



Universidade do Minho
Instituto de Ciências Sociais

ISSN 1645-9369

NIGP

Núcleo de Investigação em
Geografia e Planeamento

GEO-Working Papers

“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)”

António José Bento Gonçalves

António A. B. Vieira

António José Dinis Ferreira

Celeste de Oliveira Alves Coelho

SÉRIE INVESTIGAÇÃO 2008/17

NIGP – Universidade do Minho. Campus de Azurém – 4800-058 Guimarães

Tel.: 351-253 510 560 — Fax: 351-253 510 569

geowp@geografia.uminho.pt

<http://www.geografia.uminho.pt/wp.htm>

“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)”

*António José Bento Gonçalves
António A. B. Vieira
António José Dinis Ferreira
Celeste de Oliveira Alves Coelho*

SÉRIE INVESTIGAÇÃO 2008/17

“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)”

António José Bento Gonçalves

António A. B. Vieira

António José Dinis Ferreira

Celeste de Oliveira Alves Coelho

Os autores do presente texto integram a equipa de investigadores do Projecto RECOVER, coordenado pela Professora Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho, que reúne investigadores do CESAM (Universidade de Aveiro), do SERNAS (Escola Superior Agrária de Coimbra) e do NIGP (Universidade do Minho). Este projecto de investigação é financiado pela FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/AGR-AAM/73350/2006) e tem como objectivo principal desenvolver técnicas mitigadoras e estratégias para a redução da degradação do solo e da água imediatamente após os incêndios florestais.



Núcleo de Investigação em
Geografia e Planeamento

Ficha Técnica

Título: **Geo-Working papers**

Propriedade e Edição: Núcleo de Investigação em
Geografia e Planeamento

Editor: António Vieira

ISSN: 1645-9369

Número de exemplares impressos: 40

Publicação on-line:

www.geografia.uminho.pt/

Os “**Geo-Working papers**”, editados pelo Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, são uma publicação científica periódica esporádica com duas séries: Série Investigação e Série Educação. A primeira Série está vocacionada para publicações científicas dos investigadores do NIGP e dos professores visitantes do Departamento de Geografia da Universidade do Minho. A segunda Série destina-se a publicações com um carácter predominantemente pedagógico, orientadas para o apoio às actividades lectivas do Departamento de Geografia da Universidade do Minho. As opiniões e conceitos emitidos são da exclusiva responsabilidade dos seus autores. Os “**Geo-Working papers**” têm uma edição limitada em papel, sendo publicados em edição electrónica, de acesso livre, no site do NIGP.

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)¹

António José Bento Gonçalves²

António A. B. Vieira³

António José Dinis Ferreira⁴

Celeste de Oliveira Alves Coelho⁵

Resumo:

O RECOVER almeja desenvolver técnicas mitigadoras e estratégias para a redução da degradação do solo e da água imediatamente após os incêndios florestais. A frequência dos referidos incêndios florestais tem vindo a aumentar, fruto das mudanças climáticas e do deficiente planeamento florestal, com severos impactes ao nível da fertilidade e estrutura dos solos. Como consequência aumenta a erosão da camada superior dos solos, onde se localizam, na maioria dos solos portugueses, os únicos nutrientes existentes. Esta mobilização de nutrientes ocorre nos primeiros eventos chuvosos outonais, e, como tal, a exportação dos sedimentos e dos nutrientes acontece normalmente nos primeiros 4/6 meses após os incêndios. A velocidade a que a perda de cada nutriente ocorre e a extensão dos incêndios florestais é uma condicionante em termos de custos e baliza as soluções que se podem implementar para a redução da degradação do solo e da água.

O RECOVER testará um conjunto de soluções praticáveis de forma a reduzir a lavagem das cinzas. A metodologia proposta apresenta uma integração inovadora de técnicas quantitativas de campo e irá proceder a análises de percepção junto de todos os intervenientes no planeamento florestal. Tal abordagem é essencial afim de produzir soluções passíveis de se colocar em prática que poderão ser

¹ Este texto foi apresentado, com pequenas alterações, no V Seminário Latino-Americano e Ibero-Americano de Geografia Física, que decorreu em Santa Maria – RS, no Brasil, em Maio de 2008.

² Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento (NIGP), Universidade do Minho, *Campus* de Azurém, 4800 Guimarães; bento@geografia.uminho.pt.

³ Idem; vieira@geografia.uminho.pt.

⁴ Centro de Estudos de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade (CERNAS), Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Coimbra, Bencanta, 3040-316 Coimbra; aferreira@esac.pt.

⁵ Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM/UA), Universidade de Aveiro, *Campus* de Santiago, 3810-193Aveiro; coelho@ua.pt.

facilmente adoptadas pelos planeadores florestais bem como pelos proprietários florestais.

Este projecto apresenta uma abordagem inovadora baseada em levantamentos de campo das propriedades do solo e da vegetação após a ocorrência de incêndios florestais, cujos resultados serão usados para a construção de uma base de dados em ambiente SIG, que servirá para identificar os locais críticos, com recurso a um modelo conceptual de geomorfologia dinâmica, que será validado pelas subseqüentes visitas ao campo após as chuvas de Outono.

Palavras-Chave: Incêndios florestais, degradação e recuperação do solo, base de dados em SIG

Abstract:

RECOVER aims to develop mitigation techniques and strategies to reduce soil and water degradation immediately after forest fires. Forest fires are becoming increasingly frequent as a result of climate change and poor forest planning, with deleterious impacts on soil fertility and structure. It erodes the top soil layers, where is located the only nutrient pool of the majority of Portuguese soils. This nutrient mobilization happens during the first autumn rainfall events, and therefore sediment and nutrient exportation typically occurs in the first 4/6 months after fire. The speed at which nutrient loss occurs and the extension of forest fires limits in terms of costs and logistics the solutions that can be taken to reduce soil and water degradation.

RECOVER will test a set of feasible solutions to reduce ash flush. The proposed approach presents an innovative integration of field measurement techniques and will perform a perception analysis to all those with responsibilities in forest management. This is essential to produce feasible solutions that will be easily adopted by forest managers and forest owners.

RECOVER presents an innovative approach based on field surveys of soil and vegetation properties following forest fires, which will be used to perform a GIS database from which the critical spots will be identified with the help of a Dynamic Geomorphology Conceptual Model, which will be validated by subsequent visits to the field after the autumn rains.

Key-words: Forest fires, soil degradation and recovery, GIS database

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a frequência dos incêndios florestais em Portugal continental tem vindo a aumentar, fruto das mudanças climáticas e do deficiente planeamento florestal, com severos impactes ao nível da fertilidade e estrutura dos solos, devido em grande parte à erosão da camada superior dos solos, onde se localizam, na maioria dos solos portugueses, os únicos nutrientes existentes.

É neste âmbito que surge o projecto “RECOVER”, financiado pela FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/AGR-AAM/73350/2006) e coordenado pela Universidade de Aveiro e em parceria com a Universidade do Minho e a Escola Superior de Agrária de Coimbra, que visa desenvolver estratégias de remediação de solos imediatamente após a ocorrência de incêndios florestais.

O contributo do Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento (NIGP) do Departamento de Geografia da Universidade do Minho passa principalmente pela caracterização geomorfológica das áreas de estudo e pela implementação de um sistema integrado de informação, em ambiente SIG.

As técnicas e processos utilizados no domínio da modelação cartográfica tornam possível a produção de análises espaciais e de nova cartografia, quer temática, quer geral.

A estruturação de uma base de dados permite a integração de toda a informação num modelo SIG, permitindo identificar os locais críticos, com recurso a um modelo conceptual de geomorfologia dinâmica.

Os autores desejam agradecer a colaboração de Anne Karine Boulet e Sérgio Prata Alegre.

1. RECOVER – ALGUNS PRESUPOSTOS

O Fogo é, actualmente, um factor dominante e motivo de preocupação nas florestas e matos no Norte e Centro de Portugal, onde, ao longo da última década, padrões catastróficos parecem ter-se estabelecido, como resultado da falta de controle sobre a acumulação de biomassa nos espaços silvestres em regiões de clima mediterrâneo com influência atlântica (FERREIRA *et al.*, 2005a).

Uma questão pertinente em termos de sustentabilidade dos ecossistemas é a de saber em que medida e porque processos os incêndios afectam os nutrientes, contribuindo assim para a degradação do solo. A perda de nutrientes poderia afectar a fertilidade do solo e tem implicações importantes para a gestão florestal (THOMAS *et al.*, 2000a).

Obras recentes apresentam-se contraditórias quanto às suas conclusões no que diz respeito aos efeitos da intensidade do fogo relativamente à perda de nutrientes por dissolução em processos hidrológicos: ÚBEDA e SALA (2001) encontraram valores mais elevados em intensidades médias, comparativamente com intensidades altas, enquanto que COELHO *et al.* (2004) concluíram o oposto.

SOTO e DIAZ-FIERROS (1993) afirmam que a disponibilidade de nutrientes presentes nas cinzas é regulada pela temperatura atingida durante a combustão, e pelas características tanto da vegetação como do elemento em questão. Eles chegaram à conclusão que a taxa de libertação é determinada sobretudo pela intensidade do fogo através dos seus efeitos sobre a volatilização e mineralização da matéria orgânica do solo, que geralmente atinge um pico a temperaturas entre os 350 e os 450 ° C.

As regiões mediterrâneas com influência atlântica são caracterizadas por ecossistemas com densa cobertura vegetal, que permite a rápida propagação do fogo. Os incêndios florestais queimam a camada de manta morta e o mato rasteiro, levando a uma mudança da vegetação e da estrutura da parte superior do solo.

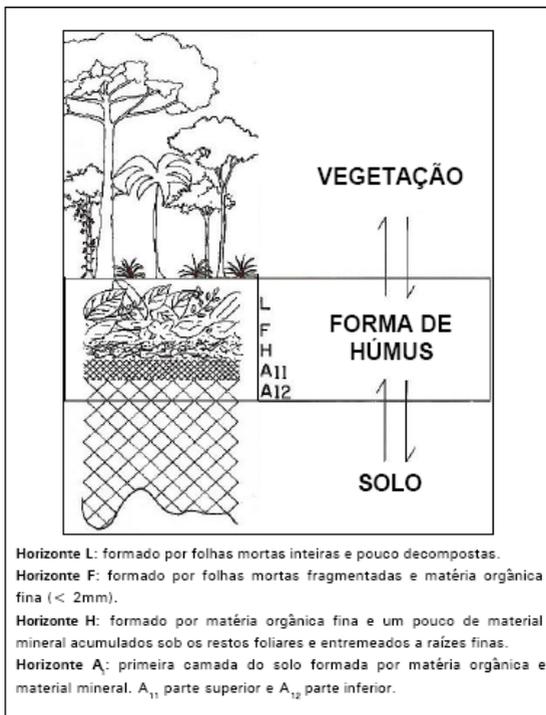
Os incêndios no Norte e Centro de Portugal consomem as camadas L e F e, quando presente, a camada H orgânica (Figura 1), assim como a maioria da vegetação. Assim, grandes quantidades de nutrientes são mineralizados e os minerais do solo são expostos ao impacto das gotas da chuva, aumentando a erosão e a escorrência (SHAKESBY *et al.*, 1993; WALSH *et al.*, 1994). As mudanças na vegetação e na parte superior do solo são conhecidas, por terem importantes impactes sobre o regime hidrológico, com base em estudos em parcelas (WALSH *et al.*, 1994; FERREIRA, 1997; FERREIRA *et al.*, 1997; SOTO e DIAZ-FIERROS, 1998; THOMAS *et al.*, 1999; 2000a, b; COELHO *et al.*, 2004; CERDÀ e DOERR, 2005) e em bacias hidrográficas (LAVABRE *et al.*, 1993; FERREIRA *et al.*, 1997; COELHO *et al.*, 2004; COSANDEY *et al.*, 2005; FERREIRA *et al.*, 2005b).

É comumente aceite que o fogo aumenta a escorrência e a erosão do solo (BURCH *et al.*, 1989; IMESON *et al.*, 1992; SHAKESBY *et al.*, 1993; SCOTT & SCHULZE, 1992; SCOTT, 1993; ANDREU *et al.*, 1994; INBAR *et al.*, 1998; COELHO *et al.*,

1995a, b; PIERSON *et al.*, 2002; COELHO *et al.*, 2004; CERDÀ & LASANTA, 2005; CERDÀ e DOERR, 2005, BENAVIDES-SOLORIO & MACDONALD, 2005).

Os incêndios florestais são conhecidos por incrementarem a repelência do solo, imediatamente abaixo das cinzas, à água (GIOVANNINI, 1987; GIOVANNINI *et al.*, 1988; DOERR *et al.*, 1996). De acordo com GIOVANNINI (1994), os incêndios com temperaturas acima dos 450 °C (aproximadamente) acentuam o aumento da escorrência e o risco de erosão, induzindo a repelência à água e, assim, dificultando a infiltração.

Figura 1. Esquema representativo da interação vegetação/solo, destacando-se os horizontes do perfil húmico em diferentes estádios de decomposição.



Fonte: Kindel et al. (2003)

A vegetação rasteira e a manta morta têm uma forte influência nos padrões da temperatura do solo, tal como foi estudado por GIMENO-GARCIA *et al.* (2004) em

incêndios experimentais com temperaturas acima dos 600 °C. Esta é a razão pela qual diferentes intensidades do fogo podem ter diferentes impactos sobre a repelência do solo à água (COELHO *et al.*, 2004; FERREIRA *et al.*, 2005a), e, portanto, na produção de escorrência e nos quantitativos da erosão.

Os incêndios florestais afectam o desencadear da escorrência e da erosão do solo, alterando as características hídricas do topo do solo.

O calor transforma os componentes orgânicos do solo, tornando-os móveis, coalescendo-os assim em partículas minerais, aumentando a repelência das camadas mais superficiais do solo à água (DEBANO *et al.*, 1970; GIOVANNINI e LUCCHESI, 1984; GIOVANNINI, 1994).

A severidade com que o fogo induz a repelência à água depende de um conjunto de características dos solos, incluindo principalmente a humidade, a textura e a quantidade e composição da matéria orgânica existente antes do fogo (BOTELHO *et al.*, 1994; GIOVANNINI, 1994).

A magnitude das alterações na erosão e nos processos hidrológicos dependem, em parte, da severidade e variabilidade espacial da hidrofobicidade do solo (JUNGERIUS e DEJONG, 1989; RITSEMA e DEKKER, 1994; COELHO *et al.*, 2004; FERREIRA *et al.*, 2005b). Alguns autores encontraram baixas taxas de erosão do solo após um incêndio (EMMERICH e COX, 1992; KUTIEL e INBAR, 1993). Por exemplo, COELHO *et al.* (1995a, b) encontraram taxas de erosão de 2 ton ha⁻¹ ano⁻¹ imediatamente após um incêndio florestal, valor significativamente mais baixo do que as 50 ton ha⁻¹ ano⁻¹ encontradas na mesma região mas em floresta plantada com aplicação de técnicas de gestão florestal.

Em ambientes florestais queimados a escorrência pode ser reforçada pela redução da capacidade de infiltração e pelo desenvolvimento do reforço da eficácia da camada hidrofóbica (SEVINK *et al.*, 1989; IMESON *et al.*, 1992; DOERR *et al.*, 1996). O impacto das diferentes intensidades do fogo na distribuição espacial da hidrofobicidade e sobre a produção da escorrência e da erosão são explicadas noutros trabalhos (COELHO *et al.*, 2004; FERREIRA *et al.*, 2005b). SHAKESBY *et al.* (2000), no entanto, questionam se o risco de erosão estará tão directamente relacionado com a repelência do solo à água.

Com as cinzas à superfície do solo, as quais representam uma parte substancial do stock dos nutrientes, a ocorrência de escorrência logo após o incêndio, constitui um grave risco de degradação do solo (FERREIRA *et al.*, 1997). A dinâmica e o significado dos solutos na escorrência em ambientes florestais queimados é muitas

vezes negligenciada, apesar da sua importância na perda de nutrientes à escala dos ecossistemas.

Essas perdas de nutrientes são cruciais para a sustentabilidade das regiões de clima mediterrâneo com influência atlântica, uma vez que, não obstante a sua vegetação, elas coincidem com as zonas montanhosas onde os solos são geralmente pouco desenvolvidos e pobres em nutrientes. As montanhas de xisto em Portugal são caracterizados por apresentarem Cambissolos Húmicos pouco desenvolvidos onde a única reserva de nutriente se situa nas camadas L, F e, quando presente, H orgânica, que são queimadas pelos incêndios florestais.

Descobriu-se que a perda de nutrientes, em solução e por absorção, em sedimentos erodidos é substancialmente mais elevada em terrenos queimados devido ao aumento da escorrência, da erosão e da maior concentração de nutrientes à superfície do solo, devido à presença das cinzas, comparativamente a terrenos com plantações adultas (THOMAS *et al.*, 1999; 2000 a, b). No entanto, estes resultados referem-se ao segundo e terceiro ano após o incêndio florestal, não abrangendo o primeiro ano, quando a perda de nutriente é normalmente mais elevada. Evidências recentes demonstraram que a perda de nutrientes ocorre nos primeiros seis meses após o incêndio florestal (FERREIRA *et al.*, 2005a).

Este projecto aborda um assunto crítico relativo à conservação do solo e da água, isto é, o que pode ser feito para inverter a degradação do solo e a remoção de nutrientes pela erosão hídrica e processos que ocorrem nos primeiros seis meses após o incêndio.

Surpreendentemente, não há muitos trabalhos sobre as melhores técnicas para evitar os processos de degradação imediatamente após o incêndio. ROBINCHAUD *et al.* (2000) fornecem uma descrição e avaliação de técnicas para atenuar a degradação pós-incêndio, embora baseado na opinião dos gestores florestais e não em dados científicos. Todas as outras obras, dão uma visão muito limitada do desempenho das diversas técnicas ou dos seus efeitos imediatamente após o fogo (por exemplo, ALBALADEJO MONTORO *et al.*, 1999; BENITO SOTO *et al.*, 1999; DE LUIS *et al.*, 2006; WAGENBRENNER *et al.*, 2005; BUHK *et al.*, 2005).

A necessidade de modelizar os factores associados à degradação dos solos e a resposta dos mesmos às técnicas empregues na remediação dos seus efeitos, levou-nos a implementar uma solução integrada de análise da informação, baseada nos Sistemas de Informação Geográfica.

Através deste sistema integrado podemos desenvolver um conjunto de análises diversificado, tendo em consideração a interação espacial e temporal inerente aos vários fenómenos de base territorial aqui envolvidos. De facto, uma das potencialidades dos SIG é a capacidade de incorporação de toda a informação espacial que recolhermos relativamente ao território em estudo.

Vários têm sido os trabalhos desenvolvidos no sentido de modelizar o comportamento dos diversos factores envolvidos no processo de erosão dos solos na sequência de incêndios florestais, recorrendo a modelos matemáticos ou a outras metodologias baseadas ou não em SIG (MOFFET *et al.*, 2007; ROBICHAUD, 2007; RENSCHLER *et al.*, 2002; ...), sendo, contudo, nosso objectivo estabelecer relações entre o fenómeno erosivo e identificar o comportamento das variáveis envolvidas neste processo relativamente à aplicação de técnicas de mitigação.

2 O PROCESSO DE MODELAÇÃO EM AMBIENTE SIG

O processo de modelação de variáveis ambientais tem vindo a ser desenvolvida na sequência da necessidade de tornar explícita a sua componente espacial. Neste sentido, tem sido privilegiada a utilização dos SIG, pela sua capacidade de integração de tais modelos, bem como pela sua capacidade de gerir e analisar grandes quantidades de informação e, acima de tudo, pela sua capacidade de relacionar essa informação com base na sua expressão territorial, espacial.

Dada a relação íntima entre os processos geomorfológicos e a superfície em que se desencadeiam, logo sobre o espaço, consideramos adequada a aplicação das metodologias de modelação espacial disponibilizadas pelos SIG à análise dos processos de erosão operados na sequência dos Incêndios florestais.

Assim, na sequência da instalação e monitorização das parcelas de erosão (Fotografias 1 e 2) em vários sectores da vertente, em áreas de montanha ocupadas com floresta de produção no Centro de Portugal, produzir-se-à um vasto conjunto de informação referente aos diversos parâmetros que se conjugam para a génese das dinâmicas geomorfológicas erosivas anteriormente referidas.

Fotografia 1. Parcelas de erosão na área em estudo



Fotografia 2. Parcelas de erosão na área em estudo



Foto: Sérgio Prats Alegre

Neste sentido, o desenvolvimento de processos de modelação dessas mesmas variáveis vai permitir a aferição de eventuais interrelações entre elas e

definição de padrões de comportamento capazes de nos conduzir a uma predictibilidade dos mesmos, por forma a determinar a validade e efectividade das técnicas de remediação entretanto implementadas no decurso do projecto.

A implementação do processo de modelação, realizado com o recurso às tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), assentará na informação recolhida e sua validade e fiabilidade, que será armazenada e estruturada numa base de dados integrada no SIG (Figura 2).

A informação integrada na base de dados geográfica permitirá desenvolver uma diversidade de operações de modelação, num primeiro momento direccionadas para as parcelas em estudo, conduzindo à elaboração de cenários predictivos. Os resultados da modelação será posteriormente generalizada à vertente, de forma a aferir da validade de extrapolação dos dados e da possibilidade de produzir indicadores de evolução gerais úteis, para a tomada de decisão sobre as técnicas apropriadas à minimização dos efeitos erosivos sobre áreas aridas.

Figura 2. Esquema de implementação do processo de modelação

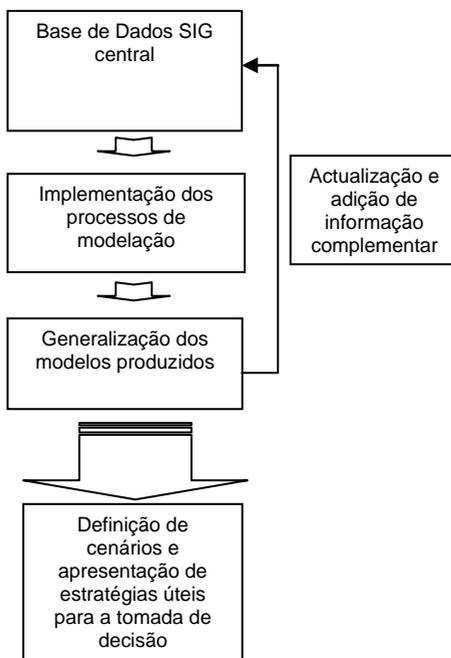
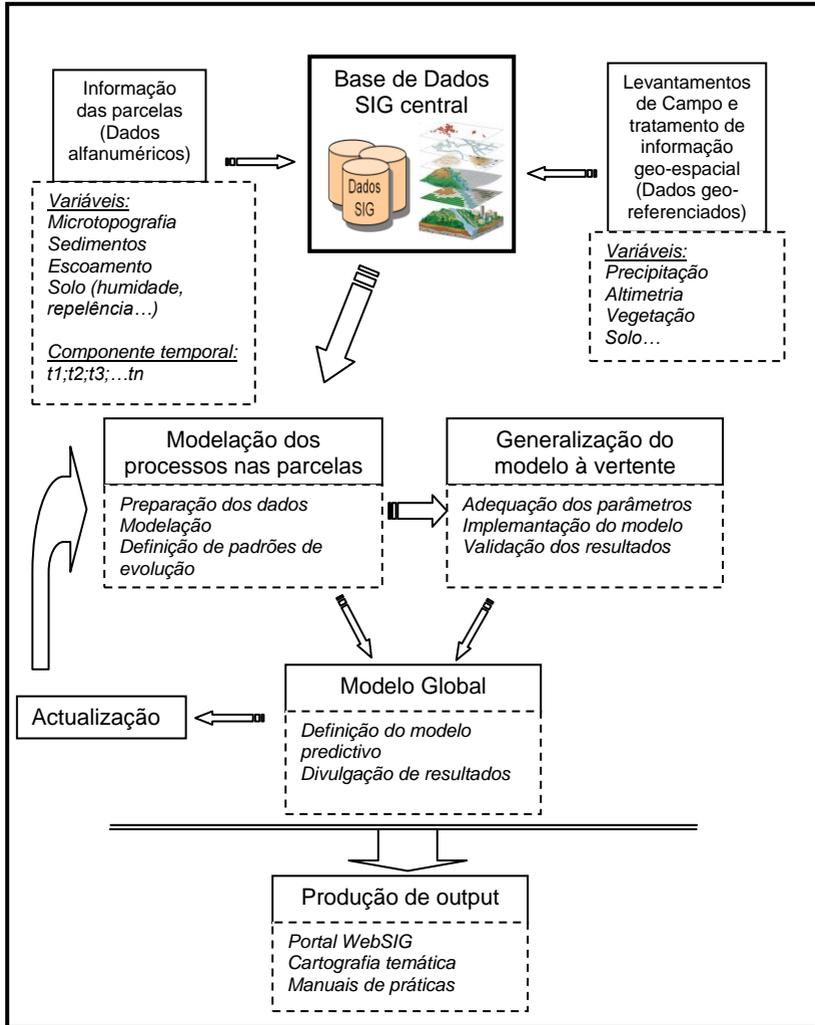


Figura 3. Esquema conceptual de aplicação do processo de modelo geomorfológico

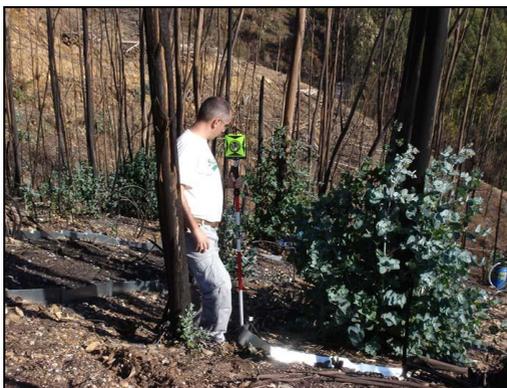


Neste sentido, o processo de modelação (Figura 3) incorporará uma fase inicial na qual procederemos à recolha e tratamento da informação respeitante às variáveis identificadas para o estudo, bem como a definição do modelo dos dados a

implementar e estruturação da base de dados geográficos que irá armazenar os dados.

Consecutivamente desenvolver-se-à um trabalho de levantamento topográfico da área em estudo (Fotografias. 3 e 4) e sua modelação tridimensional e modelação das superfícies de escoamento/fluxo. Desenvolver-se-à também uma análise ao nível da ocupação do solo e caracterização das diversas componentes do solo (estrutura, textura, humidade, porosidade, entre outros) ao nível da vertente, bem como uma análise dos factores relacionados com os incêndios florestais (intensidade, recorrência). Estes dados serão, igualmente, integrados na base de dados geográfica, permitindo estabelecer as variáveis necessárias à implementação do modelo.

Fotografia 3 e 4. Levantamento topográfico da área em estudo



A segunda fase do projecto consistirá no desenvolvimento do modelo geomorfológico, num primeiro momento aplicado às parcelas instaladas e posteriormente generalizado à vertente. Este modelo avaliará o comportamento das variáveis em condições diferenciadas, sem a implementação de medidas de redução da erosão e com a implementação de mecanismos variados de mitigação dos fenómenos.

A construção de um modelo global que permita a predicção dos fenómenos geomorfológicos actuantes nas vertentes após incêndios e a respostas dos processos degradativos face a diferentes mecanismos mitigadores, será o objectivo final deste projecto, permitindo produzir um conjunto valioso de informação para o auxílio aos agentes envolvidos no processo de produção florestal, pelo que a mesma será veiculada através de um portal Web baseado em tecnologia SIG, o que constituirá a fase final do projecto.

CONCLUSÃO

O RECOVER tem uma forte componente de experimentação no terreno e irá executar uma reflexão estratégica para fornecer técnicas e estratégias eficazes de baixo custo para atenuar a degradação do solo e a migração de nutrientes logo após o incêndio.

O projecto tem uma forte dimensão participativa, uma vez que a investigação será discutida e terá em conta a percepção e as soluções propostas pelos principais intervenientes e diferentes partes interessadas.

O objectivo final é produzir uma ferramenta que permite àqueles com responsabilidades na gestão de áreas queimadas, identificar expeditamente as áreas críticas onde intervenções devem ser feitas para obter os melhores resultados de conservação pelo menor preço possível, o que terá um impacte significativo sobre a conservação dos solos, da vegetação a recuperar e, portanto, sobre o funcionamento do ecossistema. Pretende-se igualmente reduzir significativamente os impactes da lavagem das cinzas.

Neste sentido, a modelação geomorfológica permitirá a compreensão do comportamento dos processos actuantes nas vertentes e sua resposta aos mecanismos de remediação propostos, possibilitando a produção de informação

relevante para o desenvolvimento de estratégias globais de protecção dos solos e demais recursos naturais.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREU, V.; FORTEZA, J.; RUBIO, J.L.; CERNI R. (1994) - Nutrient losses in relation to vegetation cover on automated field plots. *In* RICKSON, R.J. (Ed.) *Conserving Soil Resources*. Cambridge Univ. Press: 116-126.
- BENAVIDES-SOLORIO, J. DE; MACDONALD, L.H. (2005) - Measurement and prediction of post-fire erosion at the hillslope scale, Colorado Front Range. *International Journal of Wildland Fire*, 14: 457-474.
- BOTELHO, H.; VEGA, J.; FERNANDES, P.; REGO, F. (1994) - Prescribed fire behaviour and fine fuel consumption in Northern Portugal and Galiza maritime pine stands. *In: 'Proceedings 2nd International Conference on Forest Fire Research'*, 21-24 Nov. 1994, Coimbra: 343-353.
- BURCH, G.J.; MOORE, I.D.; BURNS, J. (1989) - Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff. *Hydrological Processes*, 3: 211-222.
- CERDÀ, A.; LASANTA, T. (2005) - Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees. 1. Water and sediment yield. *Catena*, 60: 59-80.
- CERDÀ, A.; DOERR, S.H. (2005) - The influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an eleven-year investigation. *International Journal of Wildland Fire*, 14: 423-437.
- COELHO, C.O.A.; FERREIRA, A.J.D.; BOULET, A.K.; KEIZER, J.J. (2004) - Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 37, 3: 233-240.
- COELHO, C.O.A.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.P.D. (1995a) - Effects of forest fires and post-fire land management practice on soil erosion and stream dynamics, Águeda basin, Portugal. 'Soil and groundwater research report V', European Commission: 91p.
- COELHO, C.O.A.; SHAKESBY, R.A.; GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; TERNAN, L.; WALSH, R.P.D.; WILLIAMS, A.G. (1995b) - IBERLIM: Land management and erosion limitation in the Iberian Peninsula. Final Report to the EC in fulfilment of Project

- EV5V-0041 `Land management practice and erosion limitation in contrasting wildfire and gullied locations in the Iberian Peninsula (unpublished): 246 pp.
- COSANDEY, C.; ANDRÉASSIAN, V.; MARTIN, C.; DIDON-LESCOT, J.F.; LAVABRE, J.; FOLTON, N.; MATHYS, N.; RICHARD, D. (2005) - The hydrological impact of the mediterranean forest: a review of French research. *Journal of Hydrology*, 301: 235-249.
- DEBANO, L.F.; MANN, L.D.; HAMILTON, A. (1970) - Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34: 130-133.
- DOERR, S.H.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.P.D. (1996) - Soil hydrophobicity variations with depth and particle size fraction in burned and unburnt Eucalyptus globulus and Pinus pinaster forest terrain in the Águeda basin, Portugal. *Catena*, 27: 25-47.
- EMMERICH, W.E.; COX, J.R. (1992) - Hydrologic characteristics immediately after seasonal burning on introduced and native grasslands *Journal of Range Management*, 45: 476-479
- FERREIRA, A.J.D.; COELHO, C.O.A.; BOULET, A.K.; LOPES, F.P. (2005a) - Temporal patterns of solute loss following wildfires in Central Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 14: 401-412.
- FERREIRA, A.J.D.; COELHO, C.O.A.; BOULET, A.K.; LEIGHTON-BOYCE, G.; KEIZER, J.J.; RITSEMA, C.J. (2005b) - Influence of burning intensity on water repellence and hydrological processes at forest sites in Portugal. *Australian Journal of Soil Research* 43: 327-336.
- FERREIRA, A.J.D.; COELHO, C.O.A.; BENTO GONÇALVES, A.J.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.P.D. (1998) - Impact of climatic change on slope and catchment hydrology in forest areas, Central Portugal. *Geokodynamic*, 19: 165-178.
- FERREIRA, A.J.D.; COELHO, C.O.A.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.P.D. (1997) - Sediment and solute yield in forest ecosystems affected by forest fire and rip-ploughing techniques, central Portugal: a plot and catchment analysis approach. *Physics and Chemistry of the Earth*, 22: 309-314.
- FERREIRA, A.J.D. (1997) - Soil erosion in a burned plot: Evaluation based on single event record. In 'Forest fire risk and Management Proceedings of the European school of climatology and natural hazards course', EU-Comission: 373-380.
- GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; RUBIO, J.L. (2004) - Spatial patterns of soil temperatures during experimental fires. *Geoderma*, 118: 17-38.

- GIOVANNINI, G. (1994) - The effect of fire on soil quality. In M. Sala and J.L. Rubio (Ed.), *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires*. Geoforma Ediciones, Logroño, Spain: 15-27.
- GIOVANNINI, G. (1987) - Effect of fire and associate heating wave on the physicochemical parameters related to the soil potential erodibility. *Ecologia Mediterranea*, 13: 111-117.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S.; GIACHETTI, M. (1988) - Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, **146: 255-261**.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. (1984) - DTA and IR investigation on soil hydrophobic substances. *Soil Sci.*, 137: 457-463.
- GOODCHILD, M.F. *et al.* (Ed.) (1996) - GIS and environment modelling. John Wiley & Sons, England.
- IMESON, A.C.; VERSTRATEN, J.M.; VAN MULLINGEN, E.J.; SEVINK, J. (1992) - The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean type forests. *Catena* 19: 345-361.
- INBAR, M.; TAMIR, M.; WITTENBERG, L. (1998) - Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean. *Geomorphology*, 24: 17-33
- JUNGERIUS, P.D.; DEJONG, J.H. (1989) - Variability of water repellency in the dunes along the Dutch coast. *Catena*, 16: 491-497.
- KINDLE, A.; GARAY, I.; SANTANA DO CARMO, C. A.; LIMA, J. A. S. (2003) – Quantificação dos horizontes húmicos e dinâmica da decomposição de material foliar em solos florestais. *Comunicado Técnico* 21. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Rio de Janeiro: 8 p.
- KUTIEL, P.; INBAR, M. (1993) - Fire impacts on soil nutrients and soil erosion in a Mediterranean pine forest plantation. *Catena*, 20: 129-139
- LAVABRE, J.; TORRES, D.S.; CERNESSON, F. (1993) - Changes in the hydrological response of a small Mediterranean basin a year after a wildfire. *Journal of Hydrology*, 142: 273-299.
- LONGLEY, P.; BATTY, M. (Ed.) (1997) - Spatial analysis: modelling in a GIS environment. John Wiley & Sons, England.
- MOFFET, CORREY *et al.* (2007) - Modeling soil erosion on steep sagebrush rangeland before and after prescribed fire. *Catena*, 71: 218-228.

- PIERSON, F.B.; CARLSON, D.H.; SPAETH, K.E. (2002) - Impacts of wildfire on soil hydrological properties of steep sagebrush-steppe rangeland. *International Journal of Wildland Fire*, 11: 145-151
- RITSEMA, C.J.; DEKKER, L.W. (1994) - How water moves in a water-repellent sandy soil. 2. Dynamics of fingered flow. *Water Resources Research*, 30: 2519-2531.
- SCOTT, D.F. (1993) - The hydrological effects of fire in South African mountain catchments. *Journal of Hydrology*, 150: 409-432.
- SCOTT, D.F.; SCHULZE, R.E. (1992) - The hydrological effects of a wildfire in a eucalypt afforested catchment. *S.A. Forestry Journal*, 160: 67-74.
- SEVINK, J.; IMESON, A.C.; VERSTRATEN, J.M. (1989) - Humus form development and hillslope runoff, and the effects of fire and management, under Mediterranean forest in NE Spain. *Catena*, 16: 461-475.
- SHAKESBY, R.A.; COELHO, C.O.A.; FERREIRA, A.J.D.; TERRY, J.P.; WALSH, R.P.D. (1993) - Wildfire impacts on soil erosion and hydrology in wet Mediterranean forest, Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 3: 95-110.
- SHAKESBY, R.A.; DOERR, S.H.; WALSH, R.P.D. (2000) - Problems and prospects in determining the hydrological and erosional significance of soil hydrophobicity. *Journal of Hydrology*, 231-232: 178-191.
- SHEKHAR, S.; CHAWLA, S. (2003) - Spatial databases. A tour. Prentice Hall.
- SOTO, D.; DIAZ-FIERROS, F. (1998) - Runoff and soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by the WEPP model. *Catena*, 31: 257-270.
- SOTO, D.; DIAZ-FIERROS, F. (1993) - Interactions between plant ash leachates and soil. *International Journal of Wildland Fire*, 3 (4): 207-216.
- THOMAS, A.D.; WALSH, R.P.D.; SHAKESBY, R.A. (1999) - Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forests in the wet Mediterranean environment of northern Portugal. *Catena*, 36: 283-302.
- THOMAS, A.D.; WALSH, R.P.D.; SHAKESBY, R.A. (2000a) - Post-fire forestry management and nutrient losses in eucalyptus and pine plantations, northern Portugal. *Land Degradation & Development*, 11: 257-271.
- THOMAS, A.D.; WALSH, R.P.D.; SHAKESBY, R.A. (2000b) - Solutes in overland flow following fire in eucalyptus and pine forests, northern Portugal. *Hydrological Processes*, 14: 971-985.

- ÚBEDA, X.; SALA, M. (2001) - Chemical concentrations in overland flow from different forested areas in a Mediterranean Environment: burned forest at different fire intensity and unpaved road. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 45: 225-238.
- WAINWRIGHT, J. (2008) - Can modelling enable us to understand the role of humans in landscape evolution?. *Geoforum*, 39: 659-674.
- WALSH, R.P.D.; BOAKES, D.J.; COELHO, C.O.A.; BENTO GONÇALVES, A.J.; SHAKESBY, R.A.; THOMAS, A.D. (1994) - Impact of fire-induced hydrophobicity and post-fire forest litter on overland flow in northern and central Portugal. *Proceedings of the Second International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra, 21-24 November 1994, Volume II: 1149-1159.

“GEO-WORKING PAPERS” – NORMAS DE PUBLICAÇÃO

1. Os “GEO-Working papers” encontram-se abertos à colaboração científica no domínio da Geografia e disciplinas afins.
2. Os “GEO-Working papers” são constituídos por duas séries: Série Investigação e Série Educação.
3. Os “GEO-Working papers” publicam artigos em português, francês, inglês e espanhol.
4. As opiniões e conceitos emitidos são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.
5. Os originais submetidos serão apreciados pela comissão editorial, que pode recorrer a especialistas das áreas científicas a que os textos se referem, reservando o direito de aceitação dos mesmos.
6. É aos autores que cabe obter autorização para reproduzir material sujeito a direitos de autor.
7. Os “GEO-Working papers” são publicados em papel, estando, simultaneamente, disponíveis on-line.
8. Os artigos devem apresentar uma dimensão entre 10 e 25 páginas A4, incluindo a bibliografia e as figuras e quadros.
9. Normas para a apresentação de originais:
 - 9.1. Os originais submetidos a apreciação, deverão ser enviados unicamente em formato digital, com a seguinte formatação: letra Arial, a 1,5 espaços, corpo 11 e com margens de 2,5 centímetros. Deverá constar juntamente um resumo que contenha o essencial do artigo (cerca de 700 caracteres para o resumo na língua do artigo e 2000 caracteres para o resumo noutra língua - português, inglês ou francês), além de palavras-chave nas duas línguas.

9.2. Os originais devem conter, em nota de rodapé na 1ª página, o endereço profissional do(s) autor(es), o cargo e instituição a que pertence(m), número de telefone, fax e e-mail.

10. Normas para a bibliografia:

10.1. Na bibliografia devem estar presentes todas as referências citadas no texto e somente estas. As referências bibliográficas deverão ser elaboradas em função dos modelos seguintes:

BURROUGS, B. (1999) – Development and urban growth. *in* D. Peters (ed.), *Unequal partners*, AAST Press, London.

ROGERS, A.; TAYLOR, N.; GOLDSMITH, G. (1998) – *The politics of rural environments*. Hutchinson, London.

SARAIVA, A.; PIRES, J.; MOREIRA, V. (2002) – Recomendações para a protecção e estabilização dos cursos de água. *Revista da Faculdade de Ciências*, 21(2), Lisboa: 187-222.

10.2. O apelido dos autores citados no texto deverá ser escrito em maiúsculas, sem sublinhado, seguido do ano de publicação. Quando forem citados em bibliografia dois ou mais autores com o mesmo apelido, dever-se-ão incluir as iniciais do primeiro nome. Se existirem mais de dois autores, citar-se-á só o primeiro seguido de *et al.*

11. Os autores dos artigos receberão 5 cópias do “GEO-Working papers”.

Envio de correspondência para:

GEO-Working papers

Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento

Instituto de Ciências Sociais

Universidade do Minho

Campus de Azurém

4800-058 Guimarães

tel. 351-253-510560

fax 351-253-510569

e-mail: geowp@geografia.uminho.pt ou vieira@geografia.uminho.pt