

# UMA CARTOGRAFIA APERFEIÇOADA DAS ÁREAS ARDIDAS NO ALTO MINHO (NOROESTE DE PORTUGAL) ENTRE 2001 E 2020

EMANUEL OLIVEIRA<sup>1</sup> 

PAULO FERNANDES<sup>2</sup> 

**RESUMO** – O Alto Minho é uma região do Norte de Portugal, situada no noroeste da Península Ibérica que é uma das regiões da Europa onde a recorrência do fogo é maior. A cartografia histórica das áreas ardidas tem sido fundamental para caraterizar o regime de fogo e na determinação de políticas de prevenção contra incêndios e de medidas de ordenamento urbanístico. Ao longo das últimas décadas, inúmeros estudos caratecrizaram o impacto do fogo no território, baseando-se nesta fonte cartográfica oficial, disponibilizada pelo Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF. Neste estudo desenvolveu-se uma cartografia detalhada e rigorosa das áreas afetadas por fogos nas últimas duas décadas (2001 a 2020) no território do Alto Minho. Estas áreas foram apuradas com base na análise de 400 imagens dos satélites Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (Operational Land Imager – OLI) e Sentinel-2 (Multispectral Instrument – MSI), cujos perímetros resultaram da digitalização de forma manual apoiada em séries históricas de ortofotos. Foram digitalizados 12 692 perímetros de fogos que correspondem a 235 060 hectares ardidos no território do Alto Minho. Os resultados obtidos divergem substancialmente da informação cartográfica oficial, em relação ao rigor cartográfico, número de perímetros de incêndio (3873) e área ardida (179 283 hectares).

**Palavras-chave:** Fogos; incêndios florestais; mapeamento; deteção remota.

**ABSTRACT** – AN IMPROVED MAPPING OF BURNED AREAS IN ALTO MINHO (NORTHWESTERN PORTUGAL) BETWEEN 2001 AND 2020. Alto Minho is a region of

---

Recibido: 24/11/2022. Aceite: 31/01/2023. Publicado: 27/04/2023.

<sup>1</sup> Departamento de Enxeñaría Agroforestal, Escola de Doutoramento Internacional (EDIUS) da Universidade de Santiago de Compostela, Rúa Benigno Ledo, 2, 27002, Lugo, Espanha. E-mail: [emanuel.r.s.oliveira@outlook.pt](mailto:emanuel.r.s.oliveira@outlook.pt)

<sup>2</sup> Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas, Escola de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. E-mail: [pfern@utad.pt](mailto:pfern@utad.pt)

northern Portugal in the northwest of the Iberian Peninsula, which is one of the regions in Europe where fires are more frequent. The historical mapping of burned areas has been fundamental to characterize the fire regime and to determine wildfire prevention policies and urban planning measures. Over the last decades, several studies have been published seeking to characterize the impact of fire on the territory, its frequency and recurrence, based on the official cartography, provided by the Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF. In this study, a detailed and rigorous cartography of the areas affected by fires in the Alto Minho area in the last two decades (2001 to 2020) was developed. These areas were determined based on the analysis of 400 images from the Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (Operational Land Imager – OLI) and Sentinel-2 (Multispectral Instrument – MSI) satellites, whose perimeters resulted from manual digitizing supported by historical series of orthophotos. A total of 12 692 fire perimeters were digitalized corresponding to 235 060 hectares of burned area in the Alto Minho region. These results substantially differ from the official cartographic information, in terms of cartographic accuracy, number of fire perimeters (3873) and burned area (179 283 hectares).

**Keywords:** Fires; wildfires; mapping; remote sensing.

**RÉSUMÉ** – UNE CARTOGRAPHIE AMÉLIORÉE DES SURFACES BRÛLÉES DANS L'ALTO MINHO (NORD-OUEST DU PORTUGAL) ENTRE 2001 ET 2020. L'Alto Minho, une région au nord du Portugal et située au nord-ouest de la Péninsule Ibérique, est une des régions d'Europe où la récurrence des incendies est la plus élevée. La cartographie historique des zones brûlées a été fondamentale pour caractériser le régime des incendies et pour déterminer les politiques de prévention des incendies et les mesures d'aménagement urbain. Au cours des dernières décennies, de nombreuses études publiées ont tenté de caractériser l'impact du feu dans le territoire, sa fréquence et sa récurrence, à partir de cette source cartographique officielle, fournie par l'Institut pour la conservation de la nature et des forêts – ICNF. Cette étude a développé une cartographie détaillée et rigoureuse des zones affectées par les feux au cours des deux dernières décennies (2001 à 2020) dans le territoire de l'Alto Minho. Ces zones ont été déterminées sur la base de l'analyse de 400 images provenant des satellites Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (Operational Land Imager – OLI) et Sentinel-2 (Multispectral Instrument – MSI), dont les périmètres résultent d'une digitalisation manuelle soutenue par des séries historiques d'orthophotos. Un total de 12 692 périmètres d'incendie ont été digitalisés, ce qui correspond à 235 060 hectares brûlés dans le territoire de l'Alto Minho. Les résultats diffèrent substantiellement des informations cartographiques officielles, en termes de précision cartographique, de nombre de périmètres d'incendie (3873) et de surface brûlée (179 283 hectares).

**Mots clés:** Feux; incendies de forêt; cartographie; télédétection.

**RESUMEN** – UNA CARTOGRAFÍA MEJORADA DE LAS SUPERFICIES QUEMADAS EN EL ALTO MINHO (NOROESTE DE PORTUGAL) ENTRE 2001 Y 2020. El Alto Minho es una región del norte de Portugal, localizada en el noroeste de la Península Ibérica, que constituye una de las regiones de Europa donde la recurrencia de los incendios es más elevada. La cartografía histórica de las zonas quemadas ha sido fundamental para caracterizar el régimen de fuego y determinar las políticas de prevención de incendios y las medidas de planificación urbana. A lo largo de las últimas décadas, numerosos estudios publicados

han tratado de caracterizar el impacto del fuego en el territorio, basándose en esta fuente cartográfica oficial, proporcionada por el Instituto para la Conservación de la Naturaleza y los Bosques – ICNF. En este estudio se desarrolló una cartografía detallada y rigurosa de las superficies afectadas por los incendios en las dos últimas décadas (2001 a 2020) en el territorio del Alto Minho. Estas superficies se calcularon a partir del análisis de 400 imágenes de los satélites Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (Operational Land Imager – OLI) y Sentinel-2 (Multispectral Instrument – MSI), cuyos perímetros resultaron de la digitalización manual apoyada en series históricas de ortofotos. Se digitalizaron 12 692 perímetros de incendios, correspondientes a 235 060 hectáreas quemadas en el territorio del Alto Minho. Los resultados obtenidos difieren sustancialmente de la información cartográfica oficial, en lo que respecta a la precisión cartográfica, el número de perímetros de incendio (3873) y la superficie quemada (179 283 hectáreas).

**Palavras clave:** Fuegos; incendios forestales; cartografía; teledetección.

## I. INTRODUÇÃO

Segundo dados oficiais do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, 2021), Portugal registou entre 2001 e 2020 uma área ardida total acumulada de cerca de 2,7 milhões de hectares, resultante de aproximadamente 400 mil ocorrências de incêndios. Estes números demonstram o impacto dos incêndios no território, quer a nível ambiental como a nível socioeconómico. O Alto Minho, situado no Norte de Portugal, em conjunto com as demais regiões do noroeste da Península Ibérica, concentram a maior percentagem de ocorrências de fogos florestais da Europa (Pereira *et al.*, 2006; Trigo *et al.*, 2013).

A produção cartográfica das áreas ardidas, tal como os dados estatísticos relacionados com as ocorrências, é de vital importância para a análise dos processos derivados do impacto dos fogos num dado território e num determinado período de tempo (Ferreira-Leite *et al.*, 2012).

Os dados estatísticos anuais sobre incêndios florestais apenas foram disponibilizados a partir da década de 80 do século XX, permitindo, com algumas limitações, uma análise desde a escala nacional à escala local. Desde então, as bases estatísticas relacionadas com as ocorrências de incêndios melhoraram ao longo dos anos com a introdução de dados úteis para a caracterização de cada incêndio. No ano 2000 é criado o Sistema de Gestão de Informação de Fogos Florestais (SGIF), o qual constitui uma robusta base de dados que centraliza, até aos dias de hoje a informação relacionada com cada ocorrência, proveniente de três organismos (Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais e Instituto Superior de Agronomia [APIF & ISA], 2005) com competências na gestão e prevenção florestal (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF), na investigação de causas (Guarda Nacional Republicana – GNR) e na gestão da emergência e socorro (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil – ANEPC). Desde 2002, passou a integrar a informação meteorológica proveniente do Instituto Português do Mar e da

Atmosfera (IPMA) referente aos valores observados nas estações meteorológicas mais próximas do local de cada ocorrência, recentemente substituída pelos dados de reanálise ERA5-Land do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

A informação cartográfica em formato vetorial (*shapefile*) apenas começa a ser produzida anualmente no início da década de 90. Entre 1990 e 1992, o processo de produção cartográfica foi elaborado por aquisição de serviços a uma empresa e a partir de 1993 até 2004, a cartografia foi elaborada mediante um protocolo de colaboração entre a Direção Geral das Florestas e o Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia (ISA) (Ferreira-Leite *et al.*, 2012). A partir de 2006, a elaboração do registo cartográfico das áreas ardidas é assegurada pela então Direcção-Geral dos Recursos Florestais (atualmente ICNF) enquanto autoridade florestal nacional. Desde então, a produção cartográfica resulta do mapeamento com recurso a imagens satélite complementado pelo levantamento no terreno das áreas ardidas iguais ou superiores a um hectare, executado pela GNR e técnicos dos Gabinetes Técnicos Florestais dos municípios.

Tal como refere Ferreira-Leite *et al.* (2012), foram detetadas algumas incoerências nas bases de dados estatísticas das ocorrências de incêndios, o que levou a um processo de reformulação do SGIF em 2010. O mesmo ocorre com a série histórica cartográfica das áreas ardidas, devido à metodologia adotada (Oliveira *et al.*, 2012), limitações no tratamento das imagens de satélite e carência de validação da informação no terreno (Ferreira-Leite *et al.*, 2012).

Atualmente, a base histórica cartográfica disponibiliza informações de 1975 até à presente data, sendo que a informação do período de 1975 a 2005 resulta do atlas anual de incêndios (Pereira & Santos, 2003). Segundo Oliveira *et al.* (2012), o atlas anual resulta da obtenção das áreas ardidas a partir de imagens dos satélites Landsat do final do período verão-outono de cada ano, permitindo o mapeamento através de classificação semi-automática das áreas com dimensão mínima de 35ha no período de 1975 a 1983 (imagens Landsat MultiSpectral Scanner – MMS). A partir de 1984 até 2005, a área mínima cartografada através do mesmo procedimento foi de cinco hectares, dada a melhoria da resolução espacial das imagens satélite Landsat (Thematic Mapper – TM e Enhanced Thematic Mapper – ETM+).

De 2006 até ao momento atual, a cartografia oficial das áreas ardidas resulta de diversas fontes, quer de levantamentos no terreno realizados pela GNR, maioritariamente com recurso a desenho sobre ortoimagens, quer por mapeamento através de imagens de satélite com diversas escalas de resolução e diferentes métodos de obtenção (MODIS, Landsat, Sentinel-2). A partir desse ano até ao presente, a cartografia oficial passou a integrar áreas mínimas de incêndios rurais inferiores a cinco hectares. A cartografia oficial integra parte da informação produzida pelo *European Forest Fire Information System* (EFFIS) desde 2017, embora não seja identificado o modo de obtenção das áreas ardidas. A informação produzida pelo EFFIS a partir de imagens do satélite MODIS com uma resolução espacial de 250m, permitia cartografar uma área igual ou superior a 30ha no período de 2008 a 2017. Desde 2018, com recurso às imagens do satélite Sentinel-2, o EFFIS tem mapeado áreas ardidas com dimensão inferior a 30ha, sendo estas corrigidas por meio da

interpretação visual das imagens (EFFIS, 2021). Em termos gerais, as fontes estatísticas e cartográficas produzidas no país ao longo de décadas são suficientemente robustas e completas para comparar à escala nacional os impactos dos fogos, tornando Portugal o país que dispõe de melhor informação pública e acessível, quando comparado com outros países da Europa (Pereira *et al.*, 2006). Contudo, a análise das tendências históricas frequentemente ignora as alterações de metodologia e de critério que ocorreram ao longo do tempo (Fernandes *et al.*, 2017).

Independentemente da escala espacial, vários autores têm como base de investigação a informação cartográfica oficial para caracterizarem o regime de fogo (Marques *et al.*, 2011; Pereira *et al.*, 2022), a sua distribuição espaço-temporal (Silva *et al.*, 2019), a frequência e recorrência dos fogos (Fernandes *et al.*, 2012; Ferreira-Leite *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2012), os seus impactos (Fernandes & Guiomar, 2017; Ferreira-Leite *et al.*, 2013; Scotto *et al.*, 2014; Silva & Catry, 2006; Tedim *et al.*, 2015), o risco e a suscetibilidade do território (Bergonse *et al.*, 2021; Verde, 2008; Verde *et al.*, 2010) e a gestão do risco (Tedim *et al.*, 2013).

No entanto, para uma escala regional de âmbito distrital ou para uma escala espacial menor, a cartografia das áreas ardidas tem uma função fundamental no condicionamento da edificabilidade e na instalação de projetos agrícolas e florestais. Baseada nesta cartografia, a classificação da perigosidade de incêndio rural do território (ICNF, 2020; Oliveira *et al.*, 2021), são aplicadas medidas de prevenção (planeamento da defesa da floresta contra incêndios). Nestas escalas, a informação cartográfica deverá ter o máximo rigor no mapeamento das áreas ardidas e sua classificação quanto à origem do fogo (Observatório Técnico Independente [OTI], 2019).

Neste contexto, face à variação temporal nas metodologias utilizadas, este trabalho tem por objetivo reconstruir as séries históricas das áreas ardidas do período de 2001 a 2020 no território do Alto Minho e comparar os resultados obtidos com os dados históricos oficiais.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### 1. Região de estudo

A região de estudo abrange todo o território do Alto Minho (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos – NUTS III), situado no extremo Noroeste de Portugal, na unidade territorial NUTS II – Norte de Portugal (fig. 1). A Norte e Este faz fronteira com a Comunidade Autónoma da Galiza (Espanha) através do rio Minho e do Planalto de Castro Laboreiro e rio Laboreiro e Serra Amarela, respetivamente. A sul faz fronteira com o distrito de Braga e a Oeste o território é limitado com o oceano Atlântico. A região do Alto Minho corresponde à totalidade do território do distrito administrativo de Viana do Castelo, ocupando cerca de 2219km<sup>2</sup>, e encontra-se distribuído por dez municípios. Em Portugal, os municípios encontram-se ainda subdivididos em unidades administrativas mais pequenas – as freguesias. O Alto Minho é constituído por 208 freguesias, o que confere elevada dispersão populacional e fragmentação administrativa do território.

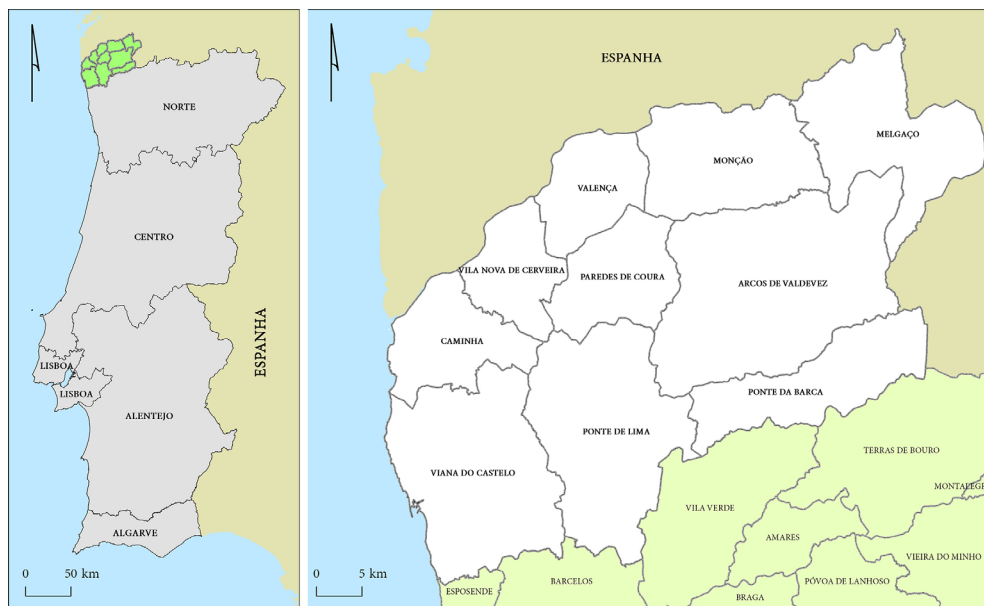


Fig. 1 – Enquadramento geográfico da região de estudo, Alto Minho. Figura a cores disponível online.

*Fig. 1 – Geographical context of the study region, Alto Minho. Colour figure available online.*

Fonte: Carta Administrativa Oficial de Portugal (DGT, 2020a); Limites Administrativos de Espanha (IGN, 2019)

O território é essencialmente ocupado por espaços florestais (72%) com uma importante atividade pecuária em regime extensivo e com ocupação agrícola em 18% (Direção Geral do Território [DGT], 2020b). À exceção da estreita faixa costeira e dos principais vales dos rios Minho e Lima, o relevo é predominantemente montanhoso, com altitudes superiores a 400m e, aproximadamente a 50km do litoral, os cumes mais elevados excedem os 1000m de altitude (Monteiro *et al.*, 2005).

Quanto ao clima, o território apresenta duas regiões climáticas tipificadas por uma estação invernal moderada em toda a fachada atlântica (Ribeiro *et al.*, 1988). Por outro lado, a época estival é moderada junto à costa, frequentemente afetada por ventos que sopram forte do Norte e por neblinas matinais de advecção e fresco nos lugares mais elevados das montanhas. Em alguns fundos de vales abrigados e expostos à radiação solar o verão costuma ser quente ou muito quente. Segundo o Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas (Comunidade Internacional do Alto Minho & Instituto Politécnico de Viana do Castelo [CIM Alto Minho & IPVC], 2017) a generalidade do território tem baixa amplitude térmica anual, com temperatura média anual predominantemente entre 14°C e 16°C. Quanto à precipitação, o território apresenta uma grande variação do litoral para o interior, registando, em termos médios anuais, precipitações superiores a 1100mm, podendo atingir médias em zonas mais interiores na ordem dos 2400 a 2800mm.

O relevo, a ocupação e uso dos solos e o clima são fatores determinantes no regime de incêndios rurais. Por outro lado, as comunidades rurais do Alto Minho, à semelhança de outras comunidades do Noroeste Ibérico, usam o fogo há várias gerações dentro de um sistema tradicional agrário, desde o arroteamento, fertilização dos solos, renovação de pastagens e queima de sobrantes agrícolas e florestais (Díaz-Fierros, 2019). Este uso do fogo, associado às condições físicas do território, é também uma das muitas causas de incêndios rurais.

## 2. Metodologia

Analisou-se um conjunto de imagens dos satélites Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (Operational Land Imager – OLI) e Sentinel-2 (Multispectral Instrument – MSI) para o período 2001-2020. Estas imagens foram extraídas do Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) desenvolvido por Congedo (2016; 2020; 2021) para o *software* QGIS e diretamente por via da plataforma da U.S. *Geological Survey – Earth Explorer*.

Foram selecionadas 400 imagens dos diversos satélites, preferencialmente sem nuvens ou com uma cobertura mínima, permitindo cobrir o máximo de meses do ano, com o fim de identificar padrões estacionais das áreas ardidadas no Alto Minho. Através do SCP para QGIS, foi realizado o pré-processamento de todas as imagens para correção atmosférica. Posteriormente, as áreas ardidadas foram identificadas através do índice *Normalized Burn Ratio* (NBR) e pela composição de Falsa Cor RGB (Congedo, 2016, 2020, 2021). Identificaram-se também as áreas ardidadas no ano 2000, de modo a evitar que estas áreas fossem erradamente somadas ao ano seguinte.

A determinação do índice NBR foi efetuada para todas as imagens de satélite. O NBR é um índice amplamente usado na identificação de áreas ardidadas, a partir da diferença normalizada entre o pico de refletância no infra-vermelho próximo (NIR – *near-infrared*) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR – *short-wave-infrared*) do espectro eletromagnético (Key & Benson, 2006; Lopez-Garcia & Caselles, 1991), com base na seguinte fórmula:

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

Esta fórmula foi aplicada às diferentes imagens obtidas a partir dos diversos satélites conforme o quadro I.

Para facilitar a interpretação de dados e permitir uma identificação mais imediata das áreas ardidadas, e complementar o produto NBR para cada uma das imagens, recorreu-se à composição de Falsa Cor (RGB). Esta composição de bandas é muito usual, pois permite observar alterações na vegetação (Riebeek & Simmon, 2014), através das bandas do infra-vermelho próximo (vermelho), verde (azul) e vermelho (verde).

Quadro I – Características das fontes de imagens satélite usadas na obtenção das áreas percorridas por fogos entre 2001 e 2020.

*Table I – Characteristics of the satellite imagery sources used to obtain the areas affected by fires between 2001 and 2020.*

	LANDSAT 5	LANDSAT 7	LANDSAT 8	SENTINEL-2
<b>Instituições</b>	NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey)			ESA (European Space Program)
<b>País/Região</b>	EUA			UE
<b>Lançamento</b>	01/03/1984	15/04/1999	11/02/2013	23/06/2015
<b>Situação Atual</b>	Inativo (22/11/2011)	Ativo	Ativo	Ativo
<b>Altitude (km)</b>	705	705	705	786
<b>Tempo de Duração da Órbita (min)</b>	99	98,9	99	97,2
<b>Período de Revisita (dias)</b>	16	16	16	5
<b>Instrumentos Sensores</b>	MSS e TM	ETM+	OLI e TIRS	SAR e MSI
<b>Nº de Imagens Utilizadas</b>	75	84	41	193
<b>Período das Imagens</b>	2000 – 2011	2000 – 2014	2013 – 2020	2015 – 2020
<b>NBR – Bandas Utilizadas</b>	NBR = (B4 – B7) / (B4 + B7)	NBR = (B4 – B7) / (B4 + B7)	NBR = (B5 – B7) / (B5 + B7)	NBR = (B8 – B12) / (B8 + B12)
<b>Composição de Falsa Cor (Bandas Utilizadas)</b>	4-3-2	4-3-2	5-4-3	8-4-3
<b>Área Mínima cartografada</b>	0,4ha	0,4ha	0,4ha	0,04ha
<b>Resolução Espacial (m)</b>	30	30	30	10

Fonte: Embrapa (2021)

### 2.2.1. Mapeamento das áreas ardidas

Uma vez obtidas as imagens (NBR e RGB falsa cor) com a diferenciação das áreas ardidas, os perímetros foram digitalizados. Alguns autores sugerem que o processo de digitalização destas áreas seja executado de forma manual e supervisionada apoiada em informação auxiliar com o fim de evitar erros de interpretação derivados da ocorrência de mudanças na cobertura do solo (Chuvieco & Congalton, 1988; Ruiz-Gallardo, 2007; Tanaka *et al.*, 1983). Para reduzir estes erros e aumentar o rigor no delineamento dos perímetros das áreas ardidas entre 2001 e 2020, procedeu-se à digitalização manual com base na série histórica de imagens obtidas e apoiada em ortofotos dos anos 2003 e 2004<sup>i</sup>, 2007 (DGT, 2022) e 2018<sup>ii</sup>.

No processo de digitalização manual, dada a necessidade de um maior detalhe, foi considerada a escala de acordo com a resolução das imagens dos diferentes satélites, entre 1:25 000 e 1:3000. Este processo, apoiado em ortofotos de diferentes anos permitiu diferenciar os objetos, evitando que áreas de rocha, campos agrícolas ou pequenos planos de água, entre outros, fossem confundidos com superfícies atingidas pelo fogo. Para o efeito foram consideradas alterações num conjunto mínimo de quatro pixéis, ou seja, uma área correspondente a 0,4ha (Landsat 5, 7 e 8), a 0,03ha (Sentinel-2) e 0,1ha (ortofotos com uma resolução de 0,3 a 0,5m). Através dos ortofotos também foi possível identificar e corrigir com maior rigor os perímetros das áreas afetadas por fogos, reduzindo assim a área mínima cartografada (fig. 2).





Fig. 2 – Perímetro de incêndio delineado manualmente com base em imagem de satélite (Landsat 5) para posterior correção pela sobreposição sobre ortoimagem de 2004. Figura a cores disponível online.

*Fig. 2 – Wildfire perimeter manually delineated based on a satellite image (Landsat 5) for subsequent correction by overlaying on an orthoimagery from 2004. Color figure available online.*

O delineamento dos perímetros com base em imagens de satélite foi executado sem se ajustar excessivamente aos pixels queimados e não sendo incluídas as áreas sem dano observável (Key & Benson, 2006). De igual modo, as ilhas interiores não ardidas também foram delimitadas e excluídas dos perímetros das áreas ardidas para não serem agregadas incorretamente como áreas afetadas pelo fogo. De modo a evitar a perda de informação, foram também delineados e incluídos os perímetros de áreas queimadas localizadas no limite da área de estudo até 500 metros, bem como delimitados na totalidade os perímetros associados a uma mesma ocorrência e que cruzaram o limite da área de estudo.

Por último, os dados cartográficos anuais de fonte oficial foram obtidos em formato vetorial (*shapefile*) a partir da página oficial do ICNF (2021). As manchas ardidas que não puderam ser aferidas por via das imagens tratadas por respeitarem a áreas muito reduzidas ou a povoamentos florestais densos, foram integradas na base de dados deste estudo. A informação cartográfica oficial foi comparada com a informação cartográfica obtida no presente estudo através da sobreposição dos perímetros. Do mesmo modo, com base na informação cartográfica referente ao fogo controlado (ICNF, 2021) foi possível identificar e classificar o tipo de fogo que está na origem da área ardida. Finalmente, a cartografia

resultante deste estudo permitiu comparações com a cartografia oficial em termos do posicionamento e dimensão das áreas ardidas, bem como em termos de sazonalidade da ocorrência dos fogos (incêndios rurais e outros).

### 2.2.2. *Relação entre as áreas percorridas por fogos e as ocorrências da base estatística e os focos de calor dos sensores MODIS e VIIRS*

Após a fase de digitalização de cada perímetro procedeu-se à sua datação e classificação do tipo de fogo, através da importação e georreferenciação dos dados estatísticos anuais do Sistema de Gestão de Informação de Fogos Florestais (SGIF) do período de 2001 a 2020, disponibilizados pelo ICNF (2021) e dos focos de calor georreferenciados provenientes dos sensores *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e *Visible Infrared Imager Radiometer Suite* (VIIRS). Os focos de calor foram obtidos a partir do arquivo na página *web* do *Fire Information for Resource Management System* ([FIRMS], 2021) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em formato vetorial (ponto). Em relação aos dados oficiais do SGIF, não é possível a georreferenciação correta da larga maioria das ocorrências, pois a localização adotada é toponímica e a coordenada atribuída a cada ocorrência é o centroide do polígono referente ao limite administrativo da freguesia. Apenas nos últimos anos do período de análise é que a localização está mais próxima da realidade da origem da ocorrência, já que os equipamentos de comunicação usados pelas equipas de primeira intervenção nas operações de extinção permitem a sua geolocalização. Apesar desta fragilidade é possível relacionar a ocorrência com o perímetro da área ardida resultante de incêndio, através das datas das ocorrências com a interpolação das imagens satélite e dos dados dos sensores MODIS e VIIRS.

Os dados do sensor MODIS estão disponíveis desde novembro de 2000 (sensor Terra) e de julho de 2002 (sensor Aqua) até ao presente, detetando com fiabilidade focos de calor com chama ou chama latente com uma resolução espacial superior a 1000 metros. Enquanto que os dados do sensor VIIRS S-NPP estão disponíveis desde janeiro de 2012 até ao presente, os dados do VIIRS NOAA-20 estão disponíveis a partir de janeiro de 2020. Ambos possuem uma resolução espacial muito maior que o MODIS, de 375m (Giglio, 2015; Nieman *et al.*, 2021; Schroeder & Giglio, 2018).

Neste estudo foi considerado o conjunto de dados referente a focos de calor detetados pelos sensores MODIS e VIIRS no território do Alto Minho para o período de análise. Através dos focos de calor e a sobreposição destes com os perímetros mapeados, segundo as datas de obtenção das imagens de satélite, foi possível atribuir uma data aos perímetros das áreas ardidas e classificá-los quanto à origem. Classificaram-se os perímetros como incêndio rural quando associado a uma ocorrência registada na base de dados do SGIF, ou seja, fogos que implicaram o despacho de meios de extinção e foram combatidos. Os demais perímetros, identificados a partir da sequência cronológica das imagens satélite e das datas dos focos de calor, para os quais não existe um registo de ocorrência associada no SGIF, portanto sem intervenção na extinção por equipas do dispositivo de supressão,

foram classificados como “outros fogos”, tendo ocorrido exclusivamente nas estações de outono, inverno e primavera (fogos de outono-inverno-primavera e fogos controlados).

A datação obtida a partir da informação dos focos de calor, em complementaridade com as datas das diferentes imagens de satélite e com a informação dos dados oficiais do SGIF, permitiu ainda identificar a distribuição estacional dos diferentes tipos de fogos.

### III. RESULTADOS

#### 1. Comparação de áreas ardidas

Os resultados obtidos neste estudo indicam valores muito díspares quando comparados com os dados cartográficos oficiais. A figura 3 apresenta exemplos de discrepâncias entre a cartografia oficial e das imagens utilizadas neste estudo. Os dados resultantes da reconstrução sistemática e precisa das áreas percorridas por fogos nos últimos 20 anos que afetaram o território do Alto Minho totalizam 12 692 perímetros, correspondendo a uma área total afetada de 235 060 hectares (quadros II e III).

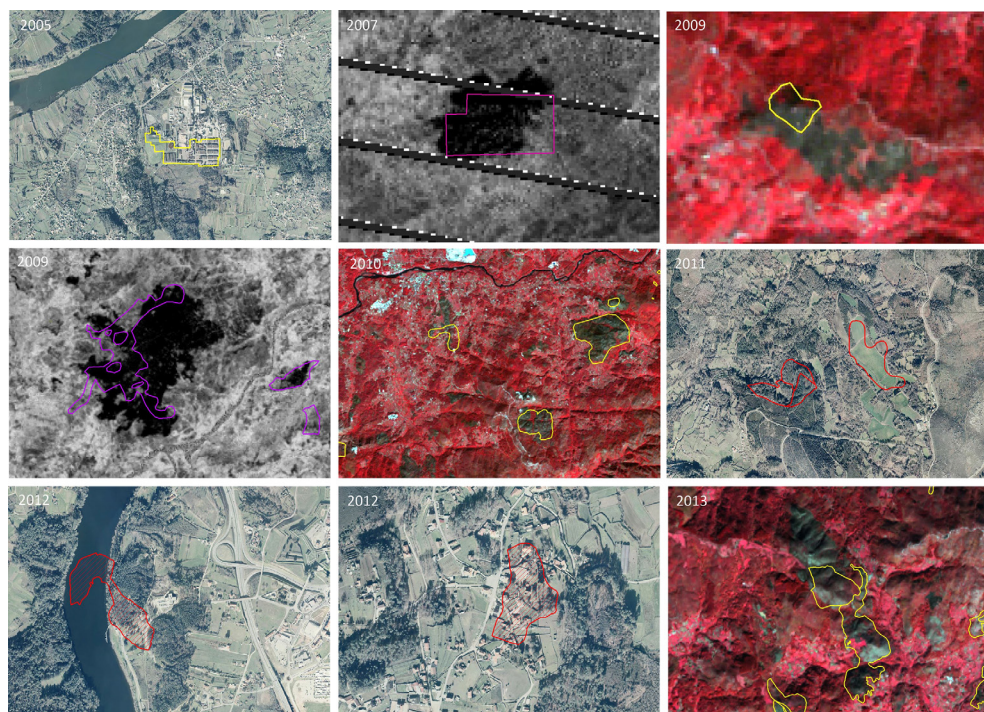


Fig. 3 – Exemplos de erros cartográficos presentes na informação oficial. Figura a cores disponível online.  
Fig. 3 – *Examples of cartographic errors present in the official information. Colour figure available online.*

Quadro II – Área ardida acumulada anualmente na região do Alto Minho, de acordo com os registos oficiais cartográficos e estatísticos e os resultados deste estudo.

Table II – Burned area annually accumulated in the Alto Minho region, according to official cartographic and statistical records and the results of this study.

Ano	Dados Cartográficos		Dados Estatísticos		Polígonos	Área Ardida
	Polígonos	Área Ardida	Ocorrências	Área Ardida		
	Nº	ha	Nº	ha		
2001	139	5 998	1 688	4 601	1 005	13 101
2002	156	10 587	2 101	10 006	657	13 063
2003	26	713	1 008	1 506	89	1 216
2004	55	2 908	1 657	3 462	1 052	7 540
2005	124	28 245	2 597	27 091	822	33 069
2006	88	15 325	1 116	15 721	323	18 247
2007	83	3 407	1 366	1 985	348	5 078
2008	16	193	691	811	158	1 114
2009	232	5 765	2 059	5 864	579	9 011
2010	333	24 775	2 269	23 899	562	29 704
2011	373	6 209	2 428	4 822	732	9 282
2012	282	4 207	1 331	2 743	490	5 426
2013	251	12 767	1 882	12 262	571	15 612
2014	31	864	382	883	222	2 359
2015	151	10 208	1 321	9 100	757	13 154
2016	287	30 477	1 109	31 324	1 018	32 912
2017	278	9 276	1 163	8 927	1 496	12 866
2018	125	1 657	893	1 522	586	2 666
2019	472	2 012	556	2 007	762	4 585
2020	371	3 690	606	3 428	463	5 055
<b>Totais</b>	<b>3873</b>	<b>179 283</b>	<b>28 223</b>	<b>171 964</b>	<b>12 692</b>	<b>235 060</b>

Quadro III – Comparação dos dados cartográficos referentes à área ardida anualmente na região do Alto Minho, de acordo com os registos oficiais cartográficos e os resultados deste estudo.

Table III – Comparison of the mapping data regarding the annual area burned in the Alto Minho region, according to official cartography and the results of this study.

Ano	Dados Cartográficos Oficiais			Dados do Estudo			Variação entre Dados Oficiais e Dados do Estudo			
	Polígonos	Área Ardida		Polígonos	Área Ardida		Polígonos	Área Ardida	Polígonos	Área Ardida
		Total	Média		Total	Média				
2001	139	5 998	43,2	1 005	13 101	13,0	-866	-623	-7 103	-118
2002	156	10 587	67,9	657	13 063	19,9	-501	-321	-2 475	-23
2003	26	713	27,4	89	1 216	13,7	-63	-242	-503	-71
2004	55	2 908	52,9	1 052	7 540	7,2	-997	-1813	-4 632	-159
2005	124	28 245	227,8	822	33 069	40,2	-698	-563	-4 824	-17
2006	88	15 325	174,1	323	18 247	56,5	-235	-267	-2 922	-19
2007	83	3 407	41,0	348	5 078	14,6	-265	-319	-1 671	-49
2008	16	193	12,0	158	1 114	7,1	-142	-888	-921	-478
2009	232	5 765	24,9	579	9 011	15,6	-347	-150	-3 246	-56
2010	333	24 775	74,4	562	29 704	52,9	-229	-69	-4 928	-20
2011	373	6 209	16,6	732	9 282	12,7	-359	-96	-3 073	-49
2012	282	4 207	14,9	490	5 426	11,1	-208	-74	-1 219	-29
2013	251	12 767	50,9	571	15 612	27,3	-320	-127	-2 845	-22
2014	31	864	27,9	222	2 359	10,6	-191	-616	-1 495	-173
2015	151	10 208	67,6	757	13 154	17,4	-606	-401	-2 946	-29
2016	287	30 477	106,2	1 018	32 912	32,3	-731	-255	-2 436	-8
2017	278	9 276	33,4	1 496	12 866	8,6	-1218	-438	-3 590	-39
2018	125	1 657	13,3	586	2 666	4,5	-461	-369	-1 009	-61
2019	472	2 012	4,3	762	4 585	6,0	-290	-61	-2 573	-128
2020	371	3 690	9,9	463	5 055	10,9	-92	-25	-1 366	-37
<b>Totais</b>	<b>3873</b>	<b>179 283</b>	<b>54,5</b>	<b>12 692</b>	<b>235 060</b>	<b>19,1</b>	<b>-8819</b>	<b>-228</b>	<b>-55 777</b>	<b>-31</b>

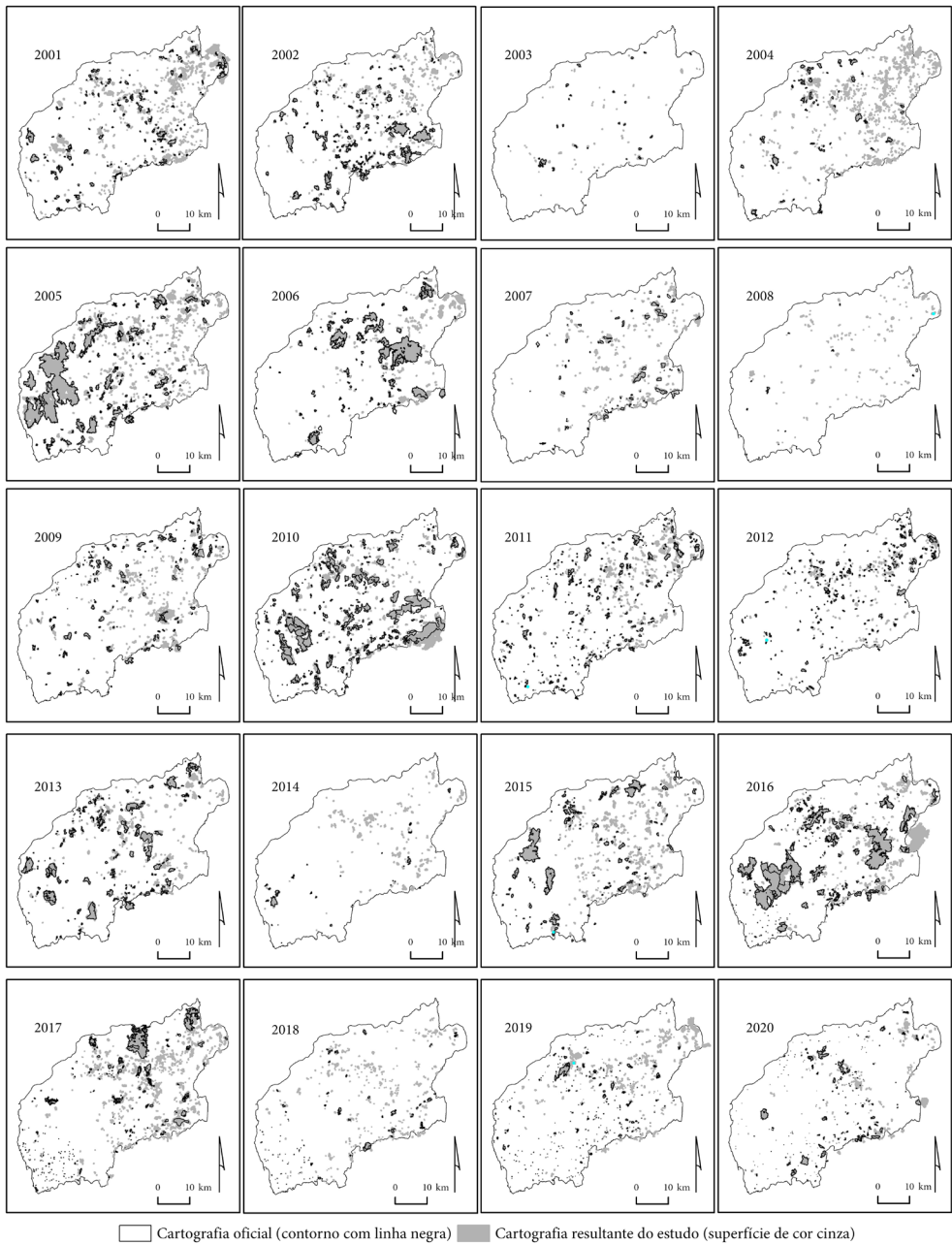


Fig. 4 – Análise comparativa da área ardida entre a cartografia oficial (linha negra) e a cartografia resultante do estudo (cor cinza).

Fig. 4 – Comparative analysis of the burned area between the official cartography (black line) and this study cartography (grey colour).

Comparando os dados oficiais estatísticos (SGIF) e cartográficos (quadros II e III e figura 4), verificam-se diferenças consideráveis. O número de perímetros incluídos na cartografia oficial (3873) apenas representa 13,7% do total de ocorrências registradas no SGIF (28 223) e cerca de 49% do universo de ocorrências registradas com área superior a um hectare (7888). Em comparação com o número de perímetros resultantes do estudo, o número de perímetros da cartografia oficial apenas representa 30,5% do total obtido (12 692). Os perímetros obtidos no estudo representam 45% do total das ocorrências de incêndio registradas no SGIF. Quanto ao total da área ardida no período, a cartografia oficial registra mais 7318ha em relação ao total registrado na base de dados estatísticos (171 964ha). A cartografia das áreas ardidas referente aos anos 2003, 2004, 2008 e 2016 apresenta valores inferiores aos dados registrados, apresentando uma diferença superior a 500 hectares.

Por outro lado, comparando ambas as cartografias é possível comprovar que a cartografia oficial agrega, por diversas vezes, em apenas um perímetro, os perímetros resultantes de diversos incêndios e, em todos os anos do período de estudo, apresenta valores inferiores de área ardida.

Entre 2001 e 2020, os anos que apresentam menores registros são 2003 e 2008, com valores totais inferiores a dois mil hectares. No que se refere a 2003, estes valores tão baixos devem-se sobretudo ao número reduzido de imagens de satélite (seis) e ao período de cobertura, pois apenas se obteve uma imagem referente ao período de inverno e as restantes cinco imagens referem-se ao período de verão. Contudo, é o único ano em que os resultados da área ardida são inferiores aos dados registrados no SGIF, correspondendo a uma diferença negativa de 291ha, porém superior aos dados da versão cartográfica oficial. Nos restantes anos, os valores obtidos da área ardida acumulada anualmente são sempre superiores, totalizando cerca de 37% (63 095ha) acima do valor total registrado no período. Em média, a diferença anual é de 3155ha em relação aos dados registrados no SGIF.

Comparando ambos os produtos cartográficos, verifica-se que o presente estudo obteve valores muito superiores aos registrados na fonte oficial, quer anualmente quer acumulados no período (fig. 5). Comprova-se a existência de 8819 perímetros acima do valor apresentado na cartografia oficial (3873), que correspondem a um valor superior em 55 777ha.

Do processo de classificação das áreas ardidas quanto à tipologia do fogo, resultaram um total de 5176 perímetros associados a incêndios rurais que ocorreram entre 2001 e 2020 (fig. 6), o que corresponde a uma área total ardida de 191 402ha. O número de perímetros classificados como “outros fogos” totalizou 7516 no mesmo período, cerca de 59% do total de perímetros obtidos neste estudo, correspondendo a 43 658 hectares de área ardida.

Quanto à distribuição estacional da área ardida ao longo de 20 anos verifica-se que 79% dos perímetros concentram-se no outono, inverno e primavera e representam cerca de 39% da área ardida total (fig. 7). A média da área ardida por perímetro mapeado no conjunto destas três estações é de 9,1ha. A estação do verão concentra apenas 21,3% dos perímetros identificados e representa 61% do total de área ardida acumulada. A média da área ardida por perímetro no período estival é de 53,2ha.

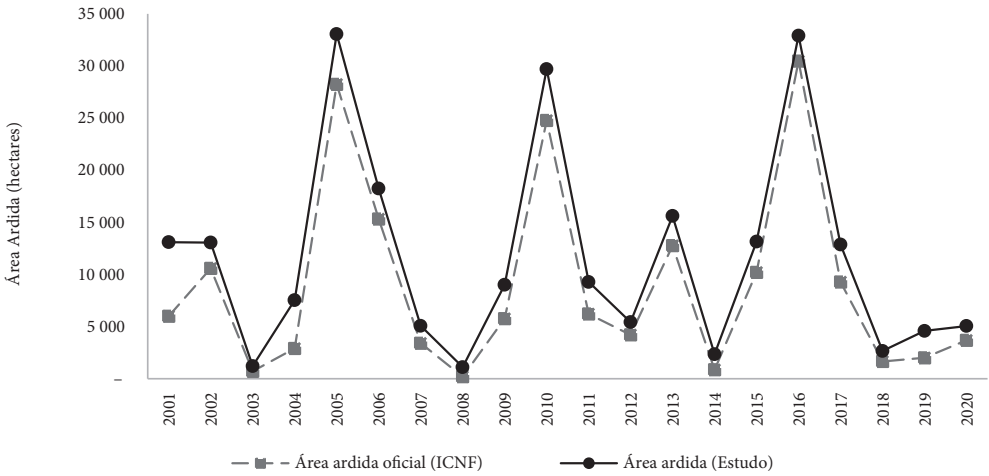


Fig. 5 – Comparação da área ardida anual obtida pela cartografia oficial e pelo presente estudo.

Fig. 5 – Comparison of the annual burned area obtained by official cartography and by the present study.

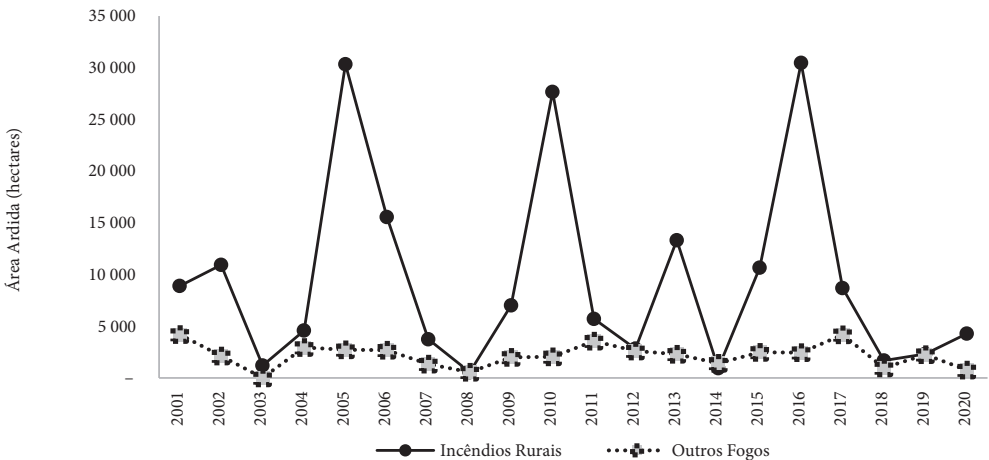


Fig. 6 – Área ardida anual resultante de fogos classificados como incêndios rurais e outros fogos (outono-inverno-primavera).

Fig. 6 – Annual burned area resulting from fires classified as wildfires and other fires (autumn-winter-spring).

Analisando a frequência com que o território do Alto Minho sofre a perturbação do fogo nos últimos 20 anos, verifica-se que 46,1% do total do espaço foi pelo menos uma vez afetado. O quadro IV permite a comparação da frequência do fogo no território de estudo, considerando os produtos cartográficos produzidos no âmbito do estudo e da fonte oficial (ICNF). Os resultados do estudo identificam maior frequência e mais área ardida por fogo recorrente, quando comparados com a cartografia oficial. Esta discrepân-

cia é muito superior nas áreas afetadas por fogos que se repetem mais de quatro vezes. Verifica-se que em 20 anos 28,4% território foi percorrido por fogos mais do que uma vez e apenas 39 260 hectares arderam uma única vez, o que corresponde a 17,7% do território. Neste período, uma pequena área de cerca de seis hectares ardeu nove vezes.

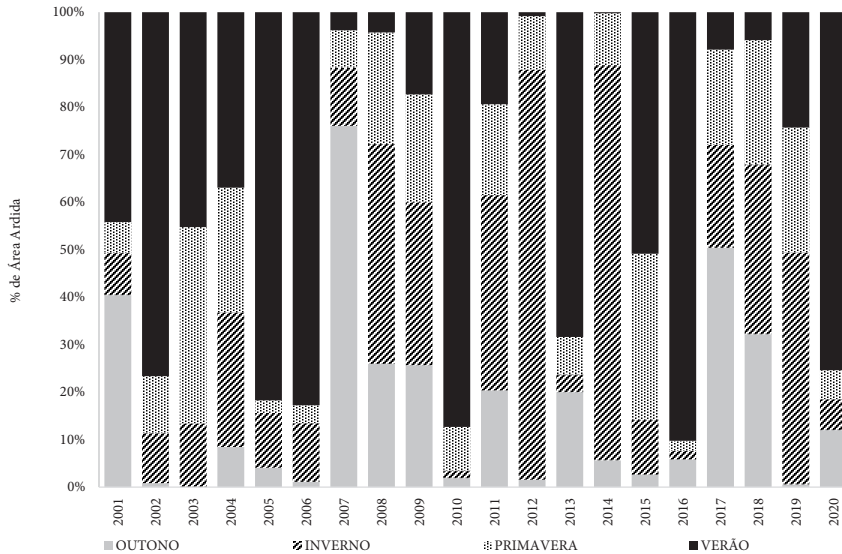


Fig. 7 – Distribuição estacional da área ardida obtida através da reconstrução da série histórica entre 2001 e 2020.

Fig. 7 – Seasonal distribution of burned area obtained by reconstructing the historical series between 2001 and 2020.

Quadro IV – Análise comparativa da frequência dos fogos entre 2001 e 2020 no território do Alto Minho com base na cartografia elaborada no presente estudo e na cartografia oficial.

Table IV – Comparative analysis of the fire frequency between 2001 and 2020 in the territory of Alto Minho based on the cartography developed in this study and on official cartography.

Estudo			Cartografia Oficial		
Nº de vezes que ardeu	Área (ha)	%	Nº de vezes que ardeu	Área (ha)	%
0	119 571	53,900	0	127 861	57,700
1	39 260	17,700	1	46 522	21,000
2	29 326	13,200	2	27 330	12,300
3	18 443	8,300	3	13 594	6,100
4	9 437	4,300	4	4 684	2,100
5	3 688	1,700	5	1 120	0,500
6	1 619	0,700	6	447	0,200
7	288	0,100	7	150	0,100
8	74	0,030	8	2	0,001
9	6	0,003			



As figuras 8 e 9 permitem identificar as zonas da área de estudo onde o fogo é mais frequente. Ao examinar a diferença dos resultados da frequência do fogo entre a cartografia elaborada neste estudo e a cartografia oficial, verificam-se divergências nas áreas percorridas pelo fogo, bem como no número de vezes em que se repete esta perturbação no território. Na figura 10 as divergências são assinaladas por valores diferentes de zero, sendo que os valores negativos da frequência correspondem às áreas resultantes da cartografia oficial e os valores positivos da frequência correspondem às áreas resultantes do processo de mapeamento do estudo. Os resultados obtidos no estudo permitiram identificar uma maior frequência do fogo nas regiões do interior da região do Alto Minho, correspondente às zonas mais montanhosas. Por outro lado, a cartografia oficial identifica maior frequência do fogo nas serras próximas ao litoral da região (com maior incidência nos territórios coincidentes com os municípios de Vila Nova de Cerveira, Caminha, Viana do Castelo e Ponte de Lima). As divergências identificadas derivam do rigor e das metodologias utilizadas na elaboração de ambos os processos cartográficos.

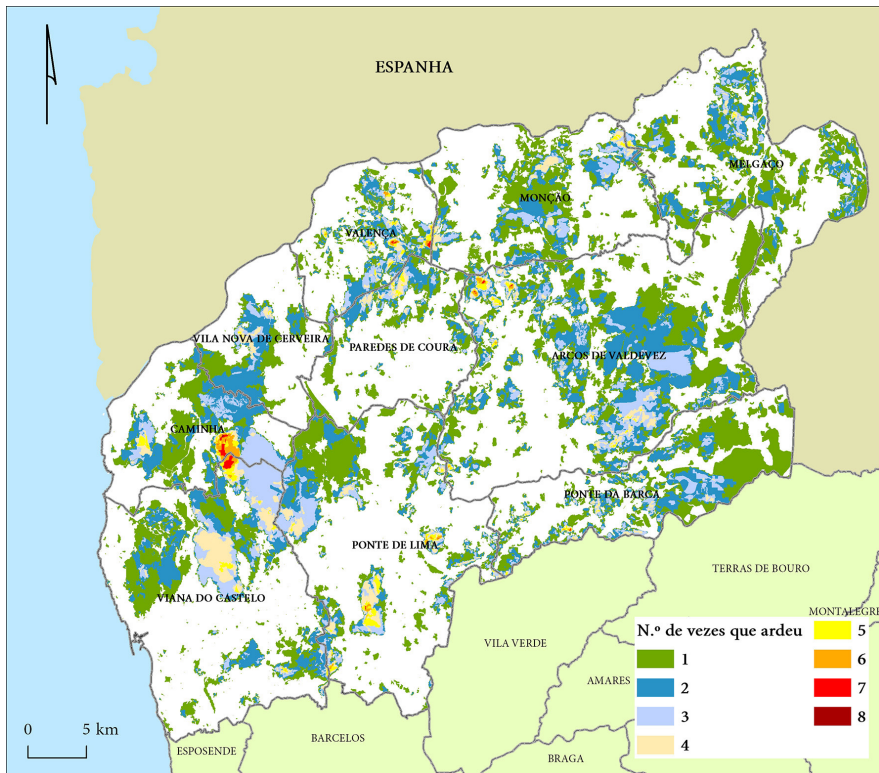


Fig. 8 – Frequência do fogo entre 2001 e 2020 com base na cartografia oficial. Figura a cores disponível online.

Fig. 8 – Fire frequency between 2001 and 2020 based on official cartography. Colour figure available online.

Fonte: ICNF (2021)

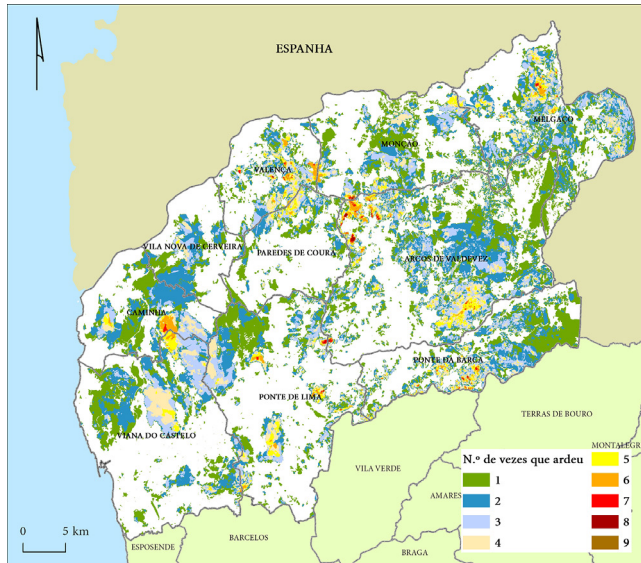


Fig. 9 – Frequência do fogo entre 2001 e 2020 com base na cartografia elaborada no presente estudo. Figura a cores disponível online.

*Fig. 9 – Fire frequency between 2001 and 2020 based on the cartography elaborated in this study. Colour figure available online.*

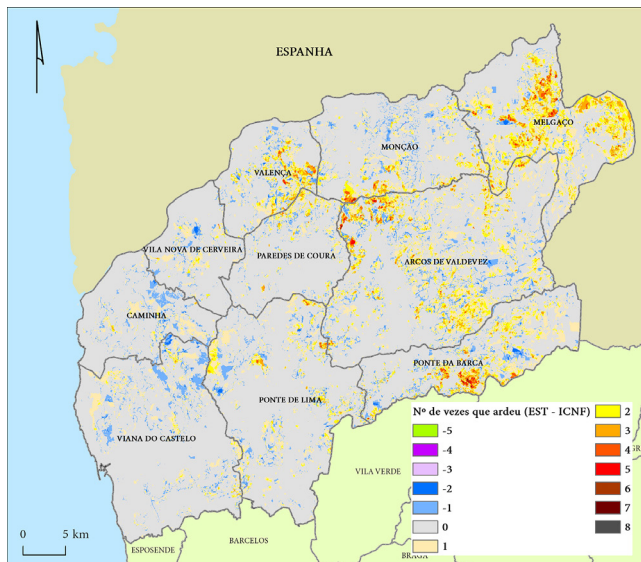


Fig. 10 – Diferença da frequência do fogo entre as duas fontes cartográficas (frequência identificada no estudo menos a frequência da cartografia oficial). Figura a cores disponível online.

*Fig. 10 – Difference in fire frequency between the two cartographic sources (frequency identified in the study minus the frequency of official cartography). Colour figure available online.*

#### IV. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Tendo em consideração as evidências do impacto dos fogos registadas por via das séries históricas das imagens de satélite, ao longo das diversas estações do ano, verifica-se quer pelos perímetros quer pela área ardida acumulada que a área percorrida por fogos no território do Alto Minho é bastante superior à registada na cartografia oficial. Se, por um lado, a cartografia oficial não integrou áreas percorridas por fogos, por outro, inclui áreas que de acordo com as imagens de satélite e ortofotos utilizados neste estudo não aparentam ter ardido. Uma parte dos perímetros detetados neste estudo e ausentes da cartografia oficial poderá resultar de fogos que não implicaram a intervenção de equipas do dispositivo de extinção, pelo que também não estão registados no SGIF. Noutros casos, a omissão resulta dos processos de mapeamento, os quais por vezes ocorrem semanas ou meses após o fogo. Note-se que a cartografia oficial das áreas ardidas era otimizada para os incêndios de verão, baseando-se numa única imagem de satélite obtida após o suposto findar da época de incêndios (Oliveira *et al.*, 2012), enquanto no presente estudo se procuraram analisar todas as imagens de satélite de cada ano. No que se refere aos perímetros que na cartografia oficial delimitam áreas ardidas, mas que neste estudo não foram identificadas como tal, a explicação poderá resultar de erros de deteção e de interpretação resultante de processos de mapeamento automático e sem supervisão, ou de levantamentos no terreno com base em cartografia. Outro fator que poderá ter contribuído para as grandes diferenças de resultados cartográficos será a limitada acessibilidade das imagens de satélite no passado, principalmente na primeira década, ao contrário do que acontece atualmente. Adicionalmente, a complementaridade pela sobreposição de outras fontes cartográficas, como os focos de calor dos sensores MODIS e VIIRS e a produção periódica de ortofotos, permitiram apoiar o trabalho na identificação mais precisa das áreas ardidas e a sua datação, bem como a identificação dos perímetros dos incêndios rurais registados no SGIF.

A utilização de dados oficiais para fins de ordenamento e de gestão do fogo no território à escala distrital e municipal, ou para fins de investigação, recomenda uma prévia validação e correção, com o objetivo de reduzir eventuais erros de interpretação. Os principais erros identificados na cartografia oficial encontram-se sobretudo no insuficiente rigor na delimitação dos perímetros dos fogos, na ausência de áreas ardidas, na falta de critérios de integração das diversas áreas percorridas por incêndios (com a alocação de meios de extinção) e por outros fogos (queimadas e fogos controlados) e na ausência de dados integrados com os registos de base estatística (SGIF) de cada perímetro de incêndio (por exemplo: a data, o código de ocorrência, hora de alerta, ocupação do solo afetado e variáveis meteorológicas).

O aumento do número de satélites e melhoria dos sensores radiométricos na última década, destacando-se a missão do Sentinel-2, com uma recorrência temporal alta para uma mesma região (intervalos de cinco dias), assim como o incremento de voos para obtenção de ortoimagens, permite um trabalho sistemático e cada vez mais

rigoroso das áreas percorridas pelos fogos, a uma escala maior e adequada ao ordenamento do território (Navarro *et al.*, 2017). O rigor cartográfico é fundamental, não só para identificar e caracterizar o regime de fogos, mas também pelas implicações e condicionamentos para o comum cidadão, uma vez que o histórico cartográfico determina a carta de perigosidade de um espaço, condicionando o seu uso e ocupação.

A sobreposição da cartografia com os focos de calor dos sensores MODIS e VIIRS é essencial para a datação daqueles fogos que não implicaram a atuação de meios de extinção e para os quais não existe registo, ocorrendo nas estações de outono, inverno e primavera. Estes fogos constituem uma importante fração da área ardida na região de estudo e com efeitos na estrutura da paisagem e na acumulação e heterogeneidade espacial dos combustíveis florestais e, conseqüentemente, assumem um papel na propagação dos incêndios de verão, merecendo um futuro estudo mais detalhado, nomeadamente comparando a sua influência com aquela exercida pelo fogo controlado (Davim *et al.*, 2021; 2022). É de salientar que, de acordo com a metodologia oficial para o cálculo da perigosidade espacial de incêndios, os perímetros dos fogos que a cartografia oficial omite não são contabilizados no processo, do que resulta uma subestimação da perigosidade.

É provável que a ordem de grandeza das diferenças entre a cartografia oficial de áreas queimadas e aquela produzida por este estudo seja extensível a outros territórios de Portugal, nomeadamente àqueles caracterizados por regimes de fogo influenciados pela atividade pastoril e, portanto, com uma componente relevante de ocorrências no outono-primavera (Pereira *et al.*, 2022). É importante melhorar a informação cartográfica de todas as áreas percorridas por fogos e daquelas que, dada a sua natureza, têm implicações no condicionamento do uso e ocupação do solo, em particular na classificação da perigosidade de incêndios rurais no território (OTI, 2019), bem como a criação de normas técnicas para o processo de mapeamento e classificação.

## AGRADECIMENTOS

A informação fornecida pelo Instituto da Conservação da Natureza das Florestas, em particular pelo Eng. Rui Almeida, foi essencial para a reconstrução histórica dos incêndios rurais e a sua classificação, tendo contribuído para a verificação dos resultados. A Comunidade Intermunicipal do Alto Minho, na pessoa do primeiro secretário executivo, Eng. Bruno Caldas, cedeu as séries históricas de ortofotos que permitiram aumentar o detalhe e o rigor deste trabalho.

Paulo Fernandes foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do Financiamento Estratégico UIDB/ 04033/2020.

## ORCID ID

Emanuel Oliveira  <https://orcid.org/0000-0002-9594-5052>

Paulo Fernandes  <https://orcid.org/0000-0003-0336-4398>

## CONTRIBUTOS DOS AUTORES

**Emanuel de Oliveira:** Conceptualização; Metodologia; Software; Validação; Análise formal; Investigação; Curadoria dos dados; Escrita – preparação do esboço original; Redação – revisão e edição; Visualização. **Paulo Fernandes:** Metodologia; Validação; Investigação; Redação – revisão e edição; Visualização; Supervisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais, & Instituto Superior de Agronomia. (2005). *Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Proposta Técnica* [National Forest Fire Fighting Plan – Technical Proposal]. APiF & ISA. [https://poseur.portugal2020.pt/media/4140/plano\\_nacional\\_defesa\\_floresta\\_contra\\_incendios.pdf](https://poseur.portugal2020.pt/media/4140/plano_nacional_defesa_floresta_contra_incendios.pdf)
- Bergonse, R., Oliveira, S., Gonçalves, A., Nunes, S., DaCamara, C. C., & Zêzere, J. L. (2021). Predicting burnt areas during the summer season in Portugal by combining wildfire susceptibility and spring meteorological conditions. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1039-1057. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1909664>
- Chuvieco, E., & Congalton, R. G. (1988). Mapping and inventory of forest fires from digital processing of tm data. *Geocarto International*, 3(4), 41-53. <https://doi.org/10.1080/10106048809354180>
- Comunidade Intermunicipal do Alto Minho, & Instituto Politécnico de Viana do Castelo. (2017). *Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas do Alto Minho – Contextualização e cenarização climática* [Intermunicipal Climate Change Adaptation Plan of Alto Minho – Contextualization and climate scenario]. CIM Alto Minho.
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Congedo, L. (2020). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. Release 7.9.7.1. <https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/>
- Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. Release 6.0.1.1. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Davim, D. A., Rossa, C. G., & Fernandes, P. M. (2021). Survival of prescribed burning treatments to wildfire in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 493, 119250. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119250>
- Davim, D. A., Rossa, C. G., Pereira, J. M. C., & Fernandes, P. M. (2022). Evaluating the effect of prescribed burning on the reduction of wildfire extent in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 519, 120302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120302>
- Díaz-Fierros, F. (2019). Incendios Forestales en Galicia y Portugal: Una Perspectiva Histórica [Wildfires in Galicia and Portugal: an historical perspective]. *Territorium*, 26(1), 97-114. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_26-1\\_7](https://doi.org/10.14195/1647-7723_26-1_7)
- Direção Geral do Território. (2022). *Fotografia aérea e imagens de satélite* [Aerial photography and satellite images]. DGT. <https://www.dgterritorio.gov.pt/cartografia/fotografia-aerea#fichatecnica>
- Direção Geral do Território. (2020a). *Carta Administrativa Oficial de Portugal 2020* [Official Administrative Map of Portugal 2020]. DGT. <https://www.dgterritorio.gov.pt>
- Direção Geral do Território. (2020b). *Carta de Uso e Ocupação do Solo para 2018* [Land Use and Cover Map 2018]. DGT. <https://www.dgterritorio.gov.pt/Carta-de-Uso-e-Ocupacao-do-Solo-para-2018>
- European Forest Fire Information System. (2021). *Rapid Damage Assessment*. EFFIS-JRC. <https://effis.jrc.ec.europa.eu/about-effis/technical-background/rapid-damage-assessment>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2021a). *LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite*. Embrapa. <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2021b). *SENTINEL – Missão Sentinel* [SENTINEL – Sentinel Mission]. Embrapa. <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>
- Fernandes, P. M., & Guiomar, N. (2017). Os incêndios como causa de desarboreização em Portugal

- [Wildfires as a cause of deforestation in Portugal]. *AGROTEC*, 22, 28-32.
- Fernandes, P. M., Guiomar, N., Mateus, P., & Oliveira, T. (2017). On the reactive nature of forest fire-related legislation in Portugal: A comment on Mourão and Martinho (2016). *Land Use Policy*, 60, 12-15. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.008>
- Fernandes, P. M., Loureiro, C., Magalhães, M., Ferreira, P., & Fernandes, M. (2012). Fuel age, weather and burn probability in Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 21(4), 380-384. <https://doi.org/10.1071/WF10063>
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., & Vieira, A. (2011). The recurrence interval of forest fires in Cabeço da Vaca (Cabeira Mountain-northwest of Portugal). *Environmental Research*, 111(2), 215-21. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.05.007>
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Lourenço, L., & Úbeda, X. (2012). Problemas metodológicos no estudo dos incêndios florestais em Portugal Continental. O Caso dos Grandes Incêndios Florestais [Methodological Problems in the Study of Wildfires in Mainland Portugal. The Case of the Large Forest Fires]. In D. Royé, J. A. A. Vázquez, M. V. Díaz, M. P. Otón, & M. J. P. Mantiñán (Orgs.). *XIII Coloquio Ibérico de Geografía. Respuestas de la Geografía Ibérica a la crisis actual Santiago de Compostela* (pp. 848-857). Meubook.
- Ferreira-Leite, F., Lourenço, L., & Bento-Gonçalves, A. (2013). Large forest fires in mainland Portugal, brief characterization. *Méditerranée*, 121, 53-65. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.6863>
- Fioravante, P. de, Luti, T., Cavalli, A., Giuliani, C., Dichicco, P., Marchetti, ... & Munafo, M. (2021). Multispectral Sentinel-2 and SAR Sentinel-1 Integration for Automatic Land Cover Classification. *Land*, 10(6), 611. <https://doi.org/10.3390/land10060611>
- Fire Information for Resource Management System. (2021). *Archive Download Fire Data (MODIS/VIIIRS sensor data 2001-2020)*. NASA. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- Giglio, L. (2015). *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide*. Department of Geographical Sciences, University of Maryland. [http://modis-fire.umd.edu/files/MODIS\\_C6\\_Fire\\_User\\_Guide\\_A.pdf](http://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C6_Fire_User_Guide_A.pdf)
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (2021). *Territórios ardidos (Área ardida entre 1975 e 2020)* [Burnt territories (burnt area between 1975 and 2020)]. ICNF. <https://geocatalogo.icnf.pt/>
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (2020). *Metodologia para a produção da Carta de Perigosidade de Incêndio Rural de cariz estrutural* [Methodology for the production of the Rural Fire Danger Chart of structural nature. Definitive Report]. Relatório Definitivo. 03 de abril de 2020. PAHL Consulting; Instituto de Geografia e Ordenamento do Território – Universidade de Lisboa. <https://www.icnf.pt/api/file/doc/966b210ebf341cda>
- Instituto Geográfico Nacional. (2019). *Límites municipales, provinciales y autonómicos* [Municipal, provincial and regional boundaries]. IGN. <https://centrodedescargas.cnig.es/>
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). *Landscape assessment: Ground measure of severity the Composite burn index, and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, RMR-SGTR-164-CD: LA1-51.
- López García, M. J., & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data. *Geocarto International*, 6, 31-37. <https://doi.org/10.1080/10106049109354290>
- Marques, S., Borges, J. G., Garcia-Gonzalo, J., Moreira, F., Carreiras, J. M. B., Oliveira, M, M., ... & Pereira, J. M. C. (2011). Characterization of wildfires in Portugal. *European Journal of Forest Research*, 130, 775-784. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0470-4>
- Monteiro, A., Ferreira, C., & Madureira, H. (2005). *Atlas Agroclimatológico do Entre Douro e Minho. Relatório Final* [Agroclimatological Atlas of Entre Douro e Minho. Final Report]. POCTI/GEO/14260/1998. FLUP. <https://hdl.handle.net/10216/21260>
- Navarro, G., Caballero, I., Silva, G., Parra, P.-C., Vázquez, A., & Caldeira, R. (2017). Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 58, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.003>
- Nieman, W. A., van Wilgen, B. W., & Leslie, A. J. (2021). Correction to: A reconstruction of the recent fire regimes of Majete Wildlife Reserve, Malawi, using remote sensing. *Fire Ecology*, 17, 36. <https://doi.org/10.1186/s42408-021-00122-3>
- Oliveira, S., Gonçalves, A., & Zêzere, J. L. (2021). Reassessing wildfire susceptibility and hazard for mainland Portugal. *Science of the Total Environ-*

- ment, 762, 143121. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143121>
- Oliveira, S. L. J., Pereira, J. M. C., & Carreiras, J. M. B. (2012). Fire frequency analysis in Portugal (1975-2005), using Landsat-based burnt area maps. *International Journal of Wildland Fire*, 21(1), 48-60. <https://doi.org/10.1071/WF10131>
- Observatório Técnico Independente, Castro Rego, F., Fernandes, P., Sande Silva, J., Azevedo, J., Moura, J. M., ... & Duarte Santos, F. D. (2019). *O planeamento da Defesa da Floresta Contra Incêndios (DFCI)* [Forest Fire Defence Planning (DFCI)]. Assembleia da República. <https://www.parlamento.pt/Documents/2019/dezembro/20191205--Estudo-Tecnico-Planeamento-DFCI.pdf>
- Pereira, J. M. C., & Santos, M. T. (2003). *Cartografia das Áreas Queimadas e do Risco de Incêndio em Portugal Continental (1990-1999)* [Mapping Burnt Areas and Fire Risk in Mainland Portugal (1990-1999)]. Direcção-Geral das Florestas.
- Pereira, J. M. C., Carreiras, J. M. B., Silva, J. M. N. & Vasconcelos, M. J. (2006). Alguns Conceitos Básicos sobre os Fogos Rurais em Portugal. Capítulo 6 [Some Basic Concepts about Rural Fires in Portugal. Chapter 6]. In J. S. Pereira, J. M. C. Pereira, F. C. Rego, J. M. N. Silva & T. P. Silva (Eds.), *Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção* [Wildfires in Portugal; Characterization, Impacts and Prevention] (pp. 133-161). ISA Press.
- Pereira, J. M. C., Silva, P. C., Melo, I., Oom, D., Baldassarre, G., & Pereira, M. G. (2022). *Cartografia de Regimes de Fogo à Escala da Freguesia (1980-2017)* [Mapping Fire Regimes at the Parish Level (1980-2017)]. ForestWISE (Coord.) – Projetos AGIF 2021 (P32100231).
- Ribeiro, O., Lautensach, H., & Daveau, S. (1988). *Geografia de Portugal II. O Ritmo Climático e a Paisagem* [Geography of Portugal II. The Climate Rhythm and the Landscape]. Edições João Sá da Costa.
- Riebeek, H., & Simmon, R. (2014). *Why is that Forest Red and that Cloud Blue? How to Interpret a False-Color Satellite Image*. The Earth Observatory – NASA. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/FalseColor>
- Ruiz-Gallardo, J. R. (2007). *Teledetección y SIG en la asistencia de la actuación forestal postincendio* [Remote sensing and GIS in assisting post-fire forest action]. [Tese de doutoramento, Universidad de Castilla la Mancha]. Repositorio RUIdeRA. <http://hdl.handle.net/10578/968>
- Schroeder, W., & Giglio, L. (2018). *NASA VIIRS Land Science Investigator Processing System (SIPS). Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 375 m & 750 m Active Fire Products. Product User's Guide Version 1.4*. NASA. [https://lpdaac.usgs.gov/documents/427/VNP14\\_User\\_Guide\\_V1.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/427/VNP14_User_Guide_V1.pdf)
- Scotto, M. G., Gouveia, S., Carvalho, A., Monteiro, A., Martins, V., Flannigan, M. D., ... & Borrego, C. (2014). Area burned in Portugal over recent decades: an extreme value analysis. *International Journal of Wildland Fire*, 23(6), 812-824. <https://doi.org/10.1071/WF13104>
- Silva, J. S., & Catry, F. (2006). Forest Fires in cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal. *International Journal of Environmental Studies*, 63(3), 235-257. <https://doi.org/10.1080/00207230600720829>
- Silva, J. M. N., Moreno, M. V., Le Page, Y., Oom, D., Bistinas, I., & Pereira, J. M. C. (2019). Spatio-temporal trends of area burnt in the Iberian Peninsula, 1975-2013. *Regional Environmental Change*, 19, 515-527. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1415-6>
- Tanaka, S., Kimura, H., & Suga, Y. (1983) Preparation of a 1:25000 Landsat map for assessment of burnt area on Etajima Island. *International Journal of Remote Sensing*, 4(1) 17-31. <https://doi.org/10.1080/01431168308948528>
- Tedim, F., Remelgado, R., Martins, J., & Carvalho, S. (2015). The largest forest fires in Portugal: the constraints of burned area size on the comprehension of fire severity. *Journal of Environmental Biology*, 36(1), 133-143. <https://hdl.handle.net/10216/79926>
- Tedim, F., Remelgado, R., Martins, J., & Carvalho, S. (2013). Os grandes incêndios florestais em Portugal. Desafios para a gestão do risco [Large forest fires in Portugal. Challenges for risk management]. In A. B. Gonçalves & A. Vieira (Eds.), *Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação e Medidas de Recuperação dos Solos* [Large Forest Fires, Erosion, Degradation and Soil Restoration Measures] (pp. 75-86). RISCOS. [https://www.riscos.pt/wp-content/uploads/2018/Outras\\_Publicacoes/Outros\\_livros/VII\\_EGFA/vii\\_egfa\\_artigo\\_06.pdf](https://www.riscos.pt/wp-content/uploads/2018/Outras_Publicacoes/Outros_livros/VII_EGFA/vii_egfa_artigo_06.pdf)
- Trigo, R. M., Sousa, P. M., Pereira, M. G., Rasilla, D., & Gouveia, C. (2013). Modelling wildfire activity in Iberia with different Atmospheric Circulation wea-

- ther types. *International Journal of Climatology*, 36(7), 2761-2778. <https://doi.org/10.1002/joc.3749>
- Verde, J. C., & Zêzere, J. L. (2010). Assessment and validation of wildfire susceptibility and hazard in Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(3), 485-497. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-485-2010>
- Verde, J. (2008). *Avaliação da perigosidade de incêndio florestal* [Forest fire hazard assessment]. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa]. Repositório da Universidade de Lisboa. [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/502/1/17981\\_Tese\\_Mestrado\\_Geografia\\_Fisica\\_JOAOVERDE.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/502/1/17981_Tese_Mestrado_Geografia_Fisica_JOAOVERDE.pdf)

---

<sup>i</sup> Execução de cartografia numérica vetorial e ortofotomapas à escala 1:10000 para a região do Vale do Lima – Relatório Final. Documento cedido por VALIMAR Comunidade Urbana do Vale do Lima.

<sup>ii</sup> Ortoimagens do território do Alto Minho – voo de 2018. Documentos cedidos pela Comunidade Intermunicipal do Alto Minho.