

# A ordem mundial do fogo

Carlos C. Da Camara<sup>1</sup>, José M. C. Pereira<sup>2</sup>, Renata Libonati<sup>3</sup>, Sílvia A. Nunes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa  
cdcámara@fc.ul.pt; sanunes@fc.ul.pt

<sup>2</sup> Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa  
jmcperreira@isa.ulisboa.pt

<sup>3</sup> Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
renata.libonati@igeo.ufrj.br

*The observations provide the basis for monitoring the climate and are essential to test any theory of climate.*

José P. Peixoto and Abraham H. Oort, *Physics of Climate* (1992)

## Introdução

O clima é definido como um conjunto de grandezas médias completadas por momentos estatísticos de ordem mais elevada (tais como variâncias, covariâncias, correlações, etc.) que caracterizam a estrutura e o comportamento, ao longo de um dado período de tempo, do sistema climático, em particular dos seus subsistemas atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera e biosfera. Esta definição, que consta logo da primeira página do livro *Physics of Climate*, da autoria de José Pinto Peixoto e Abraham Oort, publicado em 1992 pelo *American Institute of Physics*, implica que o clima não se refere a eventos meteorológicos individuais, mas a uma coletividade de eventos que tiveram lugar numa dada região e num dado período de tempo. Por isso, o clima não se “vê”, mas apenas nos “apercebemos” dos seus efeitos, os quais se revelam, seja no tipo de vegetação natural, seja no edificado rural tradicional, seja na traça das cidades antigas, seja até nos trajes típicos das populações.

Em particular, os efeitos do clima traduzem-se nos grandes padrões espaço-temporais de atividade exibida pelos fogos de vegetação (Andela et al., 2019), os quais resultam do controlo do clima sobre a produtividade da vegetação e sobre a acumulação de combustível e respetivo teor de humidade, a que se adicionam os efeitos das ações humanas, responsáveis pela maioria das ignições nos ecossistemas que ardem, mas também pela diminuição do tamanho dos fogos decorrente da fragmentação da paisagem e da supressão das ignições (Bowman et al., 2009).

A caracterização dos diferentes regimes de fogo é feita através de um conjunto de parâmetros que descrevem quais os fogos que ocorrem num dado local e numa dada altura, descrição só possível graças à observação da Terra por meio de satélites na medida em que constitui o único meio de obtenção de informação sistemática à escala global e por períodos de tempo suficientemente longos. Para além de fornecer a localização e a data dos focos de calor (*hot spots*), os satélites permitem

ainda estimar a potência radiativa libertada pelo fogo (*fire radiative power*, FRP), a qual é uma medida da taxa a que se está a dar a combustão e, assim, quantificar a biomassa consumida (Wooster et al., 2005).

No presente artigo, iremos mostrar, com base em observações por satélite, que o FRP dos fogos de vegetação, seja à escala global, seja para áreas caracterizadas por um dado regime de fogo, pode ser modelada através de um modelo estatístico universal com 8 parâmetros. A determinação destas distribuições proporciona uma ferramenta muito útil que, não só permite caracterizar o comportamento do fogo numa dada região e estudar os efeitos nesse comportamento devidos às alterações climáticas e às modificações na paisagem e na ocupação do território, como ainda calcular a probabilidade de que determinados fogos de vegetação, em presença de determinadas condições meteorológicas adversas, excedam limiares críticos de FRP que impossibilitem o seu combate (Pinto et al., 2018).

## Fogos ativos observados a partir do Espaço

Os satélites atuais de observação da superfície da Terra resultam de uma longa evolução que recua até 1 de abril de 1960, quando foi lançado o TIROS 1 (*Television Infrared Observation Satellite*), o primeiro satélite de observação meteorológica, cuja missão durou 75 dias dos 90 planeados. Tal como o nome do satélite indica, são especialmente úteis para a observação da Terra a janela óptica, que abarca as regiões do visível (*visible*, VIS, entre 0,4  $\mu\text{m}$  e 0,7  $\mu\text{m}$ ) e do infravermelho próximo (*near infrared*, NIR, entre 0,7  $\mu\text{m}$  e 1,4  $\mu\text{m}$ ) e a janela do infravermelho, que compreende as regiões de pequeno comprimento de onda (*short-wave infrared*, SWIR, entre 1,4  $\mu\text{m}$  e 3  $\mu\text{m}$ ), do infravermelho

médio (*middle infrared*, MIR, entre 3  $\mu\text{m}$  e 8  $\mu\text{m}$ ) e do infravermelho térmico (*thermal infrared*, TIR, entre 8  $\mu\text{m}$  e 15  $\mu\text{m}$ ). Estas janelas cobrem regiões do espectro eletromagnético onde a atmosfera é bastante transparente (isto é, onde se tem valores elevados de fator de transmissão da radiação) permitindo que a energia refletida ou emitida pela superfície alcance o sensor (Figura 1).

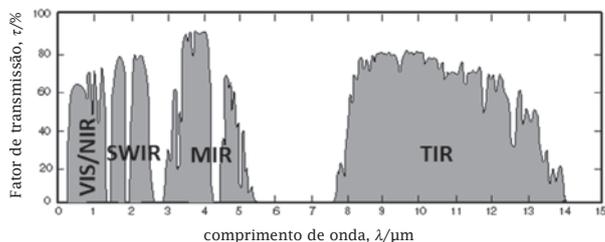


Figura 1 - Janelas atmosféricas (adaptado de *Atmosfaerisk\_spredning.png* in wikipedia).

Os fogos de vegetação tipicamente alcançam temperaturas no intervalo 500 K – 1200 K pelo que, atendendo à lei dos deslocamentos de Wien, os picos de radiação eletromagnética emitida se localizam no intervalo entre 3  $\mu\text{m}$  e 5  $\mu\text{m}$  (MIR); já as temperaturas típicas da superfície do solo são da ordem de 300 K, pelo que os picos de emissão se situam em torno de 10  $\mu\text{m}$  (TIR). O contraste entre as assinaturas radiativas registadas nos canais do MIR e do TIR permite identificar os *hot spots* que, depois de analisados no contexto da área circundante, são identificados como fogos de vegetação (Amraoui et al., 2010), podendo ainda estimar-se a respetiva FRP libertado (Wooster et al., 2003).

O *Fire Information for Resource Management Sytem* (FIRMS) da NASA disponibiliza um arquivo que contém, entre outra informação, a localização, a data e a hora, a FRP e a fiabilidade da medição dos *hot spots* detetados pelos radiómetros MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que se encontram a bordo dos satélites Terra e Aqua. Trata-se de satélites com órbita quase polar síncrona solar, tendo-se, no caso do Terra, que a órbita atravessa o equador de norte para sul durante a manhã e, no caso do Aqua, atravessa o equador de sul para norte durante a tarde, sendo a superfície do Globo coberta pelos dois radiómetros a cada um ou dois dias.

O arquivo do FIRMS disponibiliza informação até ao presente desde novembro de 2000 para o Terra e de julho de 2002 para o Aqua, permitindo caracterizar os grandes padrões espaço-temporais dos fogos de vegetação (Figura 2), os quais são determinados pelo tipo de ecossistema, pelas condições meteorológicas (temperatura, humidade do ar, velocidade do vento, precipitação, etc.), pela variabilidade interanual do clima (secas, El Niño/La Niña, etc.) e pelas atividades humanas ligadas a práticas agrícolas e cinegéticas (Dwyer et al., 2000; Le Page et al., 2008).

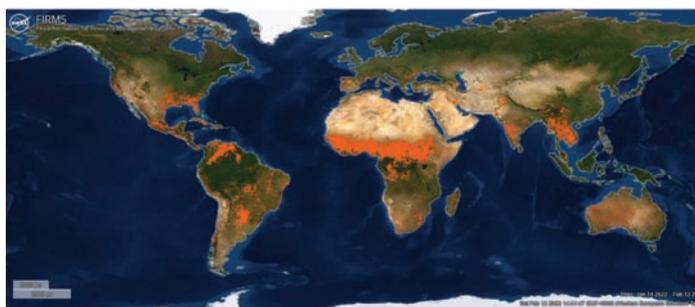


Figura 2 - Fogos ativos (pontos laranja) identificados pelos radiómetros MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua durante o período de 30 dias, de 14 de janeiro a 12 de fevereiro de 2022 (fonte: [https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/active\\_fire/](https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/active_fire/)).

## Modelos estatísticos de FRP

A informação de base é constituída por 85 412 052 valores de FRP associados a todos os *hot spots* (identificados como fogos de vegetação ativos) registados no arquivo FIRMS durante o período de 19 anos, entre 2002-07-04 e 2002-07-03, sendo a data de início aquela a partir da qual se passa a dispor de observações provenientes dos dois radiómetros MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua. Dado o enorme volume de dados, reduziu-se a dimensão da amostra fazendo uma escolha aleatória de 1 milhão de valores de FRP. Através da técnica gráfica do papel de probabilidade, procurou-se identificar uma distribuição estatística que se ajustasse à amostra, tendo-se verificado que o logaritmo da FRP ( $\log_{10}FRP$ ) segue aproximadamente uma log-normal (Figura 3, painel esquerdo). No entanto, os valores mais extremos da amostra (superiores ao percentil 85 e inferiores ao percentil 5) afastam-se da log-normal, resultado concordante com estudos anteriores que mostram que, para os fogos ativos na região do Mediterrâneo, os valores diários da duração e da energia radiativa libertada, detetados em intervalos de 15 minutos a partir de um satélite geostacionário, apresentam distribuições cujas caudas superiores se podem modelar através de distribuições de Pareto generalizadas (DaCamara et al., 2014; Pinto et al., 2018). Tendo em conta os resultados anteriores, ajustou-se à amostra de  $\log_{10}FRP$ , uma distribuição cujo corpo central é uma log-normal truncada e cujas caudas são Pareto generalizadas. Trata-se de uma distribuição que é caracterizada por 8 parâmetros, respetivamente os dois valores de transição do corpo central da distribuição para as caudas superior e inferior, os dois parâmetros de localização e de escala da log-normal truncada (corpo central) e os dois pares de parâmetros de forma e de escala das Pareto generalizadas (caudas superior e inferior).

Conforme se pode observar na Figura 3, a qualidade do ajuste obtido é muito elevada, uma vez que a função de distribuição de probabilidade acumulada do modelo ajustado praticamente coincide com a função de distribuição de probabilidade empírica obtida diretamente a partir da amostra (painel central) e a função densidade de probabilidade segue muito de perto o histograma da amostra (painel direito). Uma vez que o comportamento dos fogos de vegetação varia de região para região do Globo consoante as características regionais do clima, o tipo de paisagem e a atividade

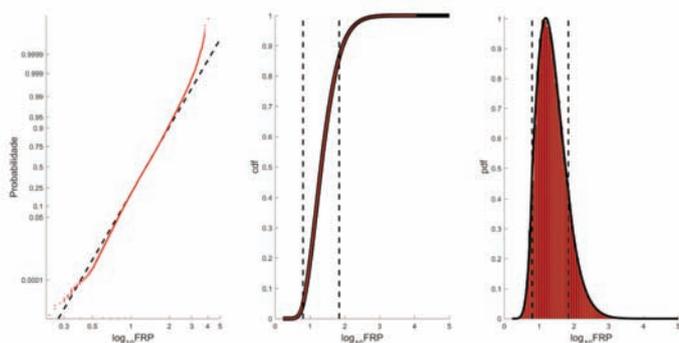


Figura 3 - Distribuição à escala global dos valores de  $\log_{10}$ FRP de uma amostra constituída por 1 milhão de fogos ativos. Painel esquerdo: gráfico em papel de probabilidade; painel central: função de distribuição de probabilidade acumulada do modelo ajustado (curva preta a grosso) e função de probabilidade acumulada empírica obtida a partir da amostra (curva vermelha a fino); painel direito: função densidade de probabilidade do modelo ajustado (curva preta a grosso) e histograma da amostra (barras a vermelho). As duas linhas verticais a tracejado nos painéis central e direito delimitam o corpo central da distribuição.

humana, será de esperar que essas variações se reflitam nos modelos estatísticos de  $\log_{10}$ FRP para as várias regiões. Num estudo recente (Pereira et al., 2022), baseado numa análise de 15 anos de fogos ativos detetados pelo sensor MODIS, identificam-se três macrorregimes de fogo que são interpretados de acordo com o tipo de clima (classificação de Köppen) e com os padrões ecológicos criados pelas interações continuadas entre ecossistemas e humanos (antromas). Os três macrorregimes (cada um subdividido num regime prototípico e num regime de transição) são os seguintes (Figura 4): o macrorregime dos fogos selvagens (*wild*), ou incêndios, que ocorre predominantemente nas zonas florestadas e de estepe dos climas frios e também nas zonas de vegetação árida e de pastagens dos climas desérticos, caracteriza-se pelo caráter esporádico do fogo e pela curta duração da sua época de ocorrência; o macrorregime dos fogos domados (*tamed*), que predomina nas pastagens e áreas agrícolas de climas tropicais, caracteriza-se pela muito elevada incidência de fogo durante a época seca; finalmente, o macrorregime dos fogos domesticados (*domesticated*), que ocorre tipicamente em áreas agrícolas e nas aldeias dos climas húmidos, temperado quente e tropical, caracteriza-se pela baixa incidência de fogo.

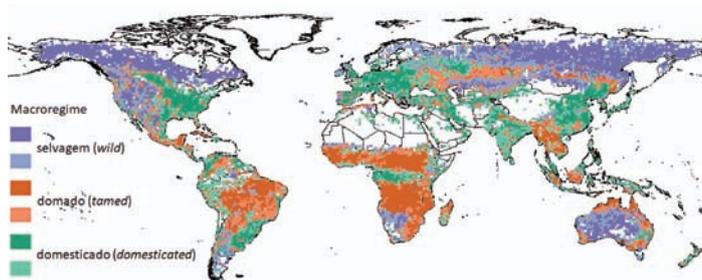


Figura 4 - Distribuição global dos macrorregimes de fogo: selvagem (a violeta), domado (a laranja) e domesticado (a verde). Para cada um dos regimes, as cores escura e clara identificam as subdivisões em regime prototípico e regime de transição. O mapa foi elaborado com base na informação proveniente de Pereira et al. (2022).

A informação de base constituída por 19 anos de fogos ativos provenientes do arquivo FIRMS foi então estratificada de acordo com os três macrorregimes, ficando as classes constituídas por 67 324 278 fogos domados, 9 768 127 fogos domesticados e 8 319 647 fogos selvagens que representam,

respetivamente, 79 %, 11 % e 10 % do total de fogos ativos. Para cada um dos três macrorregimes, repetiu-se o procedimento atrás descrito para o total de fogos ativos, tendo-se obtido os modelos representados na Figura 4, cuja qualidade elevada do ajuste se traduz pela concordância entre as funções de distribuição de probabilidade acumulada dos modelos ajustados e as respetivas funções empíricas obtidas a partir dos dados (painel esquerdo). De notar, também na Figura 4, o deslocamento para a direita das funções de distribuição de probabilidade acumulada (painel esquerdo) e das respetivas funções densidade de probabilidade (painel direito) quando se vai do macrorregime dos fogos domesticados para o dos domados e para o dos selvagens, o que indica uma propensão cada vez maior para terem lugar eventos extremos com grande potência radiativa libertada, propensão essa associada a uma cada vez menor intervenção humana traduzida numa menor fragmentação da paisagem e numa menor supressão das ignições.

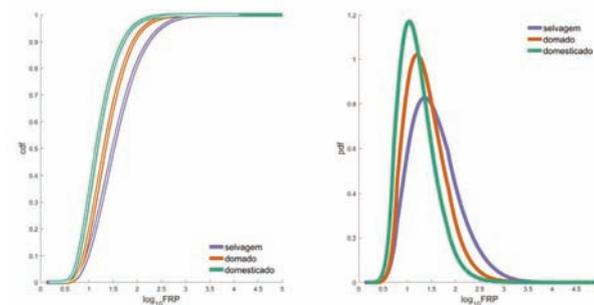


Figura 5 - Distribuição à escala global dos valores de  $\log_{10}$ FRP para amostras constituídas por 1 milhão de fogos ativos para os macrorregimes de fogos selvagens, domados e domesticados. Painel central: funções distribuição de probabilidade acumulada dos modelos ajustados (curva coloridas a grosso) e correspondentes funções de probabilidade acumulada empírica obtidas a partir da amostra (curvas brancas a fino); painel direito: funções densidade de probabilidade do modelo ajustado.

Os modelos estatísticos de FRP, do tipo dos apresentados neste estudo, constituem uma ferramenta muito útil na medida em que permitem condensar a informação relativa a um dado regime de fogo, ecossistema ou domínio de interesse num número relativamente baixo de parâmetros, facilitando as comparações, quer entre regiões, quer entre diferentes períodos temporais, seja para o tempo presente ou para cenários do clima futuro. De referir, ainda, que estes modelos permitem calibrar índices meteorológicos de perigo de incêndio, com base nos quais se elaboram cartas com classes de perigo meteorológico que dão suporte operacional aos decisores no âmbito da prevenção e combate aos fogos rurais e florestais (DaCamara et al., 2018).

### Considerações finais

A distribuição global dos tipos de clima e os grandes padrões climáticos de variabilidade espaço-temporal, como o El Niño – Oscilação Austral (El Niño – Southern Oscillation, ENSO) e a Oscilação do Atlântico Norte (North Atlantic Oscillation; NAO) são o resultado de uma complexidade de processos

que, em última análise, são regulados pelos grandes princípios da física da conservação da massa, da água, do momento angular e da energia e traduzem a resposta do sistema climático com vista a alcançar o equilíbrio termohidrodinâmico que garanta a continuidade do seu funcionamento em harmonia com os forçamentos radiativos a que se encontra sujeito. A monitorização permanente desses processos é, pois, essencial para que se possa alcançar um conhecimento profundo da sua natureza e formular modelos físico-matemáticos que permitam replicar o clima observado de uma forma cada vez mais realista e, para diferentes cenários da atividade humana, simular as evoluções expectáveis, de uma forma cada vez mais confiável, tendo em especial atenção o impacto que as mudanças antropogénicas do clima possam vir a ter no aumento de ocorrência de episódios extremos em determinadas regiões. Mencione-se, apenas a título de exemplo, os verões excepcionalmente quentes de 2003 e de 2010 que foram afetados por mega-ondas de calor que bateram recordes de 500 anos em metade do continente europeu (Barriopedro et al., 2010), o agravamento no século XXI da intensidade e extensão das secas na Península Ibérica (Liberato et al., 2021) e a seca de 2021 no Brasil, a mais severa dos últimos 20 anos, desde que se dispõe de registos por satélite, tendo as descargas do rio Paraná, responsável por dois quintos da produção de energia hidroelétrica, caído para os níveis mais baixos dos últimos 91 anos (Getirana et al., 2021).

No âmbito da monitorização do clima, a identificação e caracterização dos grandes regimes de fogo e dos fatores que condicionam a variabilidade espaço-temporal da atividade do fogo são especialmente importantes, não só porque os fogos resultam da interação complexa de fatores meteorológicos, paisagísticos e humanos, mas também porque constituem uma fonte de gases com efeito de estufa. Mencione-se, novamente a título de exemplo, o estudo para a bacia mediterrânica relativo ao aumento de probabilidade de grandes incêndios induzidos pelas condições térmicas (Ruffault et al., 2020), o estudo da influência dos tipos de tempo (*weather types*) no regime de fogos em Portugal (DaCamara e Trigo, 2018), os estudos sobre a severidade da estação de fogos na Amazônia (Libonati et al., 2021) e sobre as características dos fogos no Cerrado (Silva et al., 2021) e, finalmente, os estudos sobre a gravidade sem precedentes dos incêndios ocorridos em 2020 no Pantanal (Libonati et al., 2020; 2022).

A observação de fogos ativos a partir do espaço assume, portanto, um papel fundamental, devendo mencionar-se, para além do arquivo FIRMS da NASA utilizado neste estudo, o arquivo de Potência Radiativa de Fogo (*Climate Data Record of Fire Radiative Power*) da LSA SAF (*Satellite Application Facility on Land Surface Analysis*) da EUMETSAT (Trigo et al., 2011) que contém observações efetuadas a

cada 15 minutos pelos satélites geostacionários MSG (*Meteosat Second Generation*), cobrindo para o período 2004-2015 um disco centrado no ponto (0°N, 0°E) que abarca todo o continente africano, a Europa mediterrânica e o bordo leste da América do Sul.

Conforme sublinhado por Peixoto e Oort em *Physics of Climate*, a climatologia tem uma base observacional, pelo que o seu desenvolvimento depende crucialmente da qualidade das medições e dos sistemas de observação. Os progressos na monitorização dos fogos ativos a partir do espaço, graças a um número crescente de satélites portadores de instrumentos com resoluções espaciais, temporais e espectrais cada vez mais finas, irão proporcionar um entendimento cada vez mais profundo das interações complexas entre clima, vegetação e humanos e, assim, contribuir para um aperfeiçoamento dos modelos do clima os quais, por sua vez, contribuirão para que tenhamos uma melhor compreensão dos processos geradores do clima – ou, como acrescentaria o Professor José Pinto Peixoto (1922-1996) que admirava a visão franciscana da ciência, para que melhor apreciemos a obra da Criação.

#### Referências

- [1] Amraoui M., C. C. DaCamara, J. M. C. Pereira JMC, 2010: *Detection and monitoring of African vegetation fires using MSG-SEVIRI imagery. Remote Sens. Environ.* 114, 1038-1052, doi:10.1016/j.rse.2009.12.019.
- [2] Andela, N., D. C. Morton, L. Giglio, R. Paugam, Y. Chen, S. Hantson, G. R. van der Werf, J. T. Randerson, 2019: *The Global Fire Atlas of individual fire size, duration, speed and direction, Earth Syst. Sci. Data*, 11, 529-552, doi:10.5194/essd-11-529-2019.
- [3] Barriopedro D., E. Fisher, J. Luterbacher, R. M. Trigo, R. García-Herrera, 2010: *The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe, Science*, 322, 220, doi: 10.1126/science.1201224.
- [4] Bowman, D. M. J. S., J. K. Balch, P. Artaxo, W. J. Bond, J. M. Carlson, M. A. Cochrane, C. M. D'Antonio, R. S. Defries, J. C. Doyle, S. P. Harrison, F. H. Johnston, J. E. Keeley, M. A. Krawchuk, C. A. Kull, J. B. Marston, M. A. Moritz, I. C. Prentice, C. I. Roos, A. C. Scott, T. W. Swetnam, G. R. van der Werf, S. J. Pyne, 2009: *Fire in the Earth system, Science*, 324, 481-484, doi:10.1126/science.1163886.
- [5] DaCamara C. C., T. J. Calado, S. L. Ermida, I. F. Trigo, M. Amraoui, K. F. Turkman KF, 2014: *Calibration of the Fire Weather Index over Mediterranean Europe based on fire activity retrieved from MSG satellite imagery, Int. J. Wildland Fire*, 23(7), 945-958, doi: 10.1071/WF13157.
- [6] DaCamara C. C., R. M. Trigo, 2018: *Circulation weather types and their influence on the fire regime in Portugal. In "Advances in Forest Fire Research 2018"* (D. X. Viegas, ed.), pp. 372-380, Imprensa da Universidade de Coimbra, ISBN 978-989-26-16-506, doi: 10.14195/978-989-26-16-506\_40.
- [7] DaCamara C. C., R. M. Trigo, M. M. Pinto, S. A. Nunes, I. F. Trigo, C. M. Gouveia, M. Rainha, 2018: *CeaseFire: a website to assist fire managers in Portugal. In "Advances in Forest Fire Research 2018"* (D. X. Viegas, ed.), pp. 941-949, Imprensa da Universidade de Coimbra, ISBN 978-989-26-16-506, doi: 10.14195/978-989-26-16-506\_103.

- [8] Dwyer E., J. M. C. Pereira, J.-M. Grégoire, C. C. DaCamara, 2000: *Characterization of the spatio-temporal patterns of global fire activity using satellite imagery for the period April 1992 to March 1993*. J. Biogeogr. 27, 57-69, doi: 10.1046/j.1365-2699.2000.00339.x.
- [9] Getirana, A., R. Libonati, M. Cataldi, 2021: *Brazil is in water crisis - it needs a drought plan*, Nature 600, 218-220, doi: 10.1038/d41586-021-03625-w.
- [10] Le Page Y., J. M. C. Pereira, R. M. Trigo, C. C. DaCamara, D. Oom, B. Mota, 2008: *Global fire activity patterns (1996-2006) and climatic influence: an analysis using the World Fire Atlas*. Atmospheric Chem. Phys. 8, 1911-1924. doi:10.5194/acp-8-1911-2008.
- [11] Liberato, M. L. R., I. Montero, C. Gouveia, A. Russo, A. M. Ramos, R. M. Trigo, 2021: *Rankings of extreme and widespread dry and wet events in the Iberian Peninsula between 1901 and 2016*. Earth Syst. Dynam., 12, 197-210, doi: 10.5194/esd-12-197-2021.
- [12] Libonati R., C. C. DaCamara, L. F. Peres, L. A. Sander de Carvalho, L. C. Garcia, 2020: *Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands*, Nature 588, 217-219, doi:10.1038/d41586-020-03464-1
- [13] Libonati R., J. M. C. Pereira, C. C. DaCamara, L. F. Peres, D. Oom, J. A. Rodrigues, F. L. M. Santos, R. M. Trigo, C. M. Gouveia, F. Machado-Silva, A. Enrich-Prast, J. M. N. Silva, 2021: *Twenty-first century droughts have not increasingly exacerbated fire season severity in the Brazilian Amazon*, Sci. Rep. 11, 4400, doi:10.1038/s41598-021-82158-8
- [14] Libonati R., J. M. C. Pereira, C. C. DaCamara, L. F. Peres, D. Oom, J. A. Rodrigues, F. L. M. Santos, R. M. Trigo, C. M. Gouveia, F. Machado-Silva, A. Enrich-Prast, J. M. N. Silva, 2021: *Twenty-first century droughts have not increasingly exacerbated fire season severity in the Brazilian Amazon*, Sci. Rep. 11, 4400, doi:10.1038/s41598-021-82158-8
- [15] Pereira, J. M. C., D. Oom, P. C. Silva, A. Benali, 2022: *Wild, Tamed, and Domesticated: three fire macroregimes for global pyrogeography in the Anthropocene*, Ecological Applications (in press).
- [16] Pinto M. M., C. C. DaCamara, I. F. Trigo, R. M. Trigo, K. F. Turkman, 2018: *Fire danger rating over Mediterranean Europe based on fire radiative power derived from Meteosat*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 18, 515-529, doi:10.5194/nhess-18-515-2018.
- [17] Ruffault J., T. Curt, V. Moron, R. M. Trigo, F. Mouillot, N. Koutsias, F. Pimont, N. Martin-StPaul, R. Barbero, J. L. Dupuy, A. Russo, C. Belhadj-Khedher, 2020: *Increased likelihood of heat-induced large wildfires in the Mediterranean Basin*, Sci. Rep., doi: 10.1038/s41598-020-70069-z.
- [18] Silva P. S., J. Nogueira, J. A. Rodrigues, F. L. M. Santos, J. M. C. Pereira, C. C. DaCamara, G. A. Daldegan, A. A. Pereira, L. F. Peres, I. B. Schmidt, R. Libonati, 2021: *Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions*. J. Environ. Manage. 296, 113098, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113098.
- [19] Trigo I F., C.C. DaCamara, P. Viterbo, J.-L. Roujean, F. Olesen, C. Barroso, F. Camacho-de Coca, S. C. Freitas, J. García-Haro, B. Geiger, F. Gellens-Meulenberghs, J. Meliá, L. Pessanha, N. Siljamo, 2011: *The Satellite Application Facility for Land Surface Analysis*, Int. J. Remote Sens. 32, 2725-2744, doi: 10.1080/01431161003743199
- [20] Wooster, M. J., B. Zhukov, D. Oertel, 2003: *Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: Derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products*, Remote Sens. Environ., 86, 83-107, doi: 10.1016/S0034-4257(03)00070-1.
- [21] Wooster, M. J., G. Roberts, G. L. W. Perry, Y. J. Kaufman, 2005: *Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release*, J. Geophys. Res., 110, D24311, doi:10.1029/2005JD006318.

## Agradecimentos

Este artigo resultou de investigação efetuada no âmbito do projeto FireCast - previsão de probabilidade de ocorrência de fogo e das suas características com vista a um piroambiente habitável (PCIF/GRF/0204/2017) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), da *Satellite Application Facility on Land Surface Analysis* (LSA SAF) da EU-METSAT e da plataforma Ceasefire patrocinada pela *The Navigator Company*. Os autores gostariam de agradecer ao Ricardo Trigo a revisão do texto e os comentários construtivos.



Carlos C. DaCamara, completou o Bacharelato em Física (1979) e a Licenciatura em Ciências Geofísicas (1981) na FCUL e doutorou-se em Ciências da Atmosfera (1991) pela Universidade de Missouri-Columbia (EUA). É Professor Associado do Departamento de

Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia (DEGGE) e investigador do Instituto Dom Luiz (IDL) da FCUL. Foi vice-presidente do Instituto de Meteorologia (2003-2004) e membro do “Space Advisory Committee” para o 6º Programa-Quadro de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico da União Europeia. A sua investigação tem incidido sobre um espectro largo de temas que incluem a deteção remota por satélite de fogos ativos e de áreas queimadas, a determinação da temperatura e da emissividade da superfície do solo com base em informação proveniente de satélite, a avaliação de risco meteorológico a curto e médio prazos de incêndios florestais, a recuperação de vegetação em áreas queimadas, as condições meteorológicas associadas a eventos extremos (secas, ondas de calor, etc.) e a atividade das ondas planetárias e suas implicações na variabilidade climática.



José Miguel C. Pereira, é licenciado em Engenharia Florestal pelo Instituto Superior de Agronomia (ISA), da Universidade de Lisboa e doutorado em Estudo de Recursos Naturais Renováveis pela Universidade do Arizona. É Professor Catedrático do Departamento de

Recursos Naturais, Ambiente e Território do ISA, onde também coordena o Centro de Estudos Florestais, e sócio correspondente da Academia das Ciências de Lisboa, na secção das Ciências da Terra e do Espaço. Faz investigação em pirogeografia, desde a escala local até à escala global, com especial incidência em Portugal e nas savanas tropicais de África, Austrália e Brasil. Também tem trabalhado no desenvolvimento de algoritmos para cartografia de áreas queimadas, recorrendo a dados de deteção remota obtidos por diversos satélites de observação da Terra.



Renata Libonati, completou a Licenciatura em Ciências Geofísicas (2004) na FCUL, onde também se doutorou em Ciências Geofísicas (2011). Atualmente é Professora Adjunta do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e investigadora do Instituto Dom Luiz (IDL) da FCUL e do

Centro de Estudos Florestais (CEF) da UL. As suas linhas de investigação abrangem a deteção remota de área ardida incluindo os processos de validação estatística, as inter-relações entre clima, atividade humana e fogos na vegetação de regiões tropicais, causas naturais e antrópicas de grandes incêndios florestais, assim como a análise de eventos climáticos compostos como ondas de calor e secas, incluindo os seus impactos diretos e indiretos na saúde humana e nos ecossistemas como, por exemplo, na produtividade primária da vegetação e nos fogos na Amazónia, Cerrado e Pantanal.



Sílvia A. Nunes, completou o Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente (2013) na FCUL e encontra-se a terminar o Doutoramento em Ciências Geofísicas e da Geoinformação na mesma instituição. Desde 2013 que é bolseira pelo IDL na FCUL, onde integrou diversos projetos e parcerias tanto

com outras instituições universitárias como com empresas e entidades nacionais, coorientou teses de licenciatura e mestrado e colaborou no leccionamento de aulas. A sua investigação tem incidido maioritariamente na utilização de dados provenientes de satélite e de reanálises para avaliar o risco meteorológico de incêndios florestais e rurais. Em 2016, cofundou uma plataforma web ([www.ceasefire.pt](http://www.ceasefire.pt)) para disseminação diária de produtos na área da prevenção e combate a incêndios florestais.