

Vulnerabilidade e risco de incêndio florestal no apoio à evacuação: Proposta metodológica aplicada aos concelhos da Lousã e Sertã

Vulnerability and wildfire risk in evacuation support: Methodological proposal applied to the municipalities of Lousã and Sertã

Carlos Pinto

Universidade de Coimbra (Portugal)
NICIF, Faculdade de Letras
danielpinto998@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1297-8116>

Adélia Nunes

Universidade de Coimbra, NICIF, CEGOT e RISCOS
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo (Portugal)
adelia-nunes@f.uc.pt
<http://orcid.org/0000-0001-8665-4459>

Albano Figueiredo

Universidade de Coimbra, CEGOT
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo (Portugal)
geofiguc@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0142-4764>

Resumo

A avaliação da vulnerabilidade e do risco de incêndio no apoio à decisão de evacuação, em cenário de incêndio florestal, pode ser determinante para salvar vidas humanas, principalmente em áreas de Interface Urbano-Florestal (IUF). O presente estudo pretende identificar as povoações prioritárias em termos de evacuação e assistência nos concelhos da Lousã e Sertã, através da combinação da suscetibilidade a incêndios florestais, resultante da conjugação de variáveis biofísicas, e da vulnerabilidade social, direcionada para o apoio à evacuação, sustentada em variáveis sociodemográficas, à escala da subsecção estatística. Os resultados apontam para dois concelhos extremamente suscetíveis à ocorrência de incêndios florestais e uma grande variação em termos de vulnerabilidade social, direcionada para a evacuação, tendo por base as diferentes abordagens aplicadas. As povoações localizadas em áreas mais montanhosas, circundadas por comunidades florestais, de pinheiro-bravo ou eucalipto, com elevada vulnerabilidade social, foram classificadas como prioritárias em termos de evacuação.

Palavras-chave: Incêndio florestal, suscetibilidade, vulnerabilidade, evacuação, SIG

Abstract

The assessment of the risk of evacuation in a wildfire scenario can be decisive to save human lives, especially in Wildland-Urban Interface (WUI) areas. This study aims to identify the priority settlements in terms of evacuation and assistance in the municipalities of Lousã and Sertã, through the combination of the susceptibility of wildfires occurrence, resulting from the combination of biophysical variables, and the social vulnerability, directed towards evacuation support, based on socio-demographic variables, at the statistical subsection scale. The results emphasise two municipalities extremely susceptible to the occurrence of forest fires and a wide variation in terms of social vulnerability, directed towards evacuation, based on the different approaches applied. Settlements located in more mountainous areas, surrounded by forested communities of maritime pine or eucalyptus, with high social vulnerability, were classified as priorities for evacuation.

Keywords: Wildfire, susceptibility, vulnerability, evacuation, GIS

1. Introdução

Em climas como o mediterrâneo, o fogo é um fenómeno natural (Pausas et al., 2008; Robinne, 2021; Sakellariou et al., 2022). Por exemplo, a elevada sazonalidade climática no Holoceno favoreceu a

expansão dos incêndios no sul da Europa (Vannière et al., 2008). No decorrer do período Neolítico, ações antrópicas começaram a ter impacto no regime do fogo, aumentando a sua frequência (Ganteaume et al., 2013). A ignição natural do fogo pode ser benéfica em alguns ecossistemas que evoluíram com a presença

deste elemento (Richardson & Wilgen, 1992; Hardesty et al., 2005; Pausas & Keeley, 2009; Hirschberger, 2016).

Não obstante, a ocorrência de um incêndio florestal é um processo potencialmente perigoso, e quando interjeta com vulnerabilidades socio-territoriais pode originar danos severos (Chen et al., 2012). As últimas décadas apontam para uma tendência crescente na capacidade de destruição causada pelos incêndios florestais por todo o mundo (Bowman et al., 2017; Moritz et al., 2014; Tedim et al., 2020). A coexistência entre o ser humano e o fogo sempre existiu, todavia, a capacidade de o gerir nem sempre foi conseguida e pode tornar-se cada vez mais complicada no futuro, devido às mudanças climáticas (Bowman et al., 2009). Assim, é expectável que a manifestação do risco de incêndio florestal se torne cada vez mais comum em áreas que atualmente não estão classificadas como suscetíveis (Ronchi et al., 2019).

Adicionalmente, mudanças recentes têm incrementado a interação entre as construções antrópicas e o espaço silvestre contíguo, criando espaços de contacto denominados de Interfaces Urbano-Florestais (IUF). O aumento populacional, o estilo de vida, as alterações nos movimentos pendulares e o mercado imobiliário são alguns fatores responsáveis pela expansão das IUF um pouco por todo o globo (Mowery & Punchard, 2021). No caso português, evidencia-se o fenómeno de litoralização e o conseqüente aumento de áreas urbanas. Esta pressão humana, sobre espaços silvestres, resulta na expansão das IUF, mas também no aumento de ignições nestas áreas, tornando-as particularmente sensíveis (Wigtil et al., 2016).

Na região mediterrânea e, especialmente, no território português, alterações na paisagem decorrentes do abandono do tradicional sistema agro-silvo-pastoril são frequentemente associadas à forte incidência de incêndios florestais (Moreira et al., 2011; Ferreira-Leite et al., 2012; Lourenço et al., 2006; Pausas & Fernández-Muñoz, 2012; Nunes et al., 2016; Lourenço, 2018; Damianidis et al., 2021). É também uma das principais causas do aumento do risco nas IUF, uma vez que permite a expansão de combustível vegetal não gerido, por exemplo, para áreas agrícolas antes cultivadas e agora abandonadas (European Commission et al., 2020). Estas áreas, pela coexistência entre construções antrópicas e combustível vegetal revelam-se críticas pois

umentam o risco de incêndio florestal (Oliveira et al., 2018).

No sul da Califórnia, desde a década de 70 do séc. XX, que os incêndios florestais em IUF foram identificados como um problema (Butler, 1976). O interesse por esta temática surgiu após a deflagração de importantes incêndios florestais nos EUA em 1985 (Radeloff et al., 2005; Fidalgo, 2012; Bento-Gonçalves & Vieira, 2020). Desde então, a expansão das IUF e dos incêndios aumentou nos EUA substancialmente (Mell et al., 2010). Entre 1990 e 2010, registou-se um aumento de 13,4 milhões de casas nas IUF dos EUA (Radeloff et al., 2018). Na atualidade, esta é uma temática sensível e premente, com impactes importantes, recorrência elevada e surgente em vários pontos do globo (Caballero, 2001; Pastor et al., 2020). São vários os episódios relacionados a incêndios, por todo o globo, que motivaram a perda de vidas humanas e obrigaram à evacuação de populações, como são disso exemplo: em 2009 na Austrália, registaram-se 173 mortes; em 2014 na Suécia (Incêndio de Vastmanland), cerca de 1000 pessoas foram forçadas a evacuar, tendo sido registada uma morte; em Portugal, em 2003, 2005 e em 2017 (junho e outubro), registaram-se, respetivamente 21, 16 e 116 vítimas mortais; em 2017/18 na Califórnia lamentaram-se 44 mortos; em 2018 na Grécia (Mati), dezenas de pessoas foram surpreendidas pelo fogo dentro das suas casas e carros, resultando em cerca de 100 mortes e 187 feridos (Guerreiro et al., 2017, 2018; Mitsopoulos et al., 2015; Palaiologou et al., 2019; Pastor et al., 2020).

Em Portugal, assim como em outros pontos do globo, a aposta numa política de gestão centrada na extinção dos incêndios em detrimento de planos de desenvolvimento rural, prevenção e educação (Nunes, 2019), tem contribuído para que a gestão e controlo dos incêndios florestais se torne cada vez mais complexa (McCaffrey, 2004). Eventos extremos, que favorecem a intensidade e velocidade dos incêndios florestais, são um problema crescente (European Environment Agency, 2017), e requerem, por vezes, a evacuação de comunidades de forma a proteger e garantir a sua segurança (Manzello et al., 2018). Múltiplas investigações sobre mortes e feridos provocados por incêndios, por todo o globo, demonstram que mais de dois terços dos feridos e mais de metade das vítimas mortais poderiam ter sido evacuadas (Hall, 2004; Kuligowski, 2008; Qin & Gao, 2019). A segurança das populações, em particular

nas IUF, depende de avaliação do risco, planeamento e gestão de emergências qualificadas (Rodrigues et al., 2022).

Apesar das características inerentes à combustão, que dificultam a ação de evacuação, devido ao fumo, partículas incandescentes e às chamas (McCaffrey et al., 2018), diversos profissionais ligados à temática defendem que a ação mais segura que os residentes podem tomar, aquando da ameaça de um incêndio florestal, é a evacuação (Edgeley & Pavaglio, 2019; Stasiewicz & Pavaglio, 2021). Assim, perante a ameaça de um incêndio, nos EUA e no Canadá é obrigatória a evacuação (McLennan et al., 2019). Na Grécia, após o incêndio de Mati, no ano de 2018, passou a recorrer-se à evacuação antecipada, como de facto foi evidente durante a época de incêndios do recente ano de 2021 (Zikeloglou et al., 2023).

Todavia, o exercício de evacuar pode não ser a resposta mais adequada, sobretudo em locais de fraca acessibilidade ou em contextos biofísicos que desencadeiam o movimento rápido das chamas (Thomas et al., 2009). Existem ainda algumas complexidades associadas à evacuação: a notificação, o timing, a evacuação de animais de estimação, indivíduos que se recusam a sair ou que retardam a saída (Carroll & Cohn, 2007). Adicionalmente, sendo a evacuação um exercício de recurso, existem sempre riscos associados. O trabalho de análise de Haynes et al. (2010), referente às fatalidades ocorridas na Austrália durante o período de 1900-2008, demonstrou, por exemplo, que 32% vitimas mortais, ocorreram durante evacuações tardias, sendo que apenas 8% das mortes ocorreram quando as pessoas permaneceram abrigadas numa propriedade com capacidade de ser defendida. Analisando, também, a perspetiva económica, estudos pós-incêndios demonstraram, por exemplo, que uma significativa percentagem de casas destruídas acontece pela queda de partículas incandescentes/brasas antes ou depois da frente do incêndio passar na proximidade ou através da estrutura, algo que poderia ser evitado pela permanência dos indivíduos nas habitações (Cohen, 2000; Quarles et al., 2010). Neste contexto, existem outras alternativas à evacuação, como a estratégia de permanecer e defender (stay and defend) utilizada, por exemplo, na América do Norte e Austrália (Walpole et al., 2020). Uma outra alternativa é abrigar-se (shelter in place) num determinado local, que pode ser uma habitação ou

uma área comum, definida previamente (Stasiewicz & Pavaglio, 2021).

Nestas circunstâncias, o sucesso de uma evacuação está dependente das ações desencadeadas a montante e ações a realizar no momento da evacuação. A educação e a disseminação de instruções e procedimentos de evacuação, o tempo de aviso, o tempo de resposta, as condições de trânsito e a rede viária, são algumas das variáveis a considerar (Dash & Gladwin, 2007; Lindell & Prater, 2007). Uma das formas mais efetivas de avaliar, comunicar e apoiar a evacuação é através de cartografia (Steelman et al., 2015). Identificar as áreas com população mais vulnerável e cruzá-las com a favorabilidade biofísica que o território apresenta para a manifestação e progressão de incêndio, afigura-se um exercício necessário, capaz de produzir resultados efetivos em termos de avaliação do risco e planeamento da evacuação. Assim o objetivo principal deste trabalho centra-se na avaliação da vulnerabilidade e do risco de incêndio florestal no apoio à evacuação, visando contribuir para a redução do risco, para evitar que o perigo se manifeste e para que, em situações de crise, as consequências sobre a população e os respetivos bens, possam ser minimizados. Assim, através da combinação de variáveis biofísicas e sociodemográficas, e com recurso à utilização de sistemas de informação geográfica (SIG), pretende-se identificar as áreas prioritárias, em termos de evacuação, nos concelhos da Sertã e Lousã, Portugal.

1.1. Área de estudo

Localizados na Região Centro de Portugal, os concelhos da Lousã e Sertã caracterizam-se pela sua forte aptidão florestal, terrenos acidentados, elevados índices de envelhecimento (221,8 na Lousã e 363,6 na Sertã), forte variação populacional, elevada recorrência de incêndios florestais e episódios passados, onde se registaram mortes, feridos e evacuações.

Os municípios da Sertã e da Lousã possuem áreas bastantes díspares, respetivamente 446,7 km² e 138,4 km². Na Sertã, as cotas mais elevadas localizam-se a Este e Nordeste e existe uma variação altimétrica entre os 130 m e os 1084 m (Cabeço Rainha) e as altitudes predominantes oscilam entre os 200 e os 400 m. O concelho da Lousã apresenta uma variação altitudinal entre os 57 m (Rio Ceira, norte do concelho) e 1205 m (Trevim, sul do concelho),

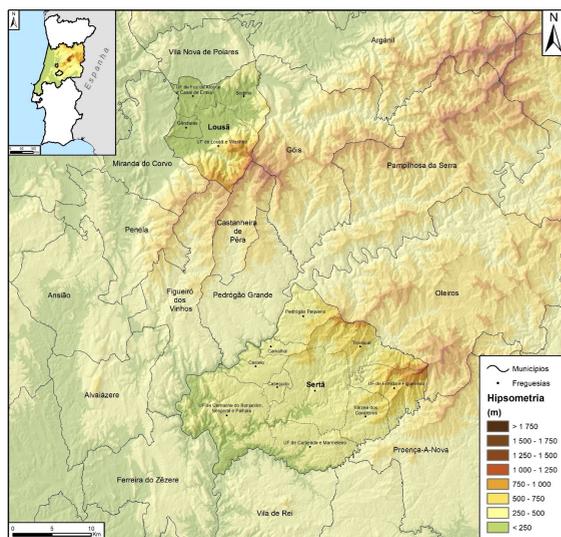


Figura 1
Mapa hipsométrico e enquadramento dos concelhos da Lousã e Sertã.
Fonte: CAOP, 2021; Cartas Militares de Portugal Série M888.

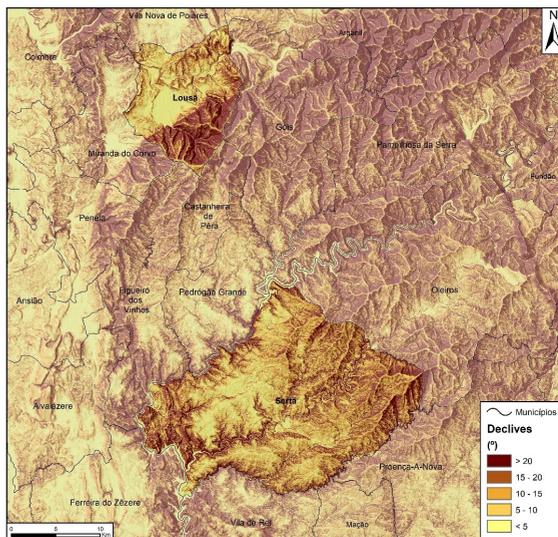


Figura 2
Mapa de declives dos concelhos da Lousã e Sertã.
Fonte: CAOP, 2021; Cartas Militares de Portugal Série M888.

sendo que mais de 50% do território está situado abaixo dos 250 m (Figura 1).

Relativamente aos declives, metade do concelho da Lousã apresenta um declive superior a 20° e apenas 27% da superfície tem um declive inferior a 10°. No caso da Sertã existe uma proporção muito semelhante entre as classes (<5; 5-10; 10-15; 15-20 e >20), cerca de 20% em cada (Figura 2).

Segundo os censos de 2021 (INE, 2021), 14 769 indivíduos residiam no concelho da Sertã e 17 006 habitantes no município da Lousã. Apesar do número relativamente próximo de habitantes, estes dois territórios apresentam densidades populacionais muito diferentes; a Lousã com 123 hab/km² e a Sertã com 33 hab/km². Entre 1950 e 2021 os dois concelhos revelam variações populacionais muito díspares; a Lousã viu a sua população aumentar em 10,13% e a Sertã apresentou um decréscimo de cerca de 48,40%.

Como referido anteriormente, ambos os concelhos têm uma forte aptidão florestal, sendo que mais de 70% do seu território está ocupado por florestas. Em ambos os concelhos, predominam as florestas de resinosas, registando também uma forte presença de florestas de eucalipto e espécies invasoras (Tabela 1 e Figura 3).

No concelho da Sertã verificaram-se importantes alterações ao nível do uso e ocupação do solo, principalmente nos últimos 20 anos, em que se registou um declínio de cerca de 15% na área ocupada por florestas de resinosas. Contrariamente, as florestas

de eucalipto e espécies invasoras ganharam relevância no território (Figura 3), assinalando um incremento de 12,5%. No concelho da Lousã, as mudanças no uso e ocupação do solo foram menos significativas, sendo que a alteração mais relevante se refletiu num aumento de cerca de 5% nas florestas de eucalipto e espécies invasoras.

No que diz respeito aos matos e espaços com vegetação esparsa, o concelho da Lousã apresentou uma diminuição superior a 5%, o inverso do registado no município da Sertã, em que se assinala o aumento de 5% neste tipo de ocupação (Figura 4). Ambos os concelhos viram os seus territórios artificializados aumentar, de forma mais significativa no caso da Lousã.

Estes dois concelhos integram um território que Lourenço et al. (2020), definem como propício à cíclica progressão de grandes incêndios florestais, motivado por características naturais, como a orografia e cobertura vegetal, mas também por influência humana.

Neste contexto, ambos os concelhos revelam um histórico de incêndios recorrente. Assim, no período de 1980 e 2020, a Sertã registou mais de 100 000 hectares ardidos (no continente apenas mais dois concelhos verificam valores semelhantes), enquanto a Lousã, apesar de ser um território de menor dimensão espacial, apresenta valores relevantes, a rondar os 63 200 hectares ardidos (Pinto, 2022). É possível afirmar, tendo por base estes

Tabela 1

Uso e Ocupação do solo nos concelhos da Sertã e Lousã nos anos de 1995 e 2018.

Classes do uso e ocupação do solo	Sertã				Lousã			
	1995		2018		1995		2018	
	Km ²	%						
Territórios artificializados	11.18	2.50	14.64	3.28	6.22	4.50	9.25	6.68
Áreas agrícolas	30.36	6.80	56.89	12.74	9.69	7.00	16.76	12.11
Pastagens e superfícies Agroflorestais	33.09	7.41	1.60	0.36	9.74	7.04	0.35	0.25
Matos e Espaços descobertos	9.97	2.23	33.09	7.41	14.24	10.29	6.78	4.90
Florestas de Carvalhos, Folhosas e Castanheiros	5.41	1.21	6.30	1.41	22.51	16.26	18.41	13.30
Florestas de Eucalipto e Espécies Invasoras	55.60	12.45	111.30	24.91	22.22	16.05	31.37	22.67
Florestas de Resinosas	291.29	65.21	214.63	48.05	53.38	38.57	54.79	39.59
Zonas Húmidas	9.82	2.20	8.27	1.85	0.40	0.29	0.68	0.49

Fonte: Cartas de Uso e Ocupação do Solo de 1995 e 2018, Direção Geral do Território.

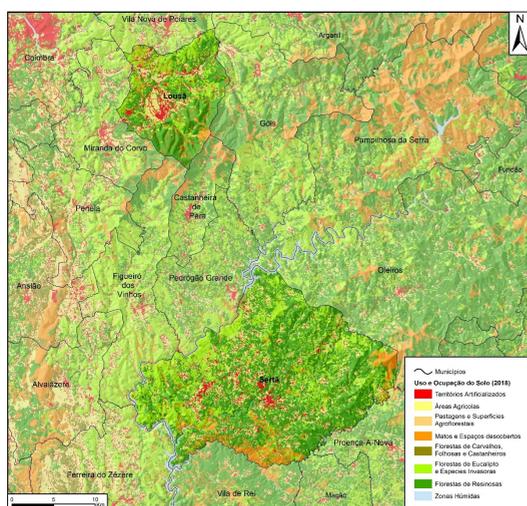


Figura 3
Distribuição do Uso e Ocupação do Solo nos concelhos da Sertã e Lousã em 2018.
Fonte: Carta de Uso e Ocupação do Solo de 2018 e CAOP, 2021.

valores, que, na totalidade, o concelho da Lousã ardeu mais de quatro vezes, e o da Sertã mais de duas.

Nestes territórios, no período de 1975 a 2020, depois de sobreposta a cartografia de áreas ardidas, surgem manchas percorridas pelo fogo entre 4 a 5 vezes, que assumem alguma relevância, especialmente no caso da Lousã (Figura 5). No concelho da Sertã, vastas áreas (44,5%) já foram percorridas pelo fogo entre 2 a 3 vezes. Em ambos os casos, as áreas mais afetadas estão associadas a maiores altitudes, declives mais acentuados e cobertura florestal contínua.

Por conseguinte, todas as freguesias dos concelhos em estudo foram identificadas como prioritárias de acordo com o Despacho n.º 3780/2023 de

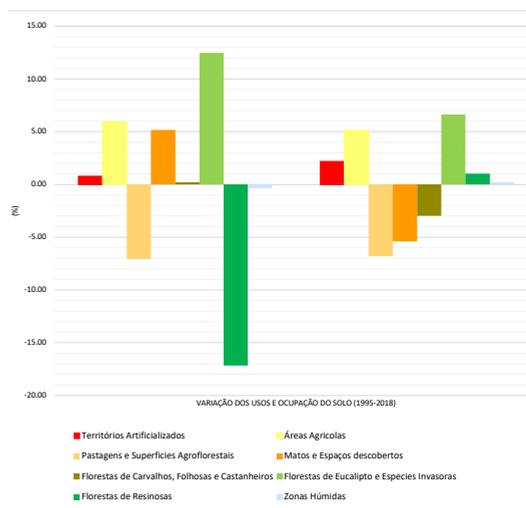


Figura 4
Variação dos Usos e Ocupação do Solo entre 1995 e 2018.
Fonte: Cartas de Uso e Ocupação do Solo de 1995 e 2018, Direção Geral do Território

24 de março, no qual se identificam as freguesias prioritárias para efeitos de fiscalização da gestão de combustível em 2023. Adicionalmente, ambos os municípios receberam financiamento na ordem dos 50 000 € referente ao projeto Condomínios de Aldeia, cujo objetivo é dar apoio às aldeias localizadas em territórios vulneráveis de floresta através de ações destinadas a assegurar a alteração do uso e ocupação do solo e a gestão de combustíveis (PÚBLICO, 2020)

Também, após o nefasto ano de 2017, no que diz respeito a incêndios florestais, o governo português priorizou o reforço e segurança das populações, originando assim os Programas “Aldeia Segura” e “Pessoas Seguras”. O primeiro programa (Aldeia Segura) pretende estabelecer “medidas

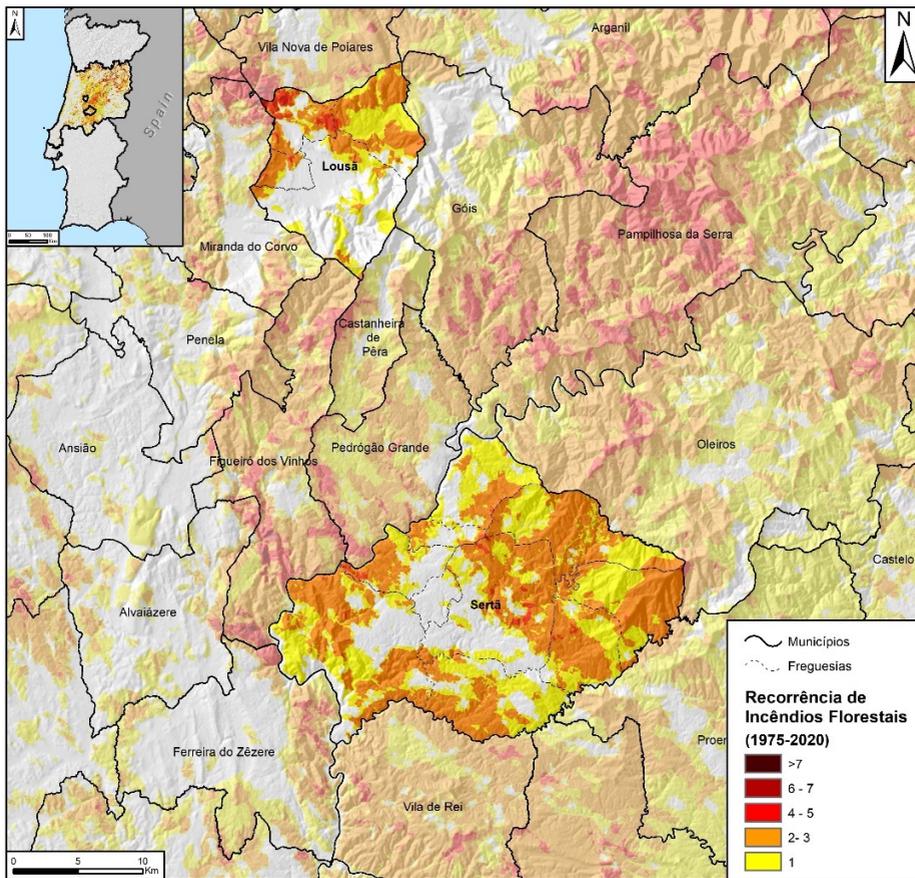


Figura 5
Recorrência de Incêndios Florestais (1975 e 2020).
Fonte: ICNF e CAOP, 2021.

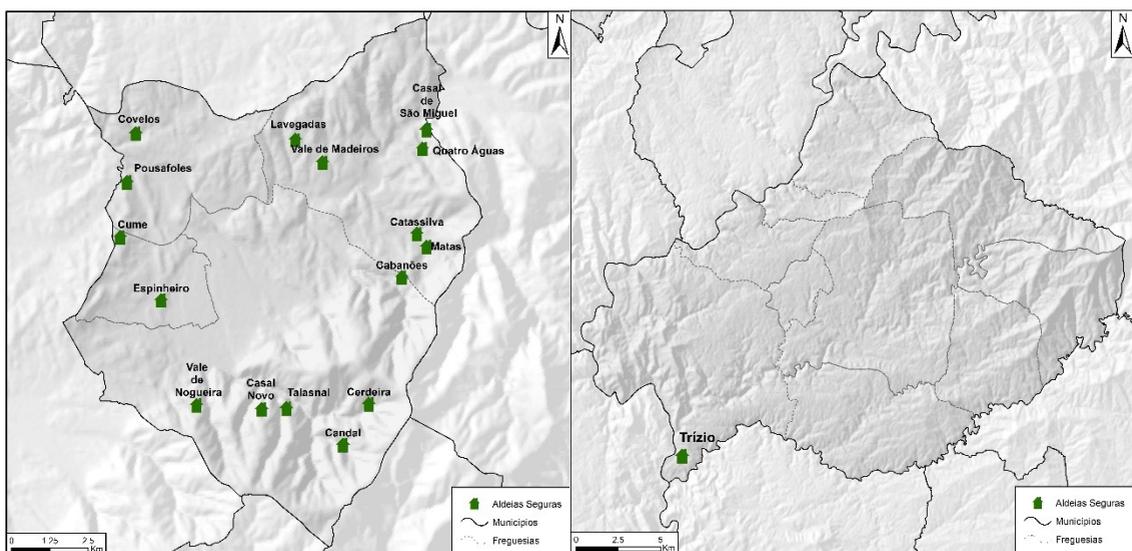


Figura 6
Aldeias Seguras nos concelhos da Lousã e Sertã.
Fonte: <https://aldeiasseguras.pt/>

estruturais para proteção de pessoas e bens, e dos edificados na interface urbano-florestal, com a implementação e gestão de zonas de proteção aos aglomerados e de infraestruturas estratégicas, identificando pontos críticos e locais de refúgio, com o envolvimento dos municípios e das freguesias como entidades proativas na mobilização das populações e incorporando o conhecimento prático existente ao nível das comunidades locais” (Resolução do Conselho de Ministros n.º 157-A/2017). O segundo visa a promoção de “ações de sensibilização para a prevenção de comportamentos de risco, medidas de autoproteção e realização de simulacros de planos de evacuação, em articulação com as autarquias locais” e, ainda, a criação de uma rede automática de avisos à população em dias de elevado risco de incêndio (Resolução do Conselho de Ministros n.º 157-A/2017).

Através do site online do programa (<https://aldeiasseguras.pt/>) é possível verificar que, no conjunto dos dois concelhos, existem 17 “Aldeias Seguras”, 16 no concelho da Lousã e apenas 1 no município da Sertã (Figura 6). Apesar da destacada adesão por parte das aldeias do concelho da Lousã (16), constatou-se que nenhuma apresenta plano de evacuação, não foram realizados simulacros, nem estão identificados os locais de abrigo ou de refúgio. Aparece, apenas, referência à existência de Oficial de Segurança Local. No caso do concelho da Sertã, mais precisamente aldeia de Trízio, estão estipuladas as seguintes ações: Abrigo coletivo, refúgio coletivo, oficial de segurança e plano de evacuação.

2. Metodologia

2.1. Avaliação do risco de incêndio no apoio à evacuação

A proposta metodológica aqui apresentada foi adaptada do trabalho de Chakraborty et al., (2005), aplicada à evacuação em contexto de furacões na região da Florida. A aplicação desta metodologia ao risco de incêndio florestal no apoio à evacuação resulta do facto destes dois riscos apresentarem algumas características semelhantes, identificadas por Folk et al. (2019) como: (i) dificuldade em prever o sentido de deslocação; (ii) a capacidade de desalojarem um grande número de pessoas; (iii) a mudança da direção sem aviso. Para além destas questões, em situação de evacuação, em ambos os

riscos, o aviso antecipado permite às pessoas a saída através da condução de veículos (Wang et al., 2015). Neste sentido, Intini et al., (2019) afirma que os resultados dos estudos sobre a evacuação em contexto de furacões podem ser relevantes para a temática das evacuações em incêndios na IUF.

Neste sentido, a adaptação desta proposta metodológica afigura-se como coerente, podendo, face à parca disponibilidade de estudos levados a cabo sobre evacuação em cenário de incêndio florestal, em território nacional, constituir um exercício relevante. Assim, pretende-se com esta abordagem uma avaliação geral, direcionada para o planeamento da evacuação, e focada em grupos populacionais muito específicos que, na literatura, são identificados como mais vulneráveis por evidenciarem dificuldades em recuperar e enfrentar um processo potencialmente perigoso, como é um incêndio. Algumas características comumente associadas a estes grupos são a idade, género, mobilidade, as características habitacionais, as características culturais, entre outras (Clark et al., 1998).

A metodologia original do trabalho de Chakraborty et al. (2005) baseia-se: (i) avaliação do risco geofísico; (ii) avaliação da vulnerabilidade social para o apoio à evacuação (VSAE) e (iii) avaliação do grau de apoio necessário à evacuação (risco geofísico x vulnerabilidade social para o apoio à evacuação).

As adaptações propostas neste trabalho têm em vista o aperfeiçoamento da metodologia, e sobretudo a sua adaptação à realidade dos incêndios florestais nos municípios da Lousã e da Sertã. As principais diferenças recaem na substituição da avaliação do “risco geofísico”, que na proposta original corresponde ao produto da probabilidade, e que, no presente trabalho, se entendeu ser substituído pelo hazard a incêndio florestal, que retrata um processo potencialmente perigoso e que resulta da combinação da suscetibilidade e da probabilidade para arder. A segunda adaptação diz respeito à “vulnerabilidade social para o apoio à evacuação”. Neste ponto as adaptações estão principalmente dependentes da disponibilidade de variáveis sociodemográficas para o território português.

Assim, o resultado permite perceber quais as áreas com população mais vulnerável e sensível e que, por sua vez, necessitam de atenção redobrada em contexto de evacuação, mas também ao nível da severidade a incêndios florestais, pois a avaliação

do hazard permite responder a três perguntas fundamentais: (i) a localização no espaço, (ii) a localização no tempo (iii) intensidade das forças atuantes.

Por fim, o produto final (Hazard x VSAE) foi classificado em 5 classes recorrendo a uma matriz de risco, um método comum e utilizado em outros estudos (Cunha et al., 2011; A. Nunes & Velez de Castro, 2018).

Hazard

A metodologia utilizada para o cálculo do *hazard* passou pela adaptação da metodologia utilizada por Oliveira et al. (2020). Esta metodologia é composta por 3 etapas: (i) avaliação da suscetibilidade, através das variáveis declives, altitude e uso e ocupação do solo, (ii) cálculo da probabilidade, sustentado pelas áreas ardidadas entre o período de 1975 a 2019 e por fim (iii) o cálculo do *hazard*, através da multiplicação da suscetibilidade pela probabilidade.

Para a determinação do *hazard*, foi considerada a Região Centro de Portugal para a construção do modelo e optou-se pela resolução de 10x10 metros. Os declives e altitude foram derivados a partir das cartas militares de Portugal - Série M888 à escala de 1/25 000. O uso e ocupação do solo foi obtido através da Direção Geral do Território (DGT) e por fim as áreas ardidadas foram retiradas do sítio *online* do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF).

Após a construção e reclassificação de todas as variáveis, foi calculado o *Likelihood Ratio of the Variable* (Lri) através da seguinte fórmula:

$$Lri=(Si/S)/(Ni/N)$$

Fonte: Oliveira et al., 2020

Em que: Si=Número de *pixéis* queimados; S=Total de *pixéis* queimados; Ni=Número de *pixéis* da classe; N=Total de *pixéis* da área de estudo.

Para as variáveis altimetria e declives, sendo elas estáticas, foi considerada a informação total das áreas ardidadas com as exceções dos anos de 2005 e 2020, que foram utilizados para validar o modelo. No que diz respeito ao uso e ocupação do solo, o procedimento foi diferente, por ser uma variável dinâmica e por ser composta por várias Cartas de Ocupação do Solo (COS). Para cada carta foram

utilizados um conjunto de anos de área ardidada, subsequentes, até ao máximo de 8 anos, justamente:

- COS 1995, áreas ardidadas de 1995 até ao ano de 2003;
- COS 2007, áreas ardidadas de 2007 até 2009;
- COS 2010, áreas ardidadas de 2010 até 2014;
- COS de 2015, áreas ardidadas de 2015 até 2017;
- COS de 2018, áreas ardidadas de 2018 e 2019;

O cálculo de *scores* de favorabilidade para as diferentes cartas, utilizando as áreas ardidadas de anos subsequentes, tem em conta a dinâmica evolutiva da variável e possibilita a introdução de maior rigor na avaliação da predisposição de cada classe de ocupação para a ocorrência de um incêndio. A última carta de ocupação do solo é classificada com o resultado da média ponderada dos *scores* de todas as cartas¹.

Os valores de *Lri* inferiores à unidade revelam uma correlação negativa, com as áreas ardidadas, contrariamente, valores superiores que indicam uma correlação positiva (Oliveira et al. 2020). O produto da suscetibilidade resulta do somatório dos *scores* de todas as variáveis, o qual é posteriormente multiplicado pela probabilidade visando obter o resultado de *hazard*.

A probabilidade é obtida através do seguinte cálculo:

$$wp=f/N$$

Em que: wp=Probabilidade anual de incêndio florestal; f=Número de vezes que um *pixel* ardeu; N=Número de anos da série

Às áreas que nunca arderam durante o período de análise foi-lhes atribuído o valor de 0,01, que corresponde a uma probabilidade anual de 1%, permitindo a sua inclusão em operações de multiplicação.

Para a definição das 5 classes de *hazard* procedeu-se ao cálculo da fração acumulada para o número de *pixéis* com o valor x de *hazard* e para o número de *pixéis* que arderam nesse *score* x. Após este processo foram adotados os seguintes pressupostos: (i) a classe “muito elevado” teria de conter 50% da área ardidada; (ii) a classe “muito baixo” não poderia integrar qualquer área ardidada. As restantes classes foram definidas tendo por base: (i) os dados

¹ Média ponderada = ((cos95 × 9) + (Cos07 × 3) + (cos10 × 5) + (cos15 × 3) + (cos18 × 2)) ÷ 22

Tabela 2

Propriedades das classes de Hazard.

Classes	Scores de Hazard	Tendência da Curva de Sucesso	Área da Classe (%)	Área Ardida (%)
Muito elevado	0.101-1.597	$y = 2.3106x + 8E-06$	21.5	50
Elevado	0.032-0.101	$y = 1.8899x + 0.1052$	28.5	48.5
Moderado	0.027-0.032	$y = 0.1584x + 0.9016$	6.3	1.1
Baixo	0.021-0.027	$y = 0.0215x + 0.9798$	11.5	0.4
Muito baixo	0.009-0.021	$y = 0.0063x + 0.994$	32.2	0

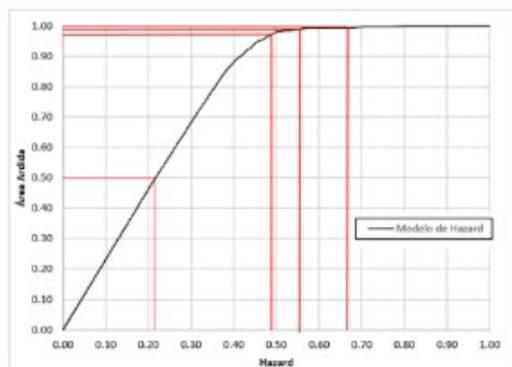


Figura 7

Curva do modelo de Hazard e definição das classes.

do modelo, (ii) a área ardida validada, (iii) as quebras da curva de sucesso do modelo e as (iv) linhas de tendência dos segmentos entre estas quebras (Tabela 2 e Figura 7). Com as frações obtidas foi desenhada a linha do modelo que traduz a relação entre os valores de *hazard* e a área ardida, que permitiu estabelecer as quebras desta linha e obter as restantes classes.

O processo de validação foi suportado pela *toolbox ArcSDM*, que auxiliou o cálculo do AUC. Esta avaliação resume a curva ROC num valor que permite, basicamente, medir a qualidade das previsões do modelo, ou seja, se as previsões de um modelo fossem 100% corretas, o valor de AUC seria de 1. Os resultados obtidos apontam para uma boa performance do modelo, com um AUC superior a 0,80 (Figura 8).

Vulnerabilidade social para o apoio à evacuação (VSAE)

Os dados incluídos na avaliação da VSAE foram retirados da Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI), correspondente ao ano de 2011. A lista limitada de dados relativos ao ano de 2021 no momento da elaboração do trabalho não permitiu a utilização mais recente da informação dos censos.

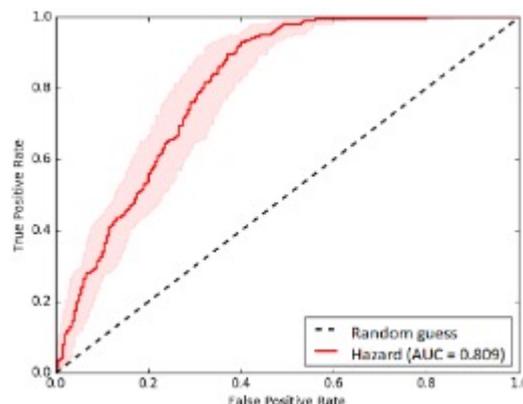


Figura 8

Validação do modelo de Hazard através do cálculo de AUC.

Tabela 3

Características das variáveis incluídas no cálculo da vulnerabilidade social para o apoio à evacuação.

Características	Subsecção estatística (BGRI2011)
População e estrutura	Total de indivíduos residentes
	Edifícios clássicos
Acesso diferenciado a recursos	Famílias clássicas com mais do que 2 desempregados
	Indivíduos residentes sem saber ler nem escrever
	Indivíduos residentes pensionistas ou reformados
	Indivíduos residentes sem atividade económica
População com necessidades especiais para a evacuação	Indivíduos residentes com idade entre 0 e 4 anos
	Indivíduos residentes com idade superior a 64 anos
	Edifícios clássicos isolados
	Total de famílias institucionalizadas

Privilegiou-se a escolha de variáveis semelhantes à proposta metodológica original, contudo houve algumas alterações motivadas pela diferente disponibilidade de informação. Um total de 10 variáveis foram selecionadas. Estas, subdividem por 3 características importantes da população na perspetiva da evacuação, identificadas no trabalho

de Chakraborty et al., (2005) por: (i) População e estrutura; (ii) Acesso diferenciado a recursos; (iii) População com necessidades especiais para a evacuação (Tabela 3).

O procedimento utilizado para o cálculo da VSAE, usado por Chakraborty et al. (2005) consistiu numa adaptação do procedimento utilizado por Cutter et al. (2000). No presente trabalho foi preservada a abordagem de Chakraborty et al. (2005), cuja avaliação é composta por três etapas:

- 1º etapa: Calcular o Ri. Para cada variável i determinar o ratio da variável i com o número total registado no concelho.
- 2º etapa: Padronização para cada variável
 - Ri/Rmax
 - Rmax= Valor máximo do ratio calculado anteriormente.
- 3º etapa: Combinar as múltiplas variáveis calculando a média aritmética

O autor apresenta a VSAE através das 4 seguintes abordagens: (i) População e estrutura; (ii) Acesso diferenciado a recursos; (iii) População com necessidades especiais para a evacuação e (iv) a combinação das três componentes anteriores. O produto final foi classificado no ArcMap através do método Natural Breaks.

3. Resultados e discussão

3.1. Hazard

Os resultados revelam uma elevada expressão das classes mais elevadas de hazard nos concelhos em estudo (Figura 9), no que concerne à probabilidade e suscetibilidade a incêndios florestais. A Sertã apresenta quase 80% do seu território integrado nas classes mais elevadas (40,7% Muito elevado e 38,2% Elevado). Com menor expressividade surgem, na área central do concelho, por ordem de importância, as

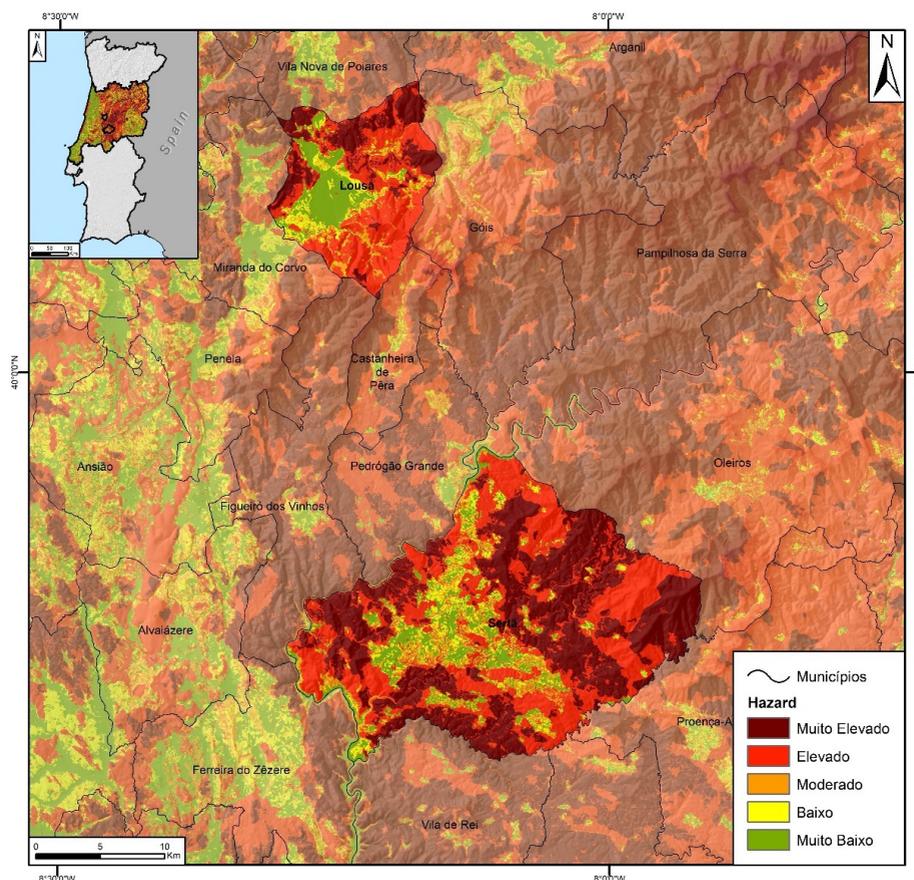


Figura 9
Resultados do Hazard a incêndio florestal nos concelhos da Lousã e Sertã.

classes “Muito Baixo” (8,5%), “Moderado” (6,33%) e “Baixo” (6,3%). A Lousã, comparativamente com a Sertã, apresenta maior preponderância das classes mais baixas (Muito baixo - 15,4%, Moderado - 8,2% e Baixo - 7,6%). Ainda assim, existe um predomínio claro das classes mais problemáticas em quase 70% do seu território, respetivamente 45% e 23,8% com hazard Elevado e Muito elevado.

O modelo atribui uma classificação mais elevada, e por isso problemática, a características físicas específicas, decorrentes de ocupações florestais que foram mais fustigadas nas últimas décadas de incêndios. Normalmente correspondem a florestas de resinosas e florestas de eucalipto, pois apresentam um grau de combustibilidade e infabilidade superior (Xanthopoulos et al., 2012). Estudos desenvolvidos em áreas do mediterrâneo confirmam que a propensão das áreas de matos e florestas de resinosas ao fogo é mais elevado (Pereira et al., 2014; Rego & Silva, 2014; Nunes et al., 2016), comparativamente a outros usos, nomeadamente áreas agrícolas. Também as condições topográficas específicas, como é o caso das altitudes e declives elevados, são relevantes na propagação das chamas. Em ambos os concelhos, os seus núcleos, ocupados por territórios artificiais, apresentam classes baixas de hazard. A análise desta variável, de forma isolada, para o contexto do planeamento da evacuação permite priorizar áreas com condições físicas específicas, não obstante a população a evacuar é um ponto importante a ser considerado em conjugação com o hazard (Chakraborty et al., 2005).

3.2. Vulnerabilidade social para o apoio à evacuação (VSAE)

A avaliação da VSAE teve por base 4 abordagens distintas: (i) População e estrutura (APP1); (ii) Acesso diferenciado a recursos (APP2); (iii) População com necessidades especiais para a evacuação (APP3) e (iv) todas as variáveis (APP4). A análise da vulnerabilidade social, a fim de evitar a ocorrência de danos materiais e humanos, tem de ser considerada nas três fases da resposta à emergência, ou seja: (i) planeamento e preparação pré-evento, (ii) durante o evento e (iii) pós-evento, na recuperação (Hoffman, 2009).

As diferenças produzidas através das diversas abordagens demonstram a complexidade de planear a evacuação, uma vez que os resultados podem levar a decisões bem distintas. No caso da Lousã, os

resultados obtidos através da APP1, APP2, APP3 mostram uma concentração das áreas mais vulneráveis no principal núcleo populacional e povoações localizadas no nordeste e noroeste do concelho, coincidindo respetivamente com as freguesias de União de freguesias da Lousã e Vilarinho e Gândaras (Figura 10).

Os resultados no concelho da Sertã, para as três primeiras abordagens (APP 1, 2 e 3) não revelam diferenças espaciais significativas, sendo identificadas áreas de reduzida dimensão, de vulnerabilidade elevada por todo o território (Figura 11). Em termos comparativos, é possível verificar que no concelho da Sertã, a APP 4 produziu o maior número de áreas com vulnerabilidade elevada e muito elevada, face ao concelho da Lousã.

Relativamente a esta metodologia, Chakraborty et al. (2005) descarta a responsabilidade de eger qual das abordagens é a mais importante, e que variáveis têm mais peso. A decisão de utilizar diferentes métodos foi tomada no sentido de avaliar as possíveis diferenças que possam existir. Todavia, e apesar das valências desta metodologia, principalmente pela construção de diferentes perspetivas, esta temática pode exigir uma cartografia de síntese, onde, previamente, estejam definidos os pesos para cada variável e qual a abordagem mais importante. A inclusão de uma análise hierárquica de processos poderia colmatar esta questão, uma vez que ajudaria na definição de que variáveis têm maior relevância no contexto do planeamento da evacuação. Por exemplo, não seria descabido afirmar que a população com mais de 65 anos tem mais relevância comparativamente ao número de indivíduos residentes sem saber ler nem escrever, para este contexto.

Adicionalmente, o planeamento da evacuação é algo que vai além das características da população. Envolve também outros fatores, como é o caso da localização da população no território. Nos dois casos de estudo a espacialização da população no território é muito díspar. O concelho da Sertã apresenta uma população muito dispersa o que, por si só, pode condicionar a mobilização de meios, algo que é menos evidente no município da Lousã.

As diferentes abordagens, expostas acima, revelam grande importância, principalmente na primeira fase de emergência. Os resultados obtidos permitem gerir estas áreas em função das suas necessidades. Como identificado por Oliveira et al. (2020) no seu estudo, graus elevados de vulnerabi-

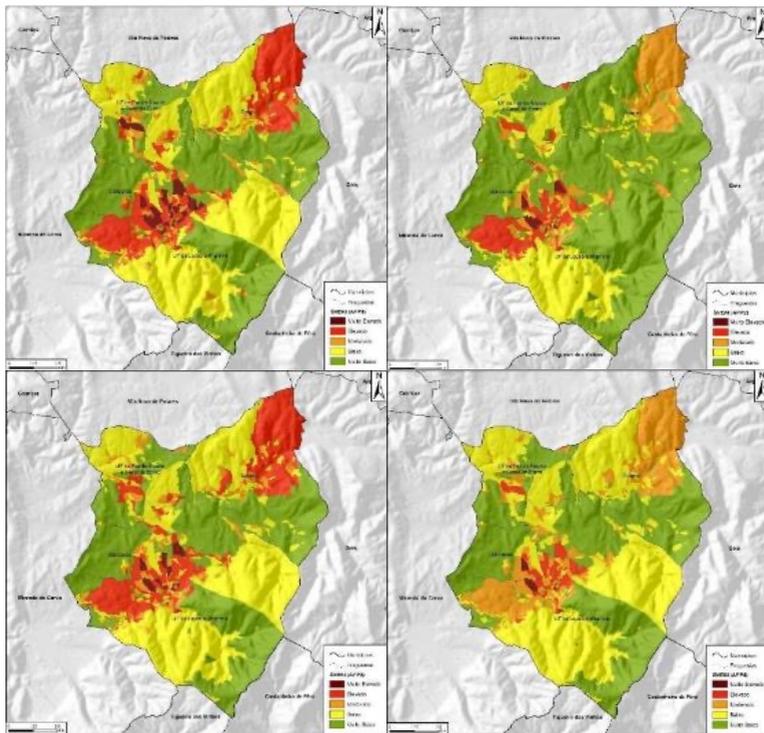


Figura 10
Vulnerabilidade social para o apoio à evacuação (VSAE) no concelho da Louçã (4 abordagens).

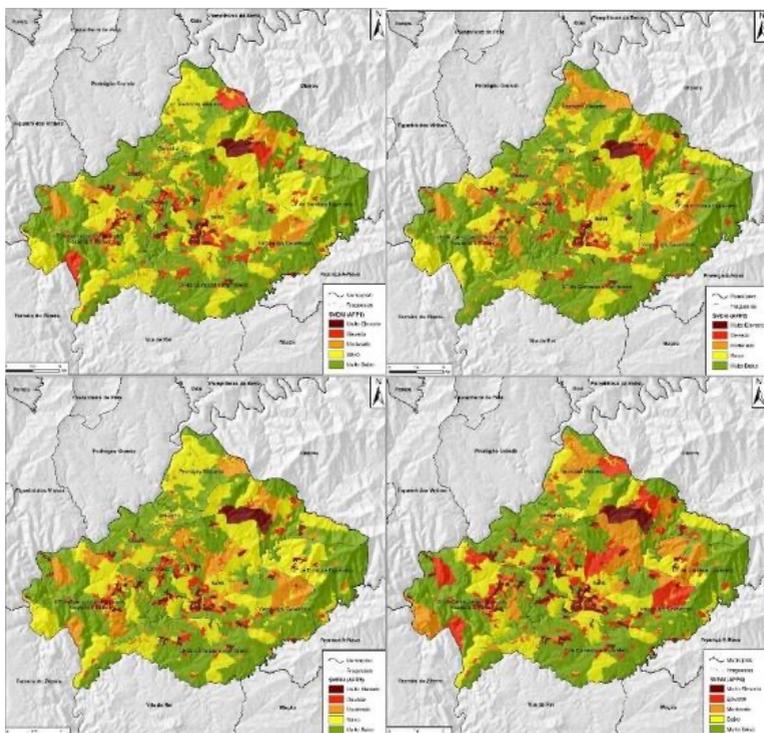


Figura 11
Vulnerabilidade social para o apoio à evacuação (VSAE) no concelho da Sertão (4 abordagens).

lidade são oriundos de diferentes condições sociodemográficas como: (i) presença de idosos ou de jovens, uma vez que estas faixas etárias estão associadas à fraca capacidade de reação, pouca autonomia, poucos recursos para se proteger; (ii) a educação, pois reflete a capacidade de percepção do risco, de cumprir regulações de prevenção e segurança; (iii) as mulheres, pois são elementos mais vulneráveis; entre outros.

3.3. Risco de incêndio no apoio à evacuação

Os mapas de risco de incêndio no apoio à evacuação foram obtidos através da multiplicação do hazard pelas 4 abordagens da VSAE, sendo os resultados classificados com 5 categorias.

Este processo metodológico revela outputs bastante díspares dos anteriores. No caso do concelho da Lousã, o seu núcleo populacional, classificado anteriormente como muito vulnerável, assume, em termos de risco de incêndio para o apoio à evacuação, classificações de “Muito Baixo”, “Baixo” e “Moderado” (Figura 12). Com efeito, as suas interfaces contactam com uma orla, bastante extensa, com ocupação agrícola. Este uso do solo está associado a um hazard

baixo, o que significa que muito dificilmente estas áreas urbanas vão ser afetadas por um incêndio de grandes proporções. No nordeste do concelho, vulnerabilidades sociais, classificadas de elevadas e muito elevadas quando conjugadas com hazard, também “elevado” ou “muito elevado” determina áreas de risco elevado, logo prioritárias em termos de evacuação. Assim, esta conjugação reflete a importância de considerar a VSAE e o hazard.

No caso do concelho da Sertã, as localidades situadas na faixa oriental assumem-se como bastante problemáticas principalmente quando conjugadas todas as abordagens (APP4) (Figura 13). Comparativamente à Lousã, o concelho da Sertã apresenta pequenas aglomerados, difusos pelo concelho, com um risco de incêndio “Muito elevado”. Estes aglomerados populacionais, rodeados por manchas florestais, associados a fracas acessibilidades motivadas pela sinuosidade imposta pelo terreno acidentado, são determinantes de um elevado risco de incêndio e prioritárias em termos de evacuação. Por outro lado, as suas características fisiográficas tornam crítica a resposta à primeira intervenção por parte dos corpos de bombeiros. Este constrangimento aparece referido, para o caso da Lousã, no trabalho

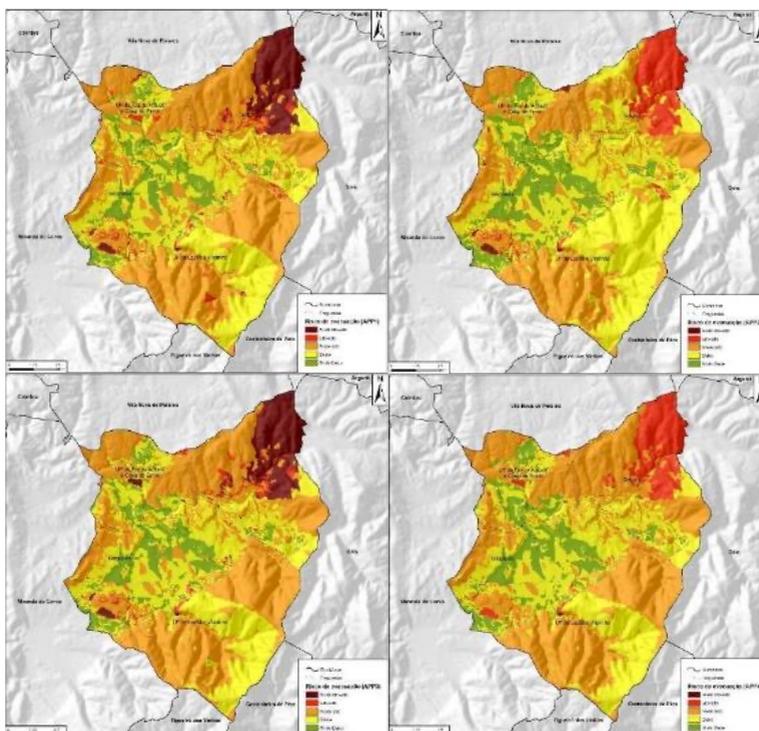


Figura 12
Risco de incêndio no apoio à evacuação no concelho da Lousã (4 abordagens).

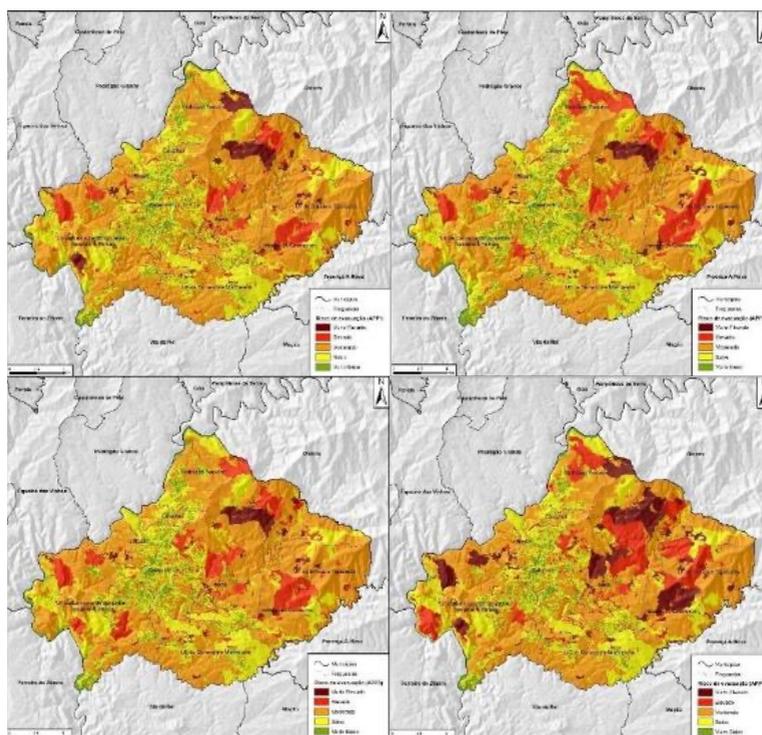


Figura 13
Risco de incêndio no apoio à evacuação no concelho da Sertã (4 abordagens).

de Félix (2014) em que o autor demonstra que cerca de 22% da sua área tem uma resposta de primeira intervenção igual ou superior a 20 minutos. De salientar, ainda, que no município da Sertã apenas se identificou uma “Aldeia Segura” e que nas “Aldeias Seguras” da Lousã se constatou a inexistência de planos de evacuação. A referência aos locais de abrigo ou de refúgio são, igualmente, inexistentes. Estas constatações estão de acordo com os resultados obtidos por Vaqueiro (2022), ao afirmar que do total de 2057 aglomerados populacionais que, à data, haviam aderido ao programa, apenas 172 totaliza o conjunto de ações planeadas, afirmando que apenas estas poderiam ser consideradas “aldeias seguras”. Os resultados de Tedim et al. (2022) reforçam também essas dificuldades, pois no questionário aplicado a 139 municípios, aderentes ao programa, 91% referiu constrangimentos na sua implementação.

4. Conclusão

Avaliar o risco de incêndio como recurso no processo de evacuação, principalmente em áreas rurais, onde a ocupação florestal tem dominado espaços abandonados, próximos de ambientes

construídos, constitui, atualmente, um exercício fundamental. Com efeito, esta avaliação pode fornecer aos agentes de planeamento e proteção civil ferramentas importantes para direcionar medidas preventivas e de resposta à emergência, que permitam, no futuro, evitar lesados a vários níveis.

Neste estudo foi aplicada uma proposta metodológica a dois concelhos do interior de Portugal para o cálculo do risco de incêndio direcionada para o apoio à evacuação, tendo em consideração a suscetibilidade à ocorrência de incêndios e a vulnerabilidade social da população e estruturas. As duas áreas de estudo apresentam-se bastante problemáticas ao nível da suscetibilidade a incêndio florestal, uma vez que ambos os territórios possuem características biofísicas propícias à ocorrência e progressão de incêndios. A análise isolada à VSAE possibilita a construção de uma perspetiva importante do território ao nível da vulnerabilidade, todavia a análise só se afigura completa quando complementada com o hazard. Com efeito, nem sempre as áreas mais vulneráveis são as que apresentam maior risco de incêndio e, por conseguinte, prioridade em termos de evacuação. Como observado no caso da Lousã, muito dificilmente o núcleo central do concelho será

afetado por incêndios, ou pelo menos com a intensidade e rapidez que conduza a perda de vidas humanas.

Apesar dos resultados obtidos poderem ser englobados num contexto de planeamento de evacuação, há um longo caminho a percorrer no que diz respeito a esta temática. Relativamente à metodologia utilizada, ao nível das variáveis demográficas, será interessante realizar o exercício de implementar uma análise hierárquica de processos, que permitisse determinar quais as condições sociodemográficas mais importantes no contexto da evacuação. Posterior a este exercício, a integração da rede viária afigura-se indispensável neste tipo de avaliações, pela sua densidade, tipologia, estado de conservação e capacidade, características importantes que podem aumentar ou diminuir o risco de incêndio a resposta em termos de evacuação.

Bibliografia

- Bento-Gonçalves, A., & Vieira, A. (2020). Wildfires in the wildland-urban interface: Key concepts and evaluation methodologies. *Science of The Total Environment*, 707, 135592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135592>
- Bowman, D., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W., Carlson, J., Cochrane, M., D'Antonio, C., Defries, R., Doyle, J., Harrison, S., Johnston, F., Keeley, J., Krawchuk, M., Kull, C., Marston, J., Moritz, M., Prentice, I., Roos, C., Scott, A., & Pyne, S. (2009). Fire in the Earth System. *Science (New York, N.Y.)*, 324, 481-484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Bowman, D. M. J. S., Williamson, G. J., Abatzoglou, J. T., Kolden, C. A., Cochrane, M. A., & Smith, A. M. S. (2017). Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events. *Nature Ecology & Evolution*, 1(3), 0058. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0058>
- Butler, C. P. (1976). The urban/wildland fire interface. California Division of Forestry, State of California, Resources Agency
- Caballero, D. (2001). Particularidades del incendio forestal en el interfaz urbano. Caso de estudio en la Comunidad de Madrid. II Jornadas de Prevención de Incendios Forestales. ETSI Montes. Madrid.
- Carroll, M., & Cohn, P. J. (2007). Community impacts of large wildland fire events: Consequences of actions during the fire. *People, Fire and Forests: A Synthesis of Wildfire Social Science*, 104-123.
- Chakraborty, J., Tobin, G., & Montz, B. (2005). Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards. *Natural Hazards Review*, 6, 23-33. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2005\)6:1\(23\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2005)6:1(23))
- Chen, X., Kwan, M.-P., Li, Q., & Chen, J. (2012). A model for evacuation risk assessment with consideration of pre- and post-disaster factors. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(3), 207-217. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.11.002>
- Clark, G. E., Moser, S. C., Ratick, S. J., Dow, K., Meyer, W. B., Emani, S., Jin, W., Kasperson, J. X., Kasperson, R. E., & Schwarz, H. E. (1998). Assessing the Vulnerability of Coastal Communities to Extreme Storms: The Case of Revere, MA., USA. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 3(1), 59-82. <https://doi.org/10.1023/A:1009609710795>
- Cohen, J. D. (2000). Preventing Disaster: Home Ignitability in the Wildland-Urban Interface. *Journal of Forestry*, 98(3), 15-21. <https://doi.org/10.1093/jof/98.3.15>
- Cova, T. J. (2005). Public Safety in the Urban-Wildland Interface: Should Fire-Prone Communities Have a Maximum Occupancy? *Natural Hazards Review*, 6, 99-108.
- Cova Thomas J., Drews Frank A., Siebeneck Laura K., & Musters Adrian. (2009). Protective Actions in Wildfires: Evacuate or Shelter-in-Place? *Natural Hazards Review*, 10(4), 151-162. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2009\)10:4\(151\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2009)10:4(151))
- CTI. (2017). Análise e Apuramento dos Factos Relativos aos Incêndios que Ocorreram em Pedrógão Grande, Castanheira de Pera, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertã, entre, 17 e 24 de Junho. Comissão Técnica Independente, Assembleia da República Lisboa, Portugal.
- Cunha, L., Mendes, J., Tavares, A., & Freiria, S. (2011). Construção de modelos de avaliação de vulnerabilidade social a riscos naturais e tecnológicos: O desafio das escalas (pp. 627-637). https://doi.org/10.14195/978-989-26-0244-8_71
- Cutter, S., Mitchell, J., & Scott, M. (2000). Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of The Association of American Geographers - ANN ASSN AMER GEOGR*, 90, 713-737. <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00219>
- Damianidis, C., Santiago-Freijanes, J. J., den Herder, M., Burgess, P., Mosquera-Losada, M. R., Graves, A., Papadopoulos, A., Pisanelli, A., Camilli, F., Rois-Díaz, M., Kay, S., Palma, J. H. N., & Pantera, A. (2021). Agroforestry as a sustainable land use option to reduce wildfires risk in European Mediterranean areas. *Agroforestry Systems*, 95(5), 919-929. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00482-w>
- Dash, N., & Gladwin, H. (2007). Evacuation Decision Making and Behavioral Responses: Individual and Household.

- Natural Hazards Review*, 8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2007\)8:3\(69\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2007)8:3(69))
- Edgeley, C. M., & Paveglio, T. B. (2019). Exploring influences on intended evacuation behaviors during wildfire: What roles for pre-fire actions and event-based cues? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37, 101182. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101182>
- European Commission, Joint Research Centre, Costa, H., De Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., & San-Miguel-Ayanz, J. (2020). European wildfire danger and vulnerability in a changing climate: Towards integrating risk dimensions: JRC PESETA IV project: Task 9—Forest fires. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/46951>
- European Commission, Joint Research Centre, Libertà, G., Vivancos, T., Leray, T. (2018). Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2017 - , Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/663443>
- European Environment Agency. (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report. Publications Office. <https://doi.org/10.2800/534806>
- Félix, F. R. F. (2014). Ensaio metodológico sobre a importância da modelação espacial da sinuosidade rodoviária para apoio à decisão no ataque inicial aos incêndios florestais: O exemplo da serra da Lousã. <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/27444>
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., & Lourenço, L. (2012). Grandes incêndios florestais em Portugal Continental. Da história recente à atualidade. *Cadernos de Geografia*, 30-31, 81-86.
- Fidalgo, E. S. (2012). Territórios em mudança e os incêndios na interface urbano-florestal. Estudo de caso em Baião. *Cadernos de Geografia*, 30-31, 87-98.
- Folk, L. H., Kuligowski, E. D., Gwynne, S. M. V., & Gales, J. A. (2019). A Provisional Conceptual Model of Human Behavior in Response to Wildland-Urban Interface Fires. *Fire Technology*, 55(5), 1619-1647. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00821-z>
- Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., & Lampin, C. (2013). A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition Over Europe. *Environmental Management*, 51(3), 651-662. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9961-z>
- Grajdura, S., Borjigin, S., & Niemeier, D. (2022). Fast-moving dire wildfire evacuation simulation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 104, 103190. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103190>
- Guerreiro, J., Fonseca, C., Salgueirpo, A., Fernandes, P., Lopez Iglesias, E., de Neufville, R., Mateus, F., Castellnou, M., Silva, J., Moura, J., Rego, F., & Caldeira, D. (2018). Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental.
- Hall, J. R. (2004). How Many People Can Be Saved from Home Fires if Given More Time to Escape? *Fire Technology*, 40(2), 117-126. <https://doi.org/10.1023/B:FIRE.0000016839.11376.b3>
- Hardesty, J., Myers, R., & Fulks, W. (2005). Fire, Ecosystems, and People: A Preliminary Assessment of Fire as a Global Conservation Issue. *The George Wright Forum*, 22(4), 78-87. JSTOR.
- Haynes, K., Handmer, J., McAnaney, J., Tibbits, A., & Coates, L. (2010). Australian bushfire fatalities 1900-2008: Exploring trends in relation to the 'Prepare, stay and defend or leave early' policy. *Environmental Science & Policy*, 13(3), 185-194. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.002>
- Hirschberger, P. (2016). Forests ablaze: Causes and effects of global forest fires. WWF: Berlin, Germany) Available at <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Study-Forests-Ablaze.pdf>
- Hoffman, S. (2009). Preparing for Disaster: Protecting the Most Vulnerable in Emergencies.
- Intini, P., Ronchi, E., & Gwynne, S. (2019). Traffic Modeling for Wildland-Urban Interface Fire Evacuation. *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*, 145. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000221>
- Kuligowski, E. (2008). Modeling Human Behavior during Building Fires. Technical Note (NIST TN), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=861621
- Lindell, M., & Prater, C. (2007). Critical Behavioral Assumptions in Evacuation Time Estimate Analysis for Private Vehicles: Examples from Hurricane Research and Planning. *Journal of Urban Planning and Development-asce - J URBAN PLAN DEV-ASCE*, 133. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2007\)133:1\(18\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2007)133:1(18))
- Lourenço, L. (2018). Forest fires in continental Portugal Result of profound alterations in society and territorial consequences. *Méditerranée. Revue Géographique Des Pays Méditerranéens / Journal of Mediterranean Geography*, 130, Artigo 130. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.9958>
- Lourenço, L., Pinto, C., & Saloio, P. (2020). Risco de Incêndio Florestal no Pinhal Interior. Livro Guia da Visita Técnica n.º5. RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança.
- Lourenço, L., Rebelo, F., Nave, A., Pereira, N., Silva, M., Carvalho, A., & Fialho, J. (2006). Paisagens de Socalcos e Riscos Naturais em vales do rio Alva. *Colectâneas Cindinicas VI*.
- Manzello, S. L., Bianchi, R., Gollner, M. J., Gorham, D., McAllister, S., Pastor, E., Planas, E., Reszka, P., & Suzuki, S. (2018). Summary of workshop large outdoor fires and the built environment. *Fire Safety Journal*, 100, 76-92. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.07.002>

- Maranghides, A., & Mell, W. (2012). Framework for addressing the national wildland urban interface fire problem—Determining fire and ember exposure zones using a WUI hazard scale. U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology. 25 p. <http://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/43634>
- McCaffrey, S. (2004). Thinking of Wildfire as a Natural Hazard. *Society & Natural Resources - SOC NATUR RESOUR*, 17, 509-516. <https://doi.org/10.1080/08941920490452445>
- McCaffrey, S., Rhodes, A., & Stidham, M. (2015). Wildfire evacuation and its alternatives: Perspectives from four United States' communities. *International Journal of Wildland Fire*, 24(2), 170. <https://doi.org/10.1071/wf13050>
- McCaffrey, S., Wilson, R., & Konar, A. (2018). Should I Stay or Should I Go Now? Or Should I Wait and See? Influences on Wildfire Evacuation Decisions. *Risk Analysis*, 38(7), 1390-1404. <https://doi.org/10.1111/risa.12944>
- McLennan, J., Ryan, B., Bearman, C., & Toh, K. (2019). Should We Leave Now? Behavioral Factors in Evacuation Under Wildfire Threat. *Fire Technology*, 55(2), 487-516. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0753-8>
- Mell, W., Manzello, S., Maranghides, A., Butry, D., & Rehm, R. (2010). The wildland-urban interface fire problem—Current approaches and research needs. *International Journal of Wildland Fire - INT J WILDLAND FIRE*, 19. <https://doi.org/10.1071/WF07131>
- Mitsopoulos, I., Mallinis, G., & Arianoutsou, M. (2015). Wildfire Risk Assessment in a Typical Mediterranean Wildland-Urban Interface of Greece. *Environmental Management*, 55(4), 900-915. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0432-6>
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., & Bilgili, E. (2011). Landscape-wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2389-2402. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.028>
- Moritz, M., Battlori, E., Bradstock, R., Gill, M., Handmer, J., Hessburg, P., Leonard, J., McCaffrey, S., Odion, D., Schoennagel, T., & Syphard, A. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*, 515, 58-66. <https://doi.org/10.1038/nature13946>
- Mowery, M., & Punched, D. (2021). Land use planning approaches in the wildland-urban interface: An analysis of four western states: California, Colorado, Montana, and Washington. Community Wildfire Planning Center.
- Mozumder, P., Raheem, N., Talberth, J., & Berrens, R. P. (2008). Investigating intended evacuation from wildfires in the wildland-urban interface: Application of a bivariate probit model. *Wildfire mitigation*, 10(6), 415-423. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2008.02.002>
- Nunes, A. (2019). Trends of wildfires in Portugal (1980-2014): Lessons for territorial planning Incêndios Florestais em Portugal Continental (1980-2014): Que ilações para o planeamento do território? (pp. 43-48). https://doi.org/10.34037/978-972-8330-25-5_2_3
- Nunes, A. N., Lourenço, L., & Meira, A. C. C. (2016). Exploring spatial patterns and drivers of forest fires in Portugal (1980-2014). *Science of The Total Environment*, 573, 1190-1202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.121>
- Nunes, A., & Velez de Castro, F. (2018). As questões metodológicas da análise e avaliação do risco em diferentes ciências. (pp. 147-178).
- Oliveira, S., Félix, F., Nunes, A., Lourenço, L., Laneve, G., & Sebastián-López, A. (2018). Mapping wildfire vulnerability in Mediterranean Europe. Testing a stepwise approach for operational purposes. *Journal of Environmental Management*, 206, 158-169. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.003>
- Oliveira, S., Gonçalves, A., Benali, A., Sá, A., Zêzere, J. L., & Pereira, J. M. (2020). Assessing Risk and Prioritizing Safety Interventions in Human Settlements Affected by Large Wildfires. *Forests*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/f11080859>
- Oliveira, S., Gonçalves, A., & Zêzere, J. (2020). Reassessing wildfire susceptibility and hazard for mainland Portugal. *Science of The Total Environment*, 762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143121>
- Palaiologou, P., Ager, A. A., Nielsen-Pincus, M., Evers, C. R., & Day, M. A. (2019). Social vulnerability to large wildfires in the western USA. *Landscape and Urban Planning*, 189, 99-116. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.006>
- Pastor, E. (2020). The GUARDIAN Project Journal n 1. CERTEC - Centre for Technological Risk Studies. <http://hdl.handle.net/2117/341876>
- Pastor, E., Muñoz, J. A., Caballero, D., Àgueda, A., Dalmau, F., & Planas, E. (2020). Wildland-Urban Interface Fires in Spain: Summary of the Policy Framework and Recommendations for Improvement. *Fire Technology*, 56(5), 1831-1851. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00883-z>
- Pausas, J. G., & Fernández-Muñoz, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: From fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change*, 110(1), 215-226. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0060-6>
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*, 59(7), 593-601. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>
- PÚBLICO (2020). Fundo Ambiental financia Condomínios de Aldeias em 11 municípios. *Floresta*, 23 de outubro Disponível em: <https://www.publico.pt/2020/10/23/>

- s o c i e d a d e / n o t i c i a /
fundo-ambiental-financia-condominios-aldeias-11-municipios-1936478
- Paveglio, T., Prato, T., Dalenberg, D., & Venn, T. (2014). Understanding evacuation preferences and wildfire mitigations among Northwest Montana residents. *International Journal of Wildland Fire*, 23, 435-444. <https://doi.org/10.1071/WF13057>
- Pereira, S., Preißler, J., Rascado, J. L., Silva, A., & Wagner, F. (2014). Forest Fire Smoke Layers Observed in the Free Troposphere over Portugal with a Multiwavelength Raman Lidar: Optical and Microphysical Properties. *TheScientificWorldJournal*, 2014, 421838. <https://doi.org/10.1155/2014/421838>
- Pinto, C. D. V. (2022). Avaliação do Risco de Incêndio Florestal em Interfaces Urbano-Florestais da Região Centro. Universidade de Coimbra.
- Qin, H., & Gao, X. (2019). How Fire Risk Perception Impacts Evacuation Behavior: A Review of the Literature. Em D. Harris (Ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (pp. 396-409). Springer International Publishing.
- Quarles, S., Valachovic, Y., Nakamura, G., Nader, G., & Lasaux, M. (2010). Home Survival in Wildfire-Prone Areas: Building Materials and Design Considerations. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8393>
- Radeloff, V. C., Hammer, R. B., Stewart, S. I., Fried, J. S., Holcomb, S. S., & McKeefry, J. F. (2005). THE WILDLAND-URBAN INTERFACE IN THE UNITED STATES. *Ecological Applications*, 15(3), 799-805. <https://doi.org/10.1890/04-1413>
- Radeloff, V. C., Helmers, D. P., Kramer, H. A., Mockrin, M. H., Alexandre, P. M., Bar-Massada, A., Butsic, V., Hawbaker, T. J., Martinuzzi, S., Syphard, A. D., & Stewart, S. I. (2018). Rapid growth of the US wildland-urban interface raises wildfire risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(13), 3314-3319. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718850115>
- Rego, F., & Silva, J. (2014). Wildfires and landscape dynamics in Portugal: A regional assessment and global implications. *Forest Landscapes and Global Change: Challenges for Research and Management*, 51-73. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0953-7_3
- Richardson, D. M., & Van Wilgen, B. W. (1992). Ecosystem, community and species response to fire in mountain fynbos: Conclusions from the Swartboskloof experiment. Em *Fire in South African Mountain Fynbos* (pp. 273-284). Springer.
- Robinne, F.-N. (2021). UNFF16 background paper: Impacts of disasters on forests, in particular forest fires.
- Rodrigues, A., Santiago, A., Laím, L., Viegas, D. X., & Zêzere, J. L. (2022). Rural Fires—Causes of Human Losses in the 2017 Fires in Portugal. *Applied Sciences*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/app122412561>
- Sakellariou, S., Sfougaris, A., Christopoulou, O., & Tampekis, S. (2022). Integrated wildfire risk assessment of natural and anthropogenic ecosystems based on simulation modeling and remotely sensed data fusion. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 78, 103129. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103129>
- Stasiewicz, A. M., & Paveglio, T. B. (2021). Preparing for wildfire evacuation and alternatives: Exploring influences on residents' intended evacuation behaviors and mitigations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 58, 102177. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102177>
- Steelman, T. A., McCaffrey, S. M., Velez, A.-L. K., & Briefel, J. A. (2015). What information do people use, trust, and find useful during a disaster? Evidence from five large wildfires. *Natural Hazards*, 76(1), 615-634. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1512-x>
- Stevens-Rumann, C. S., Kemp, K. B., Higuera, P. E., Harvey, B. J., Rother, M. T., Donato, D. C., Morgan, P., & Veblen, T. T. (2018). Evidence for declining forest resilience to wildfires under climate change. *Ecology Letters*, 21(2), 243-252. <https://doi.org/10.1111/ele.12889>
- Tedim, F., Leone, V., McCaffrey, S., McGee, T. K., Coughlan, M., Correia, F. J. M., & Magalhães, C. G. (2020). 5—Safety enhancement in extreme wildfire events. Em F. Tedim, V. Leone, & T. K. McGee (Eds.), *Extreme Wildfire Events and Disasters* (pp. 91-115). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815721-3.00005-9>
- Tedim, F., Pinto, D. M., & Correia, F. (2022). A segurança das populações aos incêndios rurais em Portugal: As potencialidades e fragilidades dos programas «Aldeia segura» e «Pessoas seguras». <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/144933>
- Tibbitts, A., & Whittaker, J. (2007). Stay and defend or leave early: Policy problems and experiences during the 2003 Victorian bushfires. *Environmental Hazards*, 7(4), 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.08.001>
- Vannièrè, B., Colombaroli, D., CHAPRON, E., Leroux, A., Tinner, W., & Magny, M. (2008). Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: The Holocene record of Lago dell'Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Science Reviews*, 27, 1181-1196. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.02.011>
- Vaqueiro, N. M. F. (2022, setembro 22). Prevenção e Mitigação de Incêndios Florestais na Interface Urbano Florestal: Análise dos Programas Aldeia Segura e Pessoas Seguras. *Prevenção e Mitigação de Incêndios Florestais na Interface Urbano Florestal: Análise dos Programas Aldeia Segura e Pessoas Seguras*. *Prevenção e Mitigação de Incêndios Florestais na Interface Urbano Florestal: Análise dos Programas Aldeia Segura e*

- Pessoas Seguras. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/104092>
- Walpole, H. D., Wilson, R. S., & McCaffrey, S. M. (2020). If you love it, let it go: The role of home attachment in wildfire evacuation decisions. *Environment Systems and Decisions*, 40(1), 29-40. <https://doi.org/10.1007/s10669-019-09741-3>
- Wang, H., Mostafizi, A., Cramer, L., Cox, D., & Park, H. (2015). An agent-based model of a multimodal near-field tsunami evacuation: Decision-making and life safety. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.11.010>
- Westen, C. J. van. (2012). Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management.
- Wigtil, G., Hammer, R. B., Kline, J. D., Mockrin, M. H., Stewart, S. I., Roper, D., & Radeloff, V. C. (2016). Places where wildfire potential and social vulnerability coincide in the coterminous United States. *International Journal of Wildland Fire*, 25(8), 896. <https://doi.org/10.1071/wf15109>
- Xanthopoulos, G., Calfapietra, C., & Fernandes, P. (2012). Fire Hazard and Flammability of European Forest Types. Em *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests* (Vol. 24, pp. 79-92). https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8_4
- Zikeloglou, I., Lekkas, E., Lozios, S., & Stavropoulou, M. (2023). Is early evacuation the best and only strategy to protect and mitigate the effects of forest fires in WUI areas? A qualitative research on the residents' response during the 2021 forest fires in NE Attica, Greece. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 88, 103612. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103612>

