

OS GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS EM PORTUGAL DESAFIOS PARA A GESTÃO DO RISCO

Fantina Tedim
Universidade do Porto
ftedim@letras.up.pt

Ruben Remelgado
European Academy of Bozen/Bolzano
Ruben.Remelgado@eurac.edu

João Martins
Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
joao_martins@yahoo.com

Saete Carvalho
Universidade do Porto
carvalho.saete@gmail.com

RESUMO

O pressuposto de que os danos de um incêndio são tanto mais elevados quanto maior for a área queimada é demasiado simplista. A relação entre área ardida e severidade do fogo é uma realidade bem mais complexa que deverá ser devidamente equacionada para uma gestão do risco com melhor relação custo-eficácia.

Palavras-chave: Grande incêndio florestal, severidade do fogo, gestão do risco

LARGE FOREST FIRES IN PORTUGAL: CHALLENGES FOR RISK MANAGEMENT

ABSTRACT

The assumption that forest fire damages have a direct relation with the burned area is too simplistic. The relation between the burned area and fire severity is a much more complex reality which should be considered for a more cost-effective risk management.

Keywords: Large forest fires, fire severity, risk management

INTRODUÇÃO

O termo *grande incêndio florestal* tem sido utilizado com diferentes significados. Surge sobretudo associado ao comportamento do fogo (McRae e Sharples, 2011), às características e complexidades do combate (Bartlett *et al.*, 2007; Delogu, 2012; Williams, 2010) e à extensão da área ardida.

Esta última forma de abordagem é habitualmente considerada em termos absolutos em função de um limiar quantitativo que apresenta uma grande variabilidade a nível mundial. Na literatura internacional foram encontrados valores que variam entre 20 ha (Dickson *et al.*, 2006) e 100 000 ha (Yates *et al.*, 2008).

A nível europeu também existe uma grande diversidade: 50 ha (Costa *et al.*, 2011; San-Miguel e Camia, 2009), 100 ha (Gauteame e Jappiot, 2013; Moreno *et al.*, 2011), 500 ha (San-Miguel *et al.*, 2013; Romero e Senra, 2006), 1 000 ha (Barros *et al.*, 2012; Dimitrakopoulos *et al.*, 2011; Viegas, 1998; Moreno *et al.*, 1998) e 10 000 ha (Binggeli, 2008). O limite considerado pelos organismos oficiais responsáveis pela gestão dos incêndios florestais de cada país europeu também é diverso. Se, por exemplo, em Portugal se consideram como *grandes incêndios florestais* os de dimensão ≥ 100 ha, já em Espanha o limite ascende a >500 ha. Noutros países, como a Grécia, não existe uma definição oficial de *grande incêndio florestal* (comunicação pessoal de Gavriil Xanthopoulos), embora a propósito da realidade grega Dimitrakopoulos *et al.* (2011) tenha sugerido o valor de 1 000 ha. Em Itália também não há uma classificação oficial, embora as estatísticas dos incêndios florestais da responsabilidade do Corpo Forestale dello Stato consideram como 500 ha o limite inferior da última categoria de incêndios florestais.

Alguns autores adotam um enfoque relativo relacionando por exemplo, a área ardida com as especificidades do ecossistema (Lutz *et al.*, 2011) ou então com o padrão de ocorrência de incêndios numa região (Gill e Allan, 2008; Romero e Senra, 2006).

Embora menos frequente um *grande incêndio* também pode ser definido em função da distância percorrida desde o ponto de ignição (Ager *et al.*, 2012; FAO, 2007).

Em Portugal o termo *grande incêndio florestal* é fundamentalmente utilizado para designar os eventos com uma área ardida de pelo menos 100 ha. Todavia, a área ardida é uma variável que apresenta várias limitações. A consideração do perímetro dos incêndios florestais como uma extensão contínua e afetada com a mesma intensidade limita a compreensão da complexidade espacial e temporal da severidade do fogo e das suas interações com as características da paisagem. Por um lado, o perímetro do incêndio tal como surge cartografado na base de dados do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) não considera a totalidade das superfícies não queimadas no seu interior, cujas características (p.ex., dimensão, densidade, tipo de ocupação) são fundamentais para compreender o comportamento do fogo, e o impacto das ações de prevenção realizadas, assim como para compreender a recuperação das áreas ardidas. Por outro lado, a intensidade do fogo e consequentemente a sua severidade, é muito variável dentro de um mesmo perímetro e entre diferentes incêndios florestais com dimensão semelhante. Este trabalho apresenta como hipótese de investigação que a extensão da área ardida como variável substituta (indicador *proxy*) dos danos provocados por um incêndio florestal é muito limitada para o desenvolvimento de medidas sustentáveis e eficazes de redução do risco de incêndio florestal. A investigação desenvolveu-se em duas direções: i) identificar no interior do perímetro de um incêndio ilhas que não arderam; ii) analisar a variabilidade da severidade do fogo dentro de um mesmo perímetro e entre diferentes incêndios florestais com extensão semelhante.

1. DADOS E MÉTODOS

1.1. Dados e área de estudo

A investigação iniciou-se com a análise da base de dados de incêndios florestais, gerida pelo ICNF, que comporta duas componentes: i) a componente estatística organizada por incêndio

florestal, com registos desde 1980; ii) a componente cartográfica, com informação disponibilizada por perímetro florestal em shape file, desde 1990.

Para concretizar os objetivos desta investigação, selecionamos quatro casos de estudo (Fig.1) que se referem aos maiores incêndios florestais que ocorreram no Algarve desde 1980 e que têm uma extensão superior a 10 000 ha, segundo o levantamento por nós realizado a partir de imagem de satélite, o que os coloca simultaneamente no top dos maiores incêndios registados em Portugal. O primeiro refere-se ao incêndio que afetou os municípios de Monchique, Portimão, Aljezur e Lagos, entre 7 e 17 de Agosto de 2003 e que queimou aproximadamente 22 968 ha. Em 12 de Agosto uma nova ignição foi registada no município de Silves e que também afetou Monchique. A extensão de área ardida foi de 11 098 ha. Um mês mais tarde surgiu novo foco de incêndio que afetou 22 265 ha não só no município de Monchique mas também nos de Aljezur, Silves e Odemira. O quarto percorreu 23 301 ha dos municípios de Tavira e São Brás de Alportel, entre os dias 18 e 22 de Julho de 2012 e, segundo a base de dados do ICNF, é o maior incêndio alguma vez registado em Portugal.

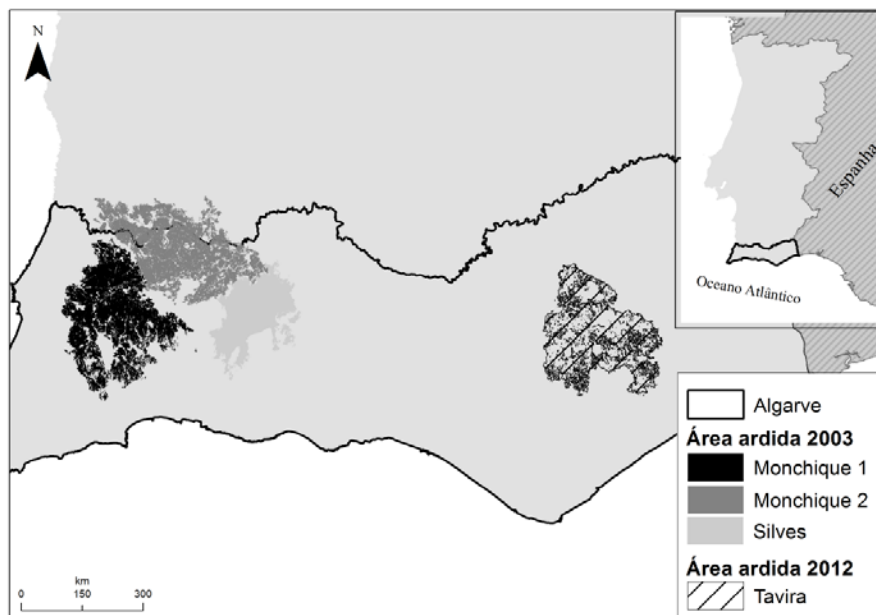


Figura 1. Localização dos casos de estudo

Como ainda não foi conseguida uma correspondência entre as componentes estatística e cartográfica da base de dados de incêndios florestais do ICNF e cada perímetro de área ardida pode resultar de mais de uma ocorrência, recorreu-se à imagem de satélite para delimitar os perímetros da área ardida nos quatro casos de estudo, identificar as ilhas não ardidas assim como para avaliar a severidade do fogo. A diferença entre o valor de área apresentada pela base estatística e a obtida pela delimitação do perímetro resulta de distintos procedimentos de obtenção de informação. Por um lado, o que sucede na maioria dos casos é que as ocorrências são lançadas no sistema em tempo real (as áreas de cada uma são posteriormente preenchidas na base de dados). A delimitação da área ardida é feita posteriormente e com recurso a levantamento por GPS e tratamento de imagens de satélite. Esta tarefa, normalmente é feita num momento em que já não é possível definir os limites geográficos de cada uma das ocorrências registadas na base de dados. Esta é a razão que leva a que não exista (ou que não seja fácil de detetar) ligação entre a base estatística e cartográfica.

Em caso de incêndios complexos podem ser encontrados registos distintos na base de dados estatísticos que todavia fazem parte de um mesmo evento. Por exemplo, a história do incêndio de Monchique 1, obtida diretamente de intervenientes nas atividades de combate assim como pelo relatório dos incêndios do município de Portimão (Serviço Municipal de Proteção Civil de Portimão, 2003), permitiu concluir que se tratou de um evento complexo que resultou de várias ignições com registos diferentes na base estatística.

1.2. Métodos

A evolução dos grandes incêndios em Portugal continental e no Algarve foi realizada com base na componente estatística da base de dados de incêndios florestais do ICNF tendo sido aplicada uma análise estatística descritiva. O cálculo da significância estatística foi realizado pelo método proposto por Bryhn e Dimberg (2011).

As áreas aridas em Portugal são normalmente delimitadas por equipas de terreno com recurso a recetor GPS. Este tipo de metodologia, apesar de todas as vantagens que apresenta, tem também algumas limitações, principalmente em áreas aridas de grande dimensão, que apresentam perímetros extremamente longos e recortados. Nestes casos, em que se enquadram as áreas de estudo, os métodos de levantamento de campo tornam-se morosos e a dificuldade de acesso a alguns locais impede a correta delimitação das áreas aridas. As principais limitações estão relacionadas com as zonas de fronteira (clara definição do perímetro ardido) e com as manchas interiores não afetadas pelo fogo (ilhas).

No presente trabalho, a delimitação das áreas afetadas pelo fogo foi efetuada com recurso a imagens de satélite multiespectrais. Esta opção metodológica permitiu obter uma versão da área percorrida pelos incêndios que se pensa ser mais próxima da realidade, afinando aquela resultante da base de dados oficial, e que foi o suporte da análise no âmbito deste trabalho. Para os estudos de caso de Monchique 1, Monchique 2, Silves e Tavira foram utilizadas as imagens Landsat 5 TM (4 de julho de 2003, 24 de outubro de 2003 e 26 de julho de 2011) e Landsat 7 ETM+ (21 de agosto de 2012, 6 de setembro de 2012 e 21 de outubro de 2012) O principal critério de seleção das imagens relacionou-se com a redução do impacto das diferenças fenológicas da vegetação nos períodos pré e pós fogo.

O pré-processamento das imagens foi desenvolvido em três etapas. Numa primeira instância, seguindo a metodologia desenvolvida por Thome *et al.* 1994, Teillet *et al.* 1995 e Chander *et al.*, 2009, foi feita a calibração radiométrica das imagens e a sua posterior conversão para reflectância do topo da atmosfera (TOA). Este procedimento garante a redução de erros das imagens, quer ao nível do sensor, quer ao nível da imagem. No segundo momento, tendo em vista a redução da influência das diferenças de iluminação na imagem foi efetuada a correção topográfica das mesmas. Para este efeito foi utilizado o método Minnaert (Lu *et al.* 2008). Como passo final da metodologia adotada, de forma a compensar as alterações sazonais dos valores de reflectância (Yang e Lo, 2000) e das características fenológicas da vegetação (Helmer e Ruefenacht, 2007), a normalização radiométrica das imagens assume-se como um passo fundamental para uma eficiente deteção de mudanças na superfície estudada (Du *et al.*, 2002). A redução deste fenómeno foi efetuada através da inclusão do algoritmo MAD (Canty e Nielsen, 2008).

No caso da área ardida de Tavira, a presença de falhas na imagem pós-fogo resultantes da avaria do filtro SLC obrigaram ao desenvolvimento de uma etapa adicional para o seu preenchimento. Neste contexto optou-se pela adoção de uma abordagem multi-temporal, utilizando duas imagens adicionais (6 de setembro e 21 de outubro). As imagens foram empilhadas para criação de um mosaico respeitando a ordem cronológica das imagens recolhidas. De forma a homogeneizar a escala radiométrica das imagens utilizadas o método MAD, proposto por Canty e Nielsen (2008), foi aplicado utilizando a imagem de 21 de Agosto como referencia.

Através de abordagem bitemporal de métodos tradicionais de deteção de mudança como o difference Normalized Burn Ratio (dNBR) e o difference Normalized Difference Vegetation Index (dNDVI) proporcionam um rápido e eficiente método para a delimitação de áreas aridas e para a avaliação da sua severidade ecológica. Contudo, quando confrontados com superfícies complexas, estes métodos tornam-se altamente ineficientes falhando na distinção de espelhos de água, rochas e solo descoberto nas áreas afetadas (Escuin *et al.*, 2008).

Considerando as limitações associadas aos índices tradicionalmente utilizados, informação espectral adicional foi introduzida de forma a minimizar o ruído criado pela interação de diferentes classes de ocupação do solo na área afetada. Tanto em Monchique e Silves como em Tavira o NDVI ($B3 - B4 / B3 + B4$), obtido através da imagem pré-fogo, foi utilizado como suporte para a delimitação de áreas cobertas por vegetação permitindo adquirir a área potencialmente afetada. Um valor mínimo de 0.2 foi utilizado. O NBR ($B4 - B7 / B4 + B7$) obtido através da imagem pós-fogo, foi também utilizado como uma variável adicional recorrendo a um valor mínimo de 0.18. Apesar da eficiência do método proposto na exclusão de áreas não cobertas por vegetação, a presença de áreas agrícolas permanece como um problema, sendo erroneamente classificadas como aridas após o período de colheita. De forma a minimizar este efeito e filtrar as áreas

indesejadas, informação cartográfica da ocupação do solo proveniente do Inventário Florestal do ICNF foi introduzida. Concluído este processo, o dNBR, obtido através do cálculo da diferença entre o NBR pré e pós-fogo, foi utilizado para distinguir entre áreas ardidas e não ardidas.

2. RESULTADOS

2.1. Evolução dos grandes incêndios florestais

Em Portugal continental o número de grandes incêndios (≥ 100 ha) aumentou 103% desde 1980 (Quadro 1). Este aumento foi superior nos incêndios de pelo menos 1 000 ha (180%). Na década de 1980 só se registou um incêndio com mais de 10 000 ha e depois de 2002 ocorreram doze eventos com essa mesma dimensão. Apesar desta evidência não é possível encontrar uma tendência com significado estatístico para os incêndios florestais ≥ 100 ha ($R^2=0.0474$ e $p=0.2315$), segundo a metodologia de Bryhn and Dimberg (2011). Estes resultados estão em consonância com as conclusões de Bermudez *et al.* (2009) que não encontraram uma tendência na ocorrência de grandes incêndios mas identificaram um padrão cíclico com um período de retorno de 3-5 anos. Um outro aspeto a considerar é o aumento da extensão dos maiores incêndios. Entre 1980 e 1989 a maior ocorrência está registada com pouco mais de 10 000 ha, enquanto na primeira década do século XXI surgiram vários incêndios com mais de 20 000 ha.

Quadro 1 - Número de incêndios florestais e área ardida entre 1980 e 2012, segundo a dimensão das ocorrências, em Portugal Continental e no Algarve

Período	Território	<100ha		100-999ha		1000-9999ha		$\geq 10\ 000$ ha	
		Nº	Área ardida ha	Nº	Área ardida ha	Nº	Área ardida ha	Nº	Área ardida ha
1980 a 1989	Portugal	71 918	235 745,00	1 052	279 656,90	107	209 409,20	1	10 032,00
	Algarve	850	4 170,40	42	11 847,00	4	10 800,00	0	0
1990 a 1999	Portugal	206 978	320 462,13	1 392	394 086,26	147	303 812,62	0	0
	Algarve	3 623	4 459,64	30	8 371,91	6	17 271,98	0	0
2000 a 2012	Portugal	309 083	428 651,55	2 047	599 944,78	290	707 632,46	12	189 517,72
	Algarve	4 813	3 978,84	28	7 996,67	16	42 581,19	5	87 162,62

Fonte: Dados da Base de Incêndios Florestais do ICNF, 2012.

A evolução da ocorrência de grandes incêndios no Algarve revela-se diferenciada, pois registou um aumento de apenas 6,5%. Se explicavam 5% das ocorrências e 84% da área ardida em 1980-89, já no período de 2000-2012, apenas representam 1% do número de eventos mas são responsáveis por 97,2% da área ardida, o que espelha bem a importância que os grandes incêndios florestais têm assumido no início do século XXI. Neste último período só os incêndios com pelo menos 10 000 ha explicam 62% da área mas apenas 0,1% do número de ocorrências na região. Se o número de eventos com 100 a 999 ha registou mesmo um decréscimo (33%), o de dimensão igual ou superior a 1000 ha aumentou 425%.

2.2. As ilhas não ardidas

A dimensão é uma das métricas mais utilizadas para caracterizar a incidência de incêndios florestais numa região, mas é também uma das mais inconsistentes na forma como é registada. No interior dos perímetros ardidos há um mosaico de parcelas que são afetadas com diferente intensidade do fogo e existem manchas não ardidas (Kolden *et al.*, 2012).

Nesta contabilização, tendo em vista a minimização de erros, e tendo em conta a resolução espacial das imagens adotadas, foram excluídas da análise todas as áreas inferiores a 0,81 ha (1 pixel e vizinhanças). No perímetro do evento de Tavira foram encontradas 435 ilhas que correspondem a 3188 ha de área não ardida e que representam 14% da dimensão total do incêndio (Quadro 2). A percentagem de área não ardida é ligeiramente menor no caso dos incêndios de Monchique 1 (12%) e Monchique 2 (13%) mas o número de ilhas não ardidas é

ligeiramente superior (460 e 467, respetivamente). O evento de Silves tem uma dimensão significativamente menor do que os anteriores, e por isso o número de ilhas é bem menor (apenas 263), mas a percentagem de área não ardida (19%) é superior à de qualquer uma dos outros casos de estudo.

Em todos os eventos considerados a maior parte das ilhas (> 75%) tem uma dimensão inferior a 5 ha (Quadro 3). Se considerarmos a dimensão máxima das ilhas encontradas em cada um dos casos de estudo verificamos que em Silves é de 154 ha enquanto nos outros perímetros a dimensão máxima é maior (182 ha e 217 ha em Monchique 1 e em Monchique 2, respetivamente). A mancha não ardida de maior extensão tem 1167 ha e ocorreu no perímetro de Tavira. A dimensão média das ilhas é muito semelhante entre Silves (8 ha) e Tavira (7,3 ha) e é menor nos outros dois casos de estudo (5,9 ha em Monchique 1 e 6,3 ha em Monchique 2).

Em relação ao uso do solo também se verificam algumas distinções entre os casos de estudo. Em Tavira as ilhas não ardidas são fundamentalmente constituídas por matos (57%) enquanto em Monchique 2 e Silves a maior parte das manchas não ardidas está ocupada por floresta (63% e 52% respetivamente). Em Silves as ilhas não ardidas ocupadas por matos cobrem 40% do perímetro do incêndio, enquanto em Monchique 2 a sua representatividade é reduzida (18%).

Quadro 2 - Número de ilhas não ardidas segundo a classe de área

Classe de área	Número de ilhas							
	Monchique 1		Monchique 2		Silves		Tavira	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
<1	68	15	82	18	40	15	71	16.3
1 – 5	303	66	303	65	161	61	279	64.1
5 – 10	40	9	32	7	23	9	40	9.2
10 – 20	30	7	24	5	19	7	23	5.3
20 – 50	11	2	16	3	12	5	17	3.9
50 – 100	4	1	6	1	4	1,5	4	0.9
≥100	4	1	4	1	4	1,5	1	0.2
TOTAL	460	100	467	100	263	100	435	100

Quadro 3 - Dimensão das ilhas não ardidas por classe de área

Classe de área	Dimensão das ilhas (ha)							
	Monchique 1		Monchique 2		Silves		Tavira	
	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%
<1	61.5	2	74.6	3	36.0	2	64	2.0
1 – 5	623.8	23	614.0	21	345.5	17	637	20.0
5 – 10	272.0	10	233.6	8	154.7	7	262	8.2
10 – 20	407.6	15	322.3	11	264.3	13	312	9.8
20 – 50	353.9	13	415.7	14	385.7	18	492	15.4
50 – 100	285.6	10	436.7	15	288.6	14	253	7.9
≥ 100	727.3	27	867.4	29	617.4	30	1167	36.6
TOTAL	2732	100	2964	100	2092	100	3188	100

Em Monchique 1 as ilhas não ardidas com ocupação florestal (41%) são mais importantes do que as com matos (35%). A percentagem de ilhas não ardidas com ocupação agrícola ascende a 21% em Monchique 1 e Tavira, tendo uma expressão muito menor em Monchique 2 (16%) e, sobretudo em Silves (5%).

2.3. A severidade ecológica

Os quatro incêndios florestais considerados têm dimensões semelhantes mas apresentam contrastes em termos de severidade (Fig. 2). A análise evidencia que o incêndio de Tavira que afetou maior extensão, teve menor severidade. A maior parte da superfície (54%) foi classificada como de média severidade (dNBR com valores entre 0,27 e 0,44) (Quadro 4). Apenas 1% da área ardida apresentou alta severidade.

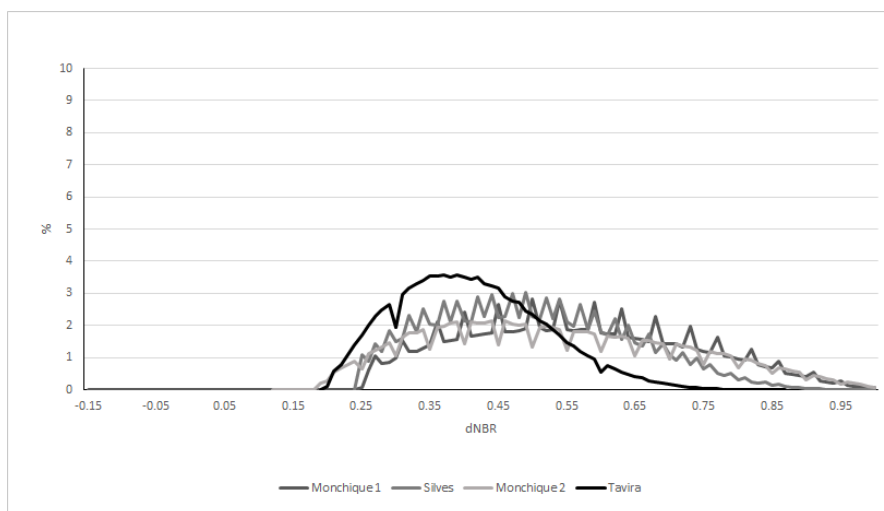


Figura 2. Severidade do fogo nos casos de estudo

Os eventos ocorridos em 2003, sobretudo Monchique 1, revelaram maior severidade, com mais de 60% da área ardida nas duas categorias com valores mais elevados de dNBR. Neste evento 44% da área ardida apresenta um dNBR com valores compreendidos entre 0,44 e 0,66 e 29% do perímetro assume mesmo alta severidade ($dNBR \geq 0,66$).

O incêndio de Silves apresenta em mais de 60% da área um $dNBR \geq 0,44$, e embora seja o evento estudado com menor dimensão tem severidade superior ao incêndio de Tavira.

A distribuição espacial das áreas com diferente severidade evidencia um padrão muito heterogêneo revelador da elevada complexidade do mosaico criado pelos grandes incêndios no seu perímetro (Fig.3).

Quadro 4 - Severidade do fogo (dNBR)

Classes de dNBR	Monchique 1	Monchique 2	Silves	Tavira
Sem alteração (<0,1)	0%	0%	0%	0%
Baixa severidade (0,1 – 0,27)	2%	7%	2%	11%
Média severidade (0,27 – 0,44)	25%	30%	35%	54%
Média alta severidade (0,44 – 0,66)	44%	37%	48%	33%
Alta severidade $\geq 0,66$	29%	26%	14%	1%

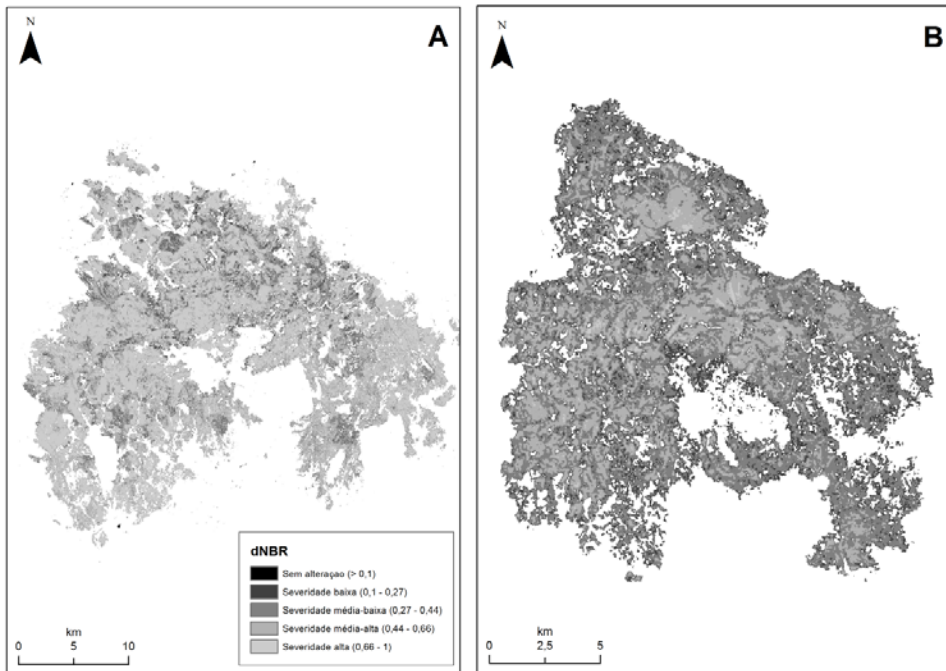


Figura 3. Severidade do fogo. A (Monchique 1, Monchique 2 e Silves), B (Tavira)

3. DISCUSSÃO

3.1. Os grandes incêndios florestais

Mesmo que não seja possível definir uma tendência com significância estatística, os registos existentes põem em evidência que a ocorrência de grandes incêndios aumentou em Portugal continental e no Algarve. O contributo dos grandes incêndios no total de área ardida não deixou de aumentar desde 1980. No Algarve é particularmente relevante que os incêndios estejam a assumir maiores dimensões mas não necessariamente maior severidade, pois o incêndio de Tavira embora tenha maior superfície não assumiu a severidade ecológica e social dos eventos de 2003 que afetaram a serra de Monchique (Tedim *et al.*, 2013). Todavia, a expansão da interface urbano-florestal pode conduzir a cenários futuros mais catastróficos.

Embora na região do Algarve o acréscimo do número dos grandes incêndios florestais não seja tao acentuado (apenas 6,5%) como no total do País, em termos de extensão da área ardida passa-se exatamente o contrário (aumento de 508% no Algarve e de cerca de 200% no total do continente). A ocorrência de incêndios florestais com dimensões extremas, como as dos quatro estudos de caso considerados nesta investigação, evidenciam os limites das atividades de supressão sobretudo quando há uma grande simultaneidade de ocorrências que obriga à dispersão de meios, o que conjugado com condições meteorológicas extremas, reduz a sua capacidade de intervenção. Esta evolução aponta para mudanças no regime de fogo que deverão ser consideradas na gestão do risco.

Num contexto de alterações climáticas em que é expectável um aumento da ocorrência de incêndios assim como da área ardida (Carvalho *et al.*, 2010) e de maior predominância de grandes incêndios (Moreira *et al.*, 2010), importa reforçar a prevenção (p.ex., reduzindo as ignições, a intensidade do fogo, a velocidade de propagação, assim como a vulnerabilidade do ambiente e das sociedades, de modo a mitigar a severidade do fogo) e, paralelamente uma organização de combate ainda mais eficiente. Considerando as limitações na utilização do fogo controlado na região do Algarve impostas pelas condições climáticas e o elevado custo da gestão de combustíveis por meios mecânicos, reconhece-se a importância das alterações do uso do solo e do ordenamento da paisagem na prevenção dos incêndios florestais.

3.2. Proposta de classificação dos grandes incêndios florestais

A diversidade de valores propostos para a definição de *grande incêndio florestal*, nomeadamente na Europa, e o facto de os maiores incêndios ocorridos em Portugal terem ultrapassado a fasquia dos 20 000 ha em 2003, poderiam levar-nos a propor um aumento do limiar para os 500 ha ou mesmo 1000 ha. Todavia, consideramos que deve ser mantido o valor de 100 ha pois traduz uma ocorrência que deve merecer uma atenção especial pois para além de representar uma extensão significativa no contexto da estrutura fundiária portuguesa, requer intervenção de significativos recursos de combate. A análise de ocorrências com esta dimensão deverá permitir retirar lições para uma gestão mais eficaz do risco de incêndio florestal.

Mas, efetivamente, um incêndio de 100 ha e um de 10 000 ha não se distinguem apenas pela extensão mas pelos processos dinâmicos que geram e que se refletem em termos de severidade. Como refere Butry *et al.* (2008), os grandes incêndios não são "simplesmente pequenos fogos mas mais extensos, mas algo fundamentalmente diferente" (p.103).

Este pressuposto conduziu-nos a propor uma classificação dos *grandes incêndios florestais* baseada apenas na extensão da área queimada. Sugerimos que os incêndios com uma dimensão entre 100 e 999 ha se designem de *incêndios extensos*, os eventos entre 1 000 e 9 999 ha sejam considerados como incêndios *muito extensos* enquanto os de dimensão igual ou superior a 10 000 ha se designem de *incêndios extremos*. A designação de mega-incêndio deverá ser deixada para incêndios que assumem elevada severidade quer sob o ponto de vista ecológico quer socioeconómico, independentemente da sua extensão (Williams, 2013; Tedim *et al.*, 2013). Embora os mega-incêndios que até agora identificamos em Portugal sejam superiores a 10 000 ha, não significa que não possam ocorrer eventos de severidade extrema com dimensão inferior que é um cenário possível atendendo à expansão da interface urbano-florestal. Por outro lado, há ocorrências, como a de Tavira que tem mais de 20 000 ha e não é um mega-incêndio.

Em relação aos incêndios com menos de 100 ha propomos que se mantenha a designação de *fogachos* para as ocorrências com menos de 1 ha, *incêndios pequenos* são aqueles que têm menos de 10 ha e *incêndios médios* entre 10 ha e 99 ha. Embora tenhamos chegado às classes propostas apenas considerando a frequência de ocorrência dos incêndios consideramos que um indicador *proxy* (ou variável substituta) dos processos desenvolvidos pelos incêndios que permitirá validar ou propor novos limites para a classificação proposta, poderá ser a severidade. A análise realizada para o Algarve permite sustentar os limites propostos mas mais investigação será realizada antes de avançarmos na validação dos limiares selecionados.

3.3. Ilhas não ardidas e severidade

A investigação realizada demonstrou que as ilhas não ardidas podem representar uma porção significativa nos perímetros dos grandes incêndios florestais. Estudos realizados por vários autores apontam que o número de ilhas não ardidas aumenta com a dimensão do incêndio (Díaz-Delgado *et al.*, 2004; Eberhart e Woodard, 1987). A investigação de Kolden *et al.* (2012) confirma esta relação, mas encontra uma correlação fraca. Os nossos resultados corroboram estas conclusões. Por um lado, o número de ilhas no incêndio de Silves, o de menor extensão entre os casos de estudo, é bem menor do que nos outros eventos em análise. Por outro lado, Tavira tem a maior extensão de área ardida mas tem ligeiramente menos ilhas do que os incêndios de Monchique 1 e 2, embora as características (em termos de dimensão e de representatividade de manchas não ardidas) sejam muito semelhantes.

Díaz-Delgado *et al.* (2004) a propósito dos incêndios na Catalunha concluiu que no período de 1975 e 1998 a superfície das ilhas não ardidas aumentou com a dimensão do incêndio. Os nossos resultados mostram que efetivamente o menor valor surge em Silves e, pelo contrário, a ilha de maior dimensão ocorre no perímetro de Tavira. Todavia, se considerarmos como indicador a dimensão média das ilhas não ardidas, os incêndios de Silves e de Tavira apresentam valores semelhantes e superiores aos dos outros casos de estudo.

A análise da severidade do fogo nos quatro perímetros confirma a não existência de uma relação entre a dimensão do incêndio e a severidade do fogo que outros trabalhos já tinham evidenciado (p.ex., Gill e Moore, 1998; Lutz *et al.*, 2011).

3.4. Implicações na gestão do risco

Os resultados desta investigação permitem demonstrar que a intensidade do fogo é uma variável espacialmente muito variável (Benyon e Lane, 2013) pelo que mapear a severidade e

compreender os fatores explicativos é fundamental para melhorar a gestão do risco. A investigação sobre a explicação das ilhas não ardidas assim como do seu padrão espacial e sua interação com as variáveis da paisagem é de importância crítica para a gestão do risco de incêndio florestal e para a recuperação das áreas ardidas. Como refere Moreira *et al.* (2011) há um debate sobre a importância das características das paisagens e das condições climáticas/meteorológicas na ocorrência dos grandes incêndios. Os resultados deste debate têm fortes implicações no desenvolvimento de medidas de prevenção do risco e na gestão da incerteza relacionada com as alterações climáticas.

Atendendo ao elevado custo da gestão do combustível, às limitações na utilização do fogo controlado nalgumas regiões (nomeadamente por questões climáticas e meteorológicas, como acontece na região do Algarve) é fundamental desenvolver conhecimento que permita reduzir a intensidade dos incêndios e a vulnerabilidade dos elementos em risco, mesmo em situações climáticas (p. ex. período prolongado de seca) ou meteorológicas (baixa humidade, ventos fortes e variáveis) extremas.

Embora haja diferentes interpretações do conceito de regime do fogo, a severidade ecológica assim como o padrão e características das ilhas não ardidas dentro do perímetro do fogo constituem variáveis do regime de fogo para alguns investigadores (Gill e Allan, 2008; Groot *et al.*, 2013; Kolden *et al.*, 2012; Stocks *et al.*, 2003).

A integração da avaliação dos danos na análise dos incêndios florestais é fundamental e constitui um desafio para uma maior eficácia na prevenção do risco, sobretudo de eventos extremos.

Propomos que para os incêndios que classificamos como *muito extensos* e *extremos* seja definido um protocolo de avaliação da severidade ecológica mas também da severidade socioeconómica.

CONCLUSÃO

A investigação que realizamos sobre os grandes incêndios florestais adotou a perspetiva dos riscos naturais, pois o objetivo é compreender os desafios que este tipo de eventos, que podem assumir não só grandes extensões mas também elevada severidade, colocam à avaliação e gestão do risco.

Os resultados da investigação comprovam que a abordagem focalizada nos perímetros dos incêndios florestais como uma extensão contínua e afetada com a mesma intensidade limita a compreensão da complexidade espacial e temporal da severidade dos incêndios florestais, o que condiciona o desenvolvimento de medidas de gestão do risco com melhor relação custo-eficácia. Só porque um incêndio é grande isso não significa que não seja natural ou indesejável e que assuma necessariamente proporções catastróficas (Keane *et al.*, 2008).

A afirmação de que os danos serão tanto mais elevados quanto mais extensa for a área queimada é demasiado simplista e generalista. A relação entre área ardida e severidade do fogo, na sua vertente ecológica, como ficou demonstrado neste trabalho, e social (Tedim *et al.*, 2013), é uma realidade bem mais complexa. A hipótese que serviu de base a esta investigação é válida e por isso a extensão da área ardida não tem validade como variável substituta (indicador *proxy*) dos danos provocados por um incêndio florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGER, A., Finney M.A. and Vaillant N.M. Analyzing the spatial transmission of wildfire risk from large fires. In SPANO, D., *Modelling Fire Behaviour and Risk*. Italy, University of Sassari, Maio 2012, p.108-113.
- BARROS, A. M.G., Pereira J.M.C. and Lund U.J. Identifying geographical patterns of wildfire orientation: A watershed-based analysis. *Forest Ecology and Management*, 2012, vol. 264, p. 98-107.
- BARTLETT, T., Leonard M., Morgan G. The megafire phenomenon: some Australian perspectives. In The 2007 Institute of Foresters of Australia and New Zealand Institute of Forestry Conference: Programme, Abstracts and Papers, Canberra, 2007, Institute of Foresters of Australia, 2007.

- BENYON, R.G., Lane P.N.J. Ground and satellite-based assessments of wet eucalypt forest survival and regeneration for predicting long-term hydrological responses to a large. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 294, p. 197–207.
- BERMUDEZ, P.Z., Mendes J., Pereira J.M.C., Turkman K. F. and Vasconcelos M. J. P. Spatial and temporal extremes of wildfire sizes in Portugal (1984–2004). *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol.18, p. 983–991.
- BINGGELI, F. Algumas reflexões, 5 anos após 2003. In SANDE SILVA, J., DEUS, E. and SALDANHA, L. Incêndios Florestais, 5 anos após 2003, Parte II, Liga para a Proteção da Natureza, 2008, Autoridade Florestal Nacional, p. 87-95.
- BRYHN, A.C., Dimberg P.H. An Operational Definition of a Statistically Meaningful Trend. *PLoS ONE*, 2011, vol. 6, nº 4, p.19241
- BUTRY, D.T., Gumpertz M. and Genton M.G. The production of large and small wildfires. In Holmes T.P. *et al.* *The Economics of Forest Disturbances*, Springer, 2008, p-79-106.
- CANTY, M.J. and Nielsen A.A. Automatic Radiometric Normalization of Multitemporal Satellite Imagery with the Iteratively Re-weighted MAD Transformation. *Remote Sensing of Environment*, 2008, vol. 112, nº 3, p. 1025-1036.
- CHANDER, G., Markhamb, B. L and Helder D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 2009, vol.113, p.893–903
- COSTA, L., Thonick K., Poulter B. and Badeck F.W. Sensitivity of Portuguese forest fires to climatic, human, and landscape variables: subnational differences between fire drivers in extreme fire years and decadal averages. *Regional Environmental Change*, 2010, vol. 11, nº 3, p. 543-551.
- DELOGU, A., Murrancia S., Deiana E. and Cabiddu S. Muravera 2010: analysis of an extreme wildfire. In SPANO, D., *Modelling Fire Behaviour and Risk*. Italy, University of Sassari, 2012, p. 145-149.
- DIAZ-DELGADO, Ricardo, Lloret, Francisco and Pons, Xavier. Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology*, 2004, vol. 19, p. 731-745.
- DICKSON, B.G., Prather J.W., Xu Y., Hampton H.M., Aumack E.N. and Sisk T. D. (2006). Mapping the probability of large fire occurrence in northern Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 2006, vol. 21, p. 747-761.
- DIMITRAKOPOULOS, A., Gogi C., Stamatelos G. and Mitsopoulos I. Statistical Analysis of the Fire Environment of Large Forest Fires (>1000 ha) in Greece. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2011, vol. 20, nº 2, p. 327-332.
- DU, Y., Teillet P.M. and Cihlar J. Radiometric normalization of multi-temporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote Sensing of Environment*, 2002, vol. 82, nº1, p. 123–134.
- EBERHART, K.E. and Woodard P.M. Distribution of residual vegetation associated with large fires in Alberta. *Canadian Journal of Forest Research*, 1987, vol.17, p. 1207-1212.
- ESCUIN, S., Navarro R. and Fernández P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, vol. 29, nº 4, p. 1053–1073.
- FAO (Food and Agriculture Organization). Fire management – global assessment 2006. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. Rome: FAO. 2007. p. 135
- GAUTEAME, A. and Jappiot M. What causes large fires in Southern France? *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 294, p. 76-85.
- GILL, A. M. and Allan G. Large fires, fire effects and the fire-regime concept. *International Journal of Wildland Fire*, 2008, vol. 17, p. 688–695.
- GILL, A.M., and Moore P.H.R. Big versus small fires: the bushfires of Greater Sidney, January, 1994. In MORENO J.M. *Large Fires*, Leiden, Netherlands. Backhury's Publishers, 1998.
- GROOT, W.J., Cantin, A.S., Flannigan, M.D., Soja, A., Gowman, L.M. and Newbery, A. Exploring thA comparison of Canadian and Russian boreal forest fire regimes. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 294, p. 23-34.
- HELMER, E.H. and Ruefenacht B. A comparison of radiometric normalization methods when filling cloud gaps in Landsat imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing/Journal Canadian de Teledetection*, 2007, vol. 33, p. 325–340.

- KEANE, R.E., Agee, J.A., Fulé, P., Keeley, J.E., Key, C., Kitchen, S.G., Miller, R. and Schulte L.A. Ecological effects of large fires on US landscapes: benefit or catastrophe? *International Journal of Wildland Fire*, 2008, vol. 17, p. 696-712.
- KOLDEN, C.A., Lutz, J.A., Key, C.H., Kane, J.T. and Van-Wagtendonk, J.W. Mapped versus actual burned area within wildfire perimeters: Characterizing the unburned. *Forest Ecology and Management*, 2012, vol. 286, p. 38-47.
- KOLDEN, Crystal A. and Weisberg, Peter J. Assessing accuracy of Manually- mapped Wildfire Perimeters in Topographically Disssected Areas. *Fire Ecology Special Issue*, 2007, vol. 3, nº 1, p. 22-31.
- LU D., Ge H., He S., Xu A., Zhou G., Du H. Pixel-based Minnaert Correction Method for Reducing Topographic Effects on a Landsat 7 ETM+ Image. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2008, vol. 74, nº 11, p.1343–1350.
- LUTZ, J.A., Key, C.H., Kolden, C.A., Kane, J.T., and van Wagtendonk J.W. Fire frequency, area burned, and severity: what is a normal fire year? *Fire Ecology*, 2011, vol. 7, nº 2, p. 51-65.
- McRAE, R. and Sharples J. A conceptual Framework for assessing the risk posed by extreme bushfires. *The Australian Journal of Emergency Management*, 2011, vol. 26, nº 2, p. 47-53.
- MOREIRA, Francisco, Catry, Filipe X., Rego, Francisco and Bacao Fernando. Size-dependent pattern of wildfire ignitions in Portugal: when do ignitions turn into big fires? *Landscape Ecology*, 2010, vol. 25, p. 1405-1417.
- MOREIRA, Francisco, Viedm, Olga, Arianoustsou, Margarita, Curt, Thomas, Koutsias, Nikos, Rigolot Eric, Barbati, Anna, Corona, Piermaria, Vaz, Pedro, Xanthopoulos, Gavriil and Mouillot Florent. Landscape –wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *Journal of Environmental Management*, 2011, vol. 92, p. 2389-2402.
- MORENO, J. M., Viedma, O., Zavala, G. and Luna, B. Landscape variables influencing forest fires in central Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 2011, vol. 20, p. 678–689.
- MORENO, J.M., Vázquez, A. and Vélez, R. Recent history of forest fires in Spain, In MORENO, J.M., *Large Forest Fires*. Leiden, Netherlands. Backhury Publishers, 1998, p. 159-185.
- ROMERO, F. and Senra, F. *Grandes Incendios Forestales Causas y efectos de una ineficaz gestión del territorio*. Gran Vía de San Francisco, Madrid, España, WWF/Adena, 2006.
- SAN-MIGUEL, J. and Camia, A. Forest fires at a glance: facts, figures and trends in EU, In BIROT, Y. *Living with wildfires: what science can tell us*. Joensuu, European Forest Institute, 2009.
- SAN-MIGUEL-AYANZ, J., Moreno, J.M. and Camia, A. Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 294, p. 11-22.
- Serviço Municipal de Proteção Civil de Portimão. Relatório – Fogos Florestais no Município de Portimão, SMPC/CMP/JM/AT, 7 a 16 de Agosto 2003, , Portimão.
- TEDIM, F., Remelgado R., Borges C., Carvalho S. and Martins J. Exploring the occurrence of mega-fires in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 294, p. 86-96.
- TEILLET, P.M., Fedosejevs, G., Gauthier, D., D'Iorio, M.A., Rivard, B., Budkewitsch, P. and Brisco, B. Initial Examination of Radar Imagery of Optical Radiometric Calibration Sites. *Proceedings of SPIE Conference 2583 on Advanced and Next-Generation Satellites*, Paris, France, 1995, p. 154-165.
- THOME, K.G, Biggar, S.F., Gellman, D.I., Slater, P.N. Absolute-radio calibration of Landsat-5 Thematic Mapper and the proposed calibration of the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer. In *Proceedings IGARSS*, 1994, p. 2973-2975.
- VIEGAS, D.X. Weather, fire status and fire occurrence: Predicting large fires. In MORENO, J.M., *Large Forest Fires*. Leiden, Netherlands. Backhury Publishers, 1998, p. 31–48.
- WILLIAMS, J. The 1910 Fires A Century Later: Could They Happen Again? In *Inland Empire Society of American Foresters Annual Meeting*, Wallace, Idaho, 20-22 May 2010.
- WILLIAMS, Jerry. Exploring the onset of high-impact mega-fires through a forest land management prism, *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 294, p. 4-10.
- YANG, X. and Lo, C.P. Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, vol. 66, nº 8, p. 967-980.
- YATES, C.P., Edwards, A.C. and Russell-Smith, J. Big fires and their ecological impacts in Australian savannas: size and frequency matters. *International Journal of Wildland Fire*, 2008, vol.17, p. 768–781.