

EROSÃO DOS SOLOS APÓS INCÊNDIOS FLORESTAIS: AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO APLICADAS EM VERTENTES E EM CANAIS, NO NW DE PORTUGAL

António Bento-Gonçalves
Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), Departamento de Geografia, Universidade do Minho
bento@geografia.uminho.pt

António Vieira
Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), Departamento de Geografia, Universidade do Minho
vieira@geografia.uminho.pt

Flora Ferreira Leite
Bolsista da FCT, Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), Departamento de Geografia, Universidade do Minho
floraferreiraleite@gmail.com

RESUMO

Em Portugal deflagram anualmente milhares de incêndios nos seus espaços silvestres, observando-se uma tendência para o aumento anual dessas deflagrações e da respetiva área ardida, bem como para o aumento da recorrência. Este cenário complexo tem contribuído para o acréscimo do número e dimensão dos grandes incêndios (Ferreira-Leite, 2010; Ferreira-Leite *et al.*, 2011 e 2013).

O desenvolvimento e a implementação de medidas que promovam a redução dos impactos dos incêndios são, portanto, imperativos, e devem ser parte de qualquer estratégia para a defesa e recuperação da floresta e do solo, especialmente considerando o atual cenário de crescimento contínuo no número de incêndios e área ardida (Robichaud, 2009, 2010).

Este trabalho pretende, deste modo, apresentar as medidas aplicadas na área de estudo no âmbito do projeto Soil Protec, relativas aos processos desencadeados em vertentes e em canais, bem como os resultados das observações preliminares relativas à avaliação da eficácia dessas medidas de mitigação da erosão implementadas e sua relação custo/benefício.

PALAVRAS-CHAVE: Incêndios florestais, erosão do solo, medidas de emergência, vertentes, canais.

SOIL EROSION AFTER FOREST FIRES: EVALUATION OF MITIGATION MEASURES APPLIED TO SLOPES AND CHANNELS, IN THE NW OF PORTUGAL

ABSTRACT

Portugal is traversed each year by fires, showing a positive trend for an annual increase in their number and in the area scorched, as well as an increase in the recurrence of fires (Ferreira-Leite *et al.*, 2011) and occurrence of large fires (Ferreira-Leite, 2010; Ferreira-Leite *et al.*, 2011, 2013).

The development and implementation of measures which promote the reduction of the impacts of forest fires is, therefore, imperative, and should be part of any strategy for forest and soil defense and recovery, especially considering the actual scenario of continuous growth in the number of fires and burnt area (Robichaud, 2009, 2010).

This paper therefore seeks to present the measures applied in the study area within the project Soil Protec, relating to channels triggered processes, and the results of preliminary observations concerning the evaluation of the effectiveness of erosion mitigation measures implemented and their cost/benefit ratio.

KEY-WORDS: Forest fires, soil erosion, emergency measures, slopes, channels.

INTRODUÇÃO

Portugal é anualmente percorrido por numerosos incêndios, existindo uma tendência positiva para o aumento anual do seu número e da respetiva área ardida (Pereira *et al.*, 2006; Lourenço *et al.*, 2012), bem como um aumento da recorrência (Ferreira-Leite, F. *et al.*, 2011) e do número e dimensão dos grandes incêndios (Ferreira-Leite, 2010; Ferreira-Leite *et al.*, 2011, 2013), devido tanto à natureza da floresta portuguesa como à forma como ela é gerida e ordenada e mesmo, às eventuais alterações das condições meteorológicas, mais propícias a fogos (Bento-Gonçalves *et al.*, 2011).

Como consequência, aumenta a erosão da camada superior dos solos, onde se localizam, na maioria dos solos portugueses, os únicos nutrientes existentes (Lourenço e Monteiro, 1989; Burch *et al.*, 1989; Lourenço *et al.*, 1990; Imeson *et al.*, 1992; Shakesby, *et al.*, 1993; Scott e Schulze, 1992; Scott, 1993; Lourenço, 1996; Inbar *et al.*, 1998; Cerdà e Lasanta, 2005; Benavides-Solorio e MacDonald, 2005; Bento-Gonçalves *et al.*, 2008).

Num clima de características mediterrâneas, a exportação dos sedimentos e dos nutrientes normalmente acontece nos primeiros 4/6 meses após os incêndios, pelo que é fundamental estudar e implementar um conjunto de soluções que reduzam essas perdas (Shakesby *et al.*, 1993; Bento-Gonçalves e Coelho, 1995; Shakesby *et al.*, 1996; Walsh, 1998; Bento-Gonçalves e Lourenço, L. 2010; Vega *et al.*, 2010).

No entanto, este processo está intimamente dependente da recorrência dos incêndios, da sua intensidade, severidade, variabilidade espacial da hidrofobicidade do solo (Jungerius e DeJong 1989; Ritsema e Dekker 1994; Coelho *et al.* 2004; Bento-Gonçalves *et al.*, 2012) e das características do local (altitude, declive, exposição, clima, geologia, ...), como o demonstraram os trabalhos pioneiros realizados na serra da Lousã, situada na Região Centro, onde foram realizados os primeiros estudos em Portugal (Lourenço, 1989; Lourenço e Bento-Gonçalves, 1990; Lourenço, Bento-Gonçalves e Monteiro, 1991), pelo que se deverão adequar os diferentes tratamentos a cada realidade.

A intervenção na recuperação da floresta após incêndios florestais tem sido implementada há muito tempo, especialmente no "mundo mediterrâneo", onde o fogo tem sido um fator natural e fundamental para a evolução da paisagem ao longo do tempo, mesmo antes da humanidade (Naveh, 1975; Pyne, 1982; Pausas *et al.*, 2008; Mataix-Solera e Cerdà, 2009; Pausas e Keeley, 2009; Shakesby, 2011).

Nos Estados Unidos da América atividades de intervenção pós-fogo têm sido implementadas há já algumas décadas (desde a década de 1930, de acordo com Robichaud *et al.*, 2005), com equipas especializadas multidisciplinares que avaliam a necessidade e o tipo de medidas de tratamento para cada área queimada (Robichaud, 2009), aplicando programas específicos de avaliação para a intervenção em áreas de risco (BAER = Respostas de Emergência em Áreas Queimadas) (Napper, 2006). Também outros países afetados por incêndios florestais, tais como Austrália e Canadá, estão a promover amplas estratégias e planos de reabilitação pós-incêndios (Pike e Ussery, 2006; Robichaud, 2009).

Nos países europeus do Mediterrâneo os esforços das autoridades têm sido direcionados, principalmente, para as estratégias de restauração das áreas afetadas, e apenas nas últimas duas décadas os tratamentos de estabilização de emergência foram implementados, embora em menor escala. A importância deste problema nos países mediterrâneos da União Europeia alertou as autoridades para a necessidade de promoção do financiamento e desenvolvimento de projetos de investigação científica, como o EUFIRELAB, que teve como principal output um relatório sobre as ferramentas e metodologias adequadas para restaurar áreas queimadas (Vallejo, 2006). Concomitantemente, algumas iniciativas têm sido desenvolvidas, por exemplo, em Espanha

(Bautista *et al.*, 1996; Pinaya *et al.*, 2000; Carballas *et al.*, 2009; Vega, 2011) ou na Grécia (Raftovannis e Spanos, 2005).

As medidas de intervenção aplicadas após os incêndios são geralmente agrupados em três categorias (USA General Accounting Office, 2006; Robichaud, 2009), distintas entre si, tanto em termos de estratégias a implementar, como em termos de prazos para a sua implementação. As medidas de intervenção imediatas são designadas de procedimentos de “estabilização de emergência” e são implementados imediatamente após o incêndio (por vezes, antes mesmo de o fogo estar completamente controlado) e dentro do prazo de um ano, com os objetivos principais de controlar e reduzir a erosão do solo e proteger a vida, propriedade e recursos. Os principais procedimentos de estabilização de emergência são o “mulching” e a sementeira, as barreiras de troncos segundo as curvas de nível, as barreiras de troncos em canais (checkdams), entre outros (Neary *et al.*, 2005; Napper, 2006; Foltz *et al.*, 2009; Robichaud *et al.*, 2010). Na segunda categoria estão incluídos os procedimentos de “reabilitação”, implementados ao longo de um período de tempo superior, cerca de três anos após o fogo, e incluindo tarefas como a reparação de instalações ou a atenuação dos danos das terras sem capacidade de autorrecuperação. Finalmente, as estratégias de “restauração”, consideradas ações de longo prazo, e que são implementadas juntamente com as outras estratégias, mas têm aplicação temporal mais alargada, promovendo a restauração da qualidade do habitat e da produtividade e aumento da resiliência do habitat (Robichaud, 2009).

Estas medidas são amplamente implementadas (especialmente nos Estados Unidos), com a finalidade de promover a reabilitação eficaz de áreas queimadas e para mitigar os efeitos dos incêndios no solo e na vegetação. Mas, antes de decidir quais medidas adequadas para uma situação específica, temos que decidir que áreas precisam de medidas de proteção do solo. Como refere Robichaud (2010), a justificação para a aplicação de tratamentos pós-fogo é hoje em dia empreendida tendo em conta a necessidade de critérios diferentes: a perspectiva da prevenção da erosão do solo como objetivo final não é mais adequada, mas deve incluir a proteção “da segurança pública e dos recursos valiosos de danos ou perda provável” (pág. 23). O alto custo de quase todas as medidas citadas obrigam a analisar adequadamente o custo-benefício de cada tratamento em cada situação.

Na verdade, a maioria dos tratamentos pós-fogo são muito caros e não são adequados para aplicação em grandes áreas ardidas. A sua justificação só pode ser suportada quando um recurso de elevado valor está em risco ou vidas humanas ou infraestruturas.

A generalização da aplicação destas técnicas nas últimas décadas tem mostrado, no entanto, grande variabilidade na eficácia de cada técnica. Na verdade, a avaliação da eficácia das diferentes medidas de proteção do solo tem ocupado os investigadores nos últimos anos, tentando esclarecer algumas questões não respondidas (Robichaud *et al.*, 2000; Robichaud, 2005; Wagenbrenner *et al.*, 2006; Robichaud *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2011; Fontúrbel *et al.*, 2010).

Embora a implementação de tratamentos pós-fogo de mitigação promova, sem dúvida, a proteção do solo contra a erosão e ajude a recuperação da vegetação, nalgumas áreas é preferível não aplicar qualquer tipo de tratamento em áreas ardidas (Robichaud, 2009; Bautista *et al.*, 2009). Além disso, a sua eficácia deve continuar a ser avaliada, bem como os seus impactes, a curto e longo prazo, sobre solo, água e plantas (Kruse *et al.*, 2004; Robichaud, 2009; Neary, 2009).

1. OBJETIVOS

A maioria das medidas de proteção do solo após incêndios são relativamente dispendiosas e de difícil aplicabilidade, razão pela qual a maioria dos proprietários florestais não se mostra muitas vezes recetiva ao investimento nessas medidas, especialmente num contexto de baixo rendimento e de alto risco que o investimento na floresta implica.

Assim, o projeto Soil Protec (Medidas de emergência para proteção de solos após incêndios florestais) visa testar medidas de emergência de baixo custo, em vertentes e em canais, a aplicar na proteção de solos, imediatamente após incêndios florestais de baixa/média severidade, com base em medições efetuadas em povoamentos de *Pinus pinaster* na serra do Gerês (noroeste de Portugal) (Bento-Gonçalves *et al.*, 2011).

No contexto do presente trabalho, são nossos objetivos:

- testar, em vertentes, o papel da caruma, existente no local do próprio incêndio, a qual resulta em parte da queda após o incêndio de baixa/média intensidade, enquanto

protetora do solo contra a erosão física e, também, comparativamente com o desempenhado pela palha.

- testar um conjunto de medidas em canais onde se verifica a concentração da escorrência, procurando reduzir os processos de ravinamento e de remoção e transporte do solo, através da implementação de estruturas, materiais e técnicas que favoreçam a retenção dos sedimentos e a colmatação de possíveis sulcos e ravinas pré-existentes.

As medidas serão avaliadas quer no que diz respeito à sua eficácia na mitigação da erosão, quer relativamente ao custo/benefício evidenciado.

2. MEDIDAS MITIGADORAS

Várias estratégias de mitigação e de restauro podem ser aplicadas, em função do risco de degradação e dos objetivos da gestão.

De facto, a gestão florestal pode ter múltiplos objetivos. Contudo, se o que se pretende é reduzir os impactos dos incêndios florestais, podem ser definidos na maioria dos casos, um conjunto mínimo de objetivos prioritários (Vallejo, 2006):

- 1 - Proteção do solo e regulação hidrológica;
- 2 - Redução do risco de incêndio e aumento da resistência e resiliência dos ecossistemas e paisagens perante os incêndios florestais;
- 3 - Desenvolvimento dos bosques adultos, diversos e produtivos.

Atualmente no Mediterrâneo, a política de gestão dominante é a supressão de todas as eclosões/deflagrações. No entanto, uma alternativa é a utilização dos fogos controlados como uma importante ferramenta de gestão (Fireparadox - <http://www.fireparadox.org/>). A principal vantagem dos fogos controlados é a redução da acumulação do combustível, o que, promovendo a descontinuidade do combustível, limita a severidade dos fogos florestais. No entanto, numa perspetiva de longo prazo devem aplicar-se sobretudo medidas de silvicultura preventiva (Shakesby, 2011).

Assim, devem ser desenvolvidas estratégias para incrementar a heterogeneidade e a fragmentação da diversidade estrutural da vegetação, o que poderá contribuir para o aumento da resistência das paisagens ao fogo (Moreira *et al.*, 2009).

Existe igualmente outro tipo de opções cujo objetivo é criar e divulgar as bases científicas e técnicas de intervenção para a gestão de áreas ardidas, técnicas que podem ser aplicadas, imediatamente após incêndios, para minimizar a erosão e que, ao mesmo tempo, contribuem para a conservação dos ecossistemas.

Dependendo do local de atuação, na área ardida, podem agrupar-se as técnicas de recuperação de solo da seguinte forma: i) tratamento de encostas, ii) tratamento de canais e iii) tratamento de caminhos e trilhos. Estes tratamentos podem ser usados de forma integrada, nas áreas ardidas.

No universo de técnicas disponíveis para minimizar a erosão do solo e da escorrência superficial, meramente a título de exemplo, Coelho *et al.* (2010) identificaram, no total, 27 técnicas que podem ser implementadas após incêndio em encostas (mulch, hirdo-mulch, bandas ou cordões de mulch, sementeira, hidro-sementeira, barreiras de troncos, barreira de tubos de nylon com palha, lavoura e escarificação, terraços, revegetação ou restauração ecológica, cerca ou barreiras de sedimentos), canais (barreiras de fardos de palha, barreiras de troncos, barreiras de pedras, barreiras de sacos de areia, solo ou cascalho) e caminhos e trilhos (tratamento da superfície do caminho, drenagem da água da superfície do caminho, drenagem por inclinação do caminho, rampas convexas, rolamentos na superfície caminho, barreiras para a água, desvios laterais para a água, deflectores de borracha, tubagens abertas, valas, tubagens fechadas).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. A área de estudo e os incêndios

O território do concelho de Terras de Bouro, no período de 1996 a 2010, apenas em 3 anos (1997, 2008 e 2010) teve menos do que 100 incêndios florestais e apenas em 2 anos (2001 e 2005) teve mais do que 140 ocorrências (Tabela I).

Relativamente à área ardida, destacam-se os anos de 1996, 2009 e 2010, com mais de 1000ha de área queimada, mas muito em particular o ano de 2010 em que a mesma foi de 5403,07ha (TABELA I).

TABELA I. Área ardida (ha) e número de incêndios por dimensão da área ardida (ha), no período de 1996 a 2010, no concelho de Terras de Bouro.

Ano	Área ardida (ha)	Número de incêndios florestais por dimensão de área ardida				
		<100ha	100-500ha	500-1000ha	>1000ha	Total
1996	1143,87	105	2	1		108
1997	151,12	90				90
1998	197,21	119				119
1999	117,65	100				100
2000	552,78	121	2			123
2001	648,87	198	1			199
2002	229,81	136				136
2003	160,89	128				128
2004	175,75	136				136
2005	429,15	172				172
2006	747,44	127	3			130
2007	864,75	129	2			131
2008	220,73	36	1			37
2009	1276,99	124		1		125
2010	5403,07	59	2	2	2	65
Total	12320,08	1780	13	4	2	1799
		98,94	0,72	0,22	0,11	100
				1,06		

Quanto ao número de incêndios por área ardida, verifica-se que os de dimensão inferior a 100ha são mais representativos (98,94%). Os grandes incêndios florestais (GIF, com dimensão superior a 100ha) somam neste período 19 ocorrências num total de 1799, representando apenas 1,06% do total das ocorrências no concelho (TABELA I).

Embora tenham ocorrido GIF antes de 2006 (1996 - 3 GIF; 2000 - 2 GIF; 2001 - 1 GIF), é a partir desse ano que passaram a registar-se GIF anualmente, sendo que foi em 2010 que se verificaram os dois maiores GIF dos últimos 15 anos, cada um deles com uma área ardida superior a 1000ha (TABELA I).

O primeiro destes incêndios lavrou durante mais de 24 horas, em Vilarinho das Furnas, Campo do Gerês, tendo o alerta sido dado por populares no dia 7 de Agosto pelas 15h48m. Foi extinto às 22h40m do dia seguinte, somando uma área ardida de 2316ha de mato. A causa deste incêndio, de acordo com as investigações, ficou a dever-se a negligência.

O segundo incêndio registou uma ardida menor que o anterior, mas ainda assim muito expressiva no contexto do concelho. Consumiu uma área de 1184ha, com uma proporção muito equilibrada entre área ardida de povoamento e de mato, 600 e 584ha, respetivamente. Este incêndio deflagrou na Calcedónia, em Rio Caldo, e manteve-se ativo durante 6 dias. O incêndio foi identificado por populares às 13h15min do dia 10 de Agosto e causado por intencionalidade.

Assim, do conjunto dos 2 incêndios resultou uma área ardida contínua de 3500ha, que foi sujeita a diferentes intensidades e severidades do fogo (fig. 1).

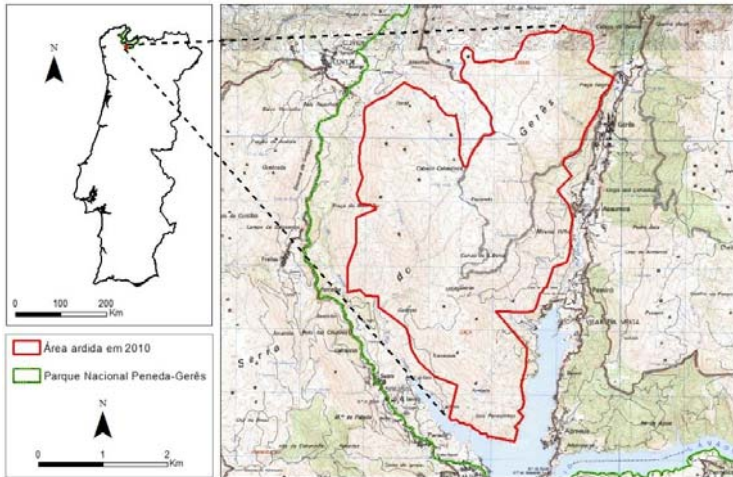


Fig. 1 - Área ardida no conjunto dos dois grandes incêndios de 2010 no concelho de Terras de Bouro.

De forma a avaliarmos a severidade do incêndio no conjunto da área afetada, considerámos fundamental a exploração de imagens de satélite, recorrendo a ferramentas de deteção remota. Neste sentido, identificámos várias imagens obtidas pelos sensores dos satélites Landsat, anteriores e posteriores ao incêndio. A partir das imagens de 30 de Julho de 2010 e de 28 de Abril de 2011 provenientes do Landsat 5 procedemos ao cálculo da severidade, com base no algoritmo NBR (normalized burnt ratio), tendo-se criado cinco classes de representação dos resultados: severidade muito elevada, severidade elevada, severidade moderada, severidade baixa e não ardida (fig. 2).

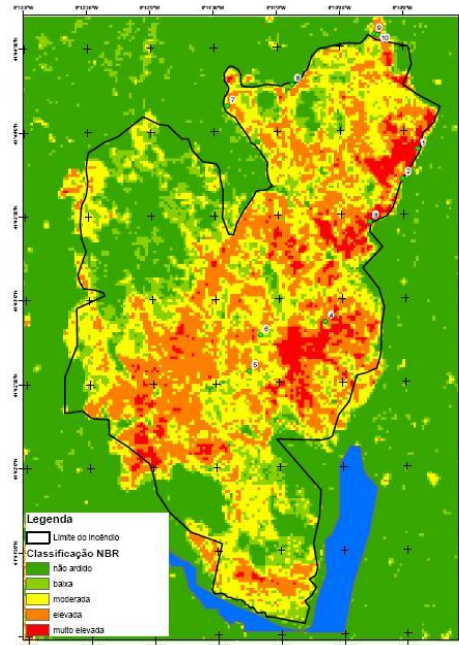


Figura 2. Mapa de severidade da área ardida correspondente aos incêndios de 7 e 10 de Agosto de 2010 no concelho de Terras de Bouro.

O resultado obtido foi validado no campo (fot. 1 e 2), onde foi avaliada a severidade do incêndio com base nas metodologias do BAER⁸ - Parsons *et al.*, 2010) e de Lampin *et al.* (2003)⁹.



Fotografias 1 e 2. Junceda – área ardida de média e alta severidade.

3.2. As medidas aplicadas em encostas

Na sequência dos 2 GIF descritos anteriormente, foram instaladas 6 parcelas¹⁰ com 10 metros de comprimento por 2,5 metros de largura, numa área ardida de “média e alta severidade”, de povoamento de *Pinus pinaster* com um declive médio de 15% (fig. 3).

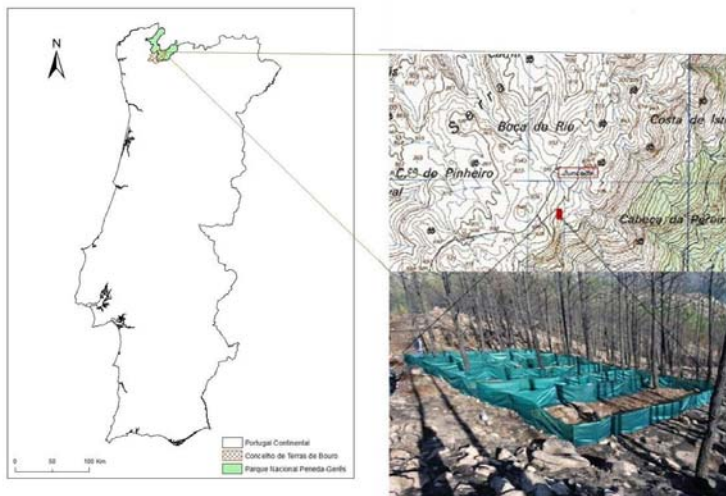


Figura 3. Área de estudo (Junceda, Terras do Bouro)

Trata-se de uma área essencialmente desenvolvida em substrato granítico”, de solo (cambissolos) pedregoso e delgado, com um uso do solo florestal nos últimos 50 anos e um clima caracterizado por elevados quantitativos de precipitação.

Foram, seguidamente, aplicados os diferentes tratamentos propostos selecionados para avaliação, correspondentes a palha (2, 4 e 8 kg) e caruma (2 e 4 Kg), distribuídos por 5 parcelas e foi deixada uma para controlo (fig. 4).

8 Foram apenas tidos em conta os fatores vegetação (árvores, arbustos e combustíveis finos) e cobertura do solo.

9 Foram apenas tidos em conta os efeitos sobre os espaços naturais.

10 As parcelas utilizadas neste projeto resultam da adaptação da metodologia implementada nas parcelas usadas no Monte Cabalar (Galiza), no projecto “Protección de suelos forestales quemados mediante técnicas de rehabilitación: eficacia en el control de la erosión y efectos sobre la calidad del suelo”, levado a cabo pelo “Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (CSIC)” e pelo “Centro de Investigación Forestal de Lourizán (Xunta de Galicia)”.

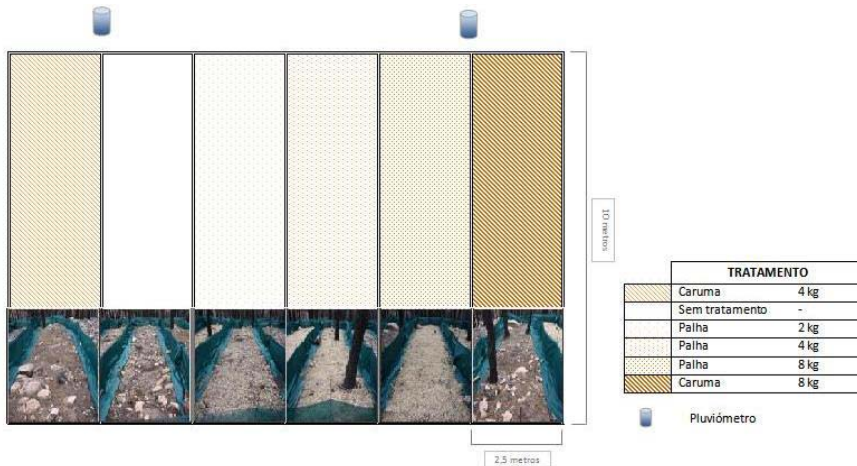


Figura 4. Desenho experimental para testar medidas de emergência de proteção do solo pós-fogo

3.3. As medidas aplicadas em canais

Na prossecução dos objetivos inicialmente definidos, procedemos, também, ao reconhecimento de locais sensíveis aos processos de erosão linear na área atingida pelos incêndios florestais referidos, identificando-se uma área adequada (área de *Pinus pinaster* onde o fogo atingiu uma severidade média; fot. 3), na qual se definiram três pontos críticos onde estabelecemos medidas estruturais em canais, com o objetivo de promover a mitigação da erosão. De referir que esta área foi selecionada também porque se verificou uma significativa perturbação pós-incêndio, desencadeada pela extração da madeira queimada, por parte dos madeireiros, com a utilização de maquinaria pesada.



Fotografia 3. Área selecionada para implementação das medidas de mitigação da erosão em canais.

(Sinalizadas com setas as linhas de circulação de água intervencionadas)

Localizado próximo do local onde se instalaram as parcelas, apresenta as mesmas características, em termos litológicos e edáficos”.

As medidas selecionadas tiveram uma aplicação especificamente nos canais, correspondentes às linhas de drenagem (efêmeras ou de baixa ordem) das águas das vertentes da área de estudo, tendo como objetivo a alteração dos fluxos de água e sedimentos, de forma a diminuir a quantidade de solo arrastado para os cursos de água a jusante e consequente destruição de infraestruturas humanas ou culturas por ação de eventuais torrentes de detritos que pudessem ocorrer.

As técnicas implementadas foram as barreiras de troncos, as barreiras de palha e as barreiras de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma.

As primeiras (barreiras de troncos) obrigaram a meios mecânicos para a sua execução (motoserras e trator), constituindo uma técnica mais exigente ao nível dos custos, pois exigem também mais mão-de-obra para a sua execução (fot. 4A e 4B).



Fotografias 4A e 4B. Construção de barreiras de troncos.

O princípio deste tipo de medidas é a aplicação de troncos de árvores recolhidos no local (diminuindo, assim, o custo inerente ao transporte de materiais externos à área) e dispostos perpendicularmente à linha de fluxo de água, de forma a constituir uma barreira aos sedimentos transportados pela vertente e no canal, permitindo a sua acumulação a montante, e diminuindo a velocidade da escorrência e, eventualmente, atenuando possíveis picos de escorrência. As acumulações de sedimentos poderão funcionar, posteriormente, como locais favoráveis à recuperação da vegetação.

As barreiras de palha, de mais simples implementação, têm por base os mesmos objetivos e princípios das barreiras de troncos. No entanto, a sua localização deve privilegiar locais de menor declive e canais de dimensões reduzidas. A colocação dos fardos de palha, preferivelmente entre as três e as cinco unidades, deve ser perpendicular à linha de água. É frequente a colocação de pedras (ou troncos) de forma a servir de suporte aos fardos. No caso da barreira de palha instalada na área em estudo (fot. 5A e 5B) foram colocados três fardos de palha, fixados por vergas de ferro no seu interior¹¹, e apoiados por blocos graníticos.

A esta metodologia está associado o custo dos fardos de palha e respetivo transporte, sendo que a mão-de-obra tem uma importância menos significativa, sendo o manuseamento dos fardos fácil.



Fotografias 5A e 5B. Barreira de fardos de palha.

As barreiras compostas de ramos e de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma são elaboradas com recurso aos materiais existentes no local, sendo as mais económicas e de mais fácil implementação e que facilmente os madeireiros poderão implementar de forma sistemática

¹¹ A dureza do substrato granítico obrigou à utilização de vergas de ferro para a fixação dos fardos, ao invés das tradicionais estacas de madeira.

após a extração da madeira. Constitui uma variante da técnica implementada nos EUA (Napper, 2006) em que são colocados ao longo dos cursos de água os topos das árvores cortadas.

No contexto da área de estudo, a intervenção de remoção da madeira (essencialmente os troncos, ainda com algum potencial económico), levou a que ficassem acumuladas grandes quantidades de ramos dos pinheiros e outros restos do corte, o que permitiu a implementação deste tipo de medida em diversos pontos das linhas de água intervencionadas, funcionando como medidas acessórias às referidas anteriormente. Este tipo de medida exige apenas alguma mão-de-obra, uma vez que todo o material necessário existe no local.

4. RESULTADOS PRELIMINARES E NOTAS FINAIS

4.1. Em vertentes

Numa análise superficial dos primeiros resultados, verificamos que as taxas anuais de erosão verificadas nas parcelas (com e sem tratamento) não se mostraram significativas (fig. 5), podendo a erosão ser considerada como tolerável.

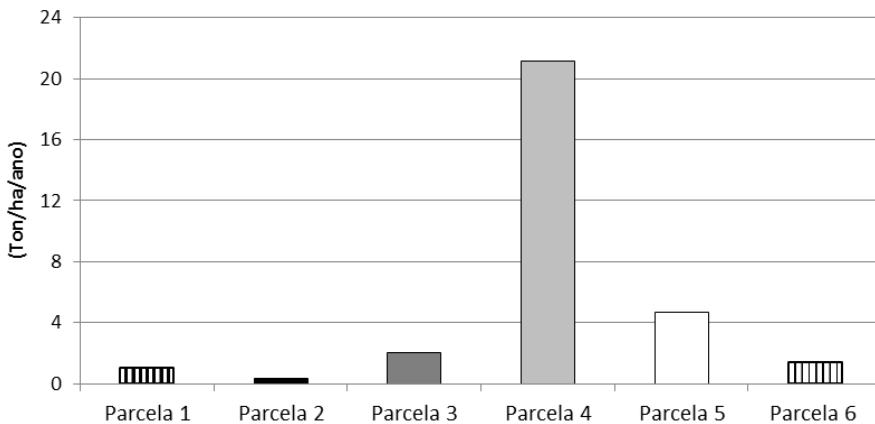


Figura 5. Taxas de erosão (Ton/ha/ano).

Com efeito, em condições semelhantes às verificadas na nossa área de estudo, DIAZ-FIERROS *et al.* (1982) considerou, para a Galiza, 3 limiares de risco de erosão, que correspondem respetivamente a 11, 30 e 100 Ton/ha/ano. Deste modo, até 11 Ton/ha/ano a erosão considera-se tolerável, passando a ligeira, quando se situa entre 11 e 30 Ton/ha/ano, ou moderada, quando posicionada entre 30 e 100 Ton/ha/ano, e grave, quando superior a este último valor.

Também a FAO-PNUMA-UNESCO (1980) apresentam uma classificação onde existem 3 Graus de Perigo de degradação de solos, que correspondem respetivamente a 10, 50 e 200 Ton/ha/ano, onde, abaixo das 10 Ton/ha/ano o perigo de degradação de solos considera-se muito baixo ou nulo, passando a baixo entre as 10 e as 50 Ton/ha/ano, moderado entre as 50 e as 200 Ton/ha/ano e alto acima das 200 Ton/ha/ano.

A única exceção ao facto da erosão poder ser considerada tolerável foi a parcela 4, sujeita a um tratamento com 1,25 toneladas de palha por hectare, a qual ultrapassou largamente as 10-11 Ton/ha/ano, com mais de 21 Ton/ha/ano. Todavia, boa parte deste resultado ficou a dever-se à receção sistemática de material proveniente da parcela 5 (parcela de controlo), devido à impossibilidade do total isolamento do tipo de parcelas usadas neste projeto.

Assim, um dos primeiros resultados obtidos foi a verificação da pouca adequabilidade deste tipo de parcelas a vertentes com solos delgados e com relevo pouco uniforme e muito pedregosos (fot. 6), dado que, muitas vezes, a influência do microrelevo, com a existência de pequenas "piscinas de sedimentos" a promoverem a retenção de elevadas quantidades de sedimentos, parece sobrepor-se à influência dos tratamentos efetuados.



Fotografia 6. Aspeto de pormenor do terreno pedregoso, numa das parcelas experimentais.

A segunda conclusão, que se pode extrair da análise dos primeiros resultados, aponta claramente no sentido de uma grande eficácia da proteção concedida por qualquer um dos tipos de cobertura usados (palha ou caruma), durante cerca de um ano, período após o qual, com a progressiva redução da cobertura (da palha e da caruma), essa eficácia parece diminuir (fig. 6).

Com efeito, apesar do primeiro grande pico de erosão se ter registado entre 18 de dezembro de 2010 e 15 de janeiro de 2011, por ter correspondido a um período de elevada precipitação (612,33 mm), o maior pico erosivo só veio a ocorrer nove meses depois, entre 14 de Setembro e 28 de Outubro de 2011 (fig. 6), apesar deste período só ter registado cerca de metade da precipitação (290,75 mm) verificada no 2º período e de nas parcelas já existir menos material disponível para ser mobilizado. Contudo, neste mês, a cobertura das parcelas, quer de palha quer de caruma, já se encontrava bastante degradada, o que terá favorecido o transporte do material. Por outro lado, em contrapartida, a reduzida precipitação dos meses anteriores terá desfavorecido esse transporte, permitindo alguma acumulação de material. Deste modo, com material disponível e na diminuição da sua retenção, por degradação da cobertura, é natural que na presença de maior abundância de chuva e, porventura de maior intensidade da precipitação, a quantidade de material transportado tivesse sido a maior do período em estudo.

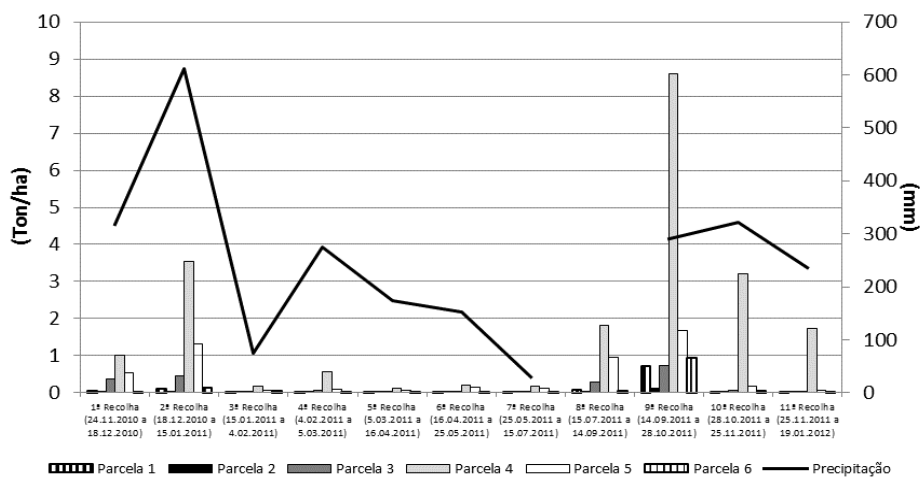


Figura 6. Evolução das taxas de erosão (Ton/ha) em cada parcela e da precipitação (mm), entre dezembro de 2010 e Janeiro de 2012.

Comparando diretamente a eficácia de cada um dos materiais em função da quantidade de material aplicada, verificamos que, para o caso dos 0,5 Kg/m² (5 Ton/ha), a palha, exceto em situações muito pontuais, revela-se mais eficaz que a caruma, parecendo ainda ser mais durável (fig. 7).

No que respeita à cobertura de 0,25 Kg/m² (2,5 Ton/ha) a situação parece inverter-se, pois a caruma, no primeiro ano, confere maior proteção ao solo, registando sistematicamente taxas de

erosão inferiores às da parcela protegida por igual quantidade de palha. No entanto, depois do primeiro ano, a situação, aparentemente, inverte-se, passando a palha a ser mais eficaz na proteção do solo (fig. 8).

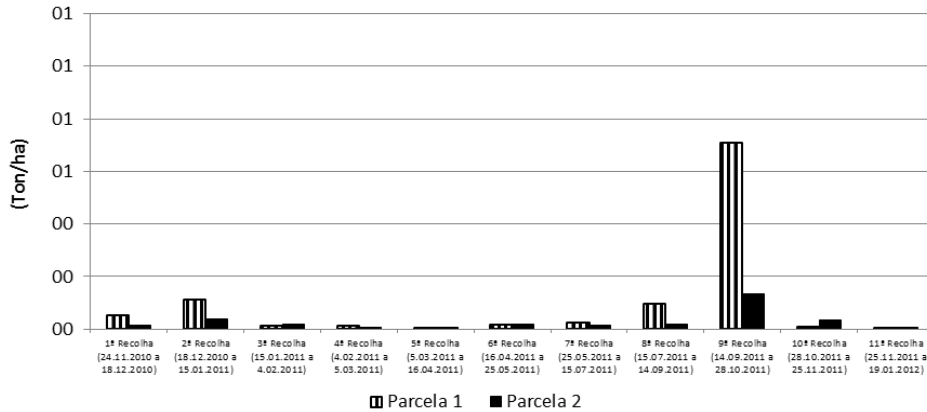


Figura 7. Evolução comparativa das taxas de erosão (Ton/ha) nas parcelas sujeitas a tratamentos com densidades de cobertura de 0,5 Kg/m² (5 Ton/ha) de caruma e palha, entre dezembro de 2010 e Janeiro de 2012.

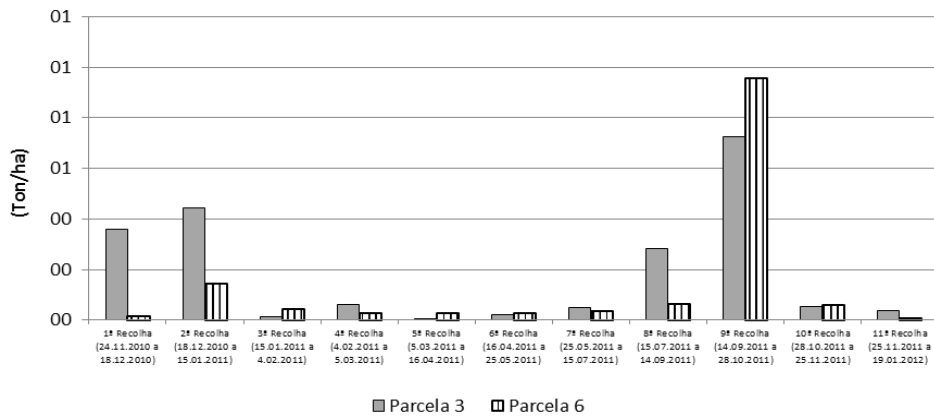


Figura 8. Evolução comparativa das taxas de erosão (Ton/ha) nas parcelas sujeitas a tratamentos com densidades de cobertura de 0,25 Kg/m² (2,5 Ton/ha) de caruma e palha, entre dezembro de 2010 e Janeiro de 2012.

Assim, os primeiros resultados, para além de revelarem uma maior durabilidade da proteção conferida pela palha relativamente à caruma, apontam para uma maior eficácia, no primeiro ano, da palha para densidades de cobertura de 5 Ton/ha e de maior eficácia da caruma para densidades de cobertura de 2,5 Ton/ha.

Todavia, se tivermos em consideração que a palha é um elemento exógeno ao ecossistema florestal e que ela transporta sementes que podem alterar a sua composição florística, a caruma talvez seja a opção preferível, até porque pode existir no local, evitando-se, assim, o transporte de longas distâncias.

A acrescer a esta realidade, a palha apresenta maior custo, tendo em conta que tem de ser comprada a valores que rodam os 4€/fardo de 20Kg¹², implicando ainda, tal como a caruma, o seu transporte até ao local e posterior aplicação no terreno.

Atendendo a estes valores, para um tratamento com 0,25kg/m² (2,5 Ton/ha), um fardo de palha (20Kg) permitiria cobrir uma área de 80 m², o que corresponde a um custo de

¹² Valor em Novembro de 2010 por fardo de 20Kg.

aproximadamente 5 centímetros por metro quadrado, ou seja 500€ por hectare. (mais o transporte e a mão-de-obra).

Assim, embora a caruma nos pareça ser a melhor opção, a sua utilização terá que se revestir de alguns cuidados, pois não nos podemos esquecer de que se deslocarmos grandes quantidades de caruma de uma área não afetada por um incêndio para outra que foi percorrida pelo fogo, corremos o risco de alterar e desproteger a área fornecedora. Assim, ao retirarmos a caruma deste espaço, vamos reduzir a camada protetora e a matéria orgânica destes solos, podendo ainda a técnica de recolha implicar alguma mobilização superficial do solo, correndo-se assim o risco de o empobrecer e de o expor aos agentes erosivos.

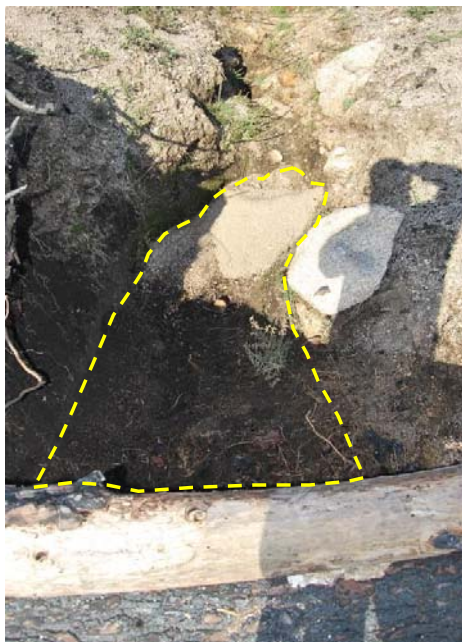
Consequentemente, caso se opte por esta solução, terá sempre que se ter o cuidado de não tirar a totalidade da caruma, removendo apenas a parte superior, não desprotegendo e tentando não mobilizar a camada superficial do solo, evitando ainda recolher a caruma em áreas declivosas.

4.2. Em canais

As técnicas empregues para a mitigação da erosão em canais incluíram barreiras de troncos, barreiras de palha e as barreiras de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma. Foram instaladas no início do Inverno de 2011, avaliando-se a sua eficácia no âmbito do controle sobre a erosão e consequente fixação dos sedimentos, com vista a uma análise final da sua relação custo/benefício.

Com efeito, os episódios chuvosos ocorridos após a instalação das medidas produziram uma significativa ação erosiva sobre as vertentes da bacia de drenagem intervencionada (a precipitação média anual nesta região é de cerca de 2500mm), conduzindo a uma intensa evacuação de sedimentos em direção aos canais onde circulam as linhas de água em que se instalaram as várias medidas. Foi, assim, possível constatar a eficácia destas técnicas, a partir das acumulações de sedimentos observadas junto às mesmas.

Desta forma, verifica-se que todas as técnicas tiveram capacidade de retenção de sedimentos. Das duas barreiras de troncos instaladas, uma funcionou efetivamente como amortecedor do fluxo e permitiu a acumulação de sedimentos para montante (fot. 7).



Fotografia 7. Acumulação de sedimentos na barreira de troncos
(limite pela linha tracejada).

No que diz respeito à barreira de fardos de palha, o seu papel na retenção de sedimentos foi também muito positivo (fot. 8). A sua eficácia neste parâmetro parece-nos bastante significativa, com a vantagem de permitir um escoamento adequado da água, não conduzindo

facilmente a situações de rotura da estrutura pela retenção de grandes volumes de água. No entanto, este tipo de estrutura é menos sólido que as barreiras de troncos e terá um período de vida útil reduzido, provavelmente não superior a um ano.



Fotografia 8. Acumulação de sedimentos na barreira de fardos de palha (limite pela linha tracejada).

As barreiras de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma foram as que obtiveram resultados mais significativos. Com efeito, apesar da simplicidade e reduzido grau de elaboração desta técnica, a sua eficácia na retenção dos sedimentos é elevada. Em todas as barreiras deste tipo implementadas se verificou a retenção de sedimentos, nalgumas em grande quantidade, tendo em conta o tipo de estrutura (fot. 9, 10A e 10B).



Fotografia 9. Acumulação de sedimentos em barreira de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma.



Fotografias 10A e 10B. Acumulação de sedimentos em barreira de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma.

Em síntese, as observações preliminares permitem-nos concluir que as técnicas aplicadas têm um significativo grau de eficácia na retenção de sedimentos transportados pelos canais de evacuação das águas de escorrência, contribuindo para a criação de “piscinas” de sedimentos que poderão funcionar como locais privilegiados para a recuperação da vegetação. Com efeito, é imperativo criar condições nestas áreas de montanha para que o pouco solo que ainda subsiste se mantenha, evitando, ao mesmo tempo, o seu transporte e deposição em áreas indesejáveis, a jusante, onde se encontram as povoações, uma barragem e outras infraestruturas humanas.

Por outro lado, estes resultados preliminares apontam já para alguma diferenciação das técnicas no que diz respeito à relação custo/benefício, sendo que as barreiras de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma se apresentam como uma medida de baixo custo e que apresenta resultados bastante satisfatórios no que à mitigação da erosão diz respeito.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam aqui deixar um vivo agradecimento ao Parque Nacional Peneda-Gerês na pessoa do seu Diretor, mas muito em especial à Eng^a. Maria do Carmo Oliveira por todo o apoio e incentivo que prestou ao Projeto e ao Sr. Manuel Rodrigues por um intenso dia de trabalho na instalação das barragens.

REFERÊNCIAS

- BAUTISTA, S., BELLOT, J., VALLEJO, V.R. Mulching treatment for post-fire soil conservation in a semiarid ecosystem. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1996, nº 10, 235-242.
- BENAVIDES-SOLORIO, J., MACDONALD, L. H. Measurement and prediction of post-fire erosion at the hillslope scale, Colorado Front Range. *International Journal of Wildland Fire*, 2005, nº 14, p. 457-474.
- BENTO-GONÇALVES, A. J. E COELHO, C. Wildfire impacts on soil loss and runoff in dry mediterranean forest, Tejo basin, Portugal: preliminary results. *Proceedings of Course on Desertification in a European Context, Physical and Socio-Economic Aspects*, Bruxelles, 1995, p. 361-369.
- BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A., FERREIRA, A., E COELHO C. Caracterização geomorfológica e implementação de um sistema integrado de informação, em ambiente SIG, no âmbito do projecto RECOVER (Estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais). *Revista Geografia Ensino & Pesquisa*, 2008, vol. 12, nº 1.
- BENTO-GONÇALVES, A. J. E LOURENÇO, L. The study and measurement of overland flow and soil erosion on slopes affected by forest fires in Lousã mountain – main results. In *Actas das Jornadas Internacionais – Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incêndios forestales*, Santiago de Compostela, 2010.
- BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A., FERREIRA-LEITE, F., MARTINS, J., SILVA, D., SOARES, V. *Adaptaclima: Adaptação aos efeitos derivados das alterações climáticas. As Mudanças Climáticas e os Incêndios Florestais no Ave Guimarães*: AMAVE, Interreg Sudoe IV B, 2011.
- BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A., LOURENÇO, L., SALGADO, J., MENDES, L., CASTRO, A., FERREIRA-LEITE, F. 2011. The importance of pine needles in reducing soil erosion following a low/medium intensity wildfire in Junceda (Portugal) - an experimental design. *Fire Effects on Soil Properties*. In *Proceedings of the 3rd international meeting of fire effects on soil properties, Guimarães*, 2011. Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, CEGOT, Universidade do Minho, Guimarães.
- BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A., LOURENÇO, L. E NUNES, A. SOILPROTEC – Medidas de emergência para proteção do solo pós-incêndios. Desenho experimental. *Revista GeoNorte*, 2012, Edição especial, Ano 3, UFAM, vol. 1, nº 4.
- BURCH, G. J., MOORE, I. D., BURNS, J. Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff. *Hydrological Processes*, 1989, nº 3, p. 211-222.
- CARBALLAS, T., MARTÍN, A., GONZÁLEZ-PRIETO, S.J., DÍAZ-RAVIÑA, M. 2009. Restauración de ecosistemas quemados de Galicia (N.O. España): Aplicación de residuos orgánicos e impacto de los retardantes de llama. In GALLARDO, J.F. (ed.), *Emisiones de gases con*

- efecto invernadero en ecosistemas iberoamericanos*. Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca, 2009, p. 49-72.
- CERDÀ, A., LASANTA, T. Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees – 1. Water and sediment yield. *Catena*, nº 60, 2005, p. 59-80.
- CERDÀ, A., ROBICHAUD, P. Preface. In CERDÀ, A., ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, 2009a, p. v-vii.
- CERDÀ, A., ROBICHAUD, P. Fire effects on soil infiltration. In CERDÀ, A., ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Publishers, New Hampshire, 2009b, p. 81-103.
- CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 2005, nº 143, p. 1-10.
- COELHO, C.; FERREIRA, A.; BOULET, A. E KEIZER, J. Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 2004, nº 37, vol. 3, p. 233-240.
- COELHO, C., PRATS, S., PINHEIRO, A., CARVALHO, T., BOULET, A.-K., FERREIRA, A. Técnicas para a Minimização da Erosão e Escorrência Pós-Fogo (Projecto 2004 09 002629 7 - Recuperação de Áreas Ardidas), Universidade de Aveiro e Cesam, 2010, 49 pp.
- DIAZ-FIERROS, V.; GIL SOTRES, F.; CABANEIRO, A.; ARBALLAS, T.; LEIROS DE LA PEÑA, M. C. E VILLAR CELORIO, M. C. Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia. *Anales de Edafología y Agrob*, 1982, nº XLI, vol. 3-4, p. 627-639.
- DOERR, S.H., SHAKESBY, R.A., MACDONALD, L.H. Soil water repellency: a key factor in post-fire erosion. In CERDÀ, A., ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*, Science Publishers, Enfield, New Hampshire, 2009, p. 197-223.
- DOERR, S.H., SHAKESBY, R.A., WALSH, R.P.D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 2000, nº 51, vol. 33-35.
- FAO-PNUMA-UNESCO. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización de las Naciones para el Medio Ambiente (UNESCO), 1980, Roma, FAO.
- FERNÁNDEZ, C., VEGA, J.A., JIMÉNEZ, E., FONTÚRBEL, M.T. Effectiveness of three post-fire treatments at reducing soil erosion in Galicia (NW Spain). *International Journal of Wildland Fire* 20, 2011, p. 104-114.
- FERREIRA-LEITE, F. *Caracterização dendrocaustológica do Noroeste Português – o caso dos grandes incêndios florestais*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2010.
- FERREIRA-LEITE, F.; BENTO GONÇALVES, A. J.; VIEIRA, A. The recurrence interval of forest fires in Cabeço da Vaca (Cabreira Mountain - Northwest of Portugal). *Environmental Research*, 2011, nº 111, p. 215-221.
- FERREIRA-LEITE, F.; BENTO GONÇALVES, A. J.; LOURENÇO, L.; ÚBEDA, X.; VIEIRA, A. Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como Resultado das Perturbações nos Regimes de Fogo no Mundo Mediterrâneo. *Silva Lusitana*, 2013, vol. 12, nº Especial, p. 127-142.
- FOLTZ, R.B., ROBICHAUD, P.R., RHEE, H. *A synthesis of postfire road treatments for BAER teams: methods, treatment effectiveness, and decisionmaking tools for rehabilitation*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-228, U.S.D.A., Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2009.
- FONTÚRBEL, T., DÍAZ-RAVIÑA, M., VEGA, J.A., GONZÁLEZ-PRIETO, S.J., FERNÁNDEZ, C., MARTÍN, A., JIMÉNEZ, E., CARBALLAS, T. Application of different post-fire treatments in ecosystems from N.W. Spain: effectiveness on soil erosion control and impact on soil-plant system. In DÍAZ RAVIÑA, M., BENITO, E., CARBALLAS, T., FONTÚRBEL, M. T., VEGA, J. A. (Eds.), *Proceedings of the International Workshop Research and post-fire management: soil protection and rehabilitation techniques for burnt forest ecosystems*. Santiago de Compostela, 2010, p. 167-170.
- INBAR, M., TAMIR, M. & WITTENBERG, L. Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology* 24, 1998, p. 17-33.
- IMESON, A. C., VERSTRATEN, J. M., VAN MULLINGEN, E. J., SEVINK, J. The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean type forests. *Catena*, 1992, nº 19, p. 345-361.
- JUNGERIUS, P. D. E DEJONG, J. H. Variability of water repellency in the dunes along the Dutch coast. *Catena*, 1989, nº 16, p. 491-497.
- LAMPIN-CABARET C., JAPPIOT, M., ALIBERT, N. E MANLAY, R. *Une échelle d'intensité pour le phénomène Incendie de forêts*, SIRNAT – JPRN Orléans, 2003.

- LOURENÇO, L. Erosion of agro-forester soil in mountains affected by fire in Central Portugal. *Pirineos - A journal on mountain ecology*, 1989, Jaca, nº 133, p. 55-76.
- LOURENÇO, L. Coimbra e os Riscos Naturais. Passado e Presente, In *Cadernos de Geografia* (Número Especial) e *Actas do I Colóquio de Geografia de Coimbra*, 1996.
- LOURENÇO, L. and BENTO-GONÇALVES, A. The study and measurement of surface flow and soil erosion on slopes affected by forest fires in the Serra da Lousã. In *Proceedings, International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra, 1990, p. C.05-1 a 13.
- LOURENÇO, L., BENTO-GONÇALVES, A. and MONTEIRO, R. Avaliação da erosão dos solos produzida na sequência de incêndios florestais. In *Comunicações, II Congresso Florestal Nacional*, Porto, vol. II, 1991, p. 834-844;
- LOURENÇO, L., BENTO-GONÇALVES, A., MONTEIRO, R. Avaliação da erosão dos solos produzida na sequência de incêndios florestais. In *Actas do II Congresso Florestal Nacional*, Porto, 1990.
- LOURENÇO, L., MONTEIRO, R. *Instalação de parcelas experimentais para avaliação da erosão produzida na sequência de incêndios florestais*. Grupo de Mecânica dos Flúidos, Coimbra, 1989.
- LOURENÇO, L., BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A., NUNES, A., FERREIRA-LEITE, F. Forest Fires in Portugal. In Bento Gonçalves and Antonio Vieira (Eds.), *Portugal: Economic, Political and Social Issues*, Hauppauge New York: Nova: Nova Science Publishers, 2012, p. 97-111.
- MASSMAN, W.J., FRANK, J.M., MOONEY, S.J. Advancing investigation and physical modeling of first-order fire effects on soils. *Fire Ecology*, 2010, nº 6, vol. 1, p. 36-54.
- MATAIX-SOLERA, J., CERDÀ, A. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. In CERDÀ, A., MATAIX-SOLERA, J. (Eds.), *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. FUEGORED, Cátedra Divulgación de la Ciencia, Universitat de Valencia, Spain, 2009, pp. 27-53.
- MATAIX-SOLERA, J., GUERRERO, C., GARCÍA-ORENES, F., BÁRCENAS, G. M., TORRES, M. P. Forest fire effects on soil microbiology. In CERDÀ, A., ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*, Science Publishers, Enfield, New Hampshire, 2009, p. 133-175.
- MOODY, J. A., MARTIN, D. A. Synthesis of sediment yields after wildland fire in different rainfall regimes in the western United States. *Int. J. Wildland Fire*, 2009, nº 18, vol. 1, p. 96-115.
- MOREIRA, F., VAZ, P., CATRY, F., SILVA, J. S. Regional variations in wildfire preference for land cover types in Portugal: Implications for landscape management to minimize fire hazard. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18, nº 5, p. 563-574.
- NAPPER, C. *Burned Area Emergency Response treatments catalog*. USDA Forest Service, 2006.
- NAVEH, Z. The evolutionary sequence of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio*, 1975, nº 29, p. 199-208.
- NEARY, D. G., 2009. Post-wildland fire desertification: Can rehabilitation treatments make a difference? *Fire Ecology*, 2009, nº 5, vol. 1, p. 129-144.
- NEARY, D. G., KLOPATEK, C. C., DEBANO, F. F., FFOLLIOTT, P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 1999, nº 122, p. 51-71.
- NEARY, D. G., RYAN, K. C., DEBANO, L. F. (Eds.). *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005 (revised 2008).
- PARSONS, A.; ROBICHAUD, P.; LEWIS, S.; APPER, C.; CLARK, J. *Field guide for mapping post-fire soil burn severity*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2010.
- PAUSAS, J. G., LLOVET, J., RODRIGO, A., VALLEJO, V. R. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. *International Journal of Wildland Fire*, 2008, nº 17, p. 713-723.
- PAUSAS, J. G., KEELEY, J. E. A burning story: The role of fire in the history of Life. *BioScience*, 2009, nº 59, p. 593-601.
- PEREIRA, J. S., PEREIRA, J. M. C., REGO, F. C., SILVA, J., SILVA, T. *Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção*. ISAPress, Lisboa, 2006. ISBN 972-8669-17-8.

- PIKE, R. G., USSERY, J. G. *Key points to consider when pre-planning for post-wildfire rehabilitation*. FORREX Forest Res. Extension Partnership, FORREX Series 19, Kamloops, Canada, 2006.
- PINAYA, I., SOTO, B., ARIAS, M., DÍAZ-FIERROS, F. Revegetation of burnt areas: Relative effectiveness of native and commercial seed mixtures. *Land Degradation and Development*, 2000, nº 11, p. 93-98.
- PYNE, S. J. *Fire in America: a cultural history of wildland and rural fire*. University of Washington Press, Seattle, Washington, 1982.
- RAFTOYANNIS, Y., SPANOS, I. Evaluation of log and branch barriers as post-fire rehabilitation treatments in a Mediterranean pine forest in Greece. *Int. Journal of Wildland Fire*, 2005, nº 14, p. 183-188.
- RAISON, R. J., KHANNA, P. K., JACOBSEN, L. S., ROMANYA, J., SERRASOLSES, I. Effects of fire on forest nutrient cycles. In CERDÁ, A., ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*, Science Publishers, Enfield, New Hampshire, 2009, p. 225-256.
- RITSEMA, C. J. and DEKKER, L. W. How water moves in a water-repellent sandy soil. Dynamics of fingered flow. *Water Resources Research*, 1994, nº 30, p. 2519-2531.
- ROBICHAUD, P. R., BEYERS, J. L., NEARY, D. G. *Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-63. Fort Collins: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2000.
- ROBICHAUD, P. R., BEYERS, J. L., NEARY, D. G. Watershed Rehabilitation. In *Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water*. USDA Forest Serv., Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR, 2005, p. 42-44.
- ROBICHAUD, P. Post-fire stabilization and rehabilitation. In CERDÁ, A., ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, 2009, p. 299-320.
- ROBICHAUD, P. After the smoke clears: post-fire erosion and rehabilitation strategies in the United States. In DÍAZ RAVIÑA, M., BENITO, E., CARBALLAS, T., FONTÚRBEL, M. T., VEGA, J. A. (Eds.), *Proceedings of the International Workshop Research and post-fire management: soil protection and rehabilitation techniques for burnt forest ecosystems*. Santiago de Compostela, 2010, p. 23-25.
- ROBICHAUD, P., WAGENBRENNER, J., BROWN, R., WOHLGEMUTH, P., BEYERS, J. Evaluating the effectiveness of contour-felled log erosion barriers as a post-fire runoff and erosion mitigation treatment in the western United States. *International Journal of Wildland Fire* 17, 2008, p. 255–273.
- SCOTT, D. The hydrological effects of fire in South African mountain catchments. *Journal of Hydrology*, 1993, nº 150, p. 409-432.
- SCOTT, D. F., CURRAN, M. P., ROBICHAUD, P., WAGENBRENNER, J. W. Soil erosion after forest fire. In CERDÁ, A. and ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, 2009, p. 177-195.
- SCOTT, D. and SCHULZE, R. The hydrological effects of a wildfire in a eucalypt afforested catchment. *S.A. Forestry Journal*, 1992, nº 160, p. 67-74.
- SHAKESBY, R.; BOAKES, D., COELHO, C.; BENTO-GONÇALVES, A. E WALSH, R. Limiting the erosional effect of forest fires: background to the IBERLIM research programme in Águeda and Tejo basins, Portugal. *Swansea Geographer*, 1993, nº 30; Swansea, p. 132 - 154.
- SHAKESBY, R.; BOAKES, D., COELHO, C.; BENTO-GONÇALVES, A. E WALSH, R. Limiting the soil degradation impacts of wildfire in pine and eucalyptus forests, Portugal: comparison of alternative post-fire management practices. *Applied Geography*, 1996, vol. 16, nº 4, Elsevier Science Ltd, p. 337-355.
- SHAKESBY, R. A., DOERR, S. H. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth Science Reviews*, 2006, nº 74, p. 269–307.
- SHAKESBY, R. A. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, 2011, nº 105, p. 71–100.
- ÚBEDA, X., OUTEIRO, L. Physical and chemical effects of fire on soil. In CERDÁ, A., ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Pub., New Hampshire, 2009, p. 105-132.
- US GENERAL ACCOUNTING OFFICE. *Wildland fire rehabilitation and restoration: Forest Service and BLM could benefit from improved information on status of needed work*. GAO-06-670. Washington D.C, 2006.
- VALLEJO, R. (ed.). *Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas ardidas*. EUFIRELAB, EVR1-CT-2020-40028, Report D-04-08, 2006.

- VEGA, J. A. Criteria to develop protocols for post-wildfire soil rehabilitation: current experience in Galicia (NW Spain). In BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A. (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Meeting of Fire Effects on Soil Properties*. University of Minho, Guimarães, Portugal, 2011, p. 99-103.
- VEGA, J.; SERRADAB, R.; HERNANDOC, C.; RINCÓN, A.; OCAÑAE, L.; MADRIGAL, J.; FONTÚRBELA, M.; PUEYO, J.; AGUILAR, V.; GUIJARRO, M.; CARRILLO, A.; FERNÁNDEZ, C. E MARINOC, E. (2010) Actuaciones técnicas post-incendio y severidad del fuego: Proyecto Rodenal. In *Actas das Jornadas Internacionais – Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales*, Santiago de Compostela, 2010, p. 305-308.
- WAGENBRENNER, J. W., MACDONALD, L. H., ROUGH, D. Effectiveness of three post-fire rehabilitation treatments in the Colorado Front Range. *Hydrological Processes*, 2006, nº 20, p. 2989-3006.
- WALSH, R.; COELHO, C.; ELMES, A.; FERREIRA, A.; BENTO-GONÇALVES, A.; SHAKESBY, R.; TERNAN, J. E WILLIAMS, A. Rainfall simulation plot experiments as a tool in overland flow and soil erosion assessment, North-Central Portugal. *Geokodynamik*, 1998, vol. XIX, 3-4, Bensheim, p. 139-152.

