

## O Mundo (Im) Perfeito dos modelos de erosão

Carmen Ferreira<sup>1</sup>

### RESUMO

No campo da gestão ambiental, a erosão hídrica do solo, porque provoca a degradação e perda de um recurso natural fundamental para o suporte da vida é, sem dúvida, uma das questões mais relevantes na gestão sustentável deste recurso natural.

As pesquisas sobre a perda de solos compreendem metodologias diversas que vão desde as simples constatações, quando um fenómeno se torna demasiado evidente, às avaliações com aplicação de modelos empíricos reconhecidos internacionalmente ou aos desenhos experimentais no terreno com utilização de parcelas experimentais.

Em Portugal efectuaram-se e continuam a efectuar-se vários estudos sobre esta temática, onde foram e são adoptadas diversas metodologias aplicadas a várias regiões do país. De modo geral, o propósito de um modelo é simplificar certa realidade para que ela possa ser analisada. Como os modelos são construídos para dar sentido ao mundo, é necessário que sejam validados.

Com este trabalho pretende-se apresentar e discutir os vários cenários de resposta dos solos à aplicação de diferentes equações para o cálculo da erosividade da precipitação no modelo EUPS/USLE (Equação Universal de Perdas de solo/Universal Soil Loss Equation), em comparação com os resultados obtidos por medições de campo em parcelas experimentais.

### Palavras-Chave

Erosão do solo; parcelas experimentais; Modelo USLE; erosividade da precipitação.

### ABSTRACT

Regarding to environmental management, soil erosion causes the degradation and loss of a key natural resource for the support of life – the soil, and is undoubtedly one of the most important issues in the sustainable management of this natural resource.

Research on soil loss includes different methodologies. These methodologies range from simple findings, when a phenomenon becomes too obvious, to the implementation of recognized assessments with empirical models, or the use of experimental plots in the field.

In Portugal are held several studies on this subject in different regions of the country where they are applied different methodologies.

The purpose of a model is to simplify reality so that she can be analyzed. As models are constructed to give meaning to the world, they must be validated.

This work aims to present and discuss the various response scenarios of soil application of different equations to calculate the erosivity of rainfall in the USLE model (Universal Soil Loss Equation), compared with the results obtained by field measurements in experimental plots.

---

<sup>1</sup> Professora Auxiliar do Departamento de Geografia da FLUP, dra.carmenferreira@gmail.com

## 1. Introdução

A erosão hídrica do solo, porque provoca a degradação e perda de um recurso natural fundamental para o suporte da vida é, sem dúvida, uma das questões relevantes no campo da gestão ambiental. À medida que finas camadas de solos vão sendo removidas em espessuras diferentes ao longo de décadas, o processo de erosão progride até atingir um ponto de não retorno, abrindo caminho a um processo de desertificação. Existem metodologias que nos permitem detetar e diagnosticar sinais precoces e implementar medidas protetoras que reduzam a taxa de erosão. Será necessário dispor de conhecimentos e tecnologias que permitam avaliar as situações existentes e determinar as melhores alternativas para a gestão sustentável do solo.

Por vezes, a maneira mais simples de estimar o efeito de um processo físico é a utilização de uma equação, fórmula, gráficos e diagramas baseados no conhecimento existente acerca desse mesmo processo físico. A este tipo de estimativa chamamos *modelos* que tendem, cada vez mais, a tornarem-se complexos e dependentes das técnicas computacionais para operar os processos matemáticos (Hudson, 1995).

Segundo Pereira Tomás (1993), a maior parte do conhecimento sobre erosão hídrica de solos resulta de estudos empíricos sobre conjuntos relativamente alargados de dados sobre erosão, em que variáveis mais importantes são relacionadas através de técnicas estatísticas, particularmente análises de correlação e regressão. Os modelos empíricos são, então, baseados na identificação das relações estatísticas mais significativas entre as variáveis mais importantes, a partir de bases de dados de boa dimensão e qualidade. Também Costa (2004), refere que as pesquisas sobre a perda de solos compreendem metodologias diversas que vão desde as simples constatações, quando o fenómeno se torna demasiado evidente, ou avaliações empíricas, com aplicação a fórmulas reconhecidas internacionalmente. Pode-se recorrer a parcelas experimentais ou a registos de caudal sólido de bacias hidrográficas. Para o autor, as medições a nível de parcelas experimentais, resultam, como refere Fournier (1960) “da luta entre a água e o solo em condições de meio muito precisas”, e os seus resultados não devem ser extrapolados para uma região.

Esta aproximação ao problema da erosão conduz a um grande número de variáveis significativas para este processo, dependendo estas da orientação que poderá ser dada a cada estudo. Deste modo, surge uma grande dispersão quer de resultados, quer de variáveis, sendo difícil selecionar as mais significativas. De acordo com Morgan (1986), a erosividade do agente erosivo, a erodibilidade do solo, o declive do terreno e a cobertura vegetal, são os fatores mais significativos que devem ser analisados em pormenor e identificados os aspectos mais relevantes de cada um. Relativamente a estes fatores, podemos afirmar que as suas características são dinâmicas, sobretudo o que se refere ao coberto vegetal, por isso, qualquer valor encontrado de perdas de solo, só pode ser referenciado ao momento analisado e às características, no momento, destes fatores mais significativos que controlam a erosão.

## 2. Os modelos de estimativa de erosão

A principal causa natural das perdas de solo diz respeito a um elemento climático importante – precipitação. As características das chuvadas e as características que os solos apresentam quando estas ocorrem determinam a quantidade de perdas de solo e, consequentemente, a possibilidade de ocorrer uma degradação física do solo (Hudson, 1995). Em termos matemáticos, a erosão é função da *erosividade* da precipitação e da *erodibilidade* do solo, cujos factores combinados dão origem à *Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)* ou *Universal Soil Loss Equation (USLE)*.

A Equação Universal das Perdas de Solo é um modelo empírico de erosão superficial baseada em relações estatísticas entre os principais factores determinantes da perda de solos. Foi apresentada por Wischmeier e Smith (1958, 1978) para calcular o valor médio da perda de solo correspondente a um longo período de tempo.

O cálculo da perda de solo para uma determinada área baseia-se no produto de seis variáveis relativas aos principais factores de erosão. Quatro destas variáveis determinam-se tendo como referência uma parcela padrão com um comprimento de 22,1 metros, declive 9%, e em que é mantida sem vegetação e por mobilizações realizadas no sentido do maior declive. Deste modo cada variável da EUPS corresponde a:

- ***E*** – perda de solo referida à unidade de área [ $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ];
- ***R*** – fator de erosividade da chuva e do escoamento; representa a capacidade que a precipitação e o escoamento têm para destacar as partículas do solo [ $M$ ]  $mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ ];
- ***K*** – fator de erodibilidade do solo, ou susceptibilidade do solo para a erosão; corresponde à taxa de perda de solo que ocorre na parcela padrão [ $t\ h\ MJ^{-1}mm^{-1}$ ];
- ***L*** – fator de comprimento da encosta, expresso pela relação entre a perda de solo ocorrida com o comprimento da encosta considerada e a que ocorreria com um comprimento de 22,1 m, mantendo constantes as restantes condições [adimensional];
- ***S*** – fator de inclinação da encosta; corresponde à relação entre a perda de solo ocorrida com o declive considerado e a que ocorreria se este fosse de 9%, mantendo constantes as restantes condições [adimensional];
- ***P*** – fator de práticas conservativas definido pela relação entre a perda de solo que ocorre com determinadas práticas conservativas, tais como lavouras segundo as curvas de nível, culturas em faixas, terraceamento, e o que ocorreria se essas práticas fossem efectuadas segundo a linha de maior declive [adimensional], varia entre 0 e 1;
- ***C*** – fator de cobertura e manejo, definido pela relação entre a perda de solo ocorrida num determinado sistema cultural e o que ocorreria num solo nu [adimensional], varia de 0 a 1.

Quando se pretende estimar a erosão do solo, é importante que se identifiquem os exatos objetivos e propósitos dos vários modelos existentes. Segundo Hudson (1995), se o propósito for o de prever as quantidades de perdas de solo sob práticas agrícolas diferentes, então, um modelo empírico, como a EUPS ou USLE, torna-se eficiente. A EUPS não pode ser vista como um modelo que permita a compreensão do mecanismo

do processo erosivo, pois para este caso teríamos que utilizar um modelo determinista, mas deve ser encarada como um modelo baseado na observação e experimentação. A confiança neste método depende das bases de dados que se tenha de experiências realizadas, que nos permitam afirmar que as previsões estimadas por esse modelo possam ocorrer em determinadas circunstâncias, por já terem sido observados antes, em circunstâncias idênticas. O fundamento e o ponto de partida para os estudos empíricos devem, pois, ser o resultado de medições físicas. Como os modelos empíricos foram criados a partir de uma base de dados de experimentações efetuadas sob diferentes condições, espera-se que esses modelos funcionem nessas mesmas condições. Nenhum modelo pode ser considerado verdadeiramente universal. O ideal, segundo Hudson (1995), seria que cada país ou região redesenhasse os seus próprios modelos de previsão de acordo com as características desses locais, e com as experimentações efetuadas em concordância com essas características. As tabelas 1 e 2, mostram-nos, respetivamente, alguns exemplos de modelos empíricos utilizados para o cálculo da erosão hídrica do solo, bem como exemplos de alguns projetos desenvolvidos para estimar a degradação do solo. Alguns destes projetos resultaram de adaptações efetuadas na EUPS/USLE, equação que teve por base as características e a tecnologia dos Estados Unidos.

**Tabela 1** - Modelos empíricos utilizados para o cálculo da Erosão hídrica do solo (alguns exemplos)

Ano	Acrónimo	Nome do Modelo	Objetivos
1958	USLE	Universal Soil Loss Equation	Providencia uma estimativa da média anual das perdas de solo, a longo prazo, em terras aráveis sob diferentes tipos de cultivo. A aplicação deste modelo permite que os agricultores e os técnicos de conservação do solo, selecionem as combinações de uso do solo, práticas agrícolas e de conservação que permitam que as perdas de solo ocorram a um nível aceitável, isto é, a um nível que permita, numa linguagem actual, a sustentabilidade do sistema.
1985	RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation	Tal como o acrónimo revela, trata-se de uma revisão do modelo da USLE adotado durante 30 anos. Esta revisão resultou da necessidade de tornar o modelo mais adaptado à operacionalização por intermédio de computadores pessoais, incorporando, tanto quanto possível, novas informações resultantes de pesquisas entretanto efetuadas. As maiores modificações na RUSLE ocorreram em 1994 (USDA-AAR) e traduzem-se em, praticamente, todos os seus fatores (R; K; LS; C e P).
1981	SLEMSA	Soil Loss Estimation Model for Southern Africa	Modelo que é semelhante à USLE, mas adaptado a uma área onde os registos de dados são limitados e onde os fatores são quantificados por métodos mais simples. A equação básica do SLEMSA é $Z = KCX$ em que: <b>K</b> (combinação da chuva ( <i>E</i> ) com a erodibilidade ( <i>F</i> ); <b>C</b> (deriva da cobertura – <i>cover</i> );

			<p><b>X</b> (deriva de <i>L</i> e <i>S</i>).</p> <p>O fator <i>P</i> da USLE não foi contemplado nesta equação e a sua importância foi transferida para os fatores topográficos (<i>L</i>; <i>S</i>) e para a erodibilidade (<i>F</i>).</p>
1985	SOILOSS	Australian Soil Loss Programme	Este modelo foi desenvolvido em New South Wales, Austrália, utilizando o mesmo formato e fatores da USLE. Para o cálculo dos fatores <i>R</i> ; <i>K</i> e <i>C</i> , o modelo utiliza dados de experiências locais.
1985	CREAMS	Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems	Não é um modelo de previsão em termos absolutos, mas permite a comparação do efeito de diferentes práticas na base de um evento. É utilizado, sobretudo, para calcular as perdas de poluentes de áreas agrícolas. Inclui um sub-modelo para a erosão que pode ser modelado separadamente.
1988	SCUAF	Soil Changes Under Agroforestry	Aplicação da USLE a terrenos florestados. O principal objectivo é fazer a previsão dos efeitos no solo de sistemas agroflorestais específicos em determinados ambientes. O modelo opera numa base temporal anual e possui duas partes principais: a parte referente ao solo que inclui o ciclo do carbono e do nitrogénio, e uma outra que diz respeito à estimativa da erosão pela USLE, usando o fator <i>C</i> modificado por Dissmeyer e Foster (1980,1985).
1991	INDEROS I	Indonesia Erosion Estimation Model	Este modelo assume que as modificações reais na erosão do solo ao longo do tempo em qualquer lugar são proporcionais à modificação do uso do solo (fator <i>C</i> ) e das práticas agrícolas que o suportam (fator <i>P</i> ).
1992	EUROSEM	European Soil Erosion Model	Modelo baseado no conceito de Morgan de modelação do destacamento e transporte dos sedimentos em fases separadas e destinado a prever a erosão de solos em campos experimentais e pequenas bacias hidrográficas. Baseia-se na descrição dos processos erosivos e sua dinâmica. É um bom exemplo de harmonização entre modelos empíricos (ex. RUSLE) e modelos que atingem o nível da descrição do processo (ex. WEPP).
1985/95	WEPP	Water Erosion Prediction Project	Este modelo resulta de um projeto de cooperação de várias agências, incluindo a ARS (Agricultural Research Service); SCS (Soil Conservation Service); Serviços Florestais e o BLM (Bureau of Land Management). O objectivo é desenvolver uma nova geração de tecnologia de previsão da erosão, baseado no actual conhecimento dos processos erosivos, sendo a tecnologia aplicada ao mesmo nível e para os mesmos propósitos da atual tecnologia utilizada na USLE, e ainda, poder ser aplicada a

			uma grande variedade de escalas e de possibilidades de uso do solo. Este modelo pode ser aplicado ao estudo dos processos erosivos em vertentes, bem como ao estudo dos processos hidrológicos e erosivos de pequenas bacias hidrográficas.
2005	MEFIDIS	Modelo de Erosão Físico e DISTRIBUÍDO (Spatially Distributed Physical Erosion Model)	Modelo desenvolvido para simular as consequências das alterações climáticas e do uso do solo para o escoamento superficial e padrões de erosão durante eventos de precipitação extrema. (Nunes, J. <i>et al</i> , 2005)

**Tabela 2** - Projetos desenvolvidos para estimar a Degradação do solo (alguns exemplos)

Ano	Acrónimo	Nome do Projeto	Objetivos
1987/90	GLASOD	Global Assessment of Human-Induced Soil Degradation	Projeto desenvolvido à escala mundial, sobre a degradação do solo induzida pela acção antrópica. Elaborado o <i>Glasad World Map of Soil Degradation</i> . (Projecto do ISRIC, em colaboração com investigadores de vários países).
2000/03	PESERA	Pan-European Soil Erosion Risk Assessment	Projeto cujo objetivo principal é desenvolver, calibrar e validar um Modelo físico para quantificar a erosão, baseado na distribuição espacial, que visa definir áreas “sensíveis” à erosão a uma escala europeia. Consiste num modelo aplicado ao estudo do risco de erosão dos solos na Europa. Este modelo integra várias componentes desagregadas que dependem do clima, vegetação, características do solo e topografia. Foi elaborada cartografia combinando este modelo com o da USLE e INRA.
2004/07	SOWAP	Soil and Water Protection	Projeto que, com a colaboração das indústrias, NGO’s, instituições académicas e agricultores, preocupados com os impactes no ambiente de uma agricultura convencional, procurou implementar os melhores métodos de práticas agrícolas, com vista a reduzir as perdas de solo; a aumentar a biodiversidade e, consequentemente, a qualidade da água.
2006/09	LADA	Land Degradation Assessment in Drylands	O objetivo deste projeto é desenvolver e testar uma metodologia de avaliação da degradação do solo para as regiões secas. É através da sistematização do conhecimento de vários especialistas em todo o mundo, criando métodos de avaliação novos e mais interativos e testando esses métodos no mundo real, que o projeto LADA pretende identificar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- o estado da degradação do solo em regiões secas em todos os seus componentes, incluindo a biodiversidade;</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- os <i>hotspots</i> – as áreas mais “sensíveis”, a actual degradação dessas áreas e o risco de degradação, secas e inundações;</li> <li>- os <i>bright spots</i> – áreas onde as medidas e ações tomadas estabilizaram ou reverteram a situação de degradação e pretendem, ainda, identificar as áreas prioritárias a implementar medidas de conservação e reabilitação.</li> </ul>
2005/(?)	GLADA	Global Assessment of Land Degradation and Improvement	Este Projeto surge na sequência do projeto LADA e pretende dar continuidade aos seus objetivos, melhorando as metodologias de avaliação da degradação do solo no sentido de apoiar o desenvolvimento de políticas de segurança alimentar e da água, a integridade ambiental e as estratégias nacionais para o desenvolvimento económico e conservação dos recursos.
2006/12	DESIRE	Desertification Mitigation and Remediation of Land	O principal objetivo deste projeto é definir medidas de combate à desertificação e degradação do solo. Foram selecionados 18 lugares em todo o Mundo para melhor se compreender o problema. O conhecimento adquirido em cada uma das áreas será utilizado para definir medidas corretas do ponto de vista físico, bem como viáveis do ponto de vista socioeconómico. O conhecimento adquirido nos diferentes locais será integrado, mas esse conhecimento integrado será também aplicado de acordo com as condições específicas das diferentes áreas de estudo.

### 3. Metodologias utilizadas em estudos portugueses relacionadas com o cálculo da erosividade da precipitação (Factor R) e da perda de solos

Em Portugal efetuaram-se e continuam a efetuar-se, vários estudos sobre a erosão de solos e sua degradação, onde foram e são adotadas diversas metodologias aplicadas a várias regiões do país. A tabela 3, pretende dar uma ideia, embora que simplificada, dessas várias metodologias adotadas em estudos diversos e do quão difícil é a comparação de resultados.

**Tabela 3** - Exemplos de alguns estudos portugueses com metodologias diversas relacionadas com o cálculo da Erosividade da Precipitação e da Perda de Solos.

<b>Título da Obra e ano</b>	<b>Autores</b>	<b>Área de estudo</b>	<b>Metodologia adoptada</b>	<b>Resultados</b>
<i>Aplicação da Metodologia Corine para o cálculo do risco de erosão de solos às Bacias Hidrográficas dos Rios Mondego, Vouga e Lis com recurso a um SIG.</i> (1999)	João Afonso; Alexandra C. Serra; Pedro Martins; Ferreira dos Santos.	Bacias hidrográficas do Mondego, Vouga e Lis.	Metodologia Corine, com recurso a um SIG	Carta de risco de erosão real na área das bacias hidrográficas.
<i>Estudo da Erosão Hídrica em solos agrícolas. Comparação da perda de solos observada e calculada pela Equação Universal de Perda de solo.</i> (1994)	Pedro Pereira Tomás; M. Azevedo Coutinho.	Centro Experimental de Erosão de Vale Formoso	EUPS	A EUPS prevê, por excesso, a perda de solo em talhões de erosão, sendo cerca de 10 vezes superior a perda de solo calculada em relação à observada; o ajustamento da EUPS aos valores de perda de solo observada, por modelos de regressão, não conduziu a bons resultados; e verificou-se que existe uma alternância bienal de valores, altos e baixos, da perda de solo nos talhões.
<i>Caracterização da Erosividade da Precipitação no Sul de Portugal.</i> (1994)	M. Azevedo Coutinho; Carla Rolo Antunes; Pedro Pereira Tomás; Nuno Santos Loureiro.	Sul de Portugal	Cálculo do índice de erosividade $EI_{30}$ para os postos de Portela, Sassoeiros e Vale Formoso. Correlações entre este índice e o índice de Fournier modificado. A partir da carta do índice de Fournier, procederam à sua transformação em valores do índice de Wischmeier.	Obtenção de uma carta preliminar de Isoerodentes que possa constituir um instrumento para o planeamento de medidas de zonamento e de conservação do solo na região Sul de Portugal.
<i>Quantificação da erosão hídrica em Portugal Continental.</i> (1997)			Consideram que a metodologia desenvolvida por Fournier (1960) para estimar a erosão hídrica, quando aplicada às bacias portuguesas, produz frequentemente resultados pouco satisfatórios e desvios significativos relativamente a valores	Ainda assim, os desvios médios obtidos entre resultados estimados e observados são da ordem de 40%, embora inferiores aos que resultam da aplicação das soluções de Fournier.

<p><i>Quantificação da erosão hídrica em Portugal Continental.</i> (1997)</p>	<p>Sebastião B. Teixeira; César F. Andrade.</p>	<p>Portugal Continental</p>	<p>experimentais. Invocam como razões de insucesso as particularidades do clima de Portugal. A partir de dados experimentais colhidos em bacias portuguesas e italianas propõem quatro equações fundamentais, condicionadas pelas características climáticas, limitados pelos critérios de aridez de Koppen ou de Thornthwaite.</p> <p>As equações propostas são as seguintes:</p> <p>Subclima Csa P.E. = <math>814 P^{2,66}</math> P.E. = <math>1472 A^{-0,06} P^{2,82}</math></p> <p>Subclima Csb P.E. = <math>37 P^{3,14}</math> P.E. = <math>89 A^{-0,15} P^{2,97}</math></p> <p>P. E. – produção específica (<math>m^3/Km^2/ano</math>) P – precipitação média anual (m) A – área da bacia (<math>Km^2</math>)</p>	
<p><i>Potencial erosivo da precipitação e seu efeito em Portugal Continental.</i> (2006)</p>	<p>Cláudia Brandão; Rui Rodrigues; Teresa Manuel.</p>	<p>Portugal Continental</p>	<p>Foi desenvolvida uma metodologia, baseada nos estudos de Wischmeier e Smith (1978) e Ferro, Giordano e Iovino (1991), que, apoiada em duas determinações complementares do fator da erosividade da precipitação da EUPS (R), expandiu o número de</p>	<p>Os resultados obtidos pela metodologia adoptada convergiram na ordem de grandeza, com os valores observados de assoreamento em algumas albufeiras do País.</p>

<p><i>Potencial erosivo da precipitação e seu efeito em Portugal Continental. (2006)</i></p>	<p>Cláudia Brandão; Rui Rodrigues; Teresa Manuel.</p>	<p>Portugal Continental</p>	<p>estimativas pontuais para apoio ao estabelecimento de superfícies de potencial de erosividade. A metodologia foi aplicada a 449 postos udométricos e permitiu obter mapas geograficamente representativos do fator de erosividade da precipitação (mapas de isoerodentes da precipitação) para Portugal Continental. Por fim, confrontaram os valores do assoreamento calculado com base nessas estimativas, com os valores observados de assoreamento em algumas albufeiras do país.</p>	
<p><i>Efeito Erosivo das Precipitações.</i></p> <p>Determinação do factor de erosividade da precipitação (R), segundo Wischmeier &amp; Smith (1978).</p> <p>Mapa de isoerodentes da precipitação (R) para Portugal Continental. (www.inag.pt)</p>	<p>Cláudia Brandão; Rui Rodrigues; Joaquim Pinto da Costa</p>	<p>Portugal Continental</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Digitalização dos registos pluviométricos de 19 postos udográficos;</li> <li>- Inventariação das chuvadas ocorridas nos 19 postos udográficos;</li> <li>- Seleção das chuvadas com precipitação total superior ou igual a 25,4 mm;</li> <li>- Divisão da chuvada em intervalos de tempo de 5 minutos;</li> <li>- Determinação para cada chuvada da precipitação em cada 5 minutos e da intensidade máxima de precipitação em 30 minutos;</li> <li>- Aplicação da metodologia de Wischmeier &amp; Smith (1978) a 19 postos. Utilização das equações</li> </ul>	<p>Carta onde se representa o fator erosivo da precipitação médio anual para Portugal Continental;</p> <p>Carta onde se representa o fator erosivo da precipitação médio da chuvada.</p>

<p><i>Efeito Erosivo das Precipitações.</i></p> <p>Determinação do factor de erosividade da precipitação (R), segundo Wischmeier &amp; Smith (1978).</p> <p>Mapa de isoerodentes da precipitação (R) para Portugal Continental. (<a href="http://www.inag.pt">www.inag.pt</a>)</p>	<p>Cláudia Brandão; Rui Rodrigues; Joaquim Pinto da Costa</p>	<p>Portugal Continental</p>	<p>seguintes, para a obtenção do fator erosividade da precipitação (R):</p> $E_i = (12,13 + 8,9 \text{ LOG}_{10} (I_i) h_i$ $R = \frac{\sum_{i=1}^n E_i I_{30}}{1735}$ <p>Sendo:</p> <p><math>E_i</math> – energia cinética libertada por cada chuvada (t.m/ha);</p> <p><math>I_i</math> – intensidade de precipitação para cada intervalo de tempo da chuvada, cada 5 minutos (mm/h);</p> <p><math>h_i</math> – precipitação para cada intervalo de tempo da chuvada, cada 5 minutos (mm);</p> <p><math>I_{30}</math> – intensidade máxima em 30 minutos da chuvada (mm/h).</p> <p>- Aplicação da metodologia proposta por Ferro, Giordano &amp; Iovino (1991), a 16 mais 5 postos, para obtenção do fator de erosividade da precipitação (R);</p> <p>- Determinação da relação entre a precipitação ocorrida em 6 horas para o período de retorno de 2 anos elevado a 2,2 e R calculado;</p>	
--	---	-----------------------------	--	--

<p>Determinação do factor de erosividade da precipitação (R), segundo Wischmeier &amp; Smith (1978).</p> <p>Mapa de isoerodentes da precipitação (R) para Portugal Continental. (<a href="http://www.inag.pt">www.inag.pt</a>)</p>	<p>Cláudia Brandão; Rui Rodrigues; Joaquim Pinto da Costa</p>	<p>Portugal Continental</p>	<p>- Aplicação da equação aos 21 postos (16+5), e utilização dos R calculados para 19 postos; Determinação da relação entre a precipitação ocorrida em 6 horas e a diária para o período de retorno de 2 anos; Determinação da precipitação em 6 horas para o período de retorno de 2 anos, para 449 postos udográficos, com séries de registos com mais de 30 anos (até 1994/95); Determinação do R, para 449 postos, a partir da equação:</p> $R = 0,1437h_{6,2}^{2,2}$ <p>Para aplicação desta metodologia foi utilizado um SIG.</p>	
<p><i>Erosão Hídrica em Cambissolos da Região da Beira Baixa. Algumas diferenças estatísticas entre anos secos e anos chuvosos relativamente aos factores C e K da USLE.</i> (2001)</p>	<p>P. M. S. Lopes; N. Cortez; J. N. P. Goulão.</p>	<p>Região da Beira Baixa Escola Superior Agrária de Castelo Branco.</p>	<p>A erosão hídrica de dois solos representativos da região da Beira Baixa, foi determinada através de talhões experimentais tipo Wischmeier, submetidos a três sistemas agrícolas: monocultural de cereal (aveia ou centeio); Rotação trienal tremocilha-tremocilha-aveia; e pastagem. A erosão potencial foi medida através de talhões testemunha, em que o solo foi mantido nu por mobilização manual.</p>	<p>Durante o período de 8 anos de estudo (91-92 a 98-99), a precipitação média anual foi de 741,5 mm. Durante esse período ocorreram 4 anos secos e 4 anos chuvosos. O número de chuvadas erosivas foi mais elevado nos anos chuvosos do que nos anos secos.</p> <p>A perda de solo, no solo derivado de xisto, medido nos talhões testemunha, foi mais elevado do que no solo derivado de granito, embora as diferenças não tenham sido significativas.</p> <p>As diferenças entre as perdas de solo, inerentes às várias modalidades de uso do solo, foram mais</p>

<p><i>Erosão Hídrica em Cambissolos da Região da Beira Baixa. Algumas diferenças estatísticas entre anos secos e anos chuvosos relativamente aos factores C e K da USLE. (2001)</i></p>	<p>P. M. S. Lopes; N. Cortez; J. N. P. Goulão.</p>	<p>Região da Beira Baixa Escola Superior Agrária de Castelo Branco.</p>	<p>Nos talhões, localizados na ESACB, foram recolhidas amostras e quantificado o escoamento superficial e a perda de solo consequente ao longo de 8 anos, de 1991-92 a 1998-99, e foram calculados os factores R, K e C da EUPS.</p> <p>A precipitação foi quantificada no local de estudo, através de um udógrafo de báscula, ligado a um Data Logger, que registava a precipitação que ocorria em períodos de 10 minutos.</p> <p>A erosividade da chuva (fator R da EUPS) foi calculada a partir dos valores do Índice EI<sub>30</sub> das chuvadas erosivas (chuvadas com precipitação total igual ou superior a 12 mm, ou com precipitação igual ou superior a 4 mm em 10 minutos), tal como proposto por Wischmeier &amp; Smith (1978).</p> <p>Os factores K e C da EUPS foram determinados empiricamente. O fator erodibilidade K foi calculado como o quociente dos valores de perda de solo, obtidos em cada ano, medidos nos talhões testemunha, e o fator R relativo à precipitação desse</p>	<p>significativas em anos chuvosos, em que os talhões testemunha produziram os valores significativamente mais elevados de carrejos e os talhões experimentais de pastagem os valores significativamente mais baixos.</p> <p>A proteção do solo pelas culturas foi, assim, mais eficiente nos anos chuvosos do que nos anos secos, o que permite realçar a importância de uma cobertura vegetal, particularmente nos anos chuvosos e durante a estação húmida, como forma de defender o solo.</p>
---	--	---	---	---

<p><i>Erosão Hídrica em Cambissolos da Região da Beira Baixa. Algumas diferenças estatísticas entre anos secos e anos chuvosos relativamente aos factores C e K da USLE.</i> (2001)</p>	<p>P. M. S. Lopes; N. Cortez; J. N. P. Goulão.</p>	<p>Região da Beira Baixa Escola Superior Agrária de Castelo Branco.</p>	<p>mesmo ano. O fator K médio foi calculado através das médias dos fatores K verificados anualmente durante os 8 anos de estudo.</p> <p>Uma vez que, no dispositivo experimental, o comprimento e o declive correspondem às condições padrão definidas por Wischmeier &amp; Smith (1978), os fatores L e S tomam o valor 1. Deste modo, o fator C foi calculado como o quociente entre a perda de solo dos talhões testemunha e a perda de solo medida nos talhões experimentais submetidos às diferentes modalidades.</p>	
<p><i>A Erosão Hídrica como factor limitante da Aptidão da Terra. Aplicação à Região de Entre-Douro e Minho.</i> (2001)</p>	<p>A. T. Constantino ; M. A. Coutinho</p>	<p>Região de Entre-Douro e Minho.</p>	<p>Aplicação da EUPS para o cálculo da erosão hídrica a unidades homogéneas e condições de referência na região de Entre-Douro e Minho.</p> <p>Com base na metodologia de Wischmeier, tomando em consideração fatores intrínsecos aos solos e estabelecidas as condições de referência para o uso e práticas agrícolas, foram estimados os valores de erosão específica de cada situação tipo referenciada.</p>	<p>Os valores estimados de erosão específica de cada situação tipo referenciada permitiram ajustar a classificação de aptidão, para além das classes já estabelecidas, entrando em consideração com os parâmetros de classificação de base.</p>

<p><i>A Erosão Hídrica como factor limitante da Aptidão da Terra. Aplicação à Região de Entre-Douro e Minho.</i> (2001)</p>	<p>A. T. Constantino ; M. A. Coutinho</p>	<p>Região de Entre-Douro e Minho.</p>	<p>Para a estimativa da erosividade da precipitação, admitiram que a relação entre os parâmetros de erosividade de Fournier e de Wischmeier, obtidas para as estações do Sul de Portugal (Coutinho, M. 1994), se mantinha no Norte. Assim, estabeleceu-se a relação entre a precipitação média anual (P) e os valores do índice de Fournier (EI<sub>30</sub>). Por ajustamento da transformação, consideraram-se as seguintes expressões para a erosividade:</p> <p> <math display="block">EI_{30} = 1,42 P - 500,0; \text{ para } P \leq 1425 \text{ mm};</math> <math display="block">EI_{30} = 1,35 - 400,0; \text{ para } P &gt; 1425 \text{ mm}.</math> </p>	
<p><i>Estudo Hidrológico e Hidráulico do novo Aeroporto na Ota.</i></p> <p>Etapa B. Estudo Prévio. Modelação Hidráulica e infraestruturas. Memória Descritiva e Justificativa. Relatório Final. (2004)</p>	<p>NAER (Novo aeroporto, S. A.)</p> <p>Colaboração: Parsons. FCG Consortium; ProSistemas (consultores de engenharia, S. A.)</p>	<p>Ota</p>	<p>EUPS – O fator R na equação de perda de solo, foi calculado segundo Coutinho (1993), optando por atribuir-lhe valores com base na correlação estabelecida para a região de Lisboa, dada pela seguinte fórmula:</p> <p> <math display="block">R = 0,28 \times P - 44,2</math> </p> <p>Onde:</p>	<p>Aplicando a metodologia descrita obtiveram dois valores médios de perda de solo (t.ha.ano), para a área em estudo de:</p> <p>3,4 (t/ha.ano) quando R é determinado pela fórmula de Coutinho, M. (1993);</p> <p>5,7 (t/ha.ano) quando R é determinado pela fórmula de Arnoldus (1977).</p>

<p><i>Estudo Hidrológico e Hidráulico do novo Aeroporto na Ota.</i></p> <p>Etapa B. Estudo Prévio. Modelação Hidráulica e infraestruturas. Memória Descritiva e Justificativa. Relatório Final. (2004)</p>	<p>NAER (Novo aeroporto, S. A.)</p> <p>Colaboração: Parsons. FCG Consortium; ProSistemas (consultores de engenharia, S. A.)</p>	<p>Ota</p>	<p>R – fator de erosividade em MJ.mm/(ha.h.ano); P – precipitação anual em mm.</p> <p>Depois de terem comparado os resultados obtidos em parcelas experimentais do Centro Experimental de Erosão de Vale Formoso com os valores estimados pela aplicação da EUPS, os autores consideram que o desajustamento existente nos valores, reside numa inadequada estimativa do fator R, o que implica perda de solo por excesso, sendo o valor do quociente entre a perda de solo calculada pela EUPS e a perda de solo observada de aproximadamente 10.</p> <p>Aplicaram, também, para o cálculo do fator erosividade a equação proposta por Arnoldus (1977), cujos resultados são, em princípio, semelhantes aos obtidos com a metodologia de Wischmeier &amp; Smith, e que se baseia nos dados de precipitação mensal e anual e é dada pela seguinte expressão:</p> $R = 4,79 \times \left[ \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \right]^{143}$ <p>onde.</p>	<p>Calcularam 6 classes de erosão que vão do 0 a mais de 40 t/ha.ano, para as quais foram determinadas as áreas e sua representatividade na área em estudo.</p>
--	---	------------	--	---

<p><i>Estudo Hidrológico e Hidráulico do novo Aeroporto na Ota.</i></p> <p>Etapa B. Estudo Prévio. Modelação Hidráulica e infraestruturas. Memória Descritiva e Justificativa. Relatório Final. (2004)</p>	<p>NAER (Novo aeroporto, S. A.)</p> <p>Colaboração: Parsons. FCG Consortium; ProSistemas (consultores de engenharia, S. A.)</p>	<p>Ota</p>	<p>R – fator de erosividade em MJ.mm/(ha.h.ano);  P – precipitação anual em mm;  pi – precipitação média do mês i (mm).</p> <p>Contudo, Silva (1999), concluiu que os valores de R, calculados pelo método de Wischmeier &amp; Smith (1978) e, consequentemente, pela equação de Arnoldus, foram, em média, 10 vezes superiores aos obtidos experimentalmente em solos do Baixo Alentejo.</p> <p>Aplicaram, então, um fator de correção de 0,1, aos resultados de R calculados pelas equações de Coutinho, M. (1993) e de Arnoldus (1977). Tal facto permitiu a obtenção de resultados consentâneos com os estudos experimentais realizados.</p>	
--	---	------------	--	--

Os estudos de erosão de solos exigem tempo e trabalho de campo intensivo. Extrapolações globais baseadas num número reduzido de dados ou metodologias diversas, podem conduzir à obtenção de informações erradas ou irrealistas que, por sua vez, podem originar a implementação de políticas de ordenamento do território incorretas, com implicações para a sustentabilidade agrícola e ambiental.

Pretendemos, de seguida, apresentar e discutir os vários cenários de resposta dos solos em dois casos de estudo em Portugal, quando aplicadas diferentes equações para o cálculo do parâmetro *erosividade da precipitação* (fator R) no modelo EUPS/USLE, mantendo os restantes parâmetros da equação constantes.

#### 4. Aplicação de diferentes equações para o cálculo da erosividade da precipitação no modelo USLE, aplicado ao concelho de Gondomar

O fator R na equação da perda de solo, proposto por Wischmeier & Smith (1958), foi definido como um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de erodir o solo de um terreno sem cobertura. A erosividade expressa, assim, o potencial da água da chuva para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial subsequente.

A determinação de um valor da erosividade numa escala arbitrária depende somente das propriedades da chuvada e a extensão desse valor é independente das características do solo. É neste sentido que nos propomos estimar a erosividade da precipitação no concelho de Gondomar, tendo por base uma série de 30 anos de valores de precipitação mensal (1976-2006) da estação climatológica de referência mais próxima deste concelho, e que é a Estação Climatológica da Serra do Pilar. Estes valores irão servir de base à aplicação de três fórmulas utilizadas por autores diferentes para estimar o potencial energético da precipitação – erosividade da precipitação (factor R da EUPS/USLE), independentemente das características do solo.

Consideramos aplicar três equações diferentes, utilizadas em estudos de referência, para calcular o factor R. Deste modo, resolvemos aplicar a equação de Arnoldus (1977) que serviu de base para um estudo da FAO sobre *Soil Degradation*, equação essa que inclui o índice de Fournier modificado e que se descreve da seguinte forma:

$$R = 4,79 \times \left[ \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \right] - 143$$

Onde:  
R – fator de erosividade (MJ.mm/ha.h.ano);  
pi – precipitação média do mês i (mm);  
P – precipitação anual (mm).

Utilizamos também a equação que Coutinho (1993) propôs no *Estudo Hidrológico e Hidráulico do novo Aeroporto da Ota – Relatório Final*. Essa equação resultou de estudos anteriores do autor e das comparações que o mesmo fez com os valores obtidos de perdas de solo na Estação Experimental de Vale Formoso. Foi com base na correlação que o autor estabeleceu entre a sua equação com os valores de precipitação ocorridos em Lisboa, que obteve a seguinte equação para determinação do fator R, que iremos utilizar:

$$R = 0,28 \times P - 44,2$$

Onde:

R - fator de erosividade

(MJ.mm/ha.h.ano);

P – precipitação anual (mm).

A terceira equação que utilizamos para o cálculo de R, obteve-se a partir de um estudo de aplicação da EUPS para o cálculo da erosão hídrica a unidades homogêneas e condições de referência na Região de Entre-Douro e Minho desenvolvida no âmbito dos trabalhos de elaboração da Carta de Aptidão da Terra, em escala 1: 25.000 (Constantino, A. T.; Coutinho, M. A., 2001). Neste estudo, os autores admitiram que a relação entre os parâmetros de erosividade de Fournier e de Wischmeier, obtida para as estações no Sul de Portugal (Coutinho, 1994), se mantinha no Norte. Deste modo, os autores estabeleceram a relação entre a precipitação média anual (P) e os valores do índice de Fournier ( $EI_{30}$ ). Consideraram, então, as seguintes expressões para a erosividade:

$$EI_{30} = 1,42 P - 500,0; \text{ para } P \leq 1425 \text{ mm};$$

$$EI_{30} = 1,35 P - 400,0; \text{ para } P > 1425 \text{ mm};$$

Neste caso, o valor do nosso (P), corresponderá ao valor da normal da precipitação da série de 30 anos (1976-2006) que nos serviu de base ao estudo.

A tabela 4 mostra-nos, então, os valores de R, calculados pelas equações de Arnoldus (1977) e Coutinho (1993), tendo por base os valores de precipitação mensal da série de 30 anos (1976-2006) da Estação Climatológica da Serra do Pilar que nos serviu de referência.

Tabela 4 – Totais anuais de Precipitação da série (1976-2006) e valores da Erosividade da precipitação (factor R da EUPS), segundo Arnoldus (1977) e Coutinho (1993). Classificação dos anos em normais, chuvosos e muito chuvosos, secos e muito secos.

ANOS	Valores de P (mm)	Valores de R (MJ.mm/(ha.h.ano))		
	TOTAL ANO	Arnoldus	Coutinho	
1976	1377,1		877,4	341,4
1977	1783,5		949,5	455,2
1978	1582,1		1572,8	398,8
1979	1477,9		894,6	369,6
1980	1091,8		371,7	261,5
1981	1312,7		1094,5	323,4
1982	1044,9		495,6	248,4
1983	1248,2		791,5	305,3
1984	1551,4		887,4	390,2
1985	1245,7		726,9	304,6
1986	1116,7		523,4	268,5
1987	1330,2		721,1	328,3
1988	1087,4		527,5	260,3
1989	1197,4		842,9	291,1
1990	958,9		680,1	224,3
1991	1089,3		555,7	260,8
1992	839,2		288,3	190,8
1993	1195,9		675,6	290,7
1994	1309,8		671,0	322,5
1995	1337,6		889,1	330,3
1996	1400,9		768,5	348,1
1997	1549,3		1143,9	389,6
1998	962,7		554,8	225,4
1999	1234,8		592,0	301,5
2000	1575,5		1296,3	396,9
2001	1560,3		1566,1	392,7
2002	1561,6		815,7	393,0
2003	1417,1		785,7	352,6
2004	971,1		561,5	227,7
2005	697,3		333,3	151,0
2006	1292,8		711,2	317,8



Ainda relativamente ao cálculo da erosividade da precipitação, e como referimos na metodologia adotada, optamos por aplicar, também, as equações utilizadas pela DRAEDM, para o cálculo da erosão hídrica a unidades homogêneas e condições de referência na Região de Entre-Douro e Minho desenvolvida no âmbito dos trabalhos de elaboração da Carta de Aptidão da Terra, em escala 1: 25.000 (Constantino, A. T.; Coutinho, M. A., 2001). No nosso caso, foi utilizado o valor da normal da precipitação da série de 30 anos ( $P = 1313\text{mm}$ ), facto que nos permitiu escolher a equação adequada a aplicar para o cálculo do factor R ( $1365 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ano}$ ).

A partir da análise da tabela 4 podemos constatar que os valores anuais de R calculados segundo as equações de Arnoldus (1977) e Coutinho (1993) apresentam diferenças de valor consideráveis. Os valores obtidos pela equação de Arnoldus (1977) são superiores aos obtidos segundo Coutinho (1993) em mais do dobro. Tal facto alerta-nos para o cuidado que teremos que ter quando da análise dos valores da erosão específica, conforme a aplicação de uma ou de outra fórmula para o cálculo do fator R.

### **5. A aplicação da EUPS/USLE ao concelho de Gondomar - cálculo da erosão específica para cada unidade e subunidade de solo.**

A aplicação de um modelo empírico, tal como a EUPS, não é mais do que uma “caixa negra”, onde se sabe o que se introduz nela (Input) e sabe-se depois o produto final (Output). Nada se sabe de como decorre todo o processo de erosão até à obtenção do produto final. Esta será uma das desvantagens da aplicação de um modelo empírico quando comparado com valores obtidos através de parcelas experimentais, onde se pode acompanhar todo o processo de erosão e, assim, poder explicar, com maior precisão, os valores obtidos nas referidas parcelas. Acontece, porém, que para calcular valores de perdas de solos para grandes áreas não podemos deixar de aplicar estes modelos. Podemos depois, para cada unidade solo, fazer várias experiências *in situ* que comprovem os valores gerais obtidos através da aplicação do modelo.

As tabelas 5, 6 e 7, dão-nos os valores da erosão específica para cada unidade solo de Gondomar, criando-se três cenários diferentes conforme a equação adotada para o cálculo da erosividade da precipitação, mantendo-se os restantes parâmetros da EUPS iguais. Os restantes parâmetros da EUPS, que dizem respeito à erodibilidade do solo, foram obtidos aplicando os valores referenciados na metodologia proposta por Constantino, T. e Coutinho, A (2001), aplicados às características da nossa área de estudo. Relativamente ao fator K, e de acordo com o estimado em Constantino, T. e Coutinho, A (2001), considerou-se  $K = 0,035$  para solos com origem em materiais de xistos e rochas afins e  $K = 0,025$  para solos com origem em materiais de granitos, granodioritos e quartzodioritos e rochas afins. Para solos de terraços e outras formações sedimentares associadas considerou-se o valor de  $K = 0,025$ , já que o valor da erodibilidade se situava entre estes dois valores. A escolha deste valor deve-se ao facto de existir uma percentagem de pedras no perfil, sobretudo no nível superficial

Tabela 5 – Valor da Erosão específica para as diferentes unidades solo do concelho de Gondomar, com o cálculo do fator R da EUPS segundo a equação proposta pela DRAEDM.

**Cenário 1** **EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS (EUPS ou USLE):  $E = R K L S P C$**

	Unidades e subunidades cartográficas	Solos Dominantes (unid. pedológicas)	Erosividade da Precipitação (MJ mm/ ha. h. ano) R (DRAEDM)*	Erodibilidade do Solo (t. h / MJ. mm. ano) K*	Unidades Fisiográficas LS*	Factores de Uso e Prática Agrícola CP**	Perdas de solo (t/ha.ano) E	Perdas médias de solo (t/ha.ano) <i>E</i>	Classes de perda de solos (t/ha.ano)
<b>LEPTOSSOLOS ÚMBRICOS</b>	Lu 1.2	LPu.x ; RGul.x	1365	0,035	3,76	0,04	7,18	7,18	
	Lu 3.1	LPu.x ; CMux.vq	1365	0,035	6,41;12,24	0,04	12,24; 23,39	17,82	
<b>ANTROSSOLOS CUMÚLICOS</b>	Tc 1.1	ATcd.x	1365	0,035	0,25	0,17	2,03	2,03	
	Tc 2.2	ATcd.x; LPu.x	1365	0,035	0,25	0,17; 0,04	2,03; 0,47	1,25	
	Tc 5.1	ATcd.x; CMdp.x	1365	0,035	0,33	0,17; 0,3	2,68; 4,72	3,70	
	Tc 10.1	ATcd.g; CMup.g	1365	0,025	0,33	0,2; 0,3	2,25; 3,37	2,81	
	Tc 11.1	ATcd.g; CMdp.g	1365	0,025	0,33	0,2	2,25	2,25	
<b>REGOSSOLOS ÚMBRICOS</b>	Ru 1.1	RGul.x; LPu.x	1365	0,035	4,53; 7,74	0,3; 0,04	64,92; 110,93; 8,65; 14,79	49,82	
<b>CAMBISSOLOS HÚMICOS</b>	Cu 1.1	CMux.t; RGuo.t	1365	0,025	0,54	0,3	5,52	5,52	
<b>FLUVISSOLOS DÍSTRICOS</b>	Fd 2.2	FLdm	1365	0,025	0,27	0,17	1,56	1,56	

Nota: (\*) Os valores calculados foram obtidos aplicando a metodologia utilizada por Constantino, T. e Coutinho, A. (2001), através da consulta dos vários quadros apresentados para a Região do Entre-Douro e Minho e de acordo com valores médios considerados para o nosso caso, em termos de comprimento de vertente e valores de declive (LS);

(\*\*) Os valores calculados foram obtidos aplicando quer a metodologia proposta por Constantino, T. e Coutinho, A. (2001), quer as Classes de ocupação do solo e respectivos valores do fator de cultura C, proposto no Relatório Final do Estudo Hidrológico e Hidráulico do novo Aeroporto da Ota (2004).

Classes de perdas de solo (t/ha.ano)

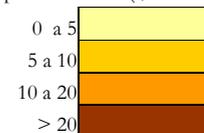


Tabela 6 – Valor da Erosão específica para as diferentes unidades solo do concelho de Gondomar, com o cálculo do fator R da EUPS segundo a equação proposta por Arnoldus (1977). **Cenário 2** **EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS (EUPS ou USLE):  $E = R K L S P C$**

	Unidades e subunidades cartográficas	Solos Dominantes (unid. pedológicas)	Erosividade da Precipitação (MJ mm/ ha. h. ano) R (Arnoldus)	Erodibilidade do Solo (t. h / MJ. mm. ano) K*	Unidades Fisiográficas LS*	Factores de Uso e Prática Agrícola CP**	Perdas de solo (t/ha.ano) E	Perdas médias de solo (t/ha.ano) E	Classes de perda de solos (t/ha.ano)
<b>LEPTOSSOLOS ÚMBRICOS</b>	Lu 1.2	LPu.x ; RGul.x	806	0,035	3,76	0,04	4,24	4,24	
	Lu 3.1	LPu.x ; CMux.vq	806	0,035	6,41;12,24	0,04	7,23; 13,81	10,52	
<b>ANTROSSOLOS CUMÚLICOS</b>	Tc 1.1	ATcd.x	806	0,035	0,25	0,17	1,19	1,19	
	Tc 2.2	ATcd.x; LPu.x	806	0,035	0,25	0,17; 0,04	1,19; 0,28	0,74	
	Tc 5.1	ATcd.x; CMdp.x	806	0,035	0,33	0,17; 0,3	1,58; 2,79	2,19	
	Tc 10.1	ATcd.g; CMup.g	806	0,025	0,33	0,2; 0,3	1,32; 1,99	1,66	
	Tc 11.1	ATcd.g; CMdp.g	806	0,025	0,33	0,2	1,32	1,32	
<b>REGOSSOLOS ÚMBRICOS</b>	Ru 1.1	RGul.x; LPu.x	806	0,035	4,53; 7,74	0,3; 0,04	38,33; 65,50; 5,11; 8,73	29,42	
<b>CAMBISSOLOS HÚMICOS</b>	Cu 1.1	CMux.t; RGuo.t	806	0,025	0,54	0,3	3,26	3,26	
<b>FLUVISSOLOS DÍSTRICOS</b>	Fd 2.2	FLdm	806	0,025	0,27	0,17	0,92	0,92	

**Nota:** (\*) Os valores calculados foram obtidos aplicando a metodologia utilizada por Constantino, T. e Coutinho, A. (2001), através da consulta dos vários quadros apresentados para a Região do Entre-Douro e Minho e de acordo com valores médios considerados para o nosso caso, em termos de comprimento de vertente e valores de declive (LS);

(\*\*) Os valores calculados foram obtidos aplicando a metodologia proposta por Constantino, T. e Coutinho, A. (2001), quer as Classes de ocupação do solo e respectivos valores do fator de cultura C, proposto no *Relatório Final do Estudo Hidrológico e Hidráulico do novo Aeroporto da Ota* (2004).

R (Arnoldus) - O valor de R foi obtido através da equação de Arnoldus (1977).

Classes de perdas de solo (t/ha.ano)

0 a 5	
5 a 10	
10 a 20	
> 20	

**Tabela 7** – Valor da Erosão específica para as diferentes unidades solo do concelho de Gondomar, com o cálculo do factor R da EUPS segundo a equação proposta por Coutinho (1993).

**Cenário 3** **EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS (EUPS ou USLE):  $E = R K L S P C$**

	Unidades e subunidades cartográficas	Solos Dominantes (unid. pedológicas)	Erosividade da Precipitação (MJ mm/ ha. h. ano) R (Coutinho)	Erodibilidade do Solo (t. h / MJ. mm. ano) K*	Unidades Fisiográficas LS*	Factores de Uso e Prática Agrícola CP**	Perdas de solo (t/ha.ano) E	Perdas médias de solo (t/ha.ano) E	Classes de perda de solos (t/ha.ano)
<b>LEPTOSSOLOS ÚMBRICOS</b>	Lu 1.2	LPu.x ; RGul.x	322	0,035	3,76	0,04	1,69	1,69	
	Lu 3.1	LPu.x ; CMux.vq	322	0,035	6,41;12,24	0,04	2,88; 5,51	4,20	
<b>ANTROSSOLOS CUMÚLICOS</b>	Tc 1.1	ATcd.x	322	0,035	0,25	0,17	0,47	0,47	
	Tc 2.2	ATcd.x; LPu.x	322	0,035	0,25	0,17; 0,04	0,47; 0,11	0,29	
	Tc 5.1	ATcd.x; CMDp.x	322	0,035	0,33	0,17; 0,3	0,63; 1,11	0,87	
	Tc 10.1	ATcd.g; CMup.g	322	0,025	0,33	0,2; 0,3	0,53; 0,79	0,66	
	Tc 11.1	ATcd.g; CMDp.g	322	0,025	0,33	0,2	0,53	0,53	
<b>REGOSSOLOS ÚMBRICOS</b>	Ru 1.1	RGul.x; LPu.x	322	0,035	4,53; 7,74	0,3; 0,04	15,31; 26,16; 2,04; 3,48	11,75	
<b>CAMBISSOLOS HÚMICOS</b>	Cu 1.1	CMux.t; RGuo.t	322	0,025	0,54	0,3	1,30	1,30	
<b>FLUVISSOLOS DÍSTRICOS</b>	Fd 2.2	FLdm	322	0,025	0,27	0,17	0,36	0,36	

**Nota:** (\*) Os valores calculados foram obtidos aplicando a metodologia utilizada por Constantino, T. e Coutinho, A. (2001), através da consulta dos vários quadros apresentados para a Região do Entre-Douro e Minho e de acordo com valores médios considerados para o nosso caso, em termos de comprimento de vertente e valores de declive (LS);

(\*\*) Os valores calculados foram obtidos quer a metodologia proposta por Constantino, T. e Coutinho, A. (2001), quer as Classes de ocupação do solo e respectivos valores do fator de cultura C, proposto no *Relatório Final do Estudo Hidrológico e Hidráulico do novo Aeroporto da Ota* (2004).

R (Coutinho) - O valor de R foi obtido através da equação de Coutinho, M (1993).

Classes de perdas de solo (t/ha.ano)

0 a 5	
5 a 10	
10 a 20	
> 20	

Nas unidades fisiográficas (LS), foram consideradas condições fisiográficas particulares, as situações dos Antrossolos que apresentavam socalcos com práticas culturais correntes. Conforme o tipo de socalco que apresentava cada subunidade solo (estrito; médio; largo) e considerando um valor de declive do socalco característico de 2%, atribuíram-se os valores de LS entre 0,25 e 0,33. Para as restantes unidades e subunidades solos foi atribuído um comprimento de vertente e valor de declive médio que fizeram os valores de LS oscilar entre 0,27 e 12,24. Estes valores foram retirados da metodologia aplicada por Constantino, T. e Coutinho, A (2001) e aplicados às características dos nossos casos concretos.

Relativamente aos fatores de Uso e Prática Agrícola (CP), foram registadas as situações dominantes, e atribuído um valor respetivo de acordo com as obras que nos serviram de referência. Assim, os valores do fator CP oscilam entre 0,04 (incultos com matos ou matas de pinheiro ou mistas) e 0,3 (Culturas arvenses de regadio e sequeiro).

Quando analisamos os três cenários resultantes das diferentes equações aplicadas para o cálculo do fator R da EUPS aplicada ao concelho de Gondomar, verificamos que as maiores diferenças entre estes cenários se encontram no cenário três que, relativamente aos dois cenários anteriores, apresenta valores de erosão específica relativamente baixos (0 a 5 t/ha.ano) para todo o concelho, com exceção para a área ocupada pelos Regossolos Úmbricos, localizados nas margens do Douro, cujos valores sobem a 5 a 10 t/ha.ano. Os Regossolos Úmbricos, em qualquer um dos três cenários, são, sem dúvida, o tipo de solos que apresenta maiores valores médios de erosão específica. Nos dois primeiros cenários, onde foram aplicadas as equações utilizadas no estudo da DRAEDM e de Arnoldus (1977) para o cálculo do fator R (1365 MJ.mm/ha.h.ano) e (806 MJ.mm/ha.h.ano), respetivamente cenário 1 e cenário 2, estes solos apresentam valores anuais médios de erosão específica superiores a 20 t/ha.ano. Nestes dois casos, parece-nos que serão os fatores associados à erodibilidade dos solos aqueles que terão maior importância na justificação dos valores de perdas de solo obtidas, do que o fator R, calculado por uma ou outra equação. Estes solos ocupam áreas onde os valores dos declives sobressaem (superiores a 30%) relativamente ao comprimentos das vertentes, originando valores do fator LS bastante elevados quando comparados com outros tipos de solos. Já no que se refere ao cenário três, parece-nos que, neste caso, terá grande influência na justificação dos valores encontrados para a erosão específica, os valores obtidos para o fator R (322 MJ.mm/ha.h.ano) através da equação proposta por Coutinho (1993).

A diferença de valores entre este e os dois fatores R anteriores é significativa. A erosividade da precipitação, a sua capacidade energética para provocar perda de solo, baixa para 59% no segundo cenário e para 23,6% no terceiro cenário, relativamente ao valor mais elevado de R (1365 MJ.mm/ha.h.ano), correspondente ao cenário 1.

Destaque também, nestes dois primeiros cenários, para os Leptossolos Úmbricos, sobretudo a subunidade pedológica representada como Lu3.1 e que diz respeito a solos do tipo Leptossolos Úmbricos (LPu.x) e Cambissolos Húmicos-Úmbricos Crómicos (CMux.vq). Esta subunidade é a segunda a salientar-se em termos de valores de perdas de solos, entre 10 a 20 t/ha.ano e, mais uma vez, pensamos ser, sobretudo, o declive elevado (superior a 30%), o factor que explicará tal situação, para além de ser, também, uma das áreas onde se encontram os maiores valores de altitude do concelho, facto que contribuirá para vertentes de maior comprimento. Diferenças entre o primeiro e o

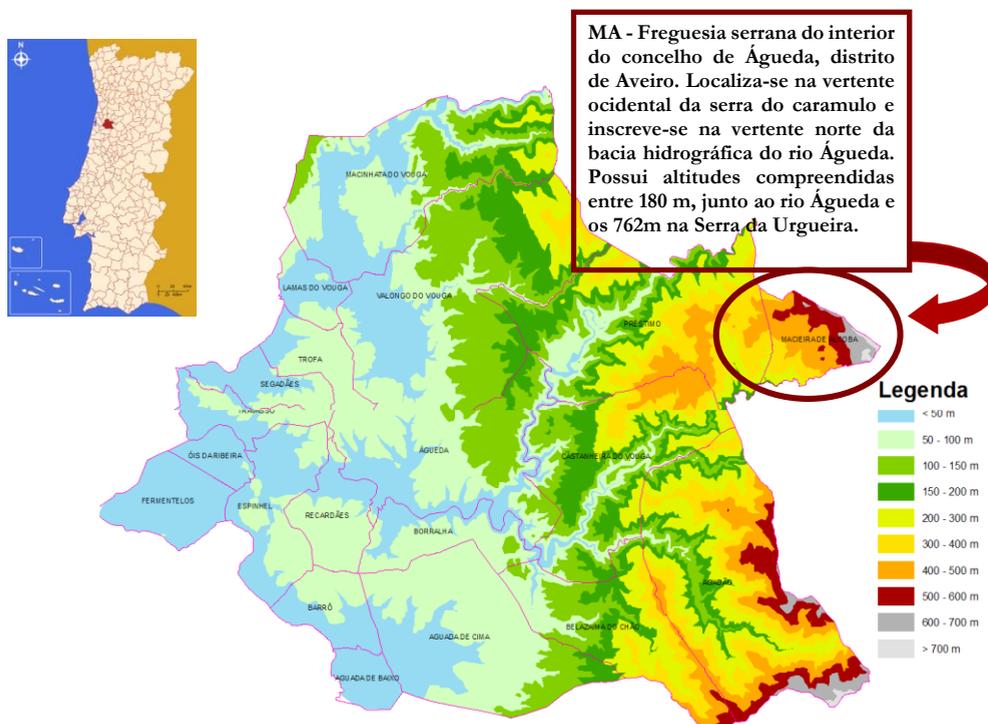
segundo cenário dizem respeito à subunidade Lu1.2, que é constituída por Leptosolos Úmbricos (LPu.x) e Regossolos Úmbricos Delgados (RGul.x). Enquanto que no primeiro cenário os valores de perda de solo são da ordem das 5 a 10 t/ha.ano, no segundo cenário os valores baixam para igualarem os valores dos Antrossolos Cumúlicos, isto é, valores de perdas de solos que podem oscilar entre 0 a 5 t/ha.ano. Nestes dois cenários os Antrossolos Cumúlicos são, efectivamente, aqueles que apresentam valores de erosão específica menos expressivos (0 a 5 t/ha.ano). Não podemos esquecer que o fator LS referente a este tipo de solos apresenta também os valores mais baixos (entre 0,25 e 0,33), correspondendo a área de socacos, pelo que nos parece justificáveis tais valores de perdas de solos.

#### **6. Aplicação dos três cenários do modelo EUPS/USLE a Macieira de Alcoba (Águeda). Comparação dos resultados do modelo com valores reais obtidos em parcelas experimentais.**

Era nossa intenção aplicar estes mesmos cenários a uma área onde se pudessem comparar os resultados obtidos pela aplicação do modelo empírico – EUPS/USLE, a resultados obtidos através de parcelas experimentais. As parcelas experimentais permitem-nos perceber melhor como funciona o sistema de erosão hídrica de solos. Os resultados reais obtidos de perda de solos podem ser explicados com outros fatores que, a esta escala de análise, justificam os valores reais encontrados.

Macieira de Alcôba é uma freguesia serrana com apenas 9,39 Km<sup>2</sup>, situada na vertente ocidental da Serra do Caramulo, no interior do concelho de Águeda (fig. 1), distrito de Aveiro (Ferreira, 1996). Foi nesta freguesia que se desenvolveu um trabalho de investigação sobre erosão hídrica em solos florestais com povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo. O desenho experimental baseou-se em quatro parcelas experimentais de erosão de 16m<sup>2</sup> (8x2) de extensão, situadas em vertentes com declives entre os 18° e os 20° e sob cobertos vegetais de *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus* em diferentes estádios de desenvolvimento. Para a avaliação das perdas de solos delimitaram-se as parcelas de erosão e colocaram-se caixas e estacas de erosão nas quatro vertentes previamente seleccionadas com povoamentos de Pinheiro Adulto ( $\pm$  40 anos) em área não queimada; Pinheiro regenerado e Eucalipto regenerado após o incêndio de 1986 (povoamentos com 5 anos) e numa plantação de Eucalipto feita em Maio de 1991 (povoamento com 3 meses). Em todas as parcelas foram colocados tanques para recolha do escoamento superficial, bem como aparelhos de baldes basculantes que permitiam obter os valores da escorrência com maior precisão. A área de estudo possuía um pluviómetro totalizador, tipo Casella, próximo das parcelas, para a quantificação da precipitação (Ferreira, 1996).

**Fig. 1** – Localização e características hipsométricas da freguesia de Macieira de Alcoba, concelho de Águeda.



O período de recolha de informação decorreu durante um ano, desde Junho de 1993 a Junho de 1994. Nesse período registaram-se os valores de Precipitação e Perdas de solos apresentados na tabela 8.

**Tabela 8** – Precipitação e Perdas de Solo registadas nas parcelas experimentais de Macieira de Alcoba entre Junho de 1993 e Junho de 1994.

Precipitação (mm)	Plantação Eucalipto g/m <sup>2</sup>	Eucalipto Regenerado g/m <sup>2</sup>	Pinheiro Adulto g/m <sup>2</sup>	Pinheiro Regenerado g/m <sup>2</sup>
2751	280,79	2,88	3,29	1,82

Fonte: Dados Próprios

Foi feita a conversão destes valores de perdas de solos em unidades comparáveis às utilizadas na aplicação do modelo EUPS/USLE, isto é em t/ha.ano, para que os resultados pudessem ser comparáveis. Os resultados apresentados na tabela 9, referem-se às perdas de solo obtidas em cada tipo de coberto florestal.

**Tabela 9** – Valores de Perdas de solo obtidas nas parcelas experimentais em t/ha.ano, em cada tipo de coberto florestal.

<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Eucalipto (t/ha.ano)</b>	<b>Pinheiro (t/ha.ano)</b>
<b>2751</b>	<b>2,83</b>	<b>0,05</b>

Fonte: Dados Próprios

Quando comparamos os valores obtidos de erosão específica com os valores reais de perdas de solos (tabela 10), notamos diferenças bem significativas. A diferença de valores obtidos em cada um dos três cenários (tabela 10), para cada um dos povoamentos florestais, e os valores obtidos nas parcelas experimentais são da ordem de 34 a 137 vezes mais no que se refere ao povoamento de Pinheiro bravo e entre 2 a 10 vezes mais no que se refere ao povoamento de Eucalipto. As diferenças de valores registadas para o povoamento de pinheiro chegam a ser bastante exageradas comparativamente às registadas para o povoamento do eucalipto. Não se poderá, porém, esquecer que o período de tempo de obtenção de dados reais é de apenas um ano, enquanto que os modelos empíricos se aplicam a períodos temporais mais longos e a áreas maiores do que as áreas das parcelas experimentais utilizadas no estudo.

**Tabela 10** - Comparação de resultados entre os valores de perdas de solos obtidos, durante 1 ano (Junho de 1993 a Junho de 1994, em Macieira de Alcoba com recurso a parcelas experimentais (PE), e os valores estimados para o mesmo período segundo a EUPS/USLE.

<b>Cenário 1</b>	Erosividade da Precipitação (MJ mm/ ha. h. ano) R (DRAEDM)	Erodibilidade do Solo (t. h / MJ. mm. ano) K	Unidades Fisiográficas LS	Factores de Uso e Prática Agrícola CP	Perdas de solo Estimadas (EUPS) (t/ha.ano) <b>E</b>	Perdas de solo Calculadas em PE (t/ha.ano) <b>E</b>
<b>CAMBISSOLOS HÚMICOS</b>	2912	0,025	1,88	0,05; 0,2	6,84; 27,37	0,05; 2,83
<b>Cenário 2</b>	Erosividade da Precipitação (MJ mm/ ha. h. ano) R (Arnoldus, 1977)	Erodibilidade do Solo (t. h / MJ. mm. ano) K	Unidades Fisiográficas LS	Factores de Uso e Prática Agrícola CP	Perdas de solo Estimadas (EUPS) (t/ha.ano) <b>E</b>	Perdas de solo Calculadas em PE (t/ha.ano) <b>E</b>
<b>CAMBISSOLOS HÚMICOS</b>	1791	0,025	1,88	0,05; 0,2	4,21; 16,84	0,05; 2,83
<b>Cenário 3</b>	Erosividade da Precipitação (MJ mm/ ha. h. ano) R (Coutinho, 1993)	Erodibilidade do Solo (t. h / MJ. mm. ano) K	Unidades Fisiográficas LS	Factores de Uso e Prática Agrícola CP	Perdas de solo Estimadas (EUPS) (t/ha.ano) <b>E</b>	Perdas de solo Calculadas em PE (t/ha.ano) <b>E</b>
<b>CAMBISSOLOS HÚMICOS</b>	726	0,025	1,88	0,05; 0,2	1,71; 6,82	0,05; 2,83

**Nota:** Em **CP**, o primeiro valor corresponde a floresta de Pinheiro bravo e o segundo valor a floresta de Eucalipto, logo, em **E** o primeiro e segundo valor correspondem à Perda de solo nas respetivas espécies florestais

## 7. Considerações finais

Qualquer metodologia que se utilize para o cálculo de erosão hídrica dos solos terá as suas vantagens e desvantagens que serão tidas em conta relativamente ao objetivo do estudo em questão.

A monitorização e medição “*in situ*” da erosão são processos morosos e dispendiosos. Os eventos erosivos apresentam uma elevada variabilidade, o que implica a obtenção de séries temporais extensas para um dado local, pelo que, os modelos de erosão são, na maior parte dos casos, a única ferramenta razoável para a predição e avaliação da erosão.

Quer se utilize modelos empíricos ou parcelas de erosão, o valor encontrado de perdas de solo, só pode ser referenciado ao momento analisado, devido às características dinâmicas dos fatores mais significativos que controlam a erosão (erosividade da precipitação; erodibilidade do solo e coberto vegetal).

O facto de termos pretendido comparar os nossos resultados reais obtidos em parcelas experimentais em Macieira de Alcoba com a aplicação do modelo empírico USLE, não foi senão para mostrar o cuidado que teremos que ter na interpretação dos seus resultados.

Quando pensamos nestes casos em que se comparam valores estimados pela USLE, segundo critérios diferentes para o cálculo do fator erosividade da precipitação, e os valores reais obtidos em parcelas experimentais, podemos concluir que os resultados decorrentes da aplicação de um modelo empírico devem ser analisados com bastante cuidado, pois podem apresentar valores exagerados relativamente a valores reais de perdas de solos.

## 8. Referências bibliográficas

### Livro:

FOURNIER, F. (1960) – *Climat et érosion, La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. Presses Universitaires de France, Paris.

HUDSON, N. (1995) – *Soil Conservation*. London, Batsford.

MORGAN, R. P. C. (1986) – *Soil Erosion and Conservation*. London, Longman Group Limited.

### Artigo de Revista:

AFONSO, J; SERRA, C. A.; MARTINS, P.; FERREIRA DOS SANTOS (1999) – “Aplicação da Metodologia Corine para o cálculo do risco de erosão de solos às Bacias Hidrográficas dos Rios Mondego, Vouga e Lis com recurso a um SIG”, *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH)*, Lisboa, Vol. 20, nº 1, pp. 3-18.

ARNOLDUS, H. M. J. (1977) – “Methodology used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Marocco”, *Assessing Soil Degradation, FAO Soils Bulletin*, 34, 8-9.

BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R.; MANUEL, T. (2006) – “Potencial erosivo da precipitação e o seu efeito em Portugal Continental”, *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos* (APRH), Lisboa, Vol. 27, n° 2, pp. 81-88.

CONSTANTINO, A. T.; COUTINHO, M. A. (2001) – “A erosão hídrica como factor limitante da Aptidão da Terra. Aplicação à Região de Entre-Douro e Minho”, *Revista de Ciências Agrárias*, vol XXIV, n° 3 e 4, Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal, Lisboa.

COSTA, F. (2004) – “Contribuições para o conhecimento dos processos erosivos em Cabo Verde”, Lisboa, *GeoINov*, 9, Universidade Nova de Lisboa, p. 215-244.

COUTINHO, M. A.; ANTUNES, R. C.; TOMÁS, P. P.; LOUREIRO, S. N. (1994) – “Caracterização da Erosividade da Precipitação no Sul de Portugal”, *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos* (APRH), Lisboa, Vol. 15, n° 3, pp. 25-31.

COUTINHO, M. A.; TOMÁS, P. P. (1993) – *Estudo do parâmetro de erosividade da equação universal de degradação de solos*, publicação n°2/93, CEHIDRO – Centro de Estudos de Hidrossistemas, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

FERREIRA, C. (1996/7) – “Erosão Hídrica em Solos Florestais. Estudo em povoamentos de *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus* em Macieira de Alcôba – Águeda”, Porto, *Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto*, I Série, Vol. XII/XIII.

LOPES, P. M. S.; CORTEZ, N.; GOULÃO, J. N. P. (2001)- “Erosão hídrica em cambissolos da região da Beira Baixa. Algumas diferenças estatísticas entre anos secos e anos chuvosos relativamente aos factores C e K da USLE”, Lisboa, *Revista de Ciências Agrárias*, Vol. XXIV, n° 3 e 4, Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal, p. 315 – 323.

TEIXEIRA, B. S.; ANDRADE, F. C. (1997) – “Quantificação da erosão hídrica em Portugal Continental”, *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos* (APRH), Lisboa, Vol. 18, n° 1, pp. 25-43.

TOMÁS, P. P.; AZEVEDO COUTINHO, M. (1994) – “Estudo da Erosão Hídrica em solos agrícolas. Comparação da perda de solos observada e calculada pela Equação Universal de Perdas de Solo”, *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos* (APRH), Lisboa, Vol. 15, n° 3, pp. 3-17.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1978) – “Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning”, Washington: USDA, *Agriculture Handbook* n° 537.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D.; UHLAND R. E. (1958) – “Evaluation of Factors in the Soil-Loss Equation”, *Agricultural Engineering*, 39, 8, USA.

#### **Endereços Eletrónicos:**

BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R.; PINTO DA COSTA, J (s/d) – *Efeito Erosivo das Precipitações. Determinação do factor de erosividade da precipitação (R), segundo Wischmeier & Smith (1978). Mapa de isoerodentes da precipitação (R) para Portugal Continental*, consulta em [www.inag.pt](http://www.inag.pt).

#### **Relatórios/Projetos:**

NAER, Novo Aeroporto, SA; PARSONS, FCG Consortium (2004) – *Estudo Hidrológico e Hidráulico do Novo Aeroporto na Ota*, Etapa B, Estudo Prévio, Modelação Hidráulica e Infra-estruturas, Memória descritiva e justificativa, Relatório Final, Lisboa.

TOMÁS, P. P. (1993) – *Erosão Hídrica do Solo em pequenas bacias hidrográficas. Aplicação da Equação Universal das Perdas de Solo*, Lisboa, polic.