

Prevenção de incêndios florestais e análise da vulnerabilidade com recurso a dados de satélite. O exemplo do projecto PREFER¹

Forest fire prevention and vulnerability analysis using satellite data. The example of the PREFER project

Sandra Oliveira

Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais (NICIF), Universidade de Coimbra.
sandra.oliveira@uc.pt

António Bento-Gonçalves

Departamento de Geografia, Universidade do Minho.
bento@geografia.uminho.pt

Adélia Nunes

Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra.
adelia.nunes@fl.uc.pt

António Vieira

Departamento de Geografia, Universidade do Minho.
vieira@geografia.uminho.pt

Fernando Félix

Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais (NICIF), Universidade de Coimbra.
ffelix@fl.uc.pt

Luciano Lourenço

Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra.
luciano@uc.pt

1. Introdução

O projeto PREFER é um projeto de investigação europeu enquadrado no FP7, que pretende contribuir para a prevenção e gestão de incêndios florestais, um dos principais riscos ambientais que afetam a Europa Mediterrânea. Entre 2000 e 2012, nos países do sul da Europa mais afetados por incêndios, foi registada uma média anual de 55 mil incêndios e de 410 mil hectares de área ardida (JRC, 2013), causando danos económicos, ambientais e impactos sociais significativos (BENTO-GONÇALVES *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2011; MAVSAR *et al.*, 2012; SAN-MIGUEL-AYANZ *et al.*, 2013). Neste contexto, a gestão integrada de incêndios nas suas diversas fases é fundamental (prevenção e preparação para situações de emergência, combate e recuperação de áreas ardidas) e requer uma atualização regular de informação, por forma a apoiar a distribuição atempada dos recursos disponíveis e a atuação eficaz dos meios no terreno.

O projeto PREFER, cuja duração se estende até ao final de 2015, está a ser desenvolvido por um consórcio composto por oito entidades dos cinco países mais afetados por incêndios, as quais representam centros de investigação, universidades e empresas de desenvolvimento tecnológico (Quadro I). O principal objetivo do projeto é a disponibilização de diversos produtos cartográficos aplicados em diversas fases da

gestão de incêndios, nomeadamente na prevenção e preparação para emergências e na recuperação de áreas ardidas. Estes produtos têm como base a utilização de informação derivada de deteção remota e tecnologias avançadas, tendo em conta a possibilidade de atualização sistemática de dados e a sua harmonização a larga escala.

Quadro I
Instituições participantes no projeto e países de origem

| Nome da Instituição | Acronímo | País |
|--|----------|----------|
| Universidade de Coimbra | UCO | Portugal |
| GMV Aerospace and Defence SA Unipersonal | GMV | Espanha |
| Université de Strasbourg | UNISTRA | França |
| Università Degli Studi di Roma La Sapienza | DIAEE | Itália |
| CGS SPA Compagnia Generale per lo Spazio | GCS | Itália |
| Intelligence for Environment & Security | IESC | Itália |
| SATWAYS Ltd, Satcom & Telematics | SATWAYS | Grécia |
| Center for Security Studies | KEMEA | Grécia |

Os produtos cartográficos que estão a ser desenvolvidos pelos diversos parceiros (Quadro II) são baseados num conjunto harmonizado de requisitos, aplicados aos diversos mapas, os quais serão disponibilizados através de uma infraestrutura de serviço interoperacional de fácil acesso. Os produtos resultam da integração de dados de diversos tipos, entre

¹ Este trabalho corresponde à comunicação, com o mesmo título, apresentada no VIII Colóquio de Geografia de Coimbra, subordinado ao tema "Espaço, Natureza e Sociedade. A Geografia na Estratégia 2020 da Região Centro", realizado na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, nos dias 27 e 28 de março de 2014.

os quais imagens de satélite, dados espaciais e dados socioeconómicos. Para além disso, os mapas serão complementares aos produtos cartográficos existentes no âmbito do sistema *Copernicus* e do *European Forest Fire Information System* (EFFIS) da Comissão Europeia (SAN-MIGUEL-AYANZ *et al.*, 2012), disponibilizando informação espacial de alta resolução.

Um dos aspetos essenciais do projeto PREFER está relacionado com a participação de utilizadores finais destes produtos cartográficos ao longo do seu processo de desenvolvimento; diversas entidades de proteção civil, proteção do ambiente e/ou de gestão florestal de cada país envolvido, participam ativamente, desde o início do projeto, na definição das características dos produtos, na avaliação da sua aplicabilidade nos protocolos operacionais e de gestão de cada entidade e na definição dos requisitos de informação derivada de deteção remota para futuras missões espaciais. Em Portugal, as entidades participantes são a Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC), o Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e o Serviço de Proteção do Ambiente e da Natureza da Guarda Nacional Republicana (SEPNA-GNR).

Quadro II
Produtos cartográficos que estão a ser desenvolvidos no projeto PREFER

| Produtos cartográficos |
|---|
| Informação de apoio à fase de prevenção e preparação (pré-emergência) |
| Mapa diário de probabilidade de ocorrência de incêndios (hazard) |
| Mapa sazonal de probabilidade de ocorrência de incêndios (hazard) |
| Mapa sazonal de combustíveis |
| Mapa de vulnerabilidade e valor económico |
| Mapa sazonal de risco |
| Mapa de apoio à realização de fogo controlado |
| Informação de apoio à fase de recuperação de áreas ardidas |
| Mapas de áreas ardidas (óticos AR e MAR) |
| Mapas de áreas ardidas (SAR - radar) |
| Mapa de severidade |
| Mapa de aerossóis de queima de biomassa |
| Mapa 3D de avaliação de danos |
| Mapa de recuperação de vegetação após incêndios |

A Universidade de Coimbra, que participa no projeto em conjunto com investigadores da Universidade do Minho através do Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, é responsável pelo desenvolvimento dos mapas de vulnerabilidade e valor económico e de risco. Este artigo apresenta a abordagem concetual adotada para a análise da vulnerabilidade, os diversos componentes considerados e os parâmetros naturais e antrópicos que estão a ser analisados para integrar em índices compostos, cuja combinação ponderada resulta num mapa de vulnerabilidade detalhado e de interpretação acessível aos diversos utilizadores.

2. Metodologia e resultados preliminares

2.1. Área de estudo

Os produtos e serviços do projeto PREFER são aplicados aos países da Europa Mediterrânea mais afetados por incêndios florestais, nomeadamente Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia, que representam também a maior área florestada da Europa, que varia entre 38% em Portugal e 29% em França (WORLD BANK, 2011). Existem diversas razões que justificam a elevada suscetibilidade destes países a incêndios; por um lado, o clima de tipo mediterrânico, onde o período mais seco coincide com a estação mais quente (Verão), precedido de um período chuvoso que favorece o crescimento da vegetação, é um fator relevante para a elevada ocorrência de incêndios, principalmente no Verão (PAUSAS, 2004; PAUSAS *et al.*, 2008; SAN-MIGUEL-AYANZ *et al.* 2013). Por outro lado, o tipo de povoamento humano, caracterizado pela coexistência de aglomerados urbanos, infraestruturas e áreas com vegetação (florestas, matos e áreas agrícolas, por exemplo), criando zonas de interface urbano-florestal que influenciam a

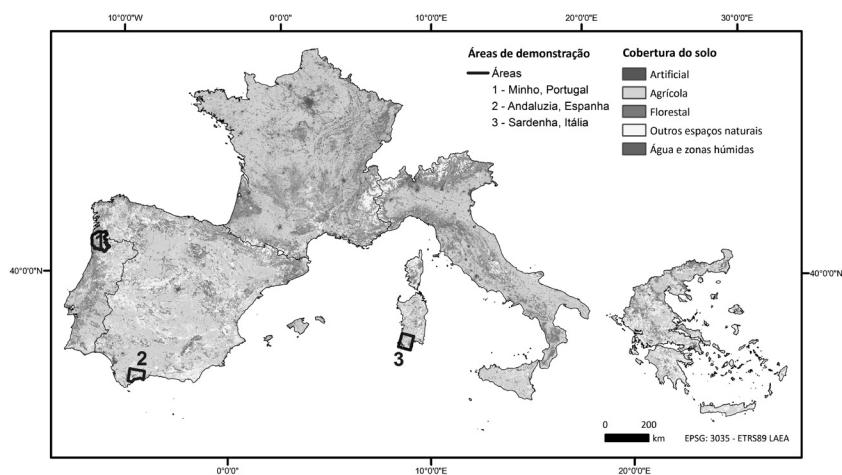


Figura 1
Áreas de demonstração para os mapas de vulnerabilidade e risco de incêndio

ocorrência de incêndios (LAMPIN-MAILLET *et al.*, 2011). Para além disso, as alterações no uso do solo verificadas nas últimas décadas, nomeadamente a transformação de áreas agrícolas em zonas de mato e floresta devido ao abandono das áreas rurais, promovem o crescimento do combustível florestal e uma diminuição do controlo sobre práticas tradicionais de uso do fogo (BADIA *et al.*, 2011; BENTO-GONÇALVES *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2001, 2011), resultando numa elevada frequência de incêndios.

Para a demonstração e validação dos mapas, foram selecionadas diversas áreas de interesse nos países participantes; no caso dos mapas de vulnerabilidade e risco de incêndios, as áreas selecionadas foram a região do Minho, em Portugal, o Parque Natural de Los Alcornocales na Andaluzia, em Espanha, e a província de Carbonia-Iglesias e parte da província de Cagliari e Medio-Campidano, no sudoeste da Sardenha, em Itália (Figura 1). Estas áreas foram selecionadas por razões várias: pela forte incidência de incêndios; pela presença de diversos tipos de vegetação, nomeadamente espécies tipicamente mediterrânicas (*Quercus ilex*, *Quercus robur*, *Quercus suber*), mas também pinheiro-bravo e eucaliptos; pela existência de áreas de elevado interesse ecológico e áreas protegidas; e pela presença de atividades agrícolas, englobando um conjunto de características representativas do território afetado por incêndios.

2.2. Abordagem conceptual de vulnerabilidade

Os dados e as técnicas utilizadas para a análise da vulnerabilidade dependem da abordagem conceptual definida; de acordo com padrões internacionais, definidos pelas Nações Unidas (UNISDR, 2009), a vulnerabilidade reflete as condições determinadas por fatores físicos, sociais, económicos e ambientais ou por processos que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto de um processo potencialmente perigoso. Em sentido lato, vulnerabilidade representa então o potencial de perda (CUTTER, 2011), que pode afetar diversos setores: social, económico, ambiental, institucional (BIRKMANN, 2006, 2013). Para além disso, a capacidade dos sistemas naturais e humanos absorverem as mudanças e recuperarem dos danos sofridos são fatores que influenciam o nível da vulnerabilidade de uma determinada comunidade ou sistema (LAVOREL *et al.*, 2007; TURNER *et al.*, 2003).

Neste contexto, a abordagem de vulnerabilidade definida no âmbito do projeto PREFER integra três componentes principais:

a) Exposição

Refere-se à presença de pessoas, bens ou outros elementos em áreas sujeitas a um potencial incêndio e que estão, por isso, sujeitas a perdas; a exposição resulta da distribuição espacial de pessoas, edifícios, infraestruturas e tipos de ocupação do solo, incluindo variáveis como a localização e densidade de edifícios, a localização dos aglomerados urbanos, a densidade populacional e a localização e densidade de estradas, entre outras.

b) Sensibilidade

Refere-se às condições que reduzem ou aumentam a propensão dos elementos expostos de sofrerem determinado tipo e nível de danos, assim como de recuperarem dos impactos de um incêndio. O tipo de vegetação existente e o seu potencial comportamento perante o fogo, os materiais utilizados na construção dos edifícios, as características demográficas da população, como a idade e o género, são circunstâncias que influenciam a magnitude dos danos que os elementos expostos (edifícios, estradas, pessoas) podem sofrer.

c) Capacidade de antecipação e de resposta

A capacidade de antecipação está associada a atividades de prevenção, aplicadas antes da ocorrência de um evento potencialmente perigoso, tais como a produção de cartografia de risco, as campanhas de prevenção e as medidas de ordenamento do território.

A capacidade de resposta associa-se às ações aplicadas para lidar com o evento de forma eficiente, durante e após a sua ocorrência. Está relacionada com o combate a incêndios, com serviços de emergência e assistência durante e após o evento, assim como com a recuperação de áreas ardidas e dos elementos afetados, integrando variáveis como a localização dos pontos de água e dos quartéis de bombeiros ou as medidas de recuperação de áreas ardidas para evitar a erosão dos solos.

O valor económico representa uma expressão monetária da importância dos elementos expostos, assim como dos custos associados à proteção ou recuperação dos mesmos, sendo representativa da dimensão económica da vulnerabilidade.

2.3. Dados e variáveis

Os dados utilizados para obter as variáveis representativas de cada parâmetro da vulnerabilidade, são de diversos tipos e provêm de várias fontes; o Quadro III mostra alguns exemplos das variáveis integradas na análise dos componentes da exposição e da sensibilidade; no caso da exposição, a obtenção da localização dos aglomerados urbanos, de edifícios e infraestruturas, são obtidos a partir de imagens de satélite de média, alta e muito alta resolução, consoante o tipo de elementos. As imagens Landsat 7/8 são utilizadas para a delimitação de perímetros urbanos e para analisar a evolução das áreas urbanas ao longo do tempo, enquanto que as imagens SPOT-5 ou Kompsat, de muito alta resolução, são utilizadas para identificar edifícios e outras estruturas dentro de uma área urbana (Figura 2).

A localização de áreas protegidas, obtida através de dados espaciais, é aplicada na análise da exposição destes elementos naturais a incêndios; adicionalmente, a sensibilidade destas áreas é avaliada pela categoria de proteção atribuída; por exemplo, em duas áreas igualmente expostas a incêndios (em áreas onde existe probabilidade de ocorrência de incêndios similar), a área mais vulnerável será aquela com um grau de sensibilidade superior, refletida num nível de proteção maior (Figura 3).

Quadro III
Listagem de algumas das variáveis e tipo de dados utilizados na avaliação da exposição e da sensibilidade

| Componentes | Exposição | Sensibilidade | Tipo de dados |
|-----------------------------|---|---|--|
| Parâmetros | Que elementos podem sofrer danos se ocorrer um incêndio? | Que tipo de danos e quantos danos podem estes elementos sofrer? | |
| Cobertura/uso do solo | Tipo de cobertura do solo (floresta, matos, pastagens, outras áreas agrícolas; áreas industriais; áreas urbanas; áreas costeiras) | Tipo de comunidade florística Espécies florestais Tipo de áreas agrícolas | Espaciais e baseados em Detecção Remota (DR) Mapa sazonal de combustíveis |
| População | Localização de aglomerados urbanos Proximidade a áreas florestais | Áreas de interface urbano-rural | DR - Landsat 7/8 - delimitação de perímetros urbanos |
| | Densidade populacional | Caraterísticas da população: género, grupos etários, atividade... | Espaciais e estatísticos |
| Edifícios | Localização e densidade de edifícios | Materiais de construção dos edifícios Localização de edifícios específicos (hospitais, creches...) | DR-SPOT5, RapidEye, KOMPSAT |
| Infraestruturas | Rede de estradas (localização e densidade) | | DR-SPOT5, RapidEye, KOMPSAT |
| | Rede de linhas elétricas (localização e densidade) | | DR-SPOT5, RapidEye, KOMPSAT |
| Outros elementos ambientais | Localização de Áreas protegidas | Categorias de proteção de áreas protegidas - RAMSAR - Rede Natura - IUCN | Espaciais e baseados em DR |



Figura 2
Exemplo de identificação de zonas urbanizadas e de edifícios numa imagem SPOT5 (5 m)

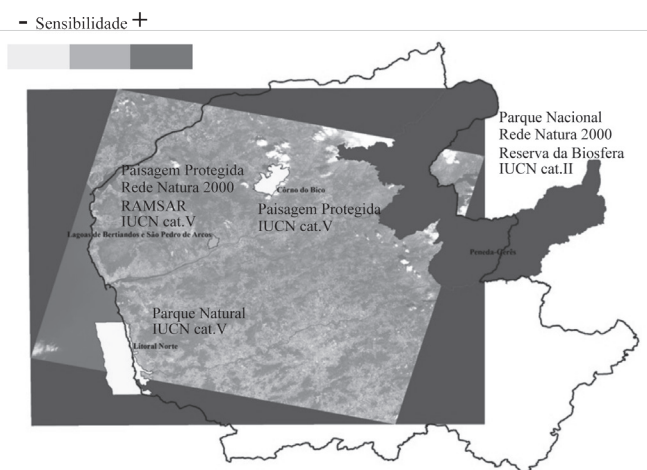


Figura 3
Atribuição de níveis de sensibilidade diferentes a áreas naturais existentes na região do Minho (definida a linha preta), consoante as categorias de proteção. O Parque Nacional da Peneda-Gerês tem um nível de sensibilidade mais elevado em relação às outras áreas naturais protegidas

2.4. Análise dos componentes da vulnerabilidade

Para cada um dos componentes da vulnerabilidade, as respetivas variáveis são integradas através de ferramentas SIG, após um processo de transformação e normalização. A aplicação de análise multivariada, como a análise de componentes principais ou a análise fatorial, são algumas das possibilidades a serem consideradas para a ponderação das variáveis e para a avaliação da sua relevância, da qual resultará um índice composto. Este processamento está a ser concretizado para cada um dos componentes separadamente, incluindo o valor económico, para permitir a disponibilização destes índices intermédios, juntamente com o mapa final de vulnerabilidade resultante da combinação dos diversos componentes. Desta forma, em áreas de vulnerabilidade semelhante, será possível obter informação adicional sobre a relativa importância de cada um dos componentes (exposição, sensibilidade, capacidade de antecipação e resposta ou valor económico) no nível de vulnerabilidade (Figura. 4).

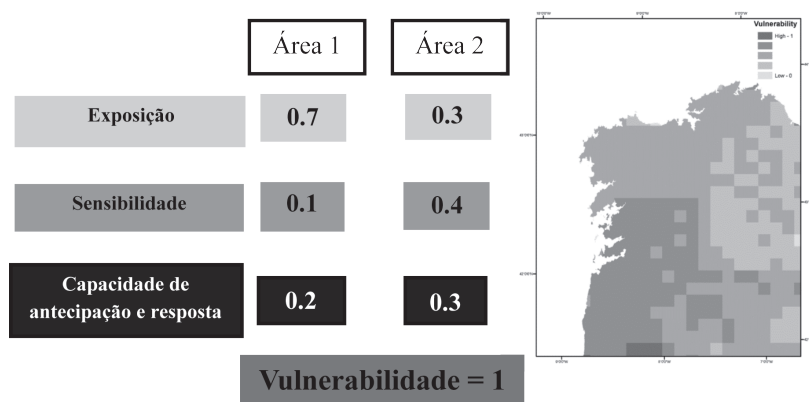


Figura 4
Representação esquemática (exemplo hipotético) da informação disponibilizada por este produto; o mapa de vulnerabilidade é complementado por informação relativa a cada um dos componentes

3. Conclusão

O projeto PREFER pretende contribuir para a melhoria do acesso a dados atualizados e harmonizados, derivados de tecnologias avançadas como a deteção remota. Este projeto reúne a contribuição de oito instituições de vários setores, oriundos dos cinco países da Europa Mediterrânea mais afetados por incêndios florestais, e conta com a participação de diversos utilizadores finais, através do estabelecimento de sinergias entre as diversas entidades que trabalham na gestão de incêndios e promovendo, desta forma, a interação entre a investigação científica e a aplicação prática.

No âmbito do projeto, estão a ser desenvolvidos produtos cartográficos para apoio à tomada de decisão, em diversas fases da gestão de incêndios florestais: prevenção e preparação para emergências e recuperação de áreas ardidas. A análise da vulne-

abilidade é fundamental para a fase da prevenção, para planear a distribuição dos recursos disponíveis e para garantir a segurança das populações e a salvaguarda dos bens de forma eficaz. A vulnerabilidade inclui três componentes principais: a exposição, a sensibilidade e a capacidade de antecipação e resposta. Os dados de exposição e parte da capacidade de resposta são obtidos a partir da interpretação de imagens de satélite, enquanto que os dados relativos à sensibilidade e capacidade de antecipação derivam essencialmente de informação espacial e estatística. A integração das diversas variáveis, com recurso a ferramentas SIG, resulta na criação de índices intermédios que representam cada um dos componentes, facilitando a compreensão da importância relativa de cada um no valor de vulnerabilidade obtido e, promovendo, desta forma, a aplicação de medidas mais ajustadas a cada área, em função do componente mais relevante.

Agradecimentos

Este projecto recebeu financiamento do 7º Programa-Quadro da União Europeia para investigação, desenvolvimento tecnológico e demonstração, no âmbito do Grant Agreement nº 312931.

Bibliografia

- BADIA, Anna; SERRA, Pere e MODUGNO Sirio (2011) - "Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas". *Applied Geography*, 31(3), pp. 930-940
- BENTO-GONÇALVES António; VIEIRA António; ÚBEDA Xavier e MARTIN Deborah (2012) - "Fire and soils: Key concepts and recent advances". *Geoderma*, 191(0), pp. 3-13

- BIRKMANN, Jörn (2006) - "Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions". In: BIRKMANN, Jörn - *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies*. United Nations University Press, pp. 9-54.
- BIRKMANN, Jörn; CARDONA, Omar; CARRENO, Martha; BARBAT, Alex; PELLING, Mark; SCHNEIDERBAUER, Stefan; KIENBERGER, Stefan; KEILER, Margreth; ALEXANDER, David; ZEIL, Peter e WELLE, Torsten (2013) - "Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework". *Natural Hazards*, 67(2), pp. 193-211.
- CARVALHO, Anabela; MONTEIRO, Alexandra; FLANNIGAN, Mike; SOLMAN, Silvina; MIRANDA, Ana Isabel e BORREGO Carlos (2011) - "Forest fires in a changing climate and their impacts on air quality". *Atmospheric Environment*, 45(31), pp. 5545-5553
- CUTTER, Susan (2011) - "A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores". *Revista Crítica de Ciências Sociais* [online] 93, Junho 2011, pp. 59-69. Disponível online no endereço url <http://rccs.revues.org/165?lang=en> (acedido em Junho de 2013).
- JRC, Joint Research Centre (2013) - "Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2012." *Joint report of JRC and Directorate-General Environment*. REPORT EUR 26048 EN. Disponível online no endereço url <http://forest.jrc.ec.europa.eu/effis/reports/annual-fire-reports/> (acedido em Fevereiro 2014).
- LAMPIN-MAILLET, Corinne; LONG-FOURNEL, Marlène; GANTEAUME, Anne; JAPPIOT, Marielle e FERRIER, J. P. (2011) - "Land cover analysis in wildland-urban interfaces according to wildfire risk: a case study in the South of France". *Forest Ecology and Management*, 261, pp. 2200-2213
- LAVOREL, Sandra; FLANNIGAN, Mike; LAMBIN, Eric e SCHOLES, Mary (2007) - "Vulnerability of land systems to fire: Interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(1), pp. 33-53.
- MAVSAR, Robert; VARELA, Elsa; CORONA, Piermaria; BARBATI, Anna e MARSH, Graham (2012) - "Economic, legal and social aspects of post-fire management". In: MOREIRA, Francisco; ARIANOUTSOU, Margarita e CORONA, Piermaria (eds.) - *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests*, Springer Netherlands, pp. 45-78
- MOREIRA, Francisco; REGO, Francisco Castro e FERREIRA, Paulo (2001) - "Temporal (1958-1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence". *Landscape Ecology* 16(6), pp. 557-567
- MOREIRA, Francisco; VIEDMA, Olga; ARIANOUTSOU, Margarita; CURT, Thomas; KOUTSIAS, Nikos; RIGOLOT, Eric; BARBATI, Anna; CORONA Piermaria; Vaz, Pedro; XANTHOPOULOS, Gavriil; MOUILLOT, Florent e BILGILI, Ertugrul (2011) - "Landscape-wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management". *Journal of environmental management*, 92(10), pp. 2389-2402
- PAUSAS, Juli G (2004) - "Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin)". *Climatic change*, 63(3), pp. 337-350
- PAUSAS, Juli G.; LLOVET, Joan; RODRIGO, Anselm e VALLEJO Ramón (2008) - "Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin?-A review". *International Journal of Wildland Fire*, 17(6), pp. 713-723
- SAN-MIGUEL-AYANZ, Jesús; SCHULTE, Ernst; SCHMUCK, Guido; CAMIA, Andrea; STROBL, Peter; LIBERTA, Giorgio; GIOVANDO, Cristiano; BOCA, Roberto; SEDANO, Fernando; KEMPENEERS, Pieter; MCINERNEY, Daniel; WHITMORE, Ceri; SANTOS-DE-OLIVEIRA, Sandra; RODRIGUES, Marco; HOUSTON-DURRANT, Tracy; CORTI, Paolo; OEHLER, Friderike; VILAR, Lara; AMATULLI, Giuseppe (2012) - "Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: the European forest fire information system (EFFIS)". In: TIEFENBACHER, JOHN (Ed.) - *Approaches to Managing Disaster - Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts*. InTech, ISBN 978-953-51-0294-6, doi:10.5772/28441.
- SAN-MIGUEL-AYANZ, Jesús; MORENO, Jose Manuel e CAMIA, Andrea (2013) - "Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives". *Forest Ecology and Management*, 294, pp. 11-22
- TURNER, Billie; KASPERSON, Roger; MATSON, Pamela; MCCARTHY, James; CORELL, Robert; CHRISTENSEN, Lindsey; ECKLEY, Noelle; KASPERSON, Jeanne; LUERS, Amy; MARTELLO, Marybeth; POLSKY, Colin; PULSIPHER, Alexander e SCHILLER, Andrew (2003) - "A framework for vulnerability analysis in sustainability science!". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), pp. 8074-8079. Disponível online no endereço url <http://www.pnas.org/content/100/14/8074.full.pdf> (acedido em Novembro de 2013)
- UNISDR-UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (2009) - *Terminology on disaster risk reduction*, Geneva, Switzerland: United Nations. Disponível online no endereço url <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng%20home.htm> (acedido em Outubro de 2013)
- WORLD BANK, 2011 - http://siteresources.worldbank.org/DATASTATISTICS/Resources/wdi_ebook.pdf