

METEOROLOGIA E INCÊNDIOS FLORESTAIS

(<https://doi.org/10.47907/Incendios/ProtecaoAmbiental/AlteracoesClimaticas/2023/4>)

DANIELA ALVES; MIGUEL ALMEIDA; DOMINGOS VIEGAS
Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI),
Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais,
Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

1. Introdução

1.1. A importância do clima e da meteorologia

A ignição, a propagação e o comportamento dos incêndios florestais depende de vários fatores e, que segundo o conhecido triângulo dos incêndios, podem ser divididos em: meteorologia, topografia e vegetação. Neste trabalho estudamos o tema do clima e da meteorologia e, começamos por fazer uma distinção entre os dois conceitos.

Por clima entendemos as condições atmosféricas numa dada região que são caracterizadas por um conjunto de parâmetros medidos num período de anos relativamente longo, tipicamente da ordem de 30 anos. O clima de uma dada região afeta, a longo prazo, o tipo de vegetação existente e o regime de ocorrência dos incêndios florestais.

Por meteorologia, ou o estado do tempo, entendemos as condições atmosféricas que variam de um dia para o outro, ou de hora em hora, sendo descrito por um conjunto de parâmetros meteorológicos tais como: a temperatura, a precipitação, a intensidade e rumo do vento, a humidade relativa, a nebulosidade, a ocorrência de fenómenos como a trovoadas ou nevoeiro, etc. Estas condições por ocorrerem num período curto de tempo, controlam a ignição, a intensidade de propagação e o comportamento do incêndio.

1.2. Alterações climáticas e eventos de incêndios extremos

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC), os dados mais recentes relativos à temperatura média da superfície, um indicador chave para monitorizar as alterações climáticas, indicam que no período 2002-2021 a anomalia média foi de $1,01^{\circ}\text{C} \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ relativa aos tempos pré-industriais (IPCC, 2021). O aumento da temperatura global e a redução da precipitação, em geral, têm levado a episódios persistentes de clima excessivamente quente e seco. A vegetação existente nos espaços rurais está cada vez mais disponível para arder e para suportar a propagação do fogo com implicações no aumento e gravidade dos incêndios florestais. Isto significa que a probabilidade de ocorrência de incêndios com gravidade superior à observada no passado tende a ser maior. Dada a extensão de área ardida, estes incêndios são habitualmente denominados de “grandes incêndios” ou “mega incêndios” (Viegas et al., 2011). Existe também o conceito de “evento extremo de incêndio” que é um incêndio caracterizado por fenómenos piroconvectivos com difícil capacidade de controlo (intensidade da frente: 10,000 kW/m; velocidade de propagação > 50 m/min), propensão para focos secundários superior a 1 km e propagação errática do fogo (Tedim et al., 2018). Estes incêndios extremos estão geralmente associados a condições meteorológicas extremas.

Devido a um conjunto de fatores, o problema dos incêndios florestais tem vindo a agravar-se em vários países e regiões do Mundo em que já existia, e tem vindo a surgir, de forma crescente, noutras regiões onde era praticamente inexistente. De uma forma particular, Portugal, pelo seu clima temperado (verões longos e secos e invernos relativamente chuvosos que favorecem o desenvolvimento da vegetação), apresenta uma propensão natural para a ocorrência de incêndios florestais. No contexto atual de alterações climáticas, as condições meteorológicas extremas tendem a verificar-se com mais frequência e maior intensidade levando à ocorrência de grandes incêndios com efeitos devastadores no território e com o potencial para causar um elevado número de vítimas. Uma indicação deste facto é dada na **Figura 1**, em que se mostra a área ardida em cada um dos cinco maiores incêndios de cada ano.

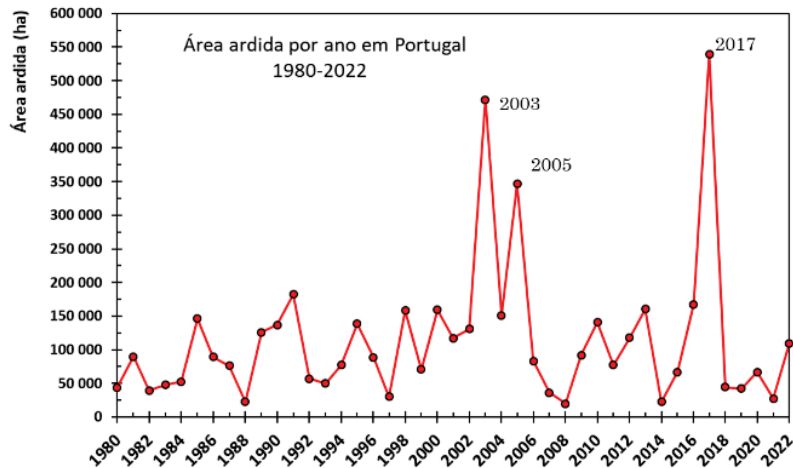


FIGURA 1: Cinco maiores incêndios por ano em Portugal, entre 1980 e 2022 (Fonte de dados: ICNE, 2022).

2. Parâmetros meteorológicos

A meteorologia pode ser caracterizada por um vasto conjunto de parâmetros, ou fatores, que podem ser divididos em dois grupos:

- i. Fatores condicionantes - favoráveis à ignição por condicionarem o teor de humidade dos combustíveis finos. Este grupo inclui os seguintes fatores: precipitação, radiação solar, temperatura do ar e humidade relativa.
- ii. Fatores determinantes – favoráveis à propagação do incêndio. Este grupo inclui os seguintes fatores: velocidade do vento, direção do vento, e estabilidade atmosférica.

É, assim, muito importante conhecer o papel desses fatores, ter a possibilidade de os prever ou de, pelo menos, estimar o modo como poderão variar num dado período de tempo. Sucintamente iremos descrever o papel de cada um destes fatores na ocorrência e propagação de incêndios.

A precipitação (P), geralmente expressa em milímetros (litros por metro quadrado), afeta o teor de água do solo e também o teor de humidade da vegetação (viva e morta), e afeta a ocorrência de incêndios de duas formas distintas (Viegas & Viegas, 1994): i) a persistência de chuva no início do ano hidrológico (outubro) favorece o crescimento da vegetação fina, que pode ficar disponível para suportar a propagação

dos incêndios no verão; ii) a ausência de chuva, com valores muito abaixo da norma climática¹, para um dada região pode conduzir a uma situação de seca ou de deficit hídrico que tem consequência o estado de vitalidade de diversos estratos da vegetação e favorece o estado geral de secura dos combustíveis florestais, que ficam disponíveis para suportar a propagação dos incêndios.

A **radiação solar** é a energia emitida pelo Sol através de ondas eletromagnéticas. A radiação contribui para o aquecimento do ar e do solo, e a orientação da sua inclinação irá condicionar a exposição solar, ou a sombra produzida pela vegetação e por elementos topográficos. Os materiais sólidos expostos à radiação solar, como é o caso dos componentes da vegetação ou da folhada no solo, podem atingir valores da ordem de 60° a 70°, ou seja, valores muito superiores ao da temperatura do ar.

A **temperatura do ar** (T) num dado local evolui num ciclo diurno por efeito da radiação solar, mas também pode variar pela entrada de massas de ar mais quentes ou mais frias. Este ciclo diurno assume grande importância nos incêndios, dado que valores elevados de temperatura favorecem a secagem dos combustíveis florestais. Uma anomalia das condições de temperatura do ar, designa-se por onda de calor². Em 2022, a onda de calor que se estabeleceu na Europa Ocidental, em julho, foi uma das mais extensas, mais intensas e de maior duração, comparável à vaga de 2003; ocorreu uma das mais ativas épocas de incêndios florestais.

A humidade relativa do ar (HR) expressa em percentagem a massa de vapor de água existente no ar, em relação à massa de vapor necessária para saturar o ambiente à mesma temperatura - um valor de **HR** igual a 100% corresponde a uma atmosfera saturada, em que há condensação; e um valor de **HR** de 30% ou menos, corresponde a um ar muito seco, que favorece igualmente a secagem dos combustíveis finos.

A **HR** possui também um ciclo diurno, à semelhança do ciclo da **T**. A **Figura 2** ilustra a variação destes dois parâmetros. Tipicamente, o ciclo normal da **HR**, tende a diminuir ao longo do dia, e a aumentar

¹ Valores médios de precipitação que caracterizam um local num período de 30 anos (1970-2000).

² Onda de calor é caracterizada pela persistência de valores altos da temperatura máxima diária (superior a 5°C ao valor médio diário no período de referência) num intervalo de pelo menos 6 dias consecutivos.

ao fim do dia; a T comporta-se de forma inversa (aumenta durante o dia por efeito da radiação solar) e diminui ao fim do dia.

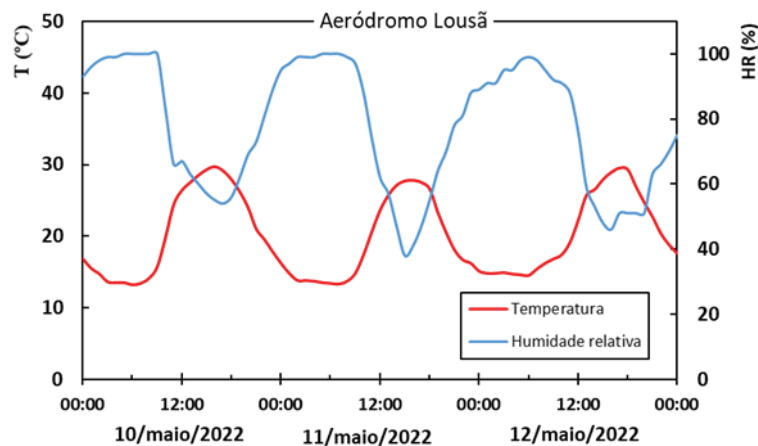


FIGURA 2: Exemplo do ciclo diurno da temperatura do ar (T) e da humidade relativa (HR) medido na estação meteorológica do IPMA no aeródromo da Lousã (ID 697).

O **vento atmosférico** (U) é um dos parâmetros mais importantes no comportamento do fogo (fator determinante). O vento é definido como o movimento horizontal do ar em relação à superfície da Terra, cuja velocidade é expressa em m/s e a direção em *graus*. Designamos de uma forma geral por vento, o ar atmosférico em movimento definido pelas seguintes grandezas:

- i. Módulo - distância percorrida por uma dada massa de ar numa unidade de tempo (velocidade ou intensidade do vento);
- ii. Direção – orientação referida ao rumo Norte – de onde o vento provem.

A velocidade do vento, assim como a direção, varia de um ponto para o outro, e num dado ponto varia continuamente ao longo do tempo. Sobreposta a esta variação lenta, existe outra devido à turbulência do escoamento do vento, que se manifesta por variações bruscas da velocidade do vento num curto período de tempo (rajadas). Essas variações são têm uma influência direta sobre as condições de propagação do fogo (Viegas et al., 2011).

O perfil da velocidade do vento aumenta com a altitude (é zero junto ao solo e vai aumentando até atingir um valor máximo no topo

dessa camada). No entanto, num incêndio florestal, este perfil pode ser alterado devido ao **vento induzido pelo fogo**, e que pode levar ao desenvolvimento rápido do incêndio mesmo que o vento atmosférico seja baixo. Assim, num incêndio florestal o vento é constituído pela soma do vento atmosférico e do vento induzido pelo fogo.

A estabilidade atmosférica é caracterizada pela variação da temperatura do ar na vertical, medida pelo seu gradiente de temperatura, ou taxa de variação, dT/dz , [$^{\circ}\text{C}/\text{m}$], que determina se a atmosfera é estável, neutra ou instável. Este parâmetro favorece ou inibe o movimento vertical do ar. Um foco de incêndio que se inicie ou esteja ativo em condições de instabilidade, tem as suas correntes ascensionais amplificadas que pode favorecer o seu desenvolvimento rápido. Em Portugal, a interação entre a atmosfera e o fogo, associada à presença de uma trovoadas, terá condicionado fortemente o desenvolvimento do incêndio de Pedrógão Grande a 17 de junho de 2017 (Pinto et al., 2022).

3. Teor de humidade dos combustíveis finos mortos

O teor de humidade a quantidade de água presente no combustível, expresso em percentagem da massa seca do mesmo.

O teor de humidade dos combustíveis mortos (m_f) depende essencialmente das condições meteorológicas pois a água é perdida principalmente por evaporação (Viegas et al., 1992; Lopes, 2013). É um parâmetro determinante para a análise das condições de ignição de um incêndio, da viabilidade de focos secundários e na extensão da área ardida.

O teor de humidade dos combustíveis mortos varia usualmente entre 3-4% e 30% (Ribeiro, 2011). Valores na ordem dos 5 a 7% são indicativos de um perigo extremo de incêndio florestal, havendo forte possibilidade do mesmo apresentar características extremas no seu comportamento (fogos de copas, projeções de partículas incandescentes, velocidades e intensidades muito elevadas) (Ribeiro, 2011). A variação de m_f no período antes e durante o desenvolvimento de grandes incêndios florestais é fundamental para entender os eventos extremos que ocorreram.

O Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF) da ADAI, tem, desde o ano de 1987, um programa de medição diário do teor de humidade de um conjunto de combustíveis finos representativos da

floresta na Região Centro de Portugal. O local de colheita é próximo do aeródromo da Lousã e as amostras são recolhidas, durante o período de Verão, diariamente entre as 12 e as 13 horas locais e analisadas no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF), situado no aeródromo. No âmbito do projeto MCFIRE, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PCIF/MPG/0108/2017), nos últimos anos estes dados têm sido disponibilizados numa página online, para Coimbra (Lousã), Viseu, Viana do Castelo e Faro (www.adai.pt/mcfire). A **Figura 3** apresenta o teor de humidade dos combustíveis das espécies (verdes e secas) que foram medidas na Lousã no ano de 2022.

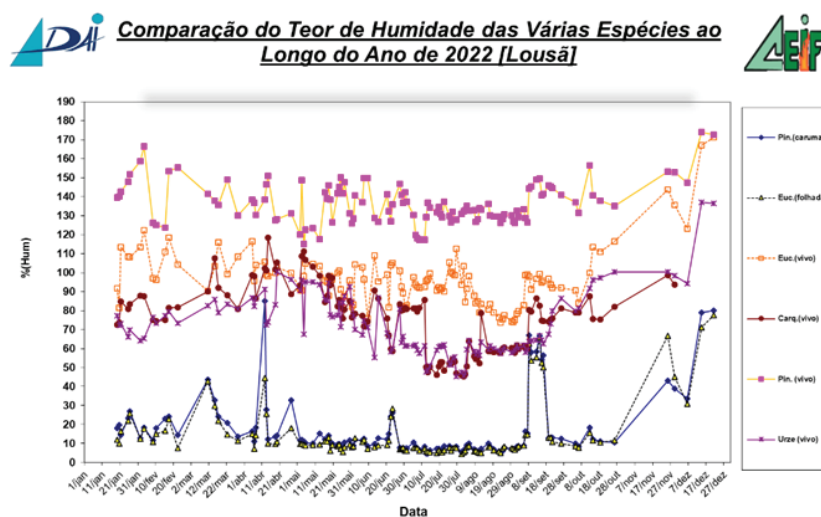


FIGURA 3: Teor de humidade das espécies medidas na Lousã no ano de 2022 (MCFIRE/ADAI, 2022). Legenda: Pin (caruma) – folhas secas de *Pinus pinaster*; Euc. (folhada) – folhas secas de *Eucalyptus globulus*; Euc. (vivo) – folhas verdes de *Eucalyptus globulus*; Carq. (vivo) – folhas verdes de *Chamaespartium tridentatum*; Pin. (vivo) – folhas verdes de *Pinus pinaster*; Urze (vivo) – folhas verdes de *Calluna vulgaris*.

4. Perigo de incêndio – disposições legais

Existe a possibilidade de traduzir de forma objetiva o efeito conjugado dos fatores meteorológicos que condicionam o perigo de incêndio, tal é feito através de sistemas de indexação de perigo.

Em Portugal, de acordo com a legislação em vigor (DL nº 82, de 13 de outubro de 2021 - DRE, 2021), o RCM (Risco Conjuntural e

Meteorológico) é utilizado para definir o nível de perigo de incêndio de uma região. O RCM é normalmente denominado “Índice de perigo de incêndio rural” e dirige-se principalmente à população para definir restrições e condicionamentos (IPMA, 2022).

O RCM resulta da integração de dois índices:

- i. Índice meteorológico de perigo de incêndio - FWI (*Fire Weather Index*). É baseado exclusivamente na meteorologia (*T*, *HR*, *U* e *P*), e é atualizado diariamente pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). O FWI do sistema canadiano é um indicador da intensidade da frente de fogo se um incêndio se iniciar, associado às condições meteorológicas (Van Wagner, 1987);
- ii. Índice de perigosidade de incêndio rural – É atualizado anualmente pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e integra duas componentes:
 - Componente estrutural de periodicidade de décadas (2020-2030);
 - Componente conjuntural de periodicidade anual (áreas ardiadas do último triénio).

A integração do FWI e do índice de perigosidade de incêndio rural é realizada pela aplicação de uma matriz de ponderação (IPMA, 2022). O RCM resulta numa escala que define 5 níveis de perigo: Reduzido, Moderado, Elevado, Muito Elevado, e Máximo. Apesar deste índice destinar-se sobretudo à população, tem sido observado em estudos recentes que a interpretação das condições meteorológicas, nomeadamente extremas, são subestimadas no RCM (Viegas et al., 2017, 2019).

O RCM é determinado ao nível do município e a sua consulta pode ser feita na página web do IPMA (<https://www.ipma.pt/pt/riscoincendio/rcm.pt/>) e do ICNF (<https://www.icnf.pt/florestas/gfr/dfcirif>). Alguns municípios também costumam disponibilizar esta informação nas suas páginas web.

Antes de realizar atividades florestais e agrícolas (queimas e queimadas, maquinaria e equipamento, fogueiras e outras formas de fogo, acesso e circulação em área florestais) deve consultar o perigo de incêndio diário, já que existem restrições associadas a cada classe de perigo.

Existem restrições e condicionamento durante o período crítico que é definido de **1 de julho a 30 de setembro**, podendo a sua duração

ser alterada, em situações excepcionais, por despacho do membro do governo responsável pela área das florestas (Lei n.º 76/2017, de 17 de Agosto, *DRE*, 2017) e durante **dias com perigo de incêndio “Muito Elevado” ou Máximo** (Decreto-Lei 82/2021, de 13 de outubro). Aconselhamos a leitura do documento com informação consolidada pelo ICNF sobre *Restrições associadas ao índice de perigo de incêndio rural diário* que pode ser encontrada na seguinte fonte online:

https://fogos.icnf.pt/SGIF2010/InformacaoPublicaDados/Condicionantes_PerigoIncendiosRural.pdf

5. Considerações finais

Resumimos aqui as principais conclusões a reter sobre este tema:

- O clima e a meteorologia são fatores importantes para a ignição, propagação e comportamento dos incêndios florestais, mas os incêndios são também influenciados por outros fatores (topografia, vegetação);
- Num cenário de alterações climáticas, a probabilidade de ocorrência de incêndios com gravidade superior à observada no passado tende a ser maior;
- Ter a possibilidade de prever os fatores meteorológicos e, estimar o modo como poderão variar num dado período de tempo, é fundamental para compreender a propagação de um incêndio florestal e o potencial que poderá ter para se tornar num grande incêndio;
- Os valores da precipitação acumulada constituem um bom indicador da gravidade de um ano relativamente ao perigo de incêndio florestal;
- O ciclo diurno da temperatura e da humidade relativa do ar assume grande importância no contexto da gestão dos incêndios florestais. No período noturno a persistência de valores altos de temperatura e valores baixos de humidade relativa, leva à ausência de recuperação do teor de humidade dos combustíveis mortos, e consequentemente a incêndios mais intensos no período noturno;
- É importante dispor de estimativas mais precisas do teor de humidade dos combustíveis finos mortos nas zonas dos incêndios. Quando o seu valor é inferior a 5% existe forte possibilidade de o incêndio apresentar características extremas no seu comportamento;

- Num incêndio, deve considerar-se que o vento local que é constituído pela soma do vento atmosférico e do vento induzido pelo fogo;
- O efeito conjugado dos fatores meteorológicos (T, HR, R, U), e dos fatores estruturais, que condicionam o perigo de incêndio em Portugal é feito através do Índice Conjuntural e Meteorológico (RCM), que define restrições e condicionamentos à população. No entanto, a interpretação das condições meteorológicas extremas, são subestimadas no RCM e deveriam consideradas.

6. Bibliografia

- DRE. (2017). *Lei n.º 76/2017, de 17 de agosto*. Diário da República n.º 158/2017, Série I de 2017-08-17. https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=2747&tabela=leis&so_miolo=
- DRE. (2021). DL 82/2021 de 13 de outubro - Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR). In *Diário da República - I Série - B*. https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=3453&tabela=leis&so_miolo=
- ICNF. (2022). *GFR | Estatísticas*. <https://www.icnf.pt/florestas/gfr/gfr-gestaoinformacao/estatisticas>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). The Physical Science Basis - Climate Change 2021. In *Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the IPCC*. https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- IPMA. (2022). *Perigo de Incêndio Rural - Disposições Legais*. <https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/risco.incendio/index.jsp?page=pirdl.xml>
- Lopes, S. (2013). *Modelos de previsão do teor de humidade de combustíveis florestais*. University of Coimbra.
- MCFIRE/ADAI. (2022). *Consulta de medições da humidade de combustíveis*. <https://adai.pt/mcfire/medicoes/>
- Pinto, P., Silva, Á. P., Viegas, D. X., Almeida, M., Raposo, J., & Ribeiro, L. M. (2022). Influence of Convectively Driven Flows in the Course of a Large Fire in Portugal: The Case of Pedrógão Grande. *Atmosphere*, 13(3), 1–34. <https://doi.org/10.3390/atmos13030414>

- Ribeiro, L. . (2011). Interface Urbano-Florestal. In D.X. Viegas (Ed.), *Incêndios Florestais*. Verlag Dashöfer.
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M., Delogu, G., Fernandes, P., Ferreira, C., McCaffrey, S., McGee, T., Parente, J., Paton, D., Pereira, M., Ribeiro, L., Viegas, D., & Xanthopoulos, G. (2018). Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. *Fire*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.3390/fire1010009>
- Van Wagner, C. E. (1987). Development and structure of the Canadian forest fire weather index system. In *Forestry*.
- Viegas, D., & Viegas, M. (1994). 1994 - Viegas_Relationship between rainfall burne.pdf. *International Journal of Wildland Fire*, 4(1), 11–16.
- Viegas, D.X., Ribeiro, L. M., & Rossa, C. (2011). *Incêndios Florestais* (D.X. Viegas (ed.)). Verlag Dashöfer.
- Viegas, Domingos Xavier, Almeida, M. A., Ribeiro, L. M., Raposo, J., Viegas, M. T., Oliveira, R., Alves, D., Pinto, C., Rodrigues, A., Ribeiro, C., Lopes, S., Jorge, H., & Viegas, C. X. (2019). *Análise dos Incêndios Florestais Ocorridos a 15 de outubro de 2017*.
- Viegas, Domingos Xavier, Almeida, M. F., Ribeiro, L. M., Raposo, J., Viegas, M. T., Oliveira, R., Alves, D., Pinto, C., Jorge, H., Rodrigues, A., Lucas, D., Lopes, S., & Silva, L. F. (2017). *O complexo de incêndios de Pedrógão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017*. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF/ADAI/LAETA).
- Viegas, Domingos Xavier, Viegas, T. S. P., & Ferreira, D. (1992). Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in central Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 2(2), 69–86. <https://doi.org/10.1071/WF9920069>