatro Paulo Quintela, Faculdade de Letras Universidade de Coimbra' are clearly visible. The poster lists two conferences: 'Abertura' with the topic 'CONTRIBUTOS DO LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA PARA O ESTUDO DAS CHEIAS DO MONDEGO' and 'Encerramento' with 'ANÁLISE DOS IMPACTES DAS GRANDES CHEIAS DO MONDEGO NOS ÚLTIMOS 700 ANOS'. It includes contact information for RISCOS, CEGOT, and FCT, and the official website <https://xivenr.riscos.pt>. The design is colorful with geometric shapes and images of rivers and flood damage.

Fig. 1 - Reprodução do cartaz de divulgação do XIV Encontro Nacional de Riscos.

Fig. 1 - Reproduction of the poster of the XIV National Meeting of Risks.

atuem na temática da redução dos riscos de catástrofe e Docentes do Sistema Nacional de Ensino, do 2º Ciclo e 3º Ciclo do Ensino Básico e do Ensino Secundário. A participação pode ser através da apresentação de comunicações, integradas nos 6 painéis temáticos, ou como participante na discussão sobre as tomadas de decisão, tendo em vista a redução dos riscos, presentes e futuros.

A informação atualizada acerca do Encontro pode ser consultada a página web oficial: <https://xivenr.riscos.pt>.

Contamos consigo no XIV Encontro Nacional de Riscos!



RISCOS



## II SEMINÁRIO DA REDE INCÊNDIOS-SOLOS

Fernando Félix

Universidade de Coimbra, NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais (Portugal)  
ORCID 0000-0001-8509-6010 [ffelix@fl.uc.pt](mailto:ffelix@fl.uc.pt)

Felícia Fonseca

Instituto Politécnico de Bragança  
CIMO - Centro de Investigação de Montanha (Portugal)  
ORCID 0000-0001-7727-071X [ffonseca@ipb.pt](mailto:ffonseca@ipb.pt)

António Vieira

Universidade do Minho, CESC e RISCOS  
Instituto de Ciências Sociais, Dep. de Geografia (Portugal)  
ORCID 0000-0001-6807-1153 [vieira@geografia.uminho.pt](mailto:vieira@geografia.uminho.pt)

Tomás de Figueiredo

Instituto Politécnico de Bragança  
CIMO - Centro de Investigação de Montanha (Portugal)  
ORCID 0000-0001-7690-8996 [tomasfig@ipb.pt](mailto:tomasfig@ipb.pt)

Na sequência da criação da Rede Incêndios-Solo no seio da RISCOS, promoveu-se em 2015 o I Seminário da Rede Incêndios-Solo, que teve lugar na Universidade do Algarve, em Faro, contando com a participação de investigadores nacionais e estrangeiros, interessados pelo debate das temáticas relacionadas com os impactos dos incêndios sobre os solos a aplicação de medidas para a sua mitigação.

Dando continuidade a esse evento, o II Seminário da Rede Incêndios-Solo será um momento de reunião de conhecimentos e de oportunidade para a reflexão sobre a temática que justificou a fundação e é a missão motivadora da Rede.

A Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança (RISCOS), está a organizar, em colaboração com o Centro de Investigação de Montanha (CIMO), do Instituto Politécnico de Bragança, e o Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade (CECS), da Universidade do Minho, o II Seminário da Rede Incêndios-Solo, subordinado ao tema "*Incêndios, Solos e Território: da ameaça à sustentabilidade*", que decorrerá nos dias 13 a 15 de outubro 2021, no Centro de Investigação de Montanha (CIMO), do Instituto Politécnico de Bragança.

O II Seminário da Rede Incêndios-Solo pretende constituir-se como um fórum de debate sobre a temática dos incêndios na sua relação com o uso do solo e com a gestão e conservação deste recurso, elementos que se entendem centrais para as orientações políticas que promovam a sustentabilidade dos territórios. Em paralelo, o Seminário propõe-se reunir resultados de investigação, recente e em curso, no âmbito dos impactos dos incêndios no solo, das correspondentes medidas de prevenção e mitigação, e dos processos de recuperação das funções ecossistémicas dos solos nas áreas ardidas, pelo que lhe formulamos o convite para participar neste Seminário, dando-nos a conhecer a investigação e os estudos que tem vindo a realizar dentro desta temática dos impactos dos incêndios florestais sobre os solos e as medidas para a sua mitigação.

encontros@riscos.pt, Tel.: +351 239 992 251'. The website is <https://iisris.riscos.pt/>. Logos of partner institutions like IPB, CIMO, and CECS are at the bottom."/>

Fig. 1 - Reprodução do cartaz de divulgação do II Seminário da Rede Incêndios-Solo.

Fig. 1 - Reproduction of the poster of the II Seminar of the Network Forest Fires-Soil.

Convidam-se à participação neste evento da comunidade científica, dirigentes e técnicos de organismos centrais, regionais e municipais do sector público e do setor privado, empresários, produtores e agentes locais, público em geral, com interesse na temática, apresentando uma comunicação, ou, simplesmente, participando no II Seminário da Rede Incêndios-Solo.

A informação atualizada acerca do Seminário pode ser consultada a página web oficial: <https://iisris.riscos.pt/>.

Marcamos encontro no II Seminário da Rede Incêndios-Solo!

## I CONFERÊNCIA LUSÓFONA DE RISCOS

201

Fernando Félix

Universidade de Coimbra

NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais (Portugal)

ORCID 0000-0001-8509-6010 [ffelix@fl.uc.pt](mailto:ffelix@fl.uc.pt)

Pedro Rios

PAFO - Associação Lusófona de Prevenção contra Incidentes (Portugal)

[p.rios@pafo.pt](mailto:p.rios@pafo.pt)

As Conferências Lusófonas de Riscos marcam uma nova tipologia de reuniões internacionais sobre os riscos e catástrofes, promovida pela Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança (RISCOS), em colaboração com a Associação Lusófona de Prevenção contra Incidentes, Acidentes e Desastres (PAFO), e outras entidades parceiras, que visem os mesmos fins.

Esta I Conferência Lusófona de Riscos dá início a um ciclo de debate que irá percorrer os territórios membros da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP), para neles proceder à apresentação de temas associados com os riscos.

A RISCOS e a PAFO, e em parceria com o Governo de Angola, Ministério do Interior e Governo da Província de Luanda, estão a organizar a I Conferência Lusófona de Riscos que será subordinada ao tema “*Novos Riscos no Horizonte da Intervenção dos Bombeiros*”, que decorrerá no dia 29 de novembro de 2021, em Luanda, Angola. Esta primeira edição está ainda integrada nas comemorações do Dia Nacional dos Bombeiros de Angola.

A I Conferência Lusófona de Riscos visa a criação de uma frente de combate preventiva, que seja resiliente na mitigação das vulnerabilidades, que antecipe e preveja os acidentes e as catástrofes, que seja capaz de mobilizar toda a sociedade civil - da escola aos mais idosos - e em que a condição da moderna cidadania não tenha cláusulas de exclusão e seja um objetivo mobilizador e urgente.

Sendo assim, a validação de conceitos cindínicos, enquanto motor de dinamização e valorização do conhecimento académico, acompanhada da análise e gestão dos riscos e das crises, desde as suas causas até aos efeitos que produzem, são a base de sustentação de uma consistente formação de agentes da proteção civil e da sociedade em geral, pelo que constituem outro importante objetivo desta Conferência.

Convidam-se à participação neste evento: Dirigentes e Técnicos dos Organismos Centrais, Provinciais e Municipais; Toda a Comunidade Científica, sobretudo a que partilha o espaço da lusofonia; Empresários e técnicos do sector público e privado; Empresas



Fig. 1 - Reprodução do cartaz de divulgação da I Conferência Lusófona de Riscos.

Fig. 1 - Reproduction of the poster of the I Lusophone Conference of Risks.

Seguradoras e Bancárias; Autoridades e Agentes afetos a Sistemas de Proteção Civil, Bombeiros e Polícias Nacionais, Forças Armadas, Saúde, Ambiente e Recursos Naturais; Público em geral interessado nesta área temática, apresentando comunicações, relativas aos 3 painéis temáticos, ou, simplesmente, participando na I Conferência Lusófona de Riscos.

A informação atualizada acerca do Encontro pode ser consultada a página web oficial: <https://iclr.riscos.pt>.

O ponto de encontro é na I Conferência Lusófona de Riscos!



RISCOS



O FATO SOCIAL DE ÉMILE DURKHEIM E O DIREITO

Vitória Dionísio Mota

Centro Universitário Autônomo do Brasil, Departamento Jurídico Peralta Advogados (Brasil)

ORCID 0000-0001-7188-4905 [vitoriadionisioadv@gmail.com](mailto:vitoriadionisioadv@gmail.com)

Sthephany Patrício da Silva

Centro Universitário Autônomo do Brasil (Brasil)

ORCID 0000-0002-3106-9305 [sthephanypatricio@yahoo.com](mailto:sthephanypatricio@yahoo.com)

O presente estudo buscará analisar, compreender e apresentar no âmbito jurídico a sociologia de Émile Durkheim, e explicar como sua noção do Fato Social se interpõe no estudo do Direito. Fato social e divisão do trabalho é o título do livro objeto deste texto. (fig 1) A escolha da obra é devida a importância do entendimento socio-jurídico do que significa a divisão do trabalho e da organização social. Justifica-se a colocação de tal fato como objeto de estudo pela necessidade vista atualmente da retomada de conceitos sociais em uma sociedade que a muito não aplica e não entende tais estudos como necessários.

A obra objeto de análise, foi traduzida e publicada por Ricardo Musse; Doutor em Filosofia e professor do Departamento de Sociologia da Universidade de São Paulo, dentre as atribuições do autor, deve-se ressaltar: É professor associado no departamento de sociologia da Universidade de São Paulo. Livre-docente pela Universidade de São Paulo (2012), doutor em filosofia pela USP (1998) e mestre em filosofia pela UFRGS (1992). Tem experiência em pesquisas e docência nas áreas de sociologia e de filosofia, com ênfase em teoria sociológica, atuando principalmente nos temas: teoria crítica da sociedade, sociologia do marxismo, teoria social, sociologia e filosofia alemã. Importa ainda salientar a crescente provação do meio científico-sociológico e a distorção de conceitos básicos sociais, o que enfatiza ainda mais a necessidade deste estudo. Portanto então, durante a discussão conceitua-se, primeiramente, a ideia da sociedade pós-moderna, temos as noções de Zygmunt Bauman, que a define como a modernidade líquida.

Também a sociedade pós-moderna, vista como o triunfo do âmbito do capital, onde não se há mais uma oposição política e cultural que seja autêntica. Trata-se, portanto, de uma sociedade modificada de modo profundo, por um acelerado e intenso processo de transformações de cunho social, científico e tecnológico, ocorridas dentro do século XX e XXI.

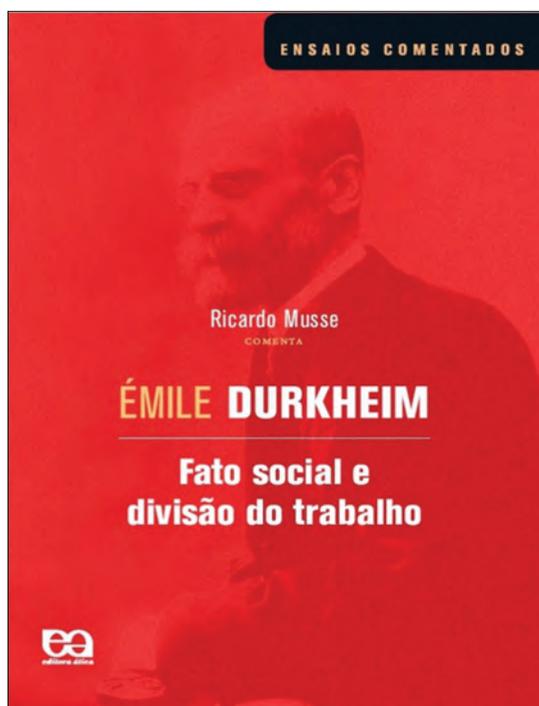


Fig. 1 - Frontispício da obra "ÉMILE DURKHEIM Fato Social e divisão do trabalho".

Fig. 1 - Frontis piece of the book "Émile Durkheim Social Fact and division of labor".

Contudo, é importante retornar ao conceito de "solidariedade", que para Émile Durkheim, foi o estopim para que o meio social se unisse e se organizasse de forma conjunta. O autor traz a ideia do procedimento de pesquisa, como sendo insuficiente, procedimento este de estabelecer uma classificação dos fenômenos sociais com base em princípios gerais, Durkheim entende que não se pode estudar as ciências humanas, como sociologia e Direito na forma que se estudam as ciências naturais, como em laboratórios, acredita-se que a sociedade é maleável, e se constrói a partir de estímulos que não podem ser esperados. Portanto

então a pesquisa da análise sociológica, se abre em leque comparativo de procedimentos que procuram confrontar os fenômenos sociais concretos em toda a variedade de sua manifestação, o elemento fixo nesse contraste é ora o exame da função desempenhada pelo fato (fisiologia), ora a inspeção das formas cristalizadas ou anatômicas (morfologia).

Com o advento, portanto, da chamada sociedade pós-moderna, temos então as primeiras noções de um Estado de Direito propriamente dito, dotado de regras e princípios de direitos humanos.

#### A concepção do conceito estatal na pós-modernidade

Chama-se a pós-modernidade, de uma condição ou realidade que traz consigo essencialmente a crise da era moderna, a exemplo do muro de Berlim. Traz consigo, sem dúvidas, ambiguidades. Caracteriza-se então: *“O anseio de uma justiça que possa ser sensível ao pequeno, ao incompleto, ao múltiplo, à condição de irredutível diferença que marca a materialidade de cada elemento da natureza, de cada ser humano, de cada comunidade, de cada circunstância, ao contrário dos que nos ensinam a metafísica e o positivismo oficiais”* (Sevcenko, 1987, p. 54-55).

No conceito da pós-modernidade, temos o chamado “cidadão do mundo”, trazendo o conceito de Durkheim, da obra “As regras do método sociológico”, que traz os conceitos de exterioridade, impessoalidade e objetividade, que indicam a chamada prevalência da sociedade sobre o indivíduo de forma geral. O autor, entende então, que o conceito de sociedade, é marcado por uma espécie de solidariedade.

#### Solidariedade material e orgânica

Caracterizada pelo entendimento principal do que é a sociedade moderna, a tese doutoral de Émile Durkheim, traz a ideia de dois conceitos vistos pela sociologia moderna como falhos e passíveis de contestações: o conceito da solidariedade material e da solidariedade orgânica. Durkheim se convence que os conceitos de modernidade, se encontram numa noção de essenciais transformações nas sociedades. A sociedade material (mecânica) é a chamada sociedade simples, com funções sociais dos indivíduos sendo semelhantes, não havendo a chama divisão social do trabalho, e com o predomínio do chamado Direito punitivo, diferentemente das sociedades orgânicas, conjuntos sociais complexos, onde as funções sociais de trabalho são especializadas, e interdependentes, há uma divisão social do trabalho e o predomínio do direito restitutivo.

Pode-se dizer então, sobre as sociedades, sendo ou materiais ou orgânicas que constituem entre si, solidariedades.

As chamadas solidariedades incluem, nos mesmos conceitos, mecânicos e orgânicos, datando como ideais, nas sociedades mecânicas, a produção de fortes valores religiosos compartilhados dentro do meio social, um direito, que se constitui essencialmente no âmbito penal, e a busca incessante de punir o que é considerado diferente. Existem exemplos atuais, de desejo que, as sociedades retornem a tal arcaico modelo, exemplificando por exemplo, movimentos anti-vacina e movimentos de retrocesso intelectual. Há também dentro das sociedades mecânicas (materiais) o fortalecimento dos vínculos familiares, clânicos e tribais.

#### Sociedades orgânicas e a divisão do trabalho

Sendo essencialmente, Émile Durkheim, um teórico favorável às sociedades orgânicas, temos a seguinte ideia, retirada *ipsis literis* de seu livro:

*“O conceito de divisão do trabalho desdobrado por Durkheim diverge substancialmente da noção homônima prevalecente na economia política e na sociologia utilitarista. Spencer atribui a solidariedade social à troca mercantil e à sua figura jurídica, o contrato, enfatizando, à maneira dos liberais, a ação individual. Durkheim, ao contrário, destaca o solo da regulação social, que considera anterior e pré-condição da emergência do individualismo. No mundo moderno, no entanto, é possível encontrar situações em que a divisão do trabalho não se fez acompanhar de uma “regulamentação suficientemente desenvolvida”. Durkheim nomeia tais estados como “anomias”. Esse descompasso é visível tanto na ausência de unidade que caracteriza a ciência como nas recorrentes crises econômicas e no agudo antagonismo que opõe capital e trabalho”*

É importante, contudo, salientar no começo dos estudos, o que seria o chamado fato social de Durkheim. É dito pelo autor que, em toda sociedade há um grupo determinado de fenômenos que se distinguem através de traços específicos, dos que são estudados pelas outras ciências da natureza. Incluindo desde a educação das crianças até o modo de compreender a sociedade como um todo.

A definição corrente de “fenômeno social”, assentada na mera identificação do “interesse social”, em sua generalidade absoluta, é insuficiente. Não permite, por exemplo, distinguir a sociologia de outras disciplinas que abordam a vida humana, como a biologia, a psicologia ou a filosofia. Durkheim propõe-se a demonstrar a possibilidade de a sociologia existir como ciência específica por meio da determinação de um objeto que lhe é próprio e só pode ser explicado sociologicamente - o fato social.

## Relações jurídicas e o fato social

| I. REGRAS COM SANÇÃO REPRESSIVA ORGANIZADA<br>(Encontra-se uma classificação no capítulo seguinte)<br>1.1. REGRAS COM SANÇÃO RESTITUTIVA DETERMINANDO: |                       |                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Relações negativas ou de abstenção                                                                                                                     | Da coisa com a pessoa | Direito de propriedade em suas diversas formas (mobiliária, imobiliária etc.)<br>Modalidades diversas do direito de propriedade (servidão, usufruto etc.) |
|                                                                                                                                                        | Da pessoa entre si    | Determinadas pelo exercício normal dos direitos reais<br>Determinadas pela violação faltosa dos direitos reais                                            |

O quadro acima, avalia de forma concreta como funcionam as relações jurídicas da chamada coisa com a pessoa, e das pessoas entre si. Deve se tornar nítida ao leitor, a diferença entre as relações da “coisa com a pessoa”, que engloba o direito de propriedade em suas diversas formas, e das modalidades diversas deste próprio direito. Versa Émile Durkheim, sobre a violação das regras do Direito:

*“Se experimento violar as regras do direito, elas reagem contra mim para impedir o meu ato, se ainda houver tempo, ou para anulá-lo e restabelecê-lo a sua forma normal, se ele tiver sido realizado e for reparável, ou para me fazer expiá-lo, se não houver outro modo de repará-lo. É então apresentada a ideia de uma coerção exercida sobre cidadãos, exercendo uma coerção que não é violenta, porém que não é inexistente que dispõe. Contudo, quanto quanto às máximas puramente morais? “A consciência pública reprime todo ato que as ofenda por meio da vigilância que exerce sobre a conduta dos cidadãos e através das penas especiais de que dispõe. Em outros casos, a coerção é menos violenta, mas não deixa de existir”.*

O autor traz também a ideia do laço de solidariedade social, que engloba a noção de direito repressivo chamando com este nome todo ato que, até um certo grau, determina contra seu autor a reação chamada “pena”.

Categoriza-se principalmente ao direito penal de forma incisiva o chamado controle social, exercendo nos integrantes do meio social a colocação de regras pré- estabelecidas que garantem uma noção amplamente trabalhada de que uma sociedade que segue da forma correta, é a sociedade que segue normas de comportamento e de vivência impostas pelo Estado-Maior, que também os controla com o trabalho.

### Conclusão

Conclui-se então que a relação do fato social, e do direito, se distingue principalmente no modo de reger a sociedade e de como a mesma reage a certos estímulos de dentro e fora do meio.

O Fato social então, se torna, parte da complexidade envolta no conceito jurídico de sociedade e de direito. Influencia portanto, o Direito Penal, dentro das sociedades, influenciando o meio punitivo, influencia o âmbito do Direito Civil, nas regularizações contratuais, e o Direito Trabalhista nas relações de trabalho.

Trabalha-se também a ideia do estabelecimento da pena, e de um direito repressivo que coordena e contribui para a chamada organização do meio social.

### Referências bibliográficas

Durkheim, Émile, 1858-1917 Fato social e divisão do trabalho / Émile Durkheim ; apresentação e comentários Ricardo Muss; tradução Cilaine Alves Cunha e Laura Natal Rodrigues. - São Paulo: Ática, 2011. (Ensaio comentado) - Tradução de: Les règles de la méthode sociologique, e, De la division du travail social Contém dados biográficos. Sevcenko, *O enigma pós-moderno*. In: Oliveira, Roberto Cardoso de (org.). Pós-modernidade. Campinas-SP : Editora da UNICAMP, 1987, 54-55.

## NOTA DE ABERTURA

|                        |   |
|------------------------|---|
| Luciano Lourenço ..... | 3 |
|------------------------|---|

## ARTIGOS

|                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| <b>Jorge Olcina Cantos</b><br>Cambio climático y riesgos en el ámbito Mediterráneo. La necesidad de adaptación .....                                                                                                                                                         | 5   | 205 |
| <b>Ana Caroline Royer, Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca, Fabiana Costa de Araújo Schütz e Zulimar Hernández</b><br>Trends of change in precipitation and in drought susceptibility as assessed by the Standardized Precipitation Index (SPI) in northeast Portugal ..... | 13  |     |
| <b>Vanessa C. M. Pereira, Ana Valéria F. A. Bertolino, Maria L. Félix Marques Kede e Enzo Merlim Delazeri</b><br>As chuvas de verão sob a influência do fenômeno el Niño, entre 2005 e 2018, e o risco de inundações no município de São Gonçalo-RJ (Brasil) .....           | 27  |     |
| <b>Stéphanie Defossez e Monique Gherardi</b><br>Responses of populations for coping with an extreme event: Saint-Martin and Saint-Barthélemy in the wake of hurricane Irma .....                                                                                             | 43  |     |
| <b>Anabela Veiga, Rita Ferreira Anastácio, Sandra Mourato e Luís Quinta-Nova</b><br>Recurso ao <i>Focus Group</i> para identificação de percepções sobre riscos naturais .....                                                                                               | 55  |     |
| <b>Tony Rey, Frédéric Leone, Stéphanie Defossez, Monique Gherardi and Fleurice Parat</b><br>Volcanic hazards assessment of Oldoinyo Lengai in a data scarcity context (Tanzania) .....                                                                                       | 69  |     |
| <b>Gheorghe Marmureanua, Carmen Ortanza Cioflan e Bogdan Felix Apostol</b><br>Seismic response analysis for Romanian extra-carpathian sedimentary areas .....                                                                                                                | 83  |     |
| <b>Ana Luísa Vieira e Carlos Sousa Oliveira</b><br>Impacte do sismo de 28 de fevereiro de 1969 em algumas cidades. Comparações .....                                                                                                                                         | 93  |     |
| <b>José Pimentel Furtado</b><br>Impacte de um ataque terrorista com uma arma nuclear contra Lisboa .....                                                                                                                                                                     | 115 |     |
| <b>António Betâmio de Almeida</b><br>A ciência da avaliação do risco: evidenciação de limites epistemológicos inevitáveis .....                                                                                                                                              | 135 |     |

## NOTAS

|                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Ana Catarina Zózimo, Liliana Pinheiro, Maria Inês Santos e Conceição Juana Forteso</b><br>Teste e validação do sistema HIDRALERTA em situações de tempestade .....                                            | 145 |
| <b>Emmanuel Gorza Ferreira e Teresa Cristina da Silva Rosa</b><br>Educação de Riscos de Desastres (RRD) e internacionalização do conhecimento científico: os grupos de pesquisa do Espírito Santo (Brasil) ..... | 169 |
| <b>António Fidalgo e Ana Sá Fernandes</b><br>Silêncio! Silêncio! Silêncio! Alguém está a pedir ajuda! .....                                                                                                      | 185 |

## NOTÍCIAS

|                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Luciano Lourenço</b><br>Unha nova xeración de lumes?. Actas do Coloquio Galaico-Portugués sobre incendios forestais .....                                                                                                | 195 |
| <b>Fabício Cardoso de Mello, Teresa da Silva Rosa, Marcos Barreto de Mendonça, Francis Chateauraynaud e Josquin Debazo</b><br>Riscos e desastres no Brasil: um diálogo com a sociologia pragmática das transformações ..... | 197 |
| <b>Fernando Félix e Adélia Nunes</b><br>XIV Encontro Nacional de Riscos .....                                                                                                                                               | 199 |
| <b>Fernando Félix, António Vieira, Felícia Fonseca e Tomás de Figueiredo</b><br>II Seminário da Rede Incêndios-Solo .....                                                                                                   | 200 |
| <b>Fernando Félix e Pedro Rios</b><br>I Conferência Lusófona de Riscos .....                                                                                                                                                | 201 |

## RECENSÕES

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Vitória Dionísio Mota e Sthephany Patrício da Silva</b><br>O fato social de Émile Durkheim e o direito ..... | 202 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|



# RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA  
DE RISCOS, PREVENÇÃO  
E SEGURANÇA

1 2



9 0

UNIVERSIDADE D  
COIMBRA



IMPRESSO NA UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
COMUNICAÇÃO VISUAL DE PRESS.