

## **APLICAÇÃO DO MODELO SIMWE NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À EROÇÃO LINEAR: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO (RDD)**

### **SIMWE MODEL APPLICATION TO THE DEFINITION OF AREAS SUSCEPTIBLE TO LINEAR EROSION A CASE STUDY IN THE DOURO DEMARCATED REGION (DDR)**

Fernandes, Joana, FLUP, Porto, Portugal, *joanafcfernandes@gmail.com*

Bateira, Carlos, FLUP, Porto, Portugal, *carlosbateira@gmail.com*

Soares, Laura, FLUP, CEGOT, Porto, Portugal, *Impsoares@gmail.com*

Oliveira, Ana, FLUP, Porto, Portugal, *anasfoliveira.90@outlook.pt*

Faria, Ana, FLUP, Porto, Portugal, *ana\_faria\_91@hotmail.com*

Hermenegildo, Carlos, FLUP, Porto, Portugal, *carlos.hermenegildo@gmail.com*

Teixeira, Manuel, FLUP, Porto, Portugal, *mane.teixeira@gmail.com*

Moura, Rui, FCUP, Porto, Portugal, *rrmoura@fc.up.pt*

Gonçalves, José, FCUP, Porto, Portugal, *jagoncal@fc.up.pt*

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho centra-se na avaliação da suscetibilidade à erosão linear na RDD, apresentando-se os resultados obtidos através da aplicação do modelo SIMWE (SIMulated Water Erosion). Procedeu-se, ainda, à análise dos resultados por comparação com as características hidrológicas (capacidade de infiltração, condutividade hidráulica), texturais e estruturais do solo (avaliada pela resistividade elétrica) em áreas classificadas de elevada erosão pelo SIMWE. O estudo demonstra uma associação entre a distribuição espacial das feições erosivas com valores altos de profundidade da lâmina de água e valores reduzidos de fluxo de água que se coadunam com os valores reduzidos de resistividade elétrica em setores coincidentes. Os setores com maior percentagem de feições erosivas relacionadas ao fluxo de sedimentos, a capacidade de transporte e a concentração de sedimentos assumem valores de suscetibilidade médios. Estes aliam-se a uma condutividade hidráulica e a capacidade de infiltração do solo com valores bastante reduzidos condizentes com a sua textura fina, permitindo um aumento do escoamento superficial e o desenvolvimento de erosão linear.

### **ABSTRACT**

This paper focuses the evaluation of susceptibility to linear erosion in the RDD, presenting the results of SIMWE (Simulated Water Erosion) model application. Furthermore, we also proceed to the results analysis by comparing the hydrological characteristics (infiltration capacity, hydraulic conductivity), soil texture and structure (evaluated by the electrical resistivity) in the high erosion areas defined through SIMWE. The study shows an association between the spatial distribution of erosive features with high values of water depth and reduced water discharge values that are consistent with the reduced values of electrical resistivity sectors. The areas with the highest percentage of erosive features related to sediment flux, the transport capacity and the sediment concentration assume medium susceptibility values. These combined to a hydraulic conductivity and soil infiltration capacity at very low values is consistent with its fine texture, allowing increased runoff and the development of linear erosion.

**Palavras-chave:** Erosão Hídrica, SIMWE, Região Demarcada do Douro.

**Keywords:** Water Erosion, SIMWE, Douro Demarcated Region.

## 1. INTRODUÇÃO

A aplicação de modelos de base física ou estatística à elaboração de cartografia de suscetibilidade à erosão, em territórios rurais estruturados em socos, é bastante limitada (i.e. Figueiredo e Ferreira, 1993; Catalão e Pacheco, 2010; Fernandes, 2014). A Quinta de S. Luiz, localizada na freguesia de Adorigo (concelho de Tabuaço, distrito de Viseu), no Alto Douro Vinhateiro (ADV), ocupa uma área de 127,97 ha dos quais cerca de 70% plantados com vinhas. O substrato litológico dominante abrange as formações metassedimentares de Bateiras, Ervedosa do Douro e de Rio Pinhão (Sousa e Sequeira, 1989) e, em termos pedológicos, dominam os Litossolos associados a Luvisolos (Ribeiro, 2000). Considerando que, na sua maioria, as feições erosivas da área em estudo correspondem a ravinas, previamente inventariadas, destaca-se o modelo de base física SIMWE (SIMulated Water Erosion) (Mitas e Mitasova, 1998), desenvolvido para simular processos de erosão linear. Este modelo foi aplicado por vários autores (i.e. Mitas e Mitasova, 1998; Koco, 2011; Fernandes *et al.*, 2014), permitindo obter uma relação entre as características do terreno e o padrão de erosão-deposição. Assim, o principal objetivo deste trabalho centra-se na predição de setores suscetíveis à erosão hídrica concentrada através da aplicação do modelo SIMWE numa micro-bacia hidrográfica da Quinta de S. Luiz, avaliando-se os resultados por comparação com parâmetros hidrológicos obtidos por medições no terreno.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Integrado no *software* GRASS GIS (*Geographic Resources Analysis Support System – Geographic Information System*), o SIMWE incorpora o cálculo de dois módulos: o *r.sim.water*, que simula o fluxo de água superficial e o *r.sim.sediment* que calcula o transporte de sedimentos por escoamento superficial, de acordo com as seguintes equações:

$$\partial h(r, t) / \partial t = i(r, t) - q(r, t) \quad (\text{Julien et al. 1995}) \quad [1]: (r.sim.water)$$

Em que:  $h(r, t)$  [m] - profundidade da água;  $t$  - tempo;  $i(r, t)$  [m/s] - excesso de precipitação;  $q(r, t)$  [m<sup>2</sup>/s] - fluxo de água;  $r(x, y)$  - parâmetros de georreferenciação (coordenadas) derivados do MDE.

$$\partial [\rho_s c(r, t) h(r, t)] / \partial t + \nabla \cdot q_s(r, t) \quad (\text{Hann et al., 1994}) \quad [2]: (r.sim.sediment)$$

Em que:  $\rho_s$  [partículas/kg] - massa por partículas de sedimentos;  $c(r, t)$  [partículas/m<sup>3</sup>] - concentração de sedimentos;  $q_s(r, t)$  [kg/ms] - taxa de fluxo de sedimentos.

Como informação de base foi criado um modelo digital de elevação (MDE) com um metro de resolução, gerado a partir de fotografia aérea de grande detalhe (pixel de 50 cm) através do procedimento de estero-correlação automática, realizado no *software* *Agisoft PhotoScan*. Sequencialmente foram estimados outros parâmetros adicionais que controlam a simulação do modelo. Os valores dos parâmetros foram adaptados à área de estudo tendo em conta a precipitação (estação meteorológica de Adorigo, série 1983-2012), uso do solo e o tipo de solo. (Quadro 1).

Quadro 1 - Parâmetros de entrada de simulação do Modelo SIMWE, (adaptado de Koco,2011).

<b>Rainfall excess (mm/h)</b>	<b>Soil infiltration (mm/h)</b>	<b>Manning's roughness coefficient</b>	<b>Sediment transport capacity(s)</b>	<b>Detachment capacity (s/m)</b>	<b>Critical shear stress (Pa)</b>
50	0.8	0.08	0.001	0.001	0.5

Relativamente aos ensaios no terreno, foram definidos 7 pontos de amostragem em diferentes contextos da vertente (topo, meio e base). Para a classificação textural foi adotada a metodologia de Folk (1954), utilizando-se um diagrama triangular onde foram representadas proporcionalmente as percentagens de cascalho, areia e lodo (Dias, 2004). No que se refere à resistividade elétrica foi aplicada a matriz de Wenner utilizando o resistímetro ABEM SAS 300C, efetuando-se os cálculos através da seguinte equação:

$$p = 2 * \pi * a * R \quad [3]$$

Em que: p é a resistividade elétrica; a é a distância entre os elétrodos e R é o valor registado pelo equipamento.

No que concerne aos parâmetros hidrológicos, a condutividade hidráulica saturada (kfs) foi estimada recorrendo ao permeâmetro de Guelph. Devido ao tipo de solos, pouco permeáveis e com uma grande percentagem de argila e silte, procedeu-se à aplicação do método de medição linear com leituras efetuadas a duas cargas de pressão, aos 5cm e aos 10cm de água estabilizada. O cálculo da condutividade hidráulica saturada estimou-se a partir da seguinte equação:

$$Kfs = (0.0041)(Y)(R2) - (0.0054)(Y)(R1) \quad [4]$$

Em que: Kfs é a condutividade hidráulica saturada de campo expressa em cm/seg; Y o valor utilizado da constante associada ao método linear e expressa em cm<sup>2</sup> (2,16 cm<sup>2</sup>); R1, o valor da constante com a água estabilizada no reservatório de 5 cm (H1/60s) e R2 o valor da constante com água estabilizada no reservatório de 10 cm (H2/60s).

A capacidade de infiltração do solo foi determinada com recurso ao infiltrómetro de duplo anel, efetuando-se leituras com um intervalo de 1 minuto. Para o seu cálculo foi aplicada a seguinte equação:

$$i = \frac{dl}{dt} \quad (\text{Libardi, 1995}) \quad [5]$$

Em que: i representa a taxa de infiltração; dl é a infiltração acumulada e dt corresponde ao tempo.

De forma a obter uma validação dos resultados do modelo SIMWE e dos ensaios *in situ*, foi realizada uma análise de concordância com base no inventário das feições erosivas. Deste reconhecimento optamos por manter o termo ravina para feições que evidenciam o mínimo de 30 cm de profundidade, sendo denominadas por sulcos as feições com dimensões inferiores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas resultantes da aplicação do SIMWE foram classificados em quatro classes, pelo método de limiares empíricos, permitindo compreender a distribuição espacial que o modelo possibilita identificar. Assim, existem extensas áreas com presença de valores diminutos, bem como valores muito elevados em áreas reduzidas. Essas extensas áreas de valores reduzidos justificam a pequena dimensão dos processos de erosão linear registados. Por esse motivo, e para ilustrar a variação espacial do processo, foi necessária uma classificação por limiares empíricos incidindo nos valores mais baixos registados. Salienta-se que as classes de suscetibilidade obedecem à designação reduzida, média, elevada e muito elevada, da primeira até à quarta, respetivamente. Em termos gerais as feições erosivas concentram-se preferencialmente em áreas onde a profundidade da água assume valores médios e elevados (90,1%), embora as classes correspondentes a uma maior profundidade sejam ocupadas em percentagem superior por sulcos (Figura 1a). O panorama é ligeiramente diferente no que se refere ao fluxo de água, registando a quase totalidade das feições erosivas nas classes onde este assume valores reduzidos a médios (96,2%), (Figura 1b). Na classe onde o fluxo de água detém valores elevados apenas se registam 3,8% de sulcos, não existindo ravinas. A disposição do fluxo relaciona-se diretamente com a influência exercida pelos declives da vertente. Relativamente à capacidade de transporte de sedimentos, quase a totalidade das feições erosivas (98,7%) se localizam nos setores onde a mobilização de materiais atinge valores médios a elevados. A textura dos materiais apresenta uma elevada percentagem de areia e cascalho (variável entre 30% a 50%), o que pode determinar um maior destacamento de partículas, mesmo para valores reduzidos da capacidade de transporte (Figura 2). No que se refere ao fluxo de sedimentos (Figura 1e), verifica-se que as feições erosivas se concentram nas classes que assumem valores médios a elevados. Mas o destaque centra-se na percentagem de ravinas que ocupa as áreas onde a dinâmica de sedimentos assume valores médios a elevados (90,7%), em contraponto com uma percentagem de 70,5% de sulcos, nas mesmas classes. Por outro lado, as classes média e muito elevada de concentração de sedimentos, (Figura 1d) integram a maior percentagem de feições erosivas, embora as classes elevada e muito elevada registem 59,4% de ravinas e 53,8 % de sulcos. Avaliando o balanço erosão-deposição, (Figura 1f), é nítida a concentração de feições nos setores identificados como suscetíveis à erosão, registando 65,6 % de ravinas e 78,1 % de sulcos. Assim sendo, mais de 75% dos sulcos inventariados, correspondem à simulação do SIMWE. Por outro lado, a percentagem de verdadeiros positivos associados às ravinas, ou seja, as feições inventariadas que o modelo considerou suscetível à erosão, não supera os 75%. Em seguimento, as áreas onde existe uma maior distribuição da deposição coincidem com a classe mais elevada do parâmetro de concentração de sedimentos. Considerando uma análise comparativa com os ensaios in situ, verifica-se que a secção superior da bacia hidrográfica reúne os perfis 2, 3, 4, 5, e 6 (Figura 2), onde se concentram os valores mais reduzidos de resistividade elétrica, indicando que o solo se apresentava saturado.

A distribuição destes perfis ocorre em áreas onde a profundidade de água assume valores mais elevados, sugerindo dificuldades no processo de infiltração. Por comparação com a condutividade hidráulica, verifica-se que o ponto SL2 apresenta o valor mais elevado de circulação de água no solo, situação semelhante aos resultados da simulação do parâmetro da altura da água. O ponto SL3 revela também paridade de resultados, ilustrando valores baixos em ambos os parâmetros.

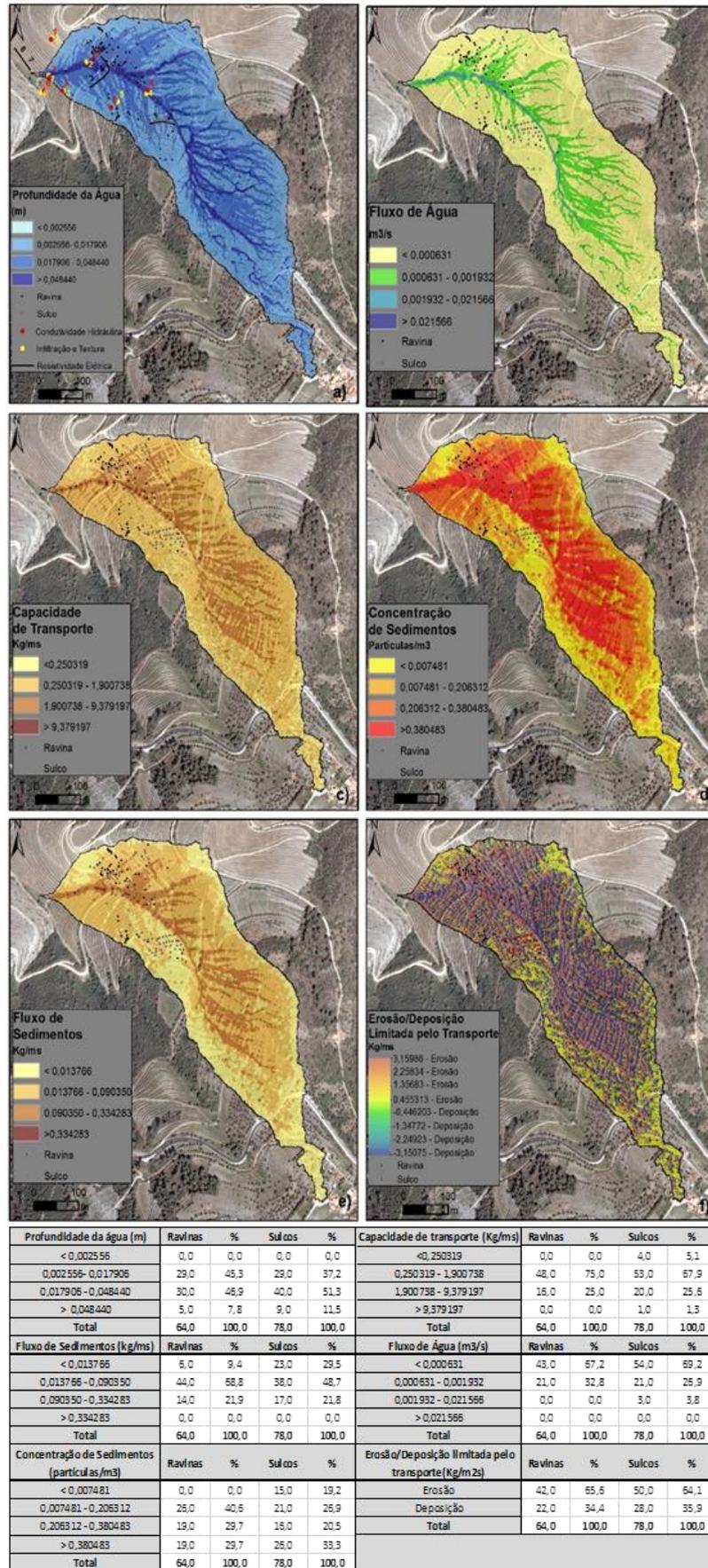


Figura 9 - Resultados da aplicação do modelo SIMWE.

As restantes experiências não apresentam uma associação muito consentânea à simulação do modelo, denotando que a profundidade da água que escoa à superfície possui valores elevados, o que implica uma maior dificuldade no processo de infiltração (Figuras 1a; 2).

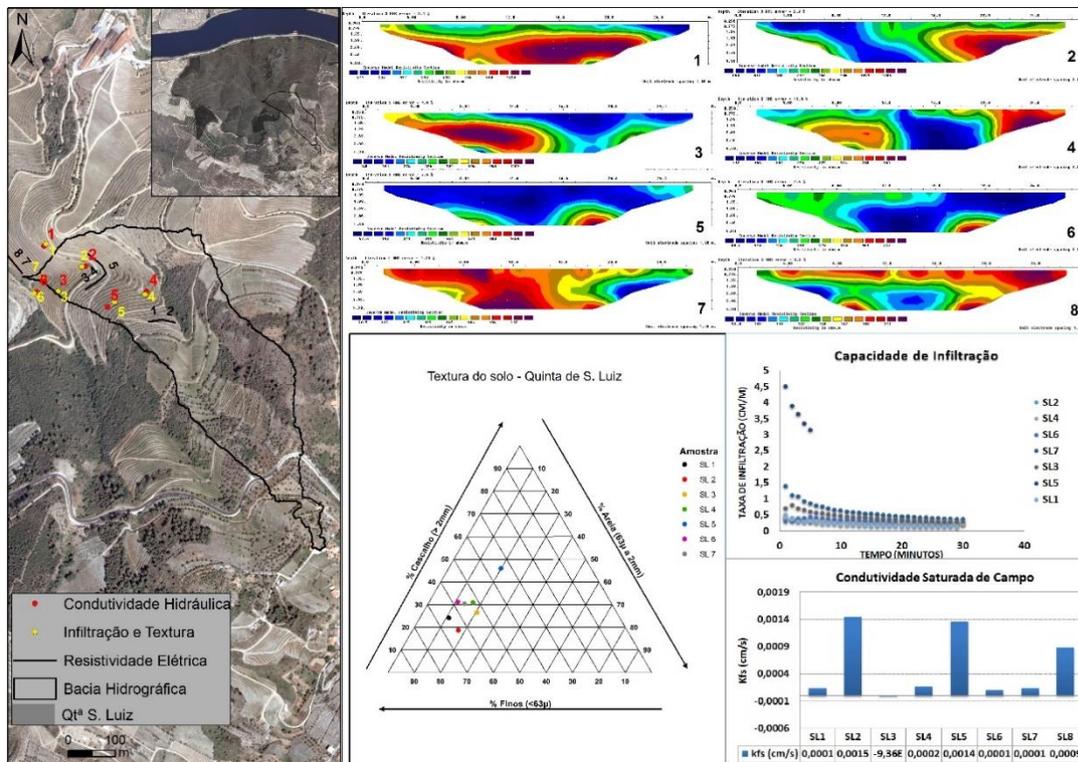


Figura 10 - Localização e análise de resultados das experiências de campo na Quinta de S. Luiz.

Contudo, a associação à textura do solo é óbvia, na medida em que a forte presença de sedimentos finos determina a existência de microporos que possibilitam a retenção de água. Esta afirmação ilustra-se nos resultados do parâmetro da profundidade da água e nos perfis de resistividade 2, 3, 4, 5, e 6. No que concerne à capacidade de infiltração as experiências revelam homogeneidade nos valores diminutos, uma vez que quase todas se prolongaram por 30 minutos (até que a totalidade da água se infiltrasse), variando entre 0,11 a 0,36 m/min. Por conseguinte, associam-se os resultados destas experiências à distribuição de áreas suscetíveis à erosão e elevada concentração de feições erosivas.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados indicam uma boa prestação do modelo SIMWE na identificação das áreas mais suscetíveis à erosão hídrica de solos. Com efeito, as áreas mais críticas demonstram a ligação entre as feições erosivas inventariadas com os valores médios e elevados de profundidade da água, valores reduzidos e médios de fluxo da água, bem como com os valores reduzidos de resistividade elétrica. Os resultados do fluxo de sedimentos coadunam-se com os resultados moderados da capacidade de transporte, principalmente nos sectores de convergência de fluxos. Esta conexão resulta também da elevada concentração de sedimentos finos, que dificulta o transporte, assim como com os fracos valores de capacidade de infiltração do solo. Tal significa que os registos

de erosão se relacionam sobretudo com processos lineares de escoamento concentrado, embora sob a forma de sulcos ou ravinas que atingem uma profundidade pouco considerável. Por outro lado, por se tratar de uma área que, na sua maioria, é ocupada por vinha e não possui cobertura vegetal contínua, o escoamento processa-se superficialmente coadjuvado pelos fracos valores de capacidade de infiltração e condutividade hidráulica do solo. Salienta-se que os resultados são influenciados pela precisão do inventário, sendo necessário manter o procedimento dos registos considerando diferentes períodos associados aos trabalhos agrícolas. Por esta razão, o conjunto de ocorrências registadas apresentam-se por defeito, uma vez que a atividade humana dissimula os vestígios. Outra condicionante, associada ao inventário, prende-se com o facto das feições erosivas da área em estudo apresentarem profundidades reduzidas. Por conseguinte, ainda que o modelo simule as áreas suscetíveis a feições erosivas lineares profundas, torna-se pouco clara a associação com inventário. Desta forma, assume-se a possibilidade de ocorrência deste tipo de feições nas áreas simuladas mesmo que, aquando do levantamento, estas não se tenham registado em número considerável.

## REFERÊNCIAS

- Catalão, M; Pacheco, F (2010). Perdas de solo e risco de erosão na bacia hidrográfica da ribeira da Meia Léguas. *e –Terra*, Vol. 9, nº 3, 4p.
- Dias, J Alveirinho (2004). A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos. Disponível online em: [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb\\_Sediment.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html)
- Fernandes, J (2014). *Modelação de processos erosivos no alto Douro Vinhateiro: O caso de estudo da Quinta de S. Luiz*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 135 p.
- Fernandes, J; Soares, L; Bateira, C; Oliveira, A; Faria, A (2014). Aplicação do modelo SIMWE à definição de áreas suscetíveis à formação de ravinas: estudo de caso no Alto Douro Vinhateiro. *Planeamento e Gestão dos Recursos Naturais*. Homenagem Professora Doutora Celeste Coelho. Universidade de Aveiro, Aveiro. pp. 190 - 203. ISBN: 978-972-789-432-1.
- Figueiredo, T de e Ferreira, A G (1993). Erosão dos solos em vinha de encosta na Região do Douro, Portugal. *Actas do XII Congresso Latinoamericano da Ciência do Solo*. Salamanca, Espanha, pp. 79-88.
- Hann, C T; Barfield, B J; Hayes, J C (1994). *Design hydrology and sedimentology for a small catchments*. Academic Press. New York, 588 p.
- Julien, P Y; Saghafian, B; Ogden, F L (1995). Raster-based Hydrological modeling of a special varied surface runoff. *Water Resources Bulletin*, Nº 31, pp. 523-536.
- Koco, S (2011). Simulation of gully erosion using the SIMWE model and GIS. *Landform Analysis*, Vol. 17, pp. 81-86.
- Libardi, P (1995). *Dinâmica da água no solo*. 1ª. ed. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP), 497 p.
- Mitas, . e Mitasova, L (1998). Distributed Soil Erosion Simulation for effective erosion prevention. *Water Resources Research*, Vol. 34(3), pp. 505-516.
- Ribeiro, J (2000). Caracterização genérica da região vinhateira do Alto Douro. *DOURO – Estudos & Documentos*, Vol. V, pp. 11-29.
- Sousa, B; Sequeira, A (1989). *Notícia explicativa da folha 10 D (Alijó) da Carta Geológica de Portugal (1/50 000)*. Lisboa, SGP, 59 p.

