


# Grandes Incêndios Florestais no noroeste de Portugal: Explorando padrões espaciais entre 2001 e 2020, com base em dados Landsat

Large wildfires in Northwest Portugal: Exploring spatial patterns between 2001 and 2020, based on Landsat data

Sarah Moura Batista dos Santos<sup>1</sup> 

António Bento-Gonçalves<sup>2</sup> 

António Vieira<sup>3</sup> 

Georgia Teixeira<sup>4</sup> 

## Palavras-chave:

Recorrência de incêndios  
Landsat  
Uso e ocupação do solo  
Padrões espaciais e  
temporais

## Resumo

Nas últimas décadas temos assistido à ocorrência, em várias partes do mundo e sob condições meteorológicas extremas, de inúmeros incêndios florestais de grandes dimensões. Esta realidade também se tem verificado, em Portugal, queimando milhares de hectares de floresta, destruindo infraestruturas e provocando a lamentável perda de vidas humanas. Diante deste panorama que se vem agravando, procedemos à cartografia dos grandes incêndios florestais (GIFs) no noroeste português (superiores a 100 hectares), no período de 2001 a 2020, a partir da análise das imagens Landsat e com recurso a ferramentas de Machine Learning e o algoritmo Random Forest, em ambiente de trabalho Google Earth Engine. Com base nos resultados obtidos procura-se compreender o contexto dos GIF no noroeste de Portugal, bem como analisar a sua repartição espacial e a sua evolução temporal no período –referido. Conclui-se que 158.741 ha arderam pelo menos uma vez e 40,9% dessa área foi afetada por GIF uma segunda vez. O ano de 2005 registou o maior valor de área ardida (73.025,1 ha) e a recorrência máxima observada, na área de estudo, foi de 7 ocorrências, o que corresponde a uma recorrência máxima de 6 vezes. O mato é o tipo de vegetação, nas NUTs Ave, Alto Minho e Tâmega e Sousa, que apresenta mais área ardida em GIFs, enquanto no Cávado, são as florestas que apresentam a área percorridas por GIFs mais extensa. Assim, na área de estudo, em 15 anos, a maior proporção de vegetação ardida corresponde ao mato, sendo que, apenas em 5, desses 15 anos, as florestas foram a classe de maior área ardida. No atual contexto de mudanças globais e com os grandes incêndios florestais a aumentar em frequência, extensão e intensidade, é crucial o seu estudo e a sua compreensão temporal e espacial, quer à escala regional, quer à escala nacional.

## Keywords

Recurrence of fires  
Landsat  
Land use and land cover  
Spatial and temporal  
patterns

## Abstract

In recent decades, in several parts of the world and under extreme weather conditions, we have witnessed the occurrence of numerous large-scale wildfires. This reality has also occurred in Portugal, burning thousands of hectares of forest, destroying infrastructures, and causing the regrettable loss of human lives. In view of this worsening panorama, we proceeded to the cartography of Large Forest Fires (LFF) in northwestern Portugal (larger than 100 hectares), in the period from 2001 to 2020, from the analysis of Landsat images and using Machine Learning tools and the Random Forest algorithm, in Google Earth Engine work environment. Based on the results obtained, an attempt is made to understand the LFF context in northwestern Portugal, as well as to analyse its spatial distribution and temporal evolution in the period under analysis. The conclusion is that about 158.741 ha burnt at least once and 40.9% of this area was affected by LFF a second time. The year of 2005 recorded the highest value of burnt area (73,025.1 ha). And the maximum recurrence observed, in the study area, was 7 occurrences, with a maximum recurrence of 6 times. The brush is the type of vegetation, in NUTS Ave, Alto Minho and Tâmega and Sousa, which presents more burnt area in LFF, while in Cávado, it is the forests that present the most extensive area covered by LFF. Thus, in 15 years for the study area, the most significant proportion of burnt vegetation corresponds to brush, being only in 5 years, forests were the class of the larger burnt area. In the current context of global changes and with large forest fires increasing in frequency, extent and intensity, its study and its temporal and spatial understanding are crucial, both at the regional and national scales.

<sup>1</sup> Universidade do Minho - UMinho, Braga, Portugal. [saamoura@gmail.com](mailto:saamoura@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade do Minho - UMinho, Braga, Portugal. [bento@geografia.uminho.pt](mailto:bento@geografia.uminho.pt)

<sup>3</sup> Universidade do Minho - UMinho, Braga, Portugal. [vieira@geografia.uminho.pt](mailto:vieira@geografia.uminho.pt)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG, Brasil. [georgiateixeira@hotmail.com](mailto:georgiateixeira@hotmail.com)

## INTRODUÇÃO

Os grandes incêndios florestais (GIF) são uma preocupação das sociedades atuais e representam uma ameaça direta ao ambiente, às infraestruturas, às pessoas e à economia (PARENTE; PEREIRA, 2016; WRIGHT; ROY, 2022). Constata-se que as últimas décadas foram palco da ocorrência de diversos incêndios florestais, sob condições meteorológicas extremas e em locais dispersos por todo o globo, como por exemplo no Brasil em 1998, em Portugal em 2003, 2005, 2017 e 2022, na Grécia em 2007 e 2018, nos Estados Unidos da América em 2007, 2020, 2021 (Califórnia), na Austrália em 2003 (Camberra) e 2009 (Victoria), na Rússia em 2010, em Espanha, no Chile ou no Canadá em 2022 (BENTO-GONÇALVES, 2022a; DE LA BARRERA et al., 2018; FERREIRA-LEITE et al., 2015; TEDIM et al., 2013, 2020; WILLIAMS et al., 2011).

Em várias regiões ao redor do mundo, incêndios florestais têm ocorrido historicamente, mesmo em áreas com climas menos propensos, resultando em impactos ambientais significativos em diversos níveis (BALCH et al., 2022; BLOEM et al., 2022; FERREIRA-LEITE et al., 2013b; JONES et al., 2022; KHARUK et al., 2021; MANCILLA-RUIZ et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2014; ROCES - DÍAZ et al., 2022; SIMON, 2004; TYMSTRA et al., 2021; WANG et al., 2022). Nas últimas décadas, a Europa tem enfrentado um elevado número de incêndios florestais e uma extensa área ardida, com padrões espaciais e temporais distintos, resultado de mudanças na disponibilidade de material combustível e nas condições meteorológicas (FERNANDES, 2013; FERNANDEZ-ANEZ et al., 2021; PEREIRA et al., 2013; PEREIRA et al., 2014; SANTOS et al., 2023; TEDIM et al., 2018; VIEIRA et al., 2023; VILAR et al., 2016).

Portugal é um dos países europeus mais suscetíveis e impactados por incêndios florestais (BROWN et al., 2018; LOPES et al., 2022; PARENTE; PEREIRA, 2016; PEREIRA et al., 2014; SANTOS et al., 2023). Até à década de 1970 os incêndios não eram considerados um problema crucial para a floresta portuguesa (FERREIRA-LEITE et al., 2016). No entanto, as mudanças socioeconômicas que começaram nos anos 50 do século XX e se intensificaram na década de 70, particularmente o êxodo rural, influenciaram a dinâmica florestal (BENTO-GONÇALVES, 2022b; BENTO-GONÇALVES, 2021; FERREIRA-LEITE et al., 2016;

FERREIRA-LEITE et al., 2013b; LOURENÇO, 2018; NUNES, 2012).

Oliveira et al. (2012) estimaram que, em média, cerca de 1,2% da área total do país sofreu incêndios anualmente ao longo de um período de 36 anos. Segundo Brown et al. (2018), os incêndios em Portugal têm uma expressão territorial maior em comparação a outros países mediterrâneos, como a Espanha ou a Grécia.

Em Portugal, os incêndios não estão distribuídos de forma uniforme pelo território, sendo a região Noroeste a que apresenta a maior incidência (NUNES et al., 2016). O clima português, com características mediterrâneas, que combina a estação quente com a estação seca, juntamente com uma feição atlântica, com elevados quantitativos de precipitação na estação mais fresca, contribui para o crescimento abundante de vegetação, especialmente de combustíveis finos, que alimentam os incêndios florestais, principalmente no verão (NUNES, 2012).

Como já foi referido, em Portugal, no decurso das décadas de 1950-70 verificou-se uma profunda transformação socioeconômica no país, tendo como consequência, nas décadas seguintes, um aumento da frequência, da dimensão, da intensidade e da capacidade destruidora dos incêndios, o que veio a culminar nas tragédias de 2017 (BENTO-GONÇALVES, 2022b; LOURENÇO, 2018).

Com efeito e tal como referido anteriormente, assistimos ao aumento tanto do número como da dimensão dos grandes incêndios florestais e, especialmente, da sua capacidade destruidora, pois, se até 1986 nunca tínhamos registado um incêndio com dimensão superior a 10 mil hectares, 2003 viu franquear a marca dos 20 mil hectares e em 2017 a dos 40 mil (BENTO-GONÇALVES, 2022b).

Nos anos 70 e 80 do século passado, a então Direção Geral das Florestas (DGF) considerava como grandes incêndios aqueles cuja área ardida fosse superior a 10 hectares, quando a realidade dendrocaustológica era bem diferente da atual (BENTO-GONÇALVES et al., 2007). Atualmente, o valor oficial passou para 500 ha, por decisão política constante da Resolução da Assembleia da República n.º 35/2013, de 19 de março (D.R. n.º 55, Série I), continuando, no entanto, o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), nos seus relatórios sobre incêndios florestais, a destacar como grandes, os superiores a 100 ha.

A cartografia das áreas afetadas por grandes incêndios florestais, com base em tecnologias de deteção remota e sistemas de informação geográficas (SIG), é uma ferramenta valiosa que pode ser usada para analisar características

geoespaciais de ocorrência de incêndios (SANTOS et al., 2023; WRIGHT; ROY, 2022). Assim, um melhor conhecimento dos padrões espaciais e da evolução temporal dos grandes incêndios florestais é crucial para entender as suas dinâmicas e contribuir para o planeamento de estratégias adequadas de prevenção de incêndios, bem como do uso do solo (MIRANDA et al., 2012; NUNES et al., 2016).

Nesse âmbito, com base na cartografia desenvolvida a partir de imagens dos satélites Landsat, para os anos de 2001 a 2020, na qual foram cartografados os grandes incêndios florestais (GIF) no Noroeste Português (superiores a 100 hectares), com suporte em ferramentas de Machine Learning e algoritmo Random forest, implementados no ambiente de trabalho Google Earth Engine (SANTOS et al., 2023), procurámos compreender qual a relação entre o uso do solo e os grandes incêndios florestais no Noroeste de Portugal continental. Para isso objetivámos: (i) identificar as áreas percorridas por GIF's no Noroeste de Portugal e (ii) o padrão de modificação nos tipos de uso e ocupação do solo, em função dos GIF's, nos últimos 20 anos, o que permite analisar o padrão espacial de ocorrência dos GIF no Noroeste de

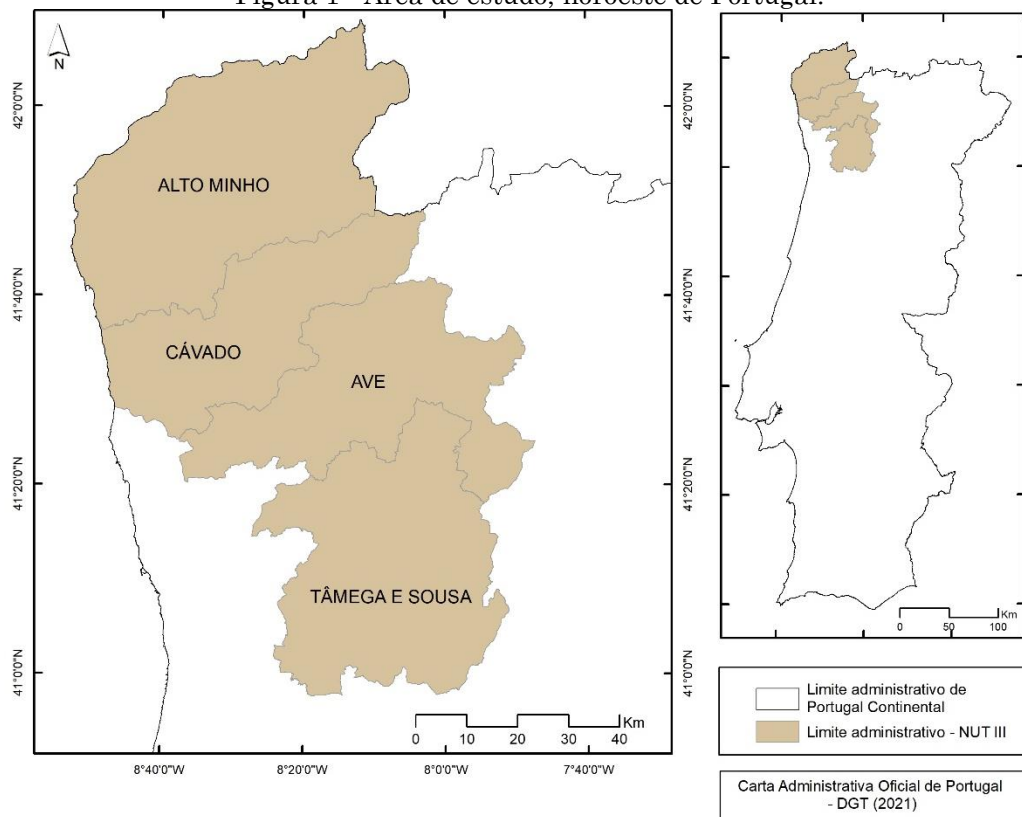
Portugal continental e a sua relação com o uso do solo, num período de 20 anos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O Noroeste de Portugal é composto por 4 unidades territoriais de nível III (NUTSIII), nomeadamente Alto Minho (AM), o Cávado (C), o Ave (A) e o Tâmega e Sousa (TS) (figura 1), o que corresponde a um território que abrange aproximadamente 6.748 km<sup>2</sup> e engloba 35 municípios (AM - Arco de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira; A - Cabeceira de Bastos, Fafe, Guimarães, Mondim de Bastos, Póvoa de Lenhoso, Vieira do Minho, Vila Nova de Famalicão, Vizela; C - Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Terras de Bouro, Vila Verde; TS - Amarante, Baião, Castelo de Paiva, Celorico de Bastos, Cinfães, Felgueiras, Lousada, Marco de Canaveses, Paços de Ferreira, Penafiel, Resende).

Figura 1 - Área de estudo, noroeste de Portugal.



Fonte: Os autores (2023).

O território apresenta um modelo urbano-disperso, caracterizado pelo predomínio dos

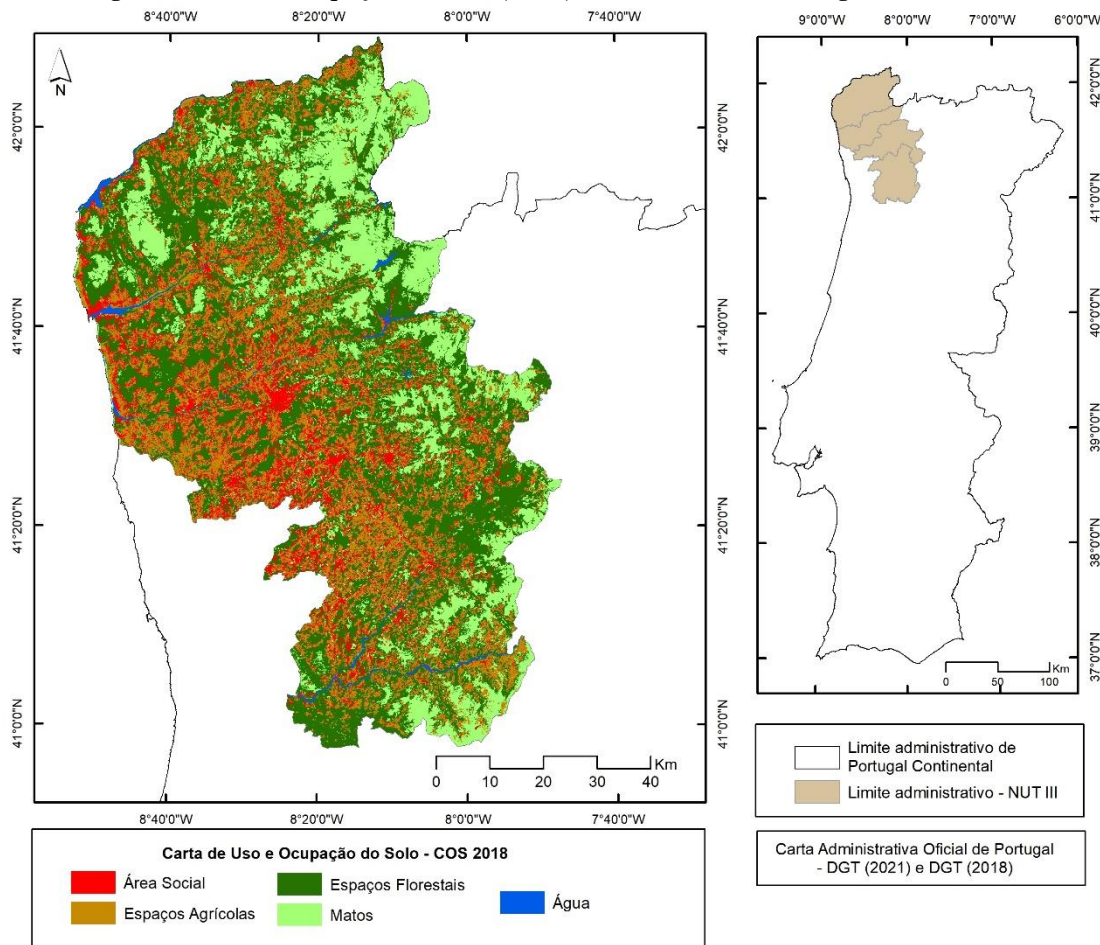
padrões de urbanização e industrialização difusos onde a plurifuncionalidade do uso do solo

(a agricultura familiar e a indústria) se interconectam, dando origem a um modelo difuso de indústria – comércio – exploração agrícola – serviços – habitação (BENTO-GONÇALVES et al., 2011) (figura 2), num contexto de paisagens mais ou menos humanizadas (BENTO-GONÇALVES et al., 2006).

É possível observar que existe uma acentuada ocupação humana no setor mais

ocidental, junto do litoral e nas terras baixas, que se caracteriza por apresentar densidades populacionais elevadas. Por outro lado, os espaços mais a oriente, de montanha, dotados de elementos orográficos mais desfavoráveis ao desenvolvimento de atividades humanas, apresentam uma menor densidade populacional e um predomínio da ocupação do solo silvo-agropastoril (figura 2) (BENTO-GONÇALVES et al., 2006; VIEIRA; BENTO-GONÇALVES, 2020).

Figura 2 - Uso e ocupação do solo (2018) no noroeste de Portugal continental.



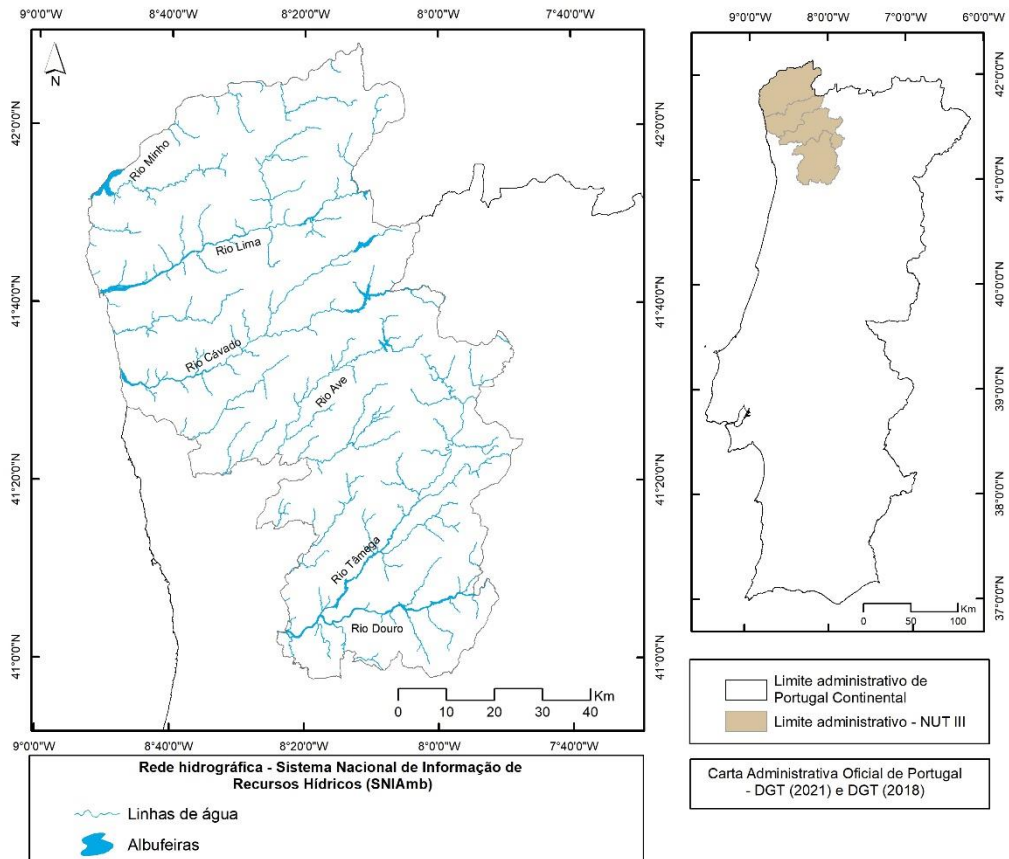
Fonte: Os autores (2023).

Essa região possui características únicas e distintas em termos da sua geografia, clima, hidrologia (figura 3), relevo (figura 4), e biogeografia. Os elementos estruturais que estão presentes nessa área estabelecem uma clara diferenciação, tanto em termos de sua

forma geográfica, clima, distribuição da vegetação e também no uso e ocupação do solo, em comparação com o restante do território continental português (VIEIRA; BENTO-GONÇALVES, 2020).

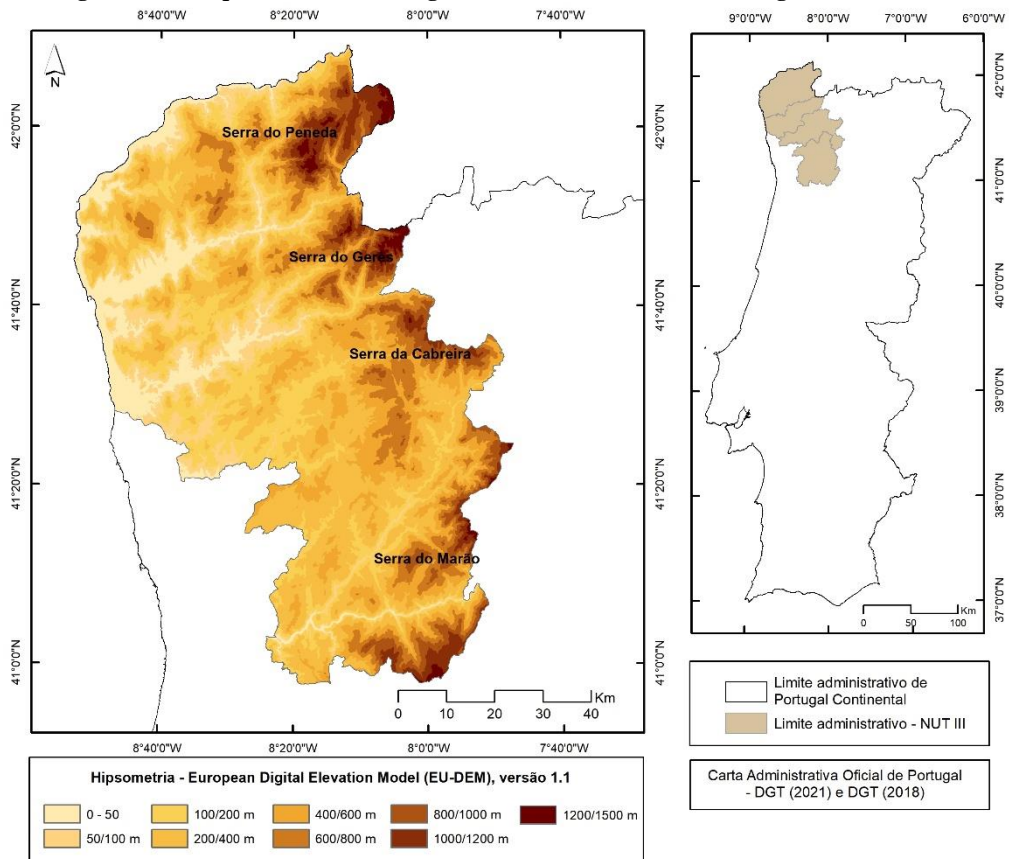


Figura 3 - Rede hidrográfica no noroeste de Portugal continental.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 4 - Enquadramento orográfico do Noroeste de Portugal continental.



Fonte: Os autores (2023).

Trata-se de um território que possui características mediterrâneas, mas com uma forte influência atlântica. As temperaturas são amenas e a região apresenta uma precipitação média significativa, devido à sua localização geográfica, proximidade ao Oceano Atlântico e a presença de importantes cadeias de montanhas (BENTO-GONÇALVES, 2006). Os valores médios anuais de precipitação variam entre os 1000 mm e os 3500 mm e aumentam com a altitude e à medida que nos afastamos da costa, sendo essa a característica mais marcante da região (COSTA, 2007; VIEIRA; BENTO-GONÇALVES, 2020). A região é caracterizada por invernos frescos e verões moderados a quentes (BENTO-GONÇALVES, 2006; BENTO-GONÇALVES et al., 2011; DAVEAU, 1985). A temperatura média mínima durante o mês mais frio varia entre 2 e 4 °C, com temperaturas abaixo de zero ocorrendo durante 15 a 30 dias por ano. A temperatura média máxima durante o mês mais quente varia entre 23 e 32 °C, com temperaturas acima de 25 °C ocorrendo entre 20 e 120 dias por ano. A distribuição espacial da temperatura do ar é influenciada pela latitude, mas principalmente por fatores locais, como altitude, exposição, proximidade do mar e cobertura do solo.

### Dados

Os dados usados neste trabalho resultam do produto desenvolvido por Santos et al. (2023)

para o Noroeste de Portugal (Área ardida), para cartografar grandes incêndios florestais. A cartografia foi elaborada com base em imagens dos sensores TM (Landsat 5), ETM+ (Landsat 7) e OLI (Landsat 8), para o período entre 2001 e 2020. A cartografia resulta da utilização de algoritmos de Machine Learning em séries temporais, para a detecção das áreas ardidas (SANTOS et al 2023). Foi utilizado o modelo harmônico de Fourier para definir os outliers na série temporal do índice espectral NBR, os quais representavam píxeis de possíveis áreas ardidas, e, em seguida, aplicou-se a máscara produzida com os outliers na série temporal e o classificador Random Forest foi utilizado para classificar os grandes incêndios florestais, que nesse caso foram considerados aqueles acima de 100 ha, em conformidade com o critério usado nos relatórios do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF).

Foram ainda obtidos dados espaciais para a área ardida e o número de ocorrências, fornecidos pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), e para os limites administrativos de Portugal Continental e para os dados referentes à carta de uso e ocupação do solo (COS), a série COS iniciou-se em 1990 e foi atualizada para os anos de 1995, 2007, 2010, 2015 e 2018, essa informação é disponibilizada pela Direção Geral do Território (DGT) (tabela 1). Todos os dados cartográficos foram transformados para a mesma escala cartográfica.

**Tabela 1** - Fonte e tipo de dados utilizados.

Dados	Tipo do arquivo	Fonte
Área ardida NOPT	Vetorial	Santos et al. (2023)
Área ardida	Vetorial	ICNF (2022)
Ocorrência de incêndios	Vetorial	ICNF (2022)
COS	Vetorial	DGT (2018)
Limite administrativo (CAOP)	Vetorial	DGT (2021)

Fonte: Os autores (2023).

### Análise dos dados

A informação cartográfica foi manipulada e analisada com recurso ao software SIG, mais especificamente o ArcGis 10.7.1 da ESRI. Para a análise da recorrência dos grandes incêndios florestais, com o uso do software SIG, as informações relacionadas com os incêndios (Área Ardida) tiveram de ser organizadas por “camadas” individuais, contendo o ano da sua ocorrência. Posteriormente, a informação mencionada foi convertida em imagens raster, classificada em “área ardida” e “não ardida”, com valor de píxel 1 e 0, respetivamente. A seguir, efetuou-se o cálculo da recorrência do fogo, procedendo-se à classificação do resultado

obtido de acordo com a seguinte metodologia: valor de píxel 0, para áreas nunca atingidas; áreas atingidas 1 vez assumem valor de píxel 1; áreas atingidas duas vezes pelo fogo, têm o valor de píxel 2, correspondendo a 1 recorrência; áreas atingidas três vezes pelo fogo, têm o valor de píxel 3, correspondendo a 2 recorrências e assim sucessivamente. A imagem resultante foi também vetorizada e as áreas das diferentes recorrências de fogo foram calculadas. O resultado permitiu-nos visualizar as áreas queimadas e o padrão de recorrência ao longo dos anos (FERREIRA-LEITE et al., 2016).

Para compreender o contexto dos tipos de uso do solo, foi estabelecido uma relação entre a área ardida anual e o tipo de uso do solo por meio da

análise dos dados cartográficos fornecidos pela COS (Tabela 2). Em seguida, realizou-se uma análise específica em relação ao tipo de uso,

considerando apenas os espaços silvestres, estando as classes consideradas para essa análise apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 2** - Relação do ano da COS e os anos.

Ano COS	Área ardida
1995	2001 – 2006
2007	2007 – 2009
2010	2010 – 2014
2015	2015 – 2017
2018	2018 – 2020

Fonte: Os autores (2023).

**Tabela 3** - Relação das classes de análise para o tipo de uso do solo e as classes definidas na COS.

Classe de análise	COS - 1º nível	COS - 3º nível
Floresta	Florestas	Florestas de folhosas
	Superfícies agroflorestais (SAF)	Florestas de resinosas
Espaços silvestres	Matos	Superfícies agroflorestais (SAF)
	Espaços descobertos ou com pouca vegetação	Matos
Pastagens	Pastagens	Pastagens melhoradas Pastagens espontâneas

Fonte: Os autores (2023).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Área ardida por NUTS – variabilidade anual

Os dados obtidos a partir da série temporal de imagens Landsat, sobre a área ardida, revelaram que ardeu um total de 158.741 ha do

Noroeste português, no período dos 20 anos analisados, pelo menos uma vez (tabela 4), o que representou cerca de 23,5% do território estudado (tabela 5). A variabilidade temporal da área ardida indicou que em média anualmente ~13.800 ha foram afetados por grandes incêndios florestais (FERREIRA-LEITE, et al., 2013a; PARENTE et al., 2016; SANTOS et al., 2023; TEDIM et al., 2015) (tabela 4).

**Tabela 4** - Área ardida cumulativa e área média anual ardida no período de 2001 a 2020 por NUT III e espaços Silvestres.

NUTSIII	Área da NUTS (ha)	Espaços silvestres (ha)	Área ardida pelo menos uma vez (ha)	Área ardida acumulada 20 anos (ha)	Área média ardida anualmente (ha) / Desvio padrão
Alto Minho	221.884	159.355	64.436,7	108.647,8	5.432,4 / 7.684
Cávado	124.579	70.383	14.502,3	21.747,0	1.087,4 / 4.886
Ave	145.136	92.736	30.109,3	51.899,6	2.595,0 / 11.807
Tâmega e Sousa	183.152	113.732	49.692,7	95.262,1	4.763,1 / 22.457
Área total de estudo	674.751	436.206	158.741	277.556,5	13.877,8

Fonte: Os autores (2023).

Considerando a área total do seu território, constata-se que os espaços silvestres apresentam, na NUTS III Alto Minho a maior extensão (72%), seguida pelo Ave (64%), Tâmega

e Sousa (62%) e Cávado (56%) (Tabela 5). De 2001 a 2020, 29% do Alto Minho foi cartografado como tendo ardido pelo menos uma vez, o Tâmega e Sousa 27%, o Ave 21% e o Cávado

12%. A média anual da área ardida na NUT III Tâmega e Sousa é de média 2,6% do Noroeste português, seguida pelo Alto Minho com 2,45%,

pelo Ave com 1,79% e pelo Cávado com 0,87% (tabela 5).

**Tabela 5** - Espaços silvestres, área ardida pelo menos uma vez, área ardida acumulada (20 anos) e média anual ardida por NUT III.

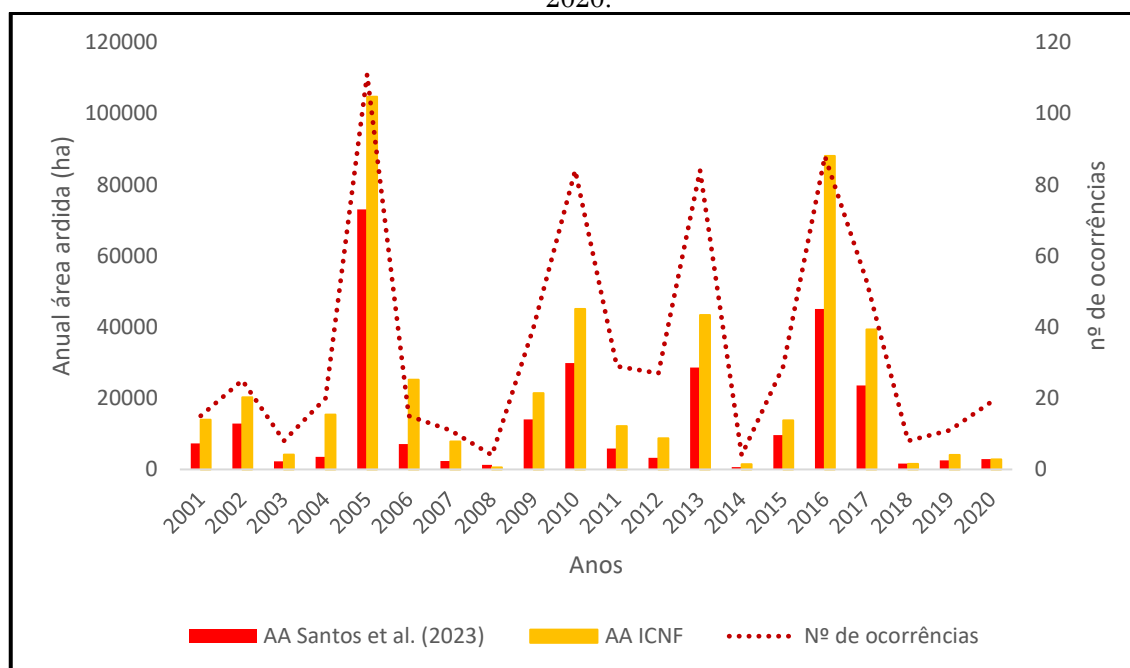
NUT III	Espaços silvestres por NUT (%)	Área ardida pelo menos uma vez por NUT (%)	Área ardida acumulada em 20 anos por NUT (%)	Média anual ardida por NUT (%)
Alto Minho	72%	29%	49%	2,45%
Cávado	56%	12%	17%	0,87%
Ave	64%	21%	36%	1,79%
Tâmega e Sousa	62%	27%	52%	2,60%
Área total de estudo	65%	23,5%		8%

Fonte: Os autores (2023).

A área ardida anual, identificada por nós com base na metodologia definida, variou ao longo dos 20 anos, registrando-se o valor mínimo em 2014 (679,5 ha) (figura 5) e o máximo em 2005 (73.025,1 ha) (figura 5). Existiram 4 anos (2010, 2013, 2016 e 2017) em que as áreas ardidas dos GIFs ultrapassaram os 20.000 ha. No que diz respeito aos valores anuais da área ardida em GIFs segundo (SANTOS et al., 2023), a figura 5 apresenta ainda os valores anuais relativos aos GIFs, indicados pelo ICNF, bem como o número de ocorrências registados, igualmente, pelo ICNF. Pode observar-se que os valores registados pelo ICNF são sempre superiores aos

de Santos et al. (2023), apresentando, no entanto, comportamentos similares. Apesar do maior valor anual ter sido registado em 2005 (73025 ha), na primeira década analisada (2001 a 2010), foi na segunda década (2011 a 2020) que se observou um maior número de ocorrência anual de GIFs. Contudo, é interessante constatar que os valores de área ardida indicados pelo ICNF são, em regra, superiores aos identificados pela cartografia realizada por Santos et al. (2023), provavelmente resultado das diferentes metodologias implementadas para a obtenção dos dados.

Figura 5 - Área anual ardida e número de ocorrências de Grandes Incêndios florestais de 2001 a 2020.



Fonte: Os autores (2023).



Após os anos 70 do século XX, houve um aumento significativo no número de incêndios florestais e na extensão das áreas afetadas em Portugal. Isso pode ser atribuído a várias causas, incluindo mudanças socioeconômicas que resultaram no abandono de grandes áreas rurais, tornando-as propensas a incêndios intensos devido à acumulação de biomassa. O sistemático e recorrente uso do fogo pelas populações, embora seja uma prática milenar na cultura mediterrânea, onde o fogo faz parte integrante dos ecossistemas, contribui igualmente para a ocorrência desses incêndios (LOURENÇO, 1991, 2018).

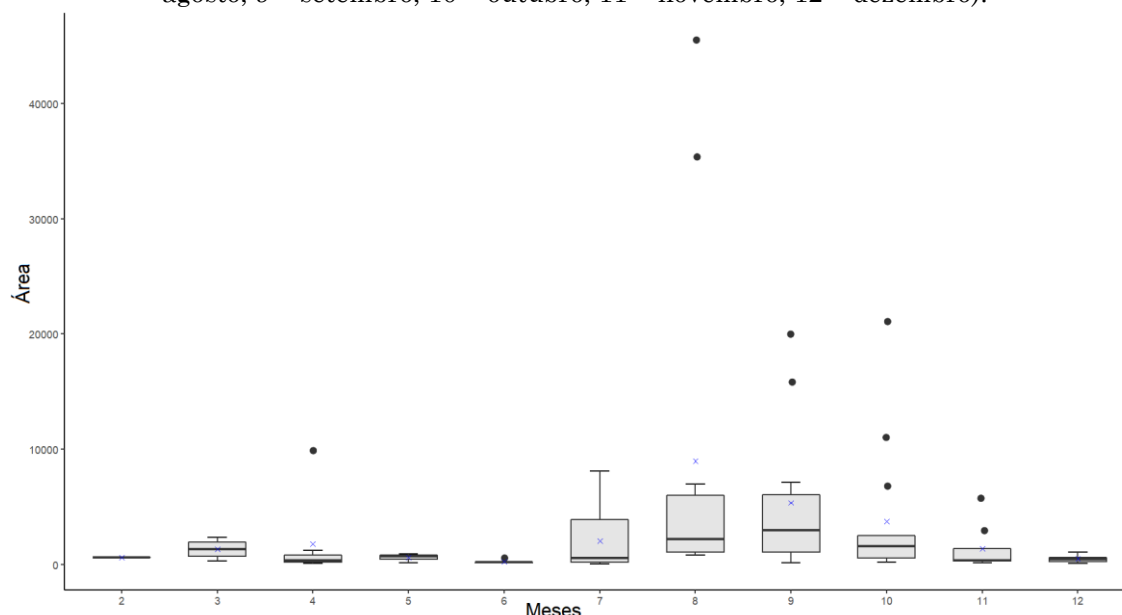
Em áreas densamente povoadas, como o Noroeste português, onde há uma mistura de áreas urbanas e rurais, a existência de interfaces urbano-florestais aumenta a probabilidade de incêndios, especialmente devido à facilidade de ignição. Estudos mostram uma relação significativa entre a densidade populacional e a ocorrência de incêndios, especialmente em regiões mediterrâneas. A pressão antrópica nessas áreas resulta na expansão das interfaces urbano-florestais e na demanda por atividades recreativas, entre muitas outras, em espaços naturais, o que afeta os regimes de fogo (BADIA et al., 2011;

GANTEAUME et al., 2013; GANTEAUME; JAPPIOT, 2013; LOURENÇO, 2018; MARTÍNEZ et al., 2009; NUNES et al., 2016; PARENTE et al., 2018).

### Área ardida mensal

A informação sobre a área queimada por mês foi obtida a partir dos resultados apresentados por Santos et al. (2023), utilizando a data dos pixels utilizados para classificar as áreas ardidas. Esses dados se referem à data em que a mancha do incêndio foi identificada pela primeira vez na classificação e estão disponíveis no banco de dados do arquivo vetorial. Nesse conjunto de dados é possível identificar os meses em que a maior parte da área queimada foi detetada, o que ajuda a compreender a distribuição mensal dos grandes incêndios na região Noroeste de Portugal (figura 6). Analisando os dados mensais, observa-se que a maioria dos incêndios ocorreu nos meses de verão e início do outono, atingindo o pico máximo em julho (média 2,57 ha), agosto (média 8,975 ha), setembro (média 5,357) e outubro (média 3.739 ha). Esses meses correspondem ao período mais quente e mais seco na região.

Figura 6 - Padrões sazonais dos grandes incêndios florestais ocorridos no Noroeste de Portugal por mês no período de 2001 a 2020 (2 – fevereiro, 3 - março, 4 - abril, 5- maio, 6 - junho, 7 – julho, 8 – agosto, 9 – setembro, 10 – outubro, 11 – novembro, 12 – dezembro).



Fonte: Os autores (2023).

O fator fundamental para a manutenção de elevadas temperaturas com forte secura do ar, para além da circulação conjunta dos anticiclones atlânticos ou europeus com a baixa térmica estival, é a fisionomia do campo térmico. Ou seja, quando, independentemente do tipo de

anticiclone com o qual se conjuga, ou a calha térmica ibérica ou afro-ibérica axial que está localizada na costa portuguesa, ou no contexto desta calha um núcleo de baixa pressão é individualizado imediatamente a sul da Península Ibérica, os fluxos orientais

transportam massas de ar tropicais continentais com uma trajetória predominante ibérica ou com uma longa trajetória no Noroeste de África. Nestes baixos níveis de dinâmica atmosférica, é possível observar as temperaturas mais elevadas em associação com os valores mais baixos de humidade relativa em Portugal continental, generalizadas inclusive na frente da costa ocidental (BOTELHO et al., 2014; FERREIRA-LEITE et al., 2017; PEREIRA et al., 2005).

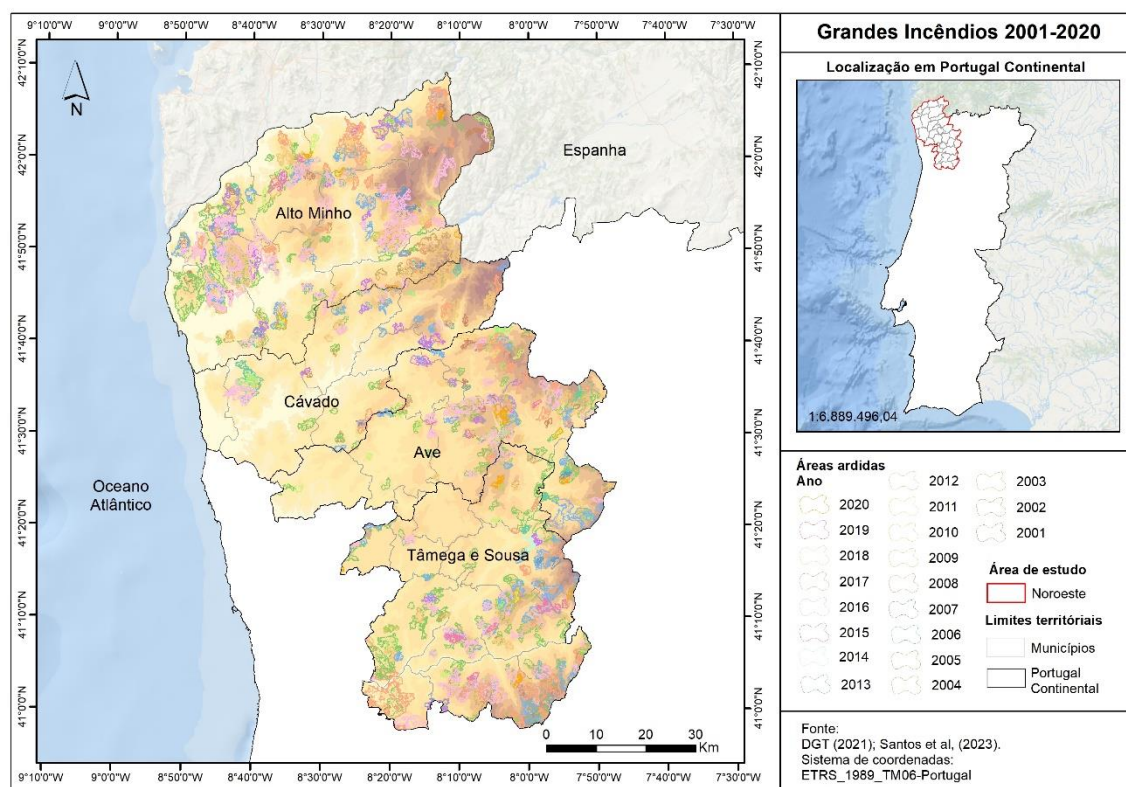
No entanto, é importante destacar que nos primeiros meses do ano, sobretudo em março, foram registados valores consideráveis de área ardida (figura 6), chamando atenção para eventos fora da época expectável de ocorrência de grandes incêndios florestais (FERNANDES; LOURENÇO, 2018), mas que corresponde ao ciclo anual de algumas regiões do norte, que incluem um pico secundário de atividade de fogo

centrado em março, resultante das queimadas e queimas agrícolas (AMRAOUI et al., 2015; PARENTE et al., 2016; TRIGO et al., 2013).

### *Incidência e recorrência dos grandes incêndios florestais*

A cartografia relativa à distribuição espacial das áreas ardidas (figura 7) confirmou a elevada vulnerabilidade deste território aos GIF, com particular incidência nos espaços silvestres montanhosos. A localização das áreas ardidas na região é influenciada pela distribuição dos espaços silvestres (matos e povoamentos florestais), revelando maior tendência à ocorrência de incêndios principalmente devido à presença de grandes manchas vegetais contínuas, em particular nas áreas montanhosas nesses espaços (MENESES et al., 2018).

Figura 7 - Distribuição espacial das áreas ardida em GIFs no período de 2001 e 2020.

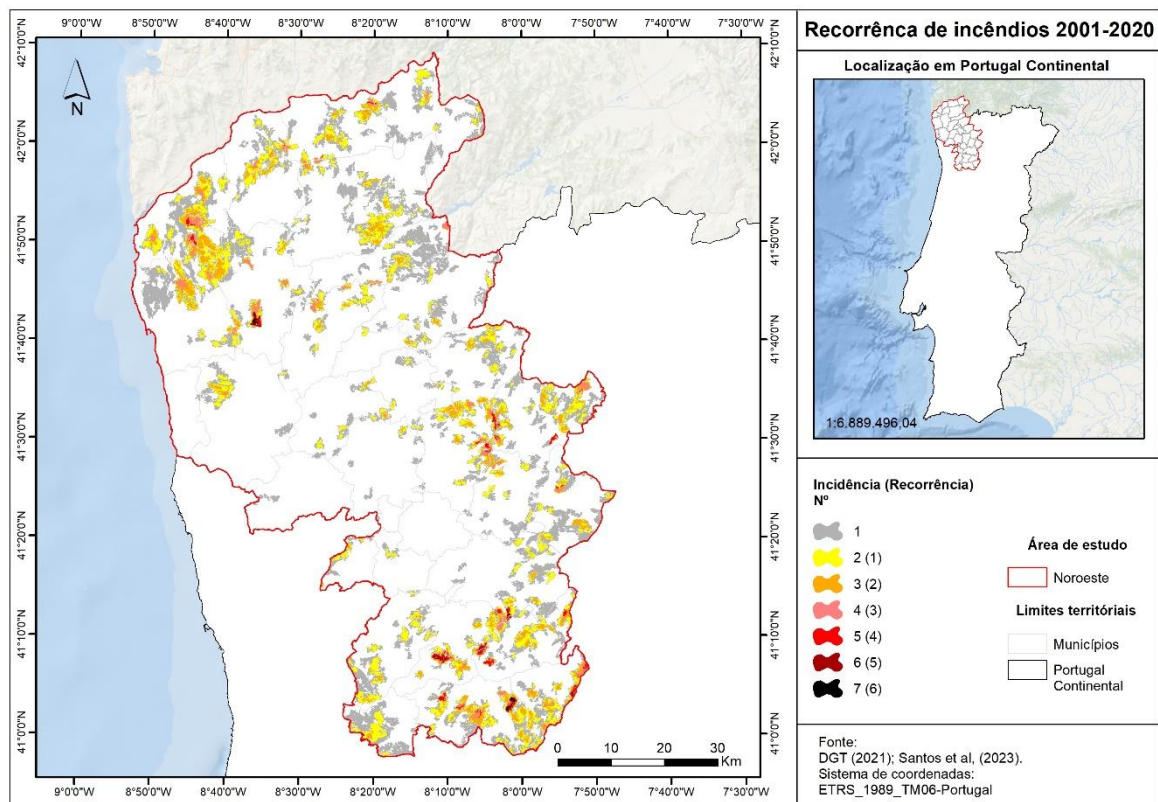


Fonte: Os autores (2023).

Os incêndios florestais são eventos recorrentes em Portugal continental (FERREIRA-LEITE et al., 2016; FERREIRA-LEITE et al., 2013b; GOMES, 2006; MENESES et al., 2018; NUNES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2012; PARENTE et al., 2018; SÁ et al., 2018). Nesse sentido, e com o objetivo de conhecer a incidência espacial dos GIF,

elaboramos o mapa de recorrência dos grandes incêndios, o qual indica o número máximo de incidências e recorrências, ou seja, o número máximo de vezes que cada área foi percorrida por GIFs, no período de 2001 a 2020 (figura 8).

Figura 8 - Distribuição espacial das recorrências de GIFs entre 2001 e 2020 no Noroeste de Portugal continental.



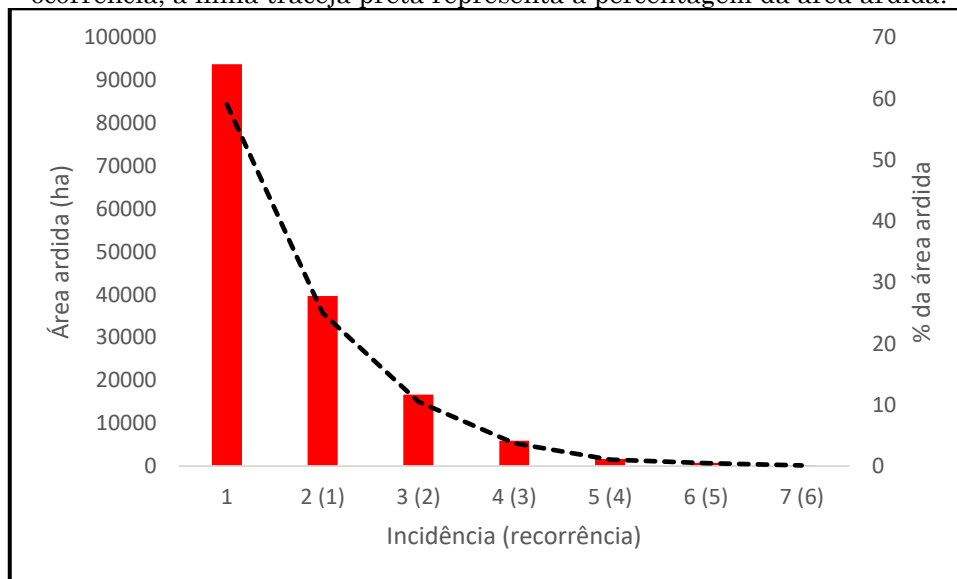
Fonte: Os autores (2023).

Podemos verificar que a recorrência máxima observada nesta área, no período de 20 anos, foi de 7 incidências, ou seja, houve uma recorrência máxima de 6 GIFs (figura 8), o que demonstra o fato deste território estar sujeito a frequentes e, por vezes, grandes manifestações do risco de incêndio florestal (FERREIRA-LEITE et al., 2010). A análise dos dados de recorrência de incêndios florestais ao longo de um período de 20 anos revelou que 40,9% da área queimada foi afetada por dois ou mais incêndios, entre os anos de 2001 e 2020 (figura 9). As áreas onde os GIF apresentam maior recorrência são, com particular incidência, os concelhos de Caminha,

Ponte de Lima, Cabeceiras de Bastos, Fafe, Amarante, Marco de Canaveses, Baião, Resende e Cinfães.

A recorrência dos incêndios florestais reflete, de forma indireta, todas as variáveis envolvidas no processo, abrangendo desde as condições físicas do ambiente até as causas diretas e indiretas dos incêndios, principalmente de origem humana. Além disso, a recorrência também está relacionada com a eficiência ou não das medidas de prevenção, vigilância, deteção e combate aos incêndios (FERREIRA-LEITE et al., 2010; MENESES et al., 2018).

Figura 9 - Área ardida e percentagem da área ardida por classe de recorrência entre os anos de 2001 a 2020. As barras em vermelho representam o valor da área ardida em hectares por classe de ocorrência, a linha traceja preta representa a percentagem da área ardida.



Fonte: Os autores (2023).

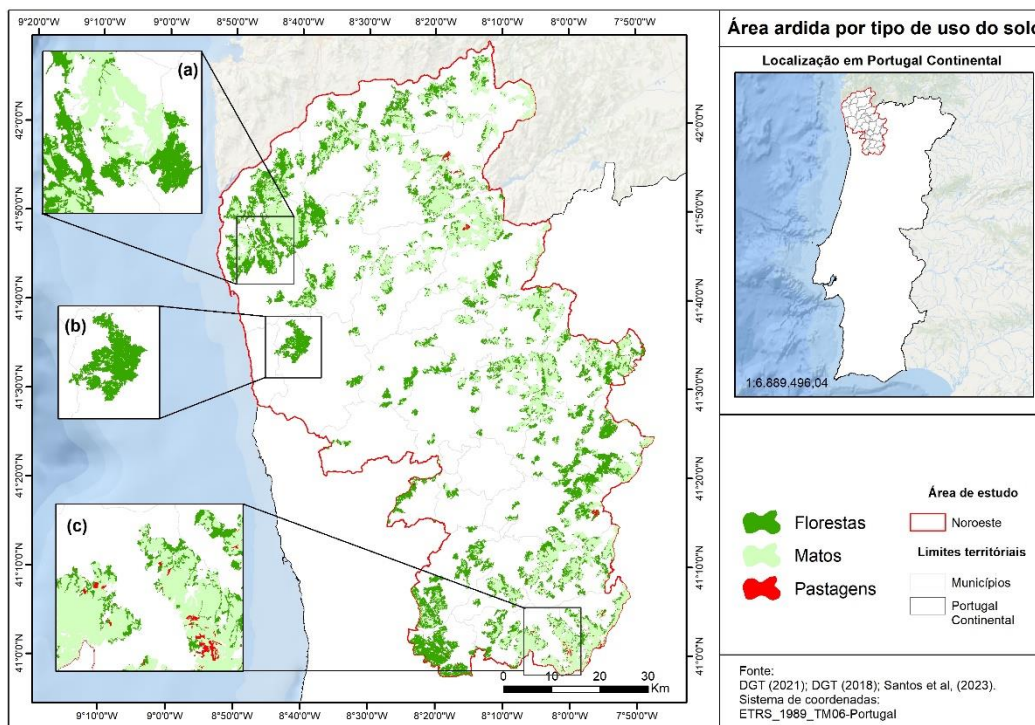
Ferreira-Leite et al. (2016) refere que, no Noroeste região com elevados quantitativos de precipitação onde a produção de biomassa é elevada, as gramíneas e os arbustos regeneram-se mais rapidamente após os incêndios. Algumas áreas caracterizam-se, também, por uma maior pressão agrícola e pastoril ou por um intenso abandono do solo, o que desencadeou alterações muito significativas na paisagem ao promover o alastramento de vegetação por regeneração natural. O aumento da biomassa combustível leva os agricultores e, em particular, os criadores de gado/pastores a iniciar incêndios para controlar a propagação de arbustos e facilitar a regeneração das gramíneas (FERREIRA-LEITE et al., 2016)

#### Área ardida por tipo de uso do solo

Os mapas das áreas ardidas anuais foram sobrepostos aos mapas da COS, disponíveis para os anos cartografados, obtendo assim, a área anual ardida por classe de uso do solo (figura 10). Os resultados demonstraram que 58,9% dos GIF ocorridos, durante os 20 anos estudados, afetaram a classe de vegetação do tipo matos, 40,7% as florestas e, apenas 0,4% áreas destinadas às pastagens. Observa-se, igualmente, um conjunto de ilhas de vegetação não ardida, o que explica, em partes, as diferenças verificadas entre os valores cartografados por Santos et al. (2023) e pelo ICNF (figuras 5 e 10a).



Figura 10 - Área ardida por classe de uso do solo entre 2001 e 2020. (a) Exemplo de ilhas de vegetação não ardidas no concelho de Viana do Castelo, (b) exemplo de área ardida apenas em espaços florestais no concelho de Barcelos, (c) exemplo de área ardida com matos, floresta e pastagens.



Fonte: Os autores (2023).

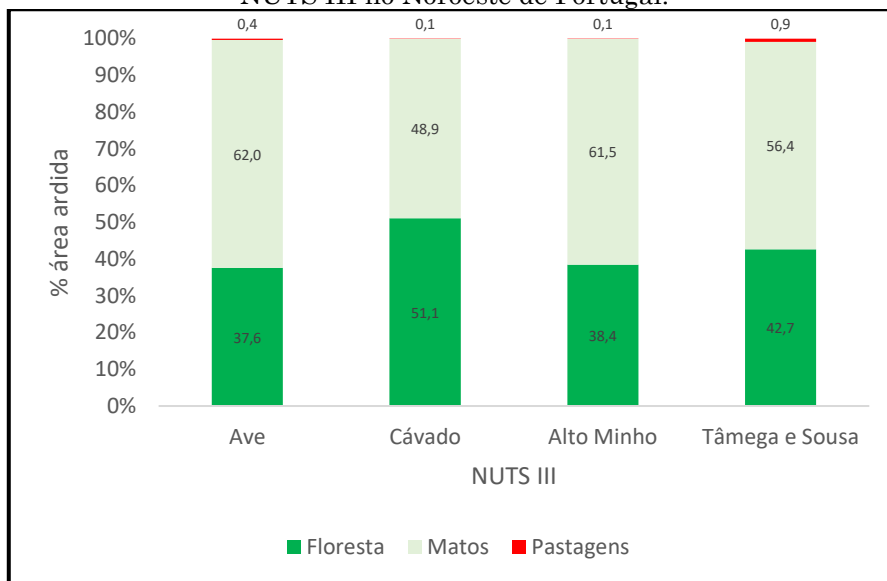
A evolução da floresta em Portugal seguiu um padrão semelhante ao da região mediterrânea onde o fogo foi utilizado para a destruição da floresta original, dando lugar a pastagens, e a madeira foi usada como combustível e como matéria-prima, em particular na construção (FERREIRA-LEITE et al., 2013a).

O abandono dos espaços rurais provocou a redução da população nas áreas florestais e foi introduzindo grandes alterações na economia tradicional que assentava principalmente na agricultura, na pastorícia e na floresta. As florestas deixaram de ser geridas, o mato não foi mais roçado porque não tinha mais uso, e a lenha deixou de ser utilizada como fonte de energia, levando à acumulação de biomassa nas florestas (FERREIRA-LEITE et al., 2013b; LOURENÇO, 1991, 2018). Assim, as mudanças sociais, económicas e as mudanças de hábitos e costumes ocorridas, provocaram profundas

mudanças na relação das comunidades e das florestas mais próximas, abrindo assim caminho para grandes incêndios florestais (FERREIRA-LEITE et al., 2013a).

A distribuição da área total ardida por classe de uso do solo, apresenta diferenças entre as 4 NUTS III que compõem o noroeste de Portugal continental (figura 11). Verifica-se que na NUTS III do Ave a classe de uso do solo que maior área ardida apresentou, com 62%, foi a dos matos, seguida pelas das florestas com 37,6%. O mesmo padrão foi verificado na NUTS III do Alto Minho, com 61,5% de matos e 38,4% de florestas e na do Tâmega e Sousa, com 56,4% de matos e 42,7% de florestas. A NUTS III do Cávado apresentou um comportamento diferente, tendo ardido, nos 20 anos em análise, mais floresta (51,5%) do que matos (48,9%). Em relação às pastagens foi registado 0,9% para o Tâmega e Sousa, 0,4% para o Ave, e 0,1%, quer para Cávado, quer para o Alto Minho.

Figura 11 - Percentagem (%) da área ardida total entre 2001 e 2020, por classe de uso do solo, nas NUTS III no Noroeste de Portugal.

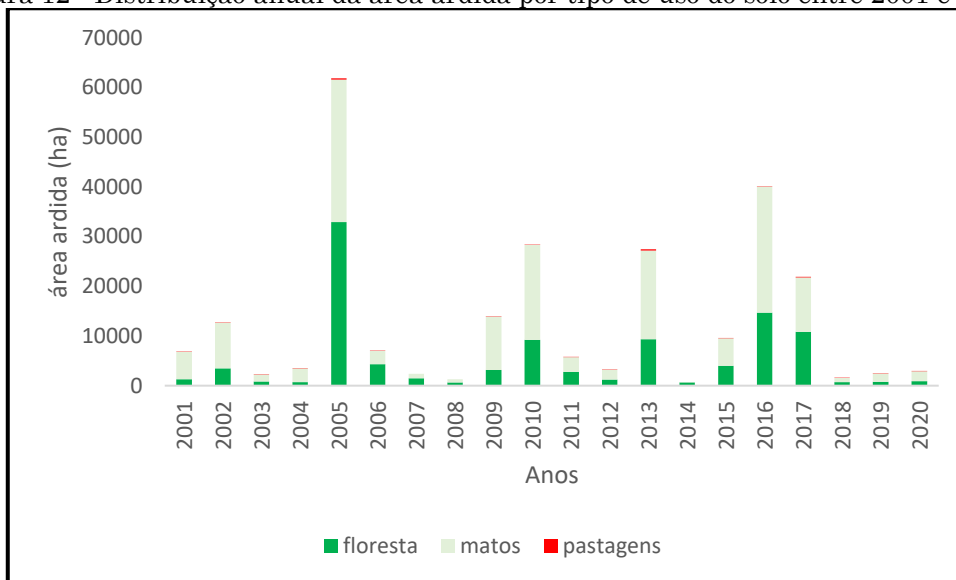


Fonte: Os autores (2023).

O padrão anual de área ardida por tipo de uso do solo variou ao longo do tempo no Noroeste de Portugal (figura 12), com a área menor a ser registada em 2014 (679,5 ha) e a maior, a ocorrer em 2005 (73025,1 ha). Os outros anos em que as ocorrências de grandes incêndios atingiram um valor acima de 10.000 ha foram: 2002, 2009,

2010, 2013, 2016 e 2017, enquanto, aqueles com a menor área ardida (menos de 2.000 ha) ocorreram nos anos de 2003, 2007, 2012, 2014 e 2018. Durante o período estudado a área média anual ardida na classe “pastagens” foi de 49,5 ha, para a classe “florestas” foi de 5.201,7 ha, e para a dos “matos” foi de 7.536,9 ha.

Figura 12 - Distribuição anual da área ardida por tipo de uso do solo entre 2001 e 2020.

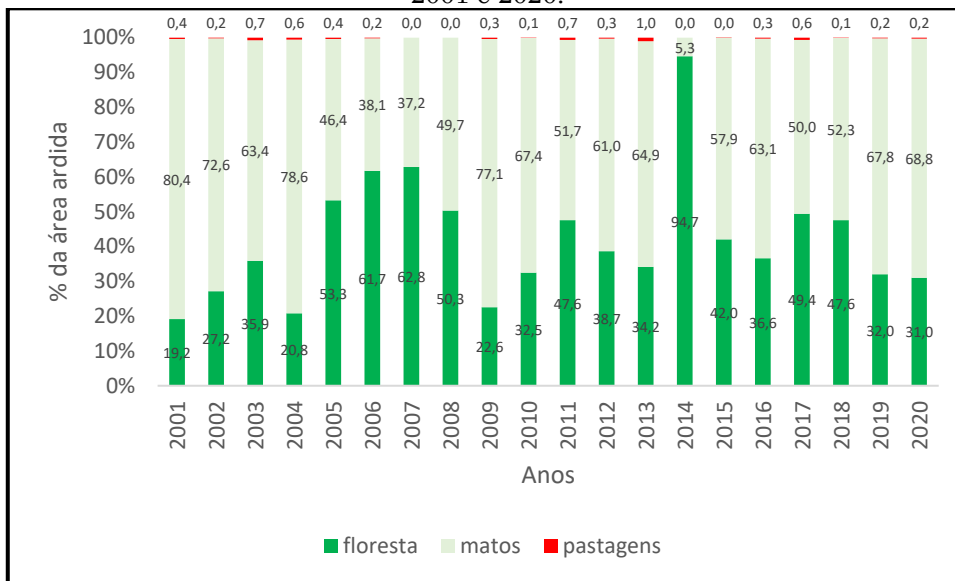


Fonte: Os autores (2023).

Em geral, a classe de uso do solo “matos” foi a que teve maior área ardida ao longo de 15 anos da série temporal estudada (2001, 2002, 2003, 2004, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020). Nos outros 5 anos (2005, 2006, 2007, 2008, 2014), a maior proporção da área ardida foi na classe de uso do solo “floresta” (figura 13). Este fato corresponde

ao que vem sendo referido em diversos estudos na região mediterrânea (GANTEAUME et al., 2013; NUNES, 2012; NUNES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2012; PAUSAS, 2004; SEBASTIÁN-LÓPEZ et al., 2008; TABOADA et al., 2021) e que se relaciona com a renovação das pastagens em áreas montanhosas (NUNES et al., 2016).

Figura 13 - Percentagem (%) da distribuição anual da área ardida por classe de uso do solo entre 2001 e 2020.



Fonte: Os autores (2023).

### CONCLUSÃO

A compreensão da distribuição espacial e temporal e do tipo de uso do solo afetado pelos grandes incêndios florestais, a nível do noroeste português, pode auxiliar na tomada de decisões, principalmente no que diz respeito às medidas preventivas visando melhorar a vigilância, deteção e prevenção dos GIF, bem como fornecer suporte para as políticas ambientais e de proteção civil.

Verificou-se que pelo menos 158.741 ha do noroeste português ardeu pelo menos uma vez, registando-se em 2005 o maior valor de área ardida para o período estudado. A recorrência máxima de GIFs observada nesta área foi de 7 ocorrências, ou seja, uma recorrência máxima de 6 vezes, sendo que 40,9% da área ardida foi afetada duas ou mais vezes por grandes incêndios florestais durante os 20 anos em estudo. O mato foi a classe de uso do solo predominantemente ardida nas NUTS III do Ave, Alto Minho e Tâmega e Sousa, enquanto, a do Cávado a classe mais afetada foi a das florestas.

Em termos temporais verificou-se que, em 15 dos 20 anos, a classe anualmente mais afetada foi a dos matos, sendo que a das florestas apenas o foi em 5 desses anos. No atual contexto de mudanças globais e com os grandes incêndios a

umentar em frequência, extensão e intensidade, por vezes, com dimensões e consequências catastróficas, é crucial o seu estudo e a sua compreensão temporal e espacial quer à escala regional, quer à escala nacional, bem como compreender as influências dos fatores naturais, e dos seres humanos, estudando as causas das ignições e as condições/características que facilitam a sua propagação. Assim, investigações futuras devem abordar o tempo de retorno dos grandes incêndios, a severidade atingida e testar modelos de cenários futuros para a região.

### FINANCIAMENTO

Esta investigação foi financiada por fundos portugueses através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos de investigação “EroFire— Avaliação do Risco de erosão pós-incêndio usando marcadores moleculares”, referência PCIF/RPG/0079/2018 e “O3F - Um Framework de Optimização para reduzir os Incêndios Florestais”, referência PCIF/GRF/0141/2019 e pela Capes print - Programa de Internacionalização CAPES PrInt-UFU - processo 88887.696272/2022-00 e Projeto CAPES/UFU/PRINT 88887.311520/2018-00.

## REFERÊNCIAS

- AMRAOUI, M.; PEREIRA, M. G.; DACAMARA, C. C.; CALADO, T. J. Atmospheric conditions associated with extreme fire activity in the Western Mediterranean region. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 524–525, p. 32–39, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.032>
- BADIA, A.; SERRA, P.; MODUGNO, S.. Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas. **Applied Geography**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 930–940, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.01.016>
- BALCH, J. K.; ABATZOGLOU, J. T.; JOSEPH, M. B.; KOONTZ, M. J.; MAHOOD, A. L.; MCGLINCHY, J.; CATTAN, M. E.; WILLIAMS, A. P. Warming weakens the night-time barrier to global fire. **Nature**, [S. l.], v. 602, n. 7897, p. 442–448, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04325-1>
- BENTO-GONÇALVES, A. Geografia dos Incêndios em Espaços Silvestres de Montanhas - O caso da Serra da Cabreira. 2006. Universidade do Minho, [S. l.], 2006. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/6508>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- BENTO-GONÇALVES, A. **Os Incêndios Florestais em Portugal**. Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2021. ISBN: 978-989-9004-82-5.
- BENTO-GONÇALVES, A. Increasing number of wildfires requires new disaster reduction approach. **Breakthrough**, [S. l.], 2022 a. Disponível em: <https://breakthrough.neliti.com/increasing-number-of-wildfires-requires-new-disaster-reduction-approach/>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- BENTO-GONÇALVES, A. Incêndios rurais – O triste fado português? Fundação **Francisco Manuel dos Santos**, [S. l.], 2022 b. Disponível em: <https://www.ffms.pt/pt-pt/atualmentes/incendios-rurais-o-triste-fado-portugues?fbclid=IwAR2hstJhcdvec8oAhMs2vG1bZp2J2DDmoFIMorSIKrCacWCywtlj7QqrviY>. Acesso em: 21 nov. 2022.
- BENTO-GONÇALVES, A.; LOURENÇO, L.; SILVA, J. D. Manifestação do risco de incêndio florestal, causas e investigação criminal. **Territorium**, [S. l.], v. 14, p. 81–87, 2007. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_14\\_8](https://doi.org/10.14195/1647-7723_14_8) Acesso em: 21 nov. 2022.
- BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A. B.; FERREIRA-LEITE, F. Adaptação aos efeitos derivados das alterações climáticas. **Guimarães**. p. 103, 2011 ISBN: 9789899547049.
- BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; COSTA, F.; LOURENÇO, L.; FERREIRA-LEITE, F.; MARÇAL, V. Manifestações de Riscos no Noroeste de Portugal - Livro-Guia da Viagem de Estudo do III Congresso Internacional de Riscos. RISCOS-A ed, v.14, p. 81-87, 2007.
- BLOEM, S.; CULLEN, A. C.; MEARNS, L. O.; ABATZOGLOU, John T. The Role of International Resource Sharing Arrangements in Managing Fire in the Face of Climate Change. **Fire**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 88, 2022. <https://doi.org/10.3390/fire5040088>. Acesso 02 Fev. 2023.
- BOTELHO, F.; FERREIRA-LEITE, F.; SILVA, N.; BENTO-GONÇALVES, A. Climatologia sinóptica dos grandes incêndios florestais (>5.000 ha) em Portugal continental. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 14, 2014. <https://doi.org/10.5380/abclima.v14i1.34946>
- BROWN, A. R.; PETROPOULOS, George P.; FERENTINOS, Konstantinos P. Appraisal of the Sentinel-1 & 2 use in a large-scale wildfire assessment: A case study from Portugal's fires of 2017. **Applied Geography**, [S. l.], v. 100, n. August, p. 78–89, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.10.004>
- COSTA, F. S. A gestão das Águas Públicas — O caso da Bacia Hidrográfica do Rio Ave no período 1902-1973. 2007. Universidade do Minho, [S. l.], 2007. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/8871>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- DAVEAU, S. Mapas Climáticos de Portugal – Nevoeiro, Nebulosidade e Contrastes Térmicos. Memórias n ed., Lisboa. p. 84, 1995.
- DE LA BARRERA, F.; BARRAZA, F.; FAVIER, P.; RUIZ, V.; QUENSE, J. Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 637–638, p. 1526–1536, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.119>
- DGT. Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP), 2021. Disponível em: <https://www.dgterritorio.gov.pt/>. Acesso em: 10 de Jan. 2023.
- DGT. Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS), 2018. Disponível em: <https://www.dgterritorio.gov.pt/>. Acesso em: 10 de Jan. 2023.
- FERNANDES, P. M. Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. **Landscape and Urban Planning**, [S. l.], v. 110, n. 1, p. 175–182, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.014>.
- FERNANDES, S.; LOURENÇO, L. Grandes incêndios florestais de março, junho e outubro (fora do período crítico) em Portugal continental. **Territorium**, [S. l.], n. 26(II), p. 15–34, 2018. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_26-2\\_2](https://doi.org/10.14195/1647-7723_26-2_2)
- FERNANDEZ-ANEZ, N. KRASOVSKIY, A., MÜLLER, M. et al. Current Wildland Fire Patterns and Challenges in Europe: A Synthesis of National Perspectives. **Air, Soil and Water Research**, [S. l.], v. 14, p. 117862212110281,



2021.  
<https://doi.org/10.1177/11786221211028185>
- FERREIRA-LEITE, F.; BENTO-GONÇALVES, A.; LOURENÇO, L.; ÚBEDA, X.; VIEIRA, A. Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo Mediterrâneo. *Silva Lusitana*, [S. l.], v. 21, p. 129–144, 2013a. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/slu/v21nEspecial/v21a09.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2022.
- FERREIRA-LEITE, F.; BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A. B. **Mega-Fires Around the World: A Literature Review. In: Wildland fire: Impacts on forest, woodland, and grassland ecological processes.** New York: Nova Science Publishers, 2015. p. 35–112. ISBN: 9781634834087.
- FERREIRA-LEITE, F.; BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; MARTINS, C. A Recorrência dos Incêndios na Serra da Cabreira (Vieira do Minho, Noroeste de Portugal) como Medida da Manifestação do Risco de Incêndio Florestal. *Territorium*, [S. l.], v. 17, p. 93–98, 2010. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_17\\_9](https://doi.org/10.14195/1647-7723_17_9)
- FERREIRA-LEITE, F.; BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; NUNES, A.; LOURENÇO, L. Incidence and recurrence of large forest fires in mainland Portugal. *Natural Hazards*, [S. l.], v. 84, n. 2, p. 1035–1053, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2474-y>
- FERREIRA-LEITE, F.; GANHO, N.; BENTO-GONÇALVES, A.; BOTELHO, F. Iberian atmospheric dynamics and large forest fires in mainland Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, [S. l.], v. 247, n. September, p. 551–559, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.033>
- FERREIRA-LEITE, F.; LOURENÇO, L.; BENTO-GONÇALVES, A. Large forest fires in mainland Portugal, brief characterization. *Méditerranée*, [S. l.], n. 121, p. 53–65, 2013b. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.6863>
- GANTEAUME, A.; CAMIA, A.; JAPPIOT, M.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; LONG-FOURNEL, M.; LAMPIN, C. A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition Over Europe. *Environmental Management*, [S. l.], v. 51, n. 3, p. 651–662, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9961-z>
- GANTEAUME, A.; JAPPIOT, M. What causes large fires in Southern France. *Forest Ecology and Management*, [S. l.], v. 294, p. 76–85, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.055>
- GOMES, J. F. Forest fires in Portugal: how they happen and why they happen. *International Journal of Environmental Studies*, [S. l.], v. 63, n. 2, p. 109–119, 2006. <https://doi.org/10.1080/00207230500435304>
- HAWKINS, L. R.; ABATZOGLOU, J. T.; LI, S.; RUPP, D. E. Anthropogenic Influence on Recent Severe Autumn Fire Weather in the West Coast of the United States. *Geophysical Research Letters*, [S. l.], v. 49, n. 4, 2022. ISSN: 0094-8276. <https://doi.org/10.1029/2021GL095496>
- ICNF. Territórios ardidos. 2022. Disponível em: [https://geocatalogo.icnf.pt/catalogo\\_tema5.html](https://geocatalogo.icnf.pt/catalogo_tema5.html). Acesso em: 15 dez. 2022.
- JONES, M.; ABATZOGLOU, J.; VERAVERBEKE, S.; ANDELA, N.; LASSLOP, G.; FORKEL, M.; SMITH, A.; BURTON, C.; BETTS, R.; VAN DER WERF, G.; SITCH, S.; CANADELL, J.; SANTÍN, C.; KOLDEN, C.; DOERR, S. Global and Regional Trends and Drivers of Fire Under Climate Change. *Reviews of Geophysics*, [S. l.], v. 60, n. 3, 2022. <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>
- KHARUK, V. I.; PONOMAREV, E. I.; IVANOVA, G. A.; DVINSKAYA, M. L.; COOGAN, S. C. P.; FLANNIGAN, M. D. Wildfires in the Siberian taiga. *Ambio*, [S. l.], v. 50, n. 11, p. 1953–1974, 2021 <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x>
- LOPES, L. F.; FERNANDES, P. M.; REGO, F. C.; ACÁCIO, V. Public funding constrains effective postfire emergency restoration in Portugal. *Restoration Ecology*, [S. l.], 2022. ISSN: 1061-2971. <https://doi.org/10.1111/rec.13769>
- LOURENÇO, L. Aspectos sócio-económicos dos incêndios florestais. In: *Manifestações do Risco Dendrocaustológico*. [s.l.: s.n.]. p. 373–385, 1991.
- LOURENÇO, L. Forest fires in continental Portugal Result of profound alterations in society and territorial consequences. *Méditerranée*, [S. l.], n. 130, 2018. ISSN: 0025-8296. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.9958>
- MANCILLA-RUIZ, D.; BARRERA, F. L.; GONZÁLEZ, S.; HUAICO, A. The Effects of a Megafire on Ecosystem Services and the Pace of Landscape Recovery. *Land*, [S. l.], v. 10, n. 12, p. 1388, 2021. <https://doi.org/10.3390/land10121388>
- MARTÍNEZ, J.; VEGA-GARCIA, C.; CHUVIECO, E. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*, [S. l.], v. 90, n. 2, p. 1241–1252, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.005>
- MENESES, B. M.; REIS, E.; REIS, R. Assessment of the recurrence interval of wildfires in mainland Portugal and the identification of affected LUC patterns. *Journal of Maps*, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 282–292, 2018. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1454351>
- MIRANDA, B. R.; STURTEVANT, B. R.; STEWART, S. I.; HAMMER, R. B. Spatial and temporal drivers of wildfire occurrence in the context of rural development in northern Wisconsin, USA. *International Journal of Wildland Fire*, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 141, 2012. <https://doi.org/10.1071/WF10133>
- NUNES, A. Regional variability and driving forces behind forest fires in Portugal an overview of the last three decades (1980–2009). *Applied Geography*, [S. l.], v. 34, n. May 2012, p. 576–

- 586, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.03.002>
- NUNES, A.; LOURENÇO, L.; MEIRA, A. Exploring spatial patterns and drivers of forest fires in Portugal (1980–2014). **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 573, p. 1190–1202, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.121>
- OLIVEIRA, S.; PEREIRA, J.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; LOURENÇO, L. Exploring the spatial patterns of fire density in Southern Europe using Geographically Weighted Regression. **Applied Geography**, [S. l.], v. 51, p. 143–157, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.04.002>
- OLIVEIRA, S.; OEHLER, F.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; CAMIA, A.; PEREIRA, J. M. C. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using Multiple Regression and Random Forest. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 275, p. 117–129, 2012.. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.003>
- OLIVEIRA, S. L. J.; PEREIRA, J. M. C.; CARREIRAS, J. M. B. Fire frequency analysis in Portugal (1975 - 2005), using Landsat-based burnt area maps. **International Journal of Wildland Fire**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 48, 2012. <https://doi.org/10.1071/WF10131>
- PARENTE, J.; PEREIRA, M. Structural fire risk: The case of Portugal. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 573, p. 883–893, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.164>
- PARENTE, J.; PEREIRA, M.; AMRAOUI, M.; TEDIM, F. Negligent and intentional fires in Portugal: Spatial distribution characterization. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 624, p. 424–437, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.013>
- PARENTE, J.; PEREIRA, M. G.; TONINI, M. Space-time clustering analysis of wildfires: The influence of dataset characteristics, fire prevention policy decisions, weather and climate. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 559, n. June 2018, p. 151–165, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.129>
- PAUSAS, J. Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). **Climatic Change**, [S. l.], v. 63, n. 3, p. 337–350, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000018508.94901.9c>
- PEREIRA, M.; ARANHA, J.; AMRAOUI, M. Land cover fire proneness in Europe. **Forest Systems**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 598, 2014. <https://doi.org/10.5424/fs/2014233-06115>
- PEREIRA, M.; CALADO, T.; DACAMARA, C.; CALHEIROS, T. Effects of regional climate change on rural fires in Portugal. **Climate Research**, [S. l.], v. 57, n. 3, p. 187–200, 2013. <https://doi.org/10.3354/cr01176>
- PEREIRA, M.; TRIGO, R.; DA CAMARA, C.; PEREIRA, J.; LEITE, S. Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 129, n. 1–2, p. 11–25, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.12.007>
- ROCES - DÍAZ, J. V.; SANTÍN, C.; MARTÍNEZ - VILALTA, J.; DOERR, S. H. A global synthesis of fire effects on ecosystem services of forests and woodlands. **Frontiers in Ecology and the Environment**, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 170 – 178, 2022. <https://doi.org/10.1002/fee.2349>
- SÁ, A. C. L.; TURKMAN, M. A. A.; PEREIRA, J. M. C. Exploring fire incidence in Portugal using generalized additive models for location, scale and shape (GAMLSS). **Modeling Earth Systems and Environment**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 199–220, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0409-6>
- SANTOS, S.; DUVERGER, S. G.; BENTO-GONÇALVES, A.; FRANCA-ROCHA, W.; VIEIRA, A.; TEIXEIRA, G. Remote Sensing Applications for Mapping Large Wildfires Based on Machine Learning and Time Series in Northwestern Portugal. **Fire**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 1–25, 2023. <https://doi.org/10.3390/fire6020043>
- SEBASTIÁN-LÓPEZ, A.; SALVADOR-CIVIL, R.; GONZALO-JIMÉNEZ, J.; SANMIGUEL-AYANZ, J. Integration of socio-economic and environmental variables for modelling long-term fire danger in Southern Europe. **European Journal of Forest Research**, [S. l.], v. 127, n. 2, p. 149–163, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10342-007-0191-5>
- SIMON, M. Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GLOBSCAR products and their qualification. **Journal of Geophysical Research**, [S. l.], v. 109, n. D14, p. D14S02, 2004. <http://doi.wiley.com/10.1029/2003JD003622>
- TABOADA, A.; GARCÍA-LLAMAS, P.; FERNÁNDEZ-GUISURAGA, J. M.; CALVO, L. Wildfires impact on ecosystem service delivery in fire-prone maritime pine-dominated forests. **Ecosystem Services**, [S. l.], v. 50, p. 101334, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101334>
- TEDIM, F., LEONE, V., AMRAOUI, M., BOUILLON, C., COUGHLAN, M., DELOGU, G., FERNANDES, P., FERREIRA, C., MCCAFFREY, S., MCGEE, T., PARENTE, J., PATON, D., PEREIRA, M., RIBEIRO, L., VIEGAS, D., XANTHOPOULOS, G. Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. **Fire**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 9, 2018. <https://doi.org/10.3390/fire1010009>
- TEDIM, F.; REMELGADO, R.; MARTINS, J.; CARVALHO, S. The largest forest fires in Por ar size on the comprehen. **Journal of Environmental Biology**, [S. l.], v. 36, n. January, p. 301–307, 2015.

- TEDIM, F.; LEONE, V.; COUGHLAN, M.; BOUILLON, C.; XANTHOPOULOS, G.; ROYÉ, D.; CORREIA, F. J. M.; FERREIRA, C. Extreme wildfire events. In: *Extreme Wildfire Events and Disasters*. [s.l.]: Elsevier, 2020. p. 3–29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815721-3.00001-1>
- TEDIM, F.; REMELGADO, R.; BORGES, C.; CARVALHO, S.; MARTINS, J. Exploring the occurrence of mega-fires in Portugal. *Forest Ecology and Management*, [S. l.], v. 294, p. 86–96, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.031>.
- TRIGO, R.; SOUSA, P.; PEREIRA, M.; RASILLA, D.; GOUVEIA, C. Modelling wildfire activity in Iberia with different atmospheric circulation weather types. *International Journal of Climatology*, [S. l.], v. 36, n. 7, p. 2761–2778, 2013. <https://doi.org/10.1002/joc.3749>
- TYMSTRA, C.; JAIN, P.; FLANNIGAN, M. D. Characterisation of initial fire weather conditions for large spring wildfires in Alberta, Canada. *International Journal of Wildland Fire*, [S. l.], v. 30, n. 11, p. 823, 2021. <https://doi.org/10.1071/WF21045>
- VIEIRA, A.; BENTO-GONÇALVES, A. Riscos Geomorfológicos no Noroeste de Portugal. Livro Guia da Visita Técnica n 3. Riscos-A ed., Coimbra: Riscos, 2020.
- VIEIRA, D. C. S.; BORRELLI, P.; JAHANIANFARD, D.; BENALI, A.; SCARPA, S.; PANAGOS, P. Wildfires in Europe: Burned soils require attention. *Environmental Research*, [S. l.], v. 217, p. 114936, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114936>
- VILAR, L.; CAMIA, A.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; MARTÍN, M. Pilar. Modeling temporal changes in human-caused wildfires in Mediterranean Europe based on Land Use-Land Cover interfaces. *Forest Ecology and Management*, [S. l.], v. 378, p. 68–78, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.020>.
- WANG, X.; SWYSTUN, T.; FLANNIGAN, M. D. Future wildfire extent and frequency determined by the longest fire-conducive weather spell. *Science of The Total Environment*, [S. l.], v. 830, p. 154752, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154752>
- WILLIAMS, J., ALBRIGHT, D., HOFFMANN, A., ERITSOV, A., MOORE, P., MORAIS, J., LEONARD, M., SAN MIGUEL-AYANZ, J., XANTHOPOULOS, G., VAN LIEROP, P. Findings and Implications from a Coarse-Scale Global Assessment of Recent Selected Mega-Fires. In: PROCEEDINGS OF THE 5TH INTERNATIONAL WILDLAND FIRE CONFERENCE, 2011, *Anais [...]*. [s.l.: s.n.] p. 1–19.
- WRIGHT, J. L.; ROY, S. S. Geospatial characteristics of Colorado wildfire occurrences from 2001 to 2020. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, [S. l.], v. 28, p. 100872, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100872>

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Sarah Moura Batista dos Santos e António Bento-Gonçalves realizaram a conceptualização. Sarah Moura Batista dos Santos fez a metodologia, validou, realizou a análise formal, investigou, fez o tratamento de dados e preparou o rascunho da redação. António Bento-Gonçalves, António Vieira e Georgia Teixeira revisaram a escrita e editaram. António Bento-Gonçalves e António Vieira supervisionaram e realizaram a aquisição de financiamento. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.