

# CARTOGRAFIA DA AMEAÇA DE EROÇÃO HÍDRICA PARA A ILHA DA MADEIRA - PORTUGAL

COUTINHO, MIGUEL DE AZEVEDO <sup>1</sup>; OLIVEIRA, RODRIGO PROENÇA DE <sup>2</sup>; ANTUNES, CARLA ROLO <sup>3</sup> E CAETANO, CLÁUDIA TOMÁS <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng.º Civil, PhD Civil Engineering/Hydraulics, Prof. Associado c/Agregação, Dep. Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos. Instituto Superior Técnico (Universidade de Lisboa). Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa. Portugal. Tel./fax: (+351) 218418156 (m.azevedo.coutinho@tecnico.ulisboa.pt).

<sup>2</sup> Eng.º Civil, PhD, Prof. Auxiliar, Dep. Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos. Instituto Superior Técnico (Universidade de Lisboa). Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa. Portugal. Tel.: (+351) 218418140 (rodrigopoliveira@tecnico.ulisboa.pt).

<sup>3</sup> Eng.ª Biofísica, Doutora em Hidrologia, Prof.ª Auxiliar, Departamento de Ciências da Terra, do Mar e do Ambiente, Fac. Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve. Campus de Gambelas. 8005-139 Faro. Portugal. Tel. (+351) 289800900, ext.7152 (cmantunes@ualg.pt).

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia Ambiental, B. Investigação, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos. Instituto Superior Técnico (Universidade de Lisboa). Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa. Portugal. Tel./fax: (+351) 218418156 (claudia.caetano@tecnico.ulisboa.pt).

## RESUMO

A conservação da água, considerando variações climáticas tem de contemplar, a montante a conservação do solo. A avaliação da ameaça de erosão hídrica do solo é fundamental no planeamento de uso e ocupação territorial, no combate à degradação da terra e na definição de políticas de uso do solo e dos recursos. A catástrofe de 20 de Fevereiro de 2010, na ilha da Madeira, com intensos aluviões foi responsável por grande devastação (mais de 50 perdas de vidas), evidenciando a importância dos fenómenos erosivos.

A gravidade das ameaças depende da magnitude dos processos de erosão hídrica e outros parâmetros, de que se destacam a espessura do solo, o grau de meteorização das rochas e a coesão dos sedimentos. O cálculo da erosão efetuou-se por aplicação da Equação de Wischmeier (USLE/RUSLE).

Pela escassez de dados, foi necessário obter relações para estimar a erosividade (R). As relações mostraram adequado o uso do Índice de Fournier Modificado (IFM) e a relação entre IFM e R. Foi cartografado R para toda a ilha; os restantes parâmetros resultaram da metodologia padrão. O Índice IFM varia de 81,0 a 465,0 mm. A equação  $R=1,363 \text{ IFM}^{1,408}$  permite estimar a erosividade da precipitação e resultou dos dados do Funchal-Observatório, ajustada com dados do sul de Portugal e valores da literatura. R apresenta valor médio de 2 964 MJ.mm.h<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, variando de 660 a 8 515.

A erosão média obtida é de 28 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo o valor 100 excedido em mais de 4,9% da área. A ameaça de erosão "in situ" obteve-se, dividindo o volume de solo dos horizontes mobilizáveis, pela erosão anual. O resultado é expresso pelos anos necessários para que ocorra perda total da cobertura. Sendo o prazo para esgotamento do solo, superior a 20 000 anos, a ameaça de erosão hídrica "in situ", com níveis alto e muito alto é significativa. Ameaças alta e muito alta (depleção até 100 anos) correspondem a 263 km<sup>2</sup> (35,6%); para a ameaça muito alta (depleção em 10 anos) a área é aproximadamente de 40 km<sup>2</sup> (5,4%). Encostas com declives muito acentuados estão associadas a ameaças de erosão alta (ou muito alta).

**Palavras-chave:** degradação da terra; risco de erosão, precipitação, erosividade da chuva, equação universal da perda de solo (revista).

**Tema:** 3. Água, território e adaptação à variabilidade climática.

## **1. INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO**

Este estudo traduz os resultados da 2ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira (EARAM2), projecto desenvolvido para o Governo Regional da Madeira pelo consórcio constituído pelo Instituto Superior Técnico (IST), a Associação para o Desenvolvimento do IST (ADIST) e a Universidade da Madeira (UMa).

O EARAM2 é a sequência à 1ª fase do Estudo lançado pela Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira (SRES) após a catástrofe ocorrida em 20 de Fevereiro de 2010. O estudo visava os seguintes objectivos gerais: i) caracterização fenomenológica do evento de 20 de Fevereiro; ii) avaliação dos riscos associados às aluviões na Ilha da Madeira; e, iii) estabelecimento de princípios gerais de orientação das intervenções de prevenção e protecção.

Na 1ª fase a área abrangida compreendia as bacias hidrográficas mais afectadas pelo referido acontecimento - ribeiras de João Gomes, Santa Luzia e São João, do concelho do Funchal, e as ribeiras da Ribeira Brava e Tabua, do concelho da Ribeira Brava. O EARAM2 complementa estes trabalhos e tem os seguintes objectivos estratégicos: i) aprofundar o conhecimento sobre o fenómeno dos aluviões, melhorar a metodologia para avaliação do risco e contribuir para a implementação da Directiva da EU sobre cheias e inundações (Directiva 2007/60/CE) à Região Autónoma da Madeira; ii) estender a avaliação do risco a toda a ilha da Madeira; iii) conceber o sistema de previsão e aviso de aluviões; iv) avaliar os condicionamentos sociais na prevenção do risco de aluviões; e, v) desenvolver acções de divulgação pública e de formação sobre este tipo de risco.

Como principal objectivo, pretendia-se obter a estimativa e distribuição de valores de perda de solo e, conseqüentemente, estabelecer os respectivos níveis de ameaça, para a totalidade do território da ilha da Madeira. Adoptou-se a metodologia de Wischmeier/USLE (Equação Universal da Perda de Solo), com ajustamentos introduzidos pela Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).

Deste modo, foi necessário proceder à elaboração de cartografias intermédias para obter as distribuições dos diferentes parâmetros contemplados na metodologia. Assim, foram obtidas as seguintes cartografias: da erosividade de precipitação; da erodibilidade dos solos; do factor fisiográfico; do factor de coberto vegetal e, do factor de prática agrícola.

Devido ao número limitado de dados de precipitação subdiária e subhorária, necessários para efectuar estimativas rigorosas da erosividade da precipitação foi necessário efectuar um estudo aprofundado e estabelecer equações de regressão entre o Índice Modificado de Fournier e o parâmetro de Wischmeier, com base, principalmente, no posto do Funchal e em postos do sul de Portugal e, ainda, através de relações disponíveis na literatura.

## **2. METODOLOGIA DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO (USLE/RUSLE)**

### **2.1. Equação Universal da Perda de Solo (USLE/RUSLE)**

A análise e estimativa dos níveis de incidência da erosão foram baseadas na aplicação da metodologia de Wischmeier/USLE - Equação Universal da Perda de Solo (Wischmeier e Smith, 1978), com os ajustamentos e adaptações introduzidos pela RUSLE - Equação Universal da Perda de Solo Revista (Renard et al., 1997) e com as condições compatíveis com os dados disponíveis.

Cada parâmetro do processo erosivo das metodologias USLE e RUSLE é traduzido por um factor. A estimativa de perda de solo obtém-se pela aplicação da equação:

$$E = R \times K \times LS \times C \times P \quad (2.1)$$

Em que:

- E - Valor estimado da perda de solo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );
- R - Factor de erosividade da chuva ( $MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );
- K - Erodibilidade do solo ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ );
- LS - Factor fisiográfico (-);
- C - Factor do coberto vegetal (-);
- P - Factor de prática agrícola (-).

Referem-se, de forma resumida, aspectos relativos a cada um dos parâmetros da equação. Esta metodologia encontra-se desenvolvida no relatório ERAM2 (Coutinho et al., 2014).

### **- Erosividade da precipitação, R**

Para o cálculo do factor de erosividade da precipitação - R – são necessários registos udográficos de grande precisão. A erosividade da precipitação -  $R_i$  - para uma dada duração (período - i), de um conjunto de acontecimentos chuvosos (m), em  $MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1}$ , obtém-se pela aplicação da equação (Equação 2.2). Os períodos são, geralmente, anuais.

$$R_i = \sum_{j=1}^m E \times I_{30j} \quad (2.2)$$

O valor do índice  $EI_{30}$  (erosividade de Wischmeier - R), para cada acontecimento (chuvada j), é obtido pelo produto da energia cinética da precipitação pela intensidade máxima da precipitação de duração de 30 minutos ( $I_{30máxj}$ ). Expressa-se em termos específicos, por unidade de área e tempo, em  $MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ , através da Equação 2.3:

$$E \times I_{30j} = \left( \sum_{k=1}^q e_k \times p_k \right) \times I_{30 máxj} \quad (2.3)$$

A energia cinética da precipitação -  $e_k$  - para um período - k - de intensidade constante e precipitação  $p_k$ , obtém-se pelas Equações 2.4 e 2.5 (Foster et al., 1981):

$$e_k = 0.119 + 0.0873 \times \log_{10} I_k, \text{ para } I_k \leq 76 \text{ mm} \cdot h^{-1} \quad (2.4)$$

$$e_k = 0.263, \text{ para } I_k > 76 \text{ mm} \cdot h^{-1} \quad (2.5)$$

Para períodos de características médias, usualmente normais climáticas, a erosividade anual média é obtida pela expressão (Equação 2.6):

$$R_{méd} = \frac{\sum_{j=1}^n R_i}{n} \quad (2.6)$$

Em que:

- $R_{méd}$  - Erosividade anual média;
- $R_i$  - Erosividade no ano - i;
- n - Número de anos do período.

### - Erodibilidade dos solos, K

O factor de erodibilidade do solo - K - é expresso através do valor da perda de solo por unidade de erosividade da precipitação, num talhão de referência (9% de declive e 22,13 m de comprimento, cama de sementeira, mobilizado no maior declive). É contabilizado em peso por unidade de factor de erosividade, ou seja,  $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ .

Para quantificar a erodibilidade do solo é possível recorrer-se a um monograma ou aplicar a expressão apresentada seguidamente (Equação 2.7), tendo esta sido aplicada no presente estudo:

$$K = \frac{2.1 \times M^{1.14} \times (12 - Mo) + 3.25 \times (\alpha - 2) + 2.5 \times (\beta - 3)}{759.3} \quad (2.7)$$

Em que:

M - [limo e areia muito fina (%)] x [100 – argila (%)];

Mo - Matéria orgânica (%);

$\alpha$  - Código de classe de estrutura do solo (1 a 4);

$\beta$  - Código de classe de permeabilidade do solo (1 a 6).

Os códigos utilizados na quantificação da erodibilidade do solo para as classes de estrutura e de permeabilidade encontram-se indicados no Quadro 1.

**Quadro 1.** Códigos de estrutura ( $\alpha$ ) e permeabilidade ( $\beta$ )

Código de estrutura ( $\alpha$ )	Designação	Código de permeabilidade ( $\beta$ )	Designação
1	Granular muito fina	1	Rápida
2	Granular fina	2	Moderada a rápida
3	Granular grosseira	3	Moderada
4	Compacta	4	Lenta a moderada
		5	Lenta
		6	Muito lenta

### - Factor fisiográfico, LS

Resulta da composição dos factores de comprimento e de declive das encostas. O factor de comprimento - L (adimensional) - corresponde à relação entre os comprimentos da encosta e do talhão de referência (22,13 m). Relativamente ao factor de declive – S (adimensional) - resulta da relação entre os declives da encosta e do talhão de referência (9%).

Para o cálculo do factor de comprimento - L - aplica-se a Equação 2.8:

$$L = \left( \frac{\lambda_e}{22.13} \right)^m \quad (2.8)$$

Em que:

$\lambda_e$  - Comprimento da encosta (m);

m – Expoente - varia em função do declive da encosta (-).

O expoente - m - varia entre 0,2 e 0,5, respectivamente para encostas com declive igual ou inferior a 1% e igual ou superior a 5%.

Para o cálculo do factor de declive - S – aplicaram-se as Equações 2.9 e 2.10:

$$S = 10.8 \times \sin \theta + 0.03, \text{ para } s \leq 9\% \quad (2.9)$$

$$S = 16.8 \times \sin \theta - 0.03, \text{ para } s > 9\% \quad (2.10)$$

Em que:

$\theta$  - Ângulo da encosta com a horizontal, em  $^{\circ}$ ;

s - Declive da encosta, em %.

**- Factor de coberto vegetal, C**

O factor do coberto vegetal - C (adimensional) - traduz a relação entre a perda de solo observada para o coberto vegetal existente e o valor na situação de referência (alqueive verde). O parâmetro varia entre 0,0 e 1,0, respectivamente para uma cultura de máxima cobertura (área protegida 100 %) e cultura inexistente (área protegida 0 %).

No cálculo do factor, é necessário ponderar o grau de cobertura do solo, considerando os calendários agrícolas, as fases vegetativas e a incidência da erosividade ao longo do ano. Em cobertos florestais, é importante considerar os estratos do coberto e o efeito da interceptação da precipitação e do gotejo sobre o solo (Antunes e Coutinho, 1999; Coutinho e Antunes, 2000).

**- Factor de prática agrícola, P**

O factor de prática agrícola (medidas de protecção do solo) – P (adimensional) - traduz a relação entre as práticas agrícolas, de uso, as medidas de protecção ou conservação efectivas e as condições de referência - sem medidas de protecção e com as lavouras realizadas segundo o maior declive. O factor P varia entre 0,0 e 1,0 – 0,0 para a máxima protecção e estruturação (terraços de nível), e 1,0, com protecção inexistente.

### 3. FACTOR DE EROSIVIDADE DA PRECIPITAÇÃO – R

A quantificação da erosão resultou do cálculo dos diferentes factores, já mencionados. Foi dada relevância particular ao procedimento para a estimativa da erosividade de precipitação de Wischmeier e ao estabelecimento da sua distribuição espacial.

Devido à escassez de dados e ao cuidado necessário a ter na estimativa da erosividade de precipitação, utilizaram-se, equações de regressão (Coutinho et al., 1994; Coutinho e Antunes, 2013; Mannaerts e Gabriels, 2000; Nazareno, 2004; Silva, 2004) de âmbito regional e em base anual. Em seguida apresenta-se a primeira expressão da regressão (baseada na metodologia de Wischmeier) obtida para o Funchal, com o conjunto escasso de dados disponíveis na 1ª fase do estudo:

$$R_1 = 1.95 \times P - 619.1 \quad (3.1)$$

Em que:

$R_1$  - Erosividade média anual (MJ. mm. h<sup>-1</sup>. ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>);

P - Precipitação média anual (mm. ano<sup>-1</sup>).

Além da relação anterior, que se veio a mostrar desajustada, ensaiaram-se outras relações entre R e o Índice Modificado de Fournier (IMF) (Arnoldus, 1977):

$$R_2 = 1.68 \times IMF^{1.386} \quad (3.2)$$

$$R_2' = 1.365 \times IMF^{1.408} \quad (3.3)$$

$$R_3 = 13.79 \times IMF - 299.3 \quad (3.4)$$

Em que:

$R_2, R_2', R_3$  - Erosividade média anual ( $MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );

IMF – Índice Modificado de Fournier.

A expressão 3.3 resultou de ajustamento da equação 3.2, com base em dados obtidos para o posto do Funchal (dados em período mais alargado), em postos do sul de Portugal e para a ilha da Sicília (Fantappiè, et al, 2014). No cálculo do factor (R) e da sua distribuição na ilha, foram consideradas as precipitações anuais de 26 postos, correspondendo, na maioria dos casos, ao período de anos hidrológicos de 1949/50 a 1979/80.

Os postos utilizados, os valores de precipitação anual média e os valores de IMF estimados, apresentam-se no Quadro 2. Foram ajustados valores para a orla litoral por interpolação e a partir da carta de precipitação do Plano Regional da Água da Madeira (SRA & INAG, 2003).

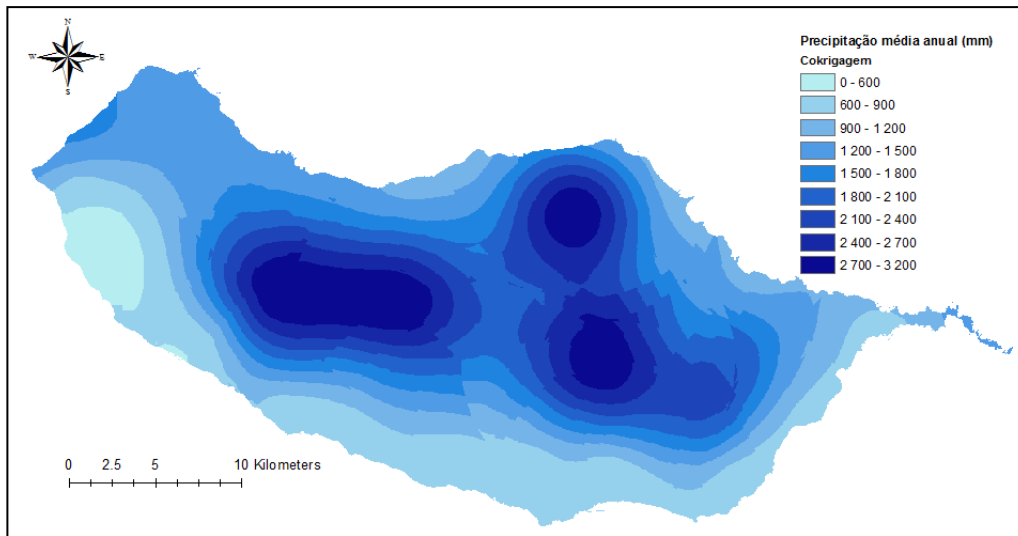
**Quadro 2.** Precipitação anual média (mm) e IMF para os postos considerados.

Posto	P (mm)	IMF
Areeiro antigo	2955,2	495,7
Bica da Cana - IGA	2984,8	2984,8
Camacha	1539,0	268,7
Canhas	811,0	811,0
Canical	733,8	733,8
Cascalho	1863,8	262,2
Curral das Freiras (Igreja)	1957,6	392,8
Encumeada de S. Vicente	2723,2	470,6
Fajã da Ovelha	424,9	80,8
Funchal - Observatório - IM	628,4	128,9
Lugar de Baixo – JG	611,6	121,6
Montado do Pereiro	2357,9	409,6
Ponta Delgada	1160,1	178,9
Ponta do Pargo	997,7	149,9
Porto Moniz (Feira do Gado)	1340,5	207,4
Prazeres – EMA	595,4	116,7
Queimadas	2263,8	344,4
Ribeira Brava	675,4	119,5
Ribeira do Alecrim	2748,8	218,8
Ribeiro Frio	2404,3	406,5
S. Jorge - ETA	2577,8	360,8
Sanatório	873,1	172,1
Santa Catarina	658,1	108,4
Santana	1432,0	226,7
Santo António (Trapiche)	991,0	199,5
Santo da Serra - IGA	1806,3	296,9

Na cartografia da precipitação anual e do Índice Modificado de Fournier ensaiaram-se as técnicas do software ArcMap: krigagem, cokrigagem e idw (Inverse distance weighted). Na Figura 1 apresenta-se o mapa de distribuição da precipitação anual média (cokrigagem).

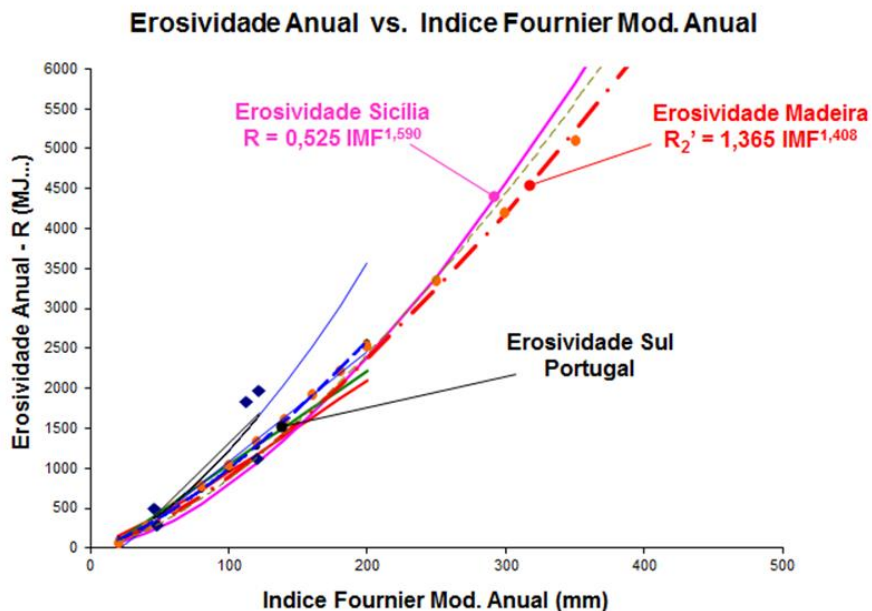
Também, a distribuição do IMF para toda a ilha da Madeira foi obtida por cokrigagem. Por transformação do IMF, pela Equação 3.3, obteve-se a distribuição da erosividade.

Na Figura 2 apresenta-se o gráfico da relação da erosividade da precipitação - R e o Índice Modificado de Fournier (IMF). Evidencia-se a equação 3.3, adoptada, que ajusta melhor as relações de erosividade observadas, para os dados processados até ao presente.

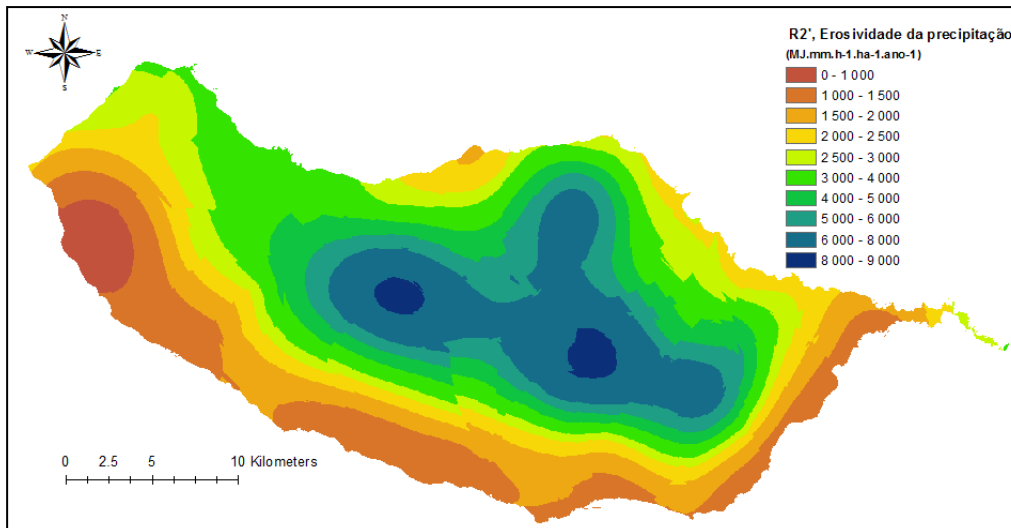


**Figura 1.** Carta da precipitação anual média (mm) - cokrigagem

A cartografia da erosividade de precipitação, para a ilha da Madeira apresenta-se na Figura 3, obtida a partir das cartas de precipitação anual média e do Índice Modificado de Fournier. Para a estimativa da erosão hídrica (E) decidiu-se adoptar os valores de erosividade de precipitação resultantes da aplicação da expressão  $R_2'$ .



**Figura 2.** Relação entre erosividade anual e IMF, para a ilha da Madeira



**Figura 3.** Carta da erosividade da precipitação, equação  $R_2'$

#### 4. APLICAÇÃO DA EUPS

Na aplicação da metodologia de Wischmeier seguiram-se os procedimentos prescritos no Agricultural Handbook, Nr. 537 (Wischmeier e Smith, 1978) e adaptaram-se aspectos do Agricultural Handbook, Nr. 703 (Renard et al., 1997). Como foi referido, considerou-se uma abordagem particular para o cálculo da erosividade, mas, para os outros parâmetros foram adoptados os procedimentos normais. Referem-se aspectos dignos de nota:

O cálculo da erodibilidade do solo -  $K$  - é relativamente complexo e requer conhecimento das condições locais. Neste trabalho, as estimativas restringiram-se maioritariamente à aplicação da equação descrita anteriormente, sem ajustamentos, e à adopção de valores resultantes da experiência, no caso de não existirem dados analíticos suficientes. A informação disponível foi a da Carta de Solos da Ilha da Madeira (DRA-RAM, 1992).

No cálculo do factor fisiográfico -  $LS$  - aplicaram-se as Equações 2.8 a 2.10. Para o comprimento de encosta ( $\lambda_e$ ) adoptou-se o calculo a partir da densidade de drenagem (Equação 4.1):

$$\lambda_e = \frac{1}{2 \times D_d} \quad (4.1)$$

Em que:

$D_d$  – Densidade de drenagem ( $m^{-1}$ )

A densidade de drenagem ( $m.m^{-2}$ ) resulta do quociente entre o comprimento de todos os cursos de água, pelo valor da área onde estes se encontram. O parâmetro  $L$  foi estimado com recurso a ferramentas do software ArcMap. O factor de declive da encosta,  $S$ , foi calculado directamente através de ferramentas do mesmo software.

Para o cálculo do factor de coberto vegetal -  $C$  - utilizaram-se, os dados das classes de uso do solo da COSRAM (Carta de Ocupação do Solo da Região Autónoma da Madeira).

Neste estudo para o factor de prática agrícola -  $P$  - aplicou-se o valor 1,0 a todo o território da ilha da Madeira, onde não foi identificado a existência de terraços/socalcos; para o caso de terraços foi atribuído o valor 0,1.



### - Ameaça da erosão do solo “in situ”

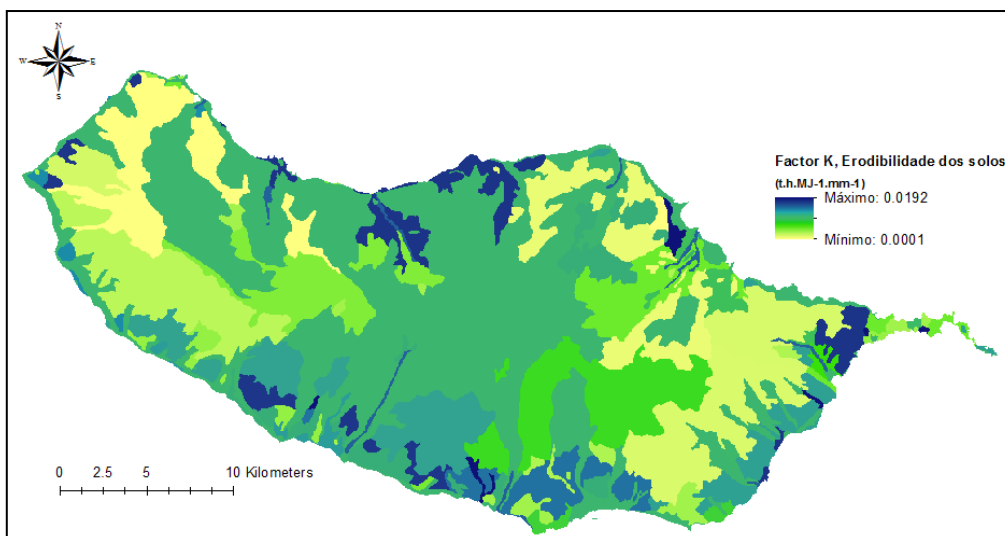
Tendo por base um estudo realizado na Sicília para o risco da erosão do solo (Fantappiè, et al, 2014) calcularam-se os tempos (ano) de ocorrência da depleção total do recurso edáfico - solo de cobertura – e, considerou-se este valor como indicador da ameaça da erosão. Foram adoptadas as classes de ameaça contempladas nesse estudo: a) **baixa** - mais de 500 anos para ocorrer erosão total; b) **moderada** - o tempo varia entre 100 e 500 anos; c) **alta** - resultando a erosão total entre 10 e 100 anos; d) **muito alta** - quando, no máximo, em 10 anos se observa a erosão total do solo de cobertura.

Para peso volúmico aparente adoptou-se o valor de  $1,7 \text{ t.m}^{-3}$ . Com este valor, a distribuição da erosão hídrica na ilha e a espessura do solo, calculou-se o tempo correspondente à perda total do solo de cobertura e definiram-se os níveis de ameaça da erosão hídrica.

## 5. RESULTADOS – NÍVEIS DE AMEAÇA, ESGOTAMENTO DO SOLO

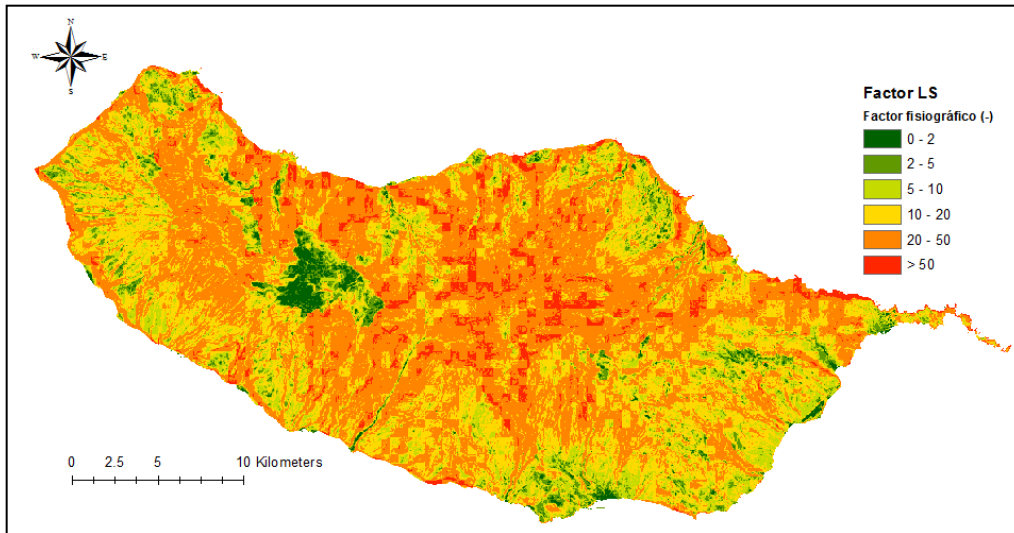
Da aplicação da metodologia descrita obtiveram-se cartas de cada factor da Equação Universal da Perda de Solo e, através destes, a carta de erosão hídrica para a ilha da Madeira; seguidamente, estimaram-se, os níveis de ameaça da erosão, em quatro classes distintas. As cartas são apresentadas nas Figuras 3 a 9.

Para a erosividade de precipitação (Figura 3) obtiveram-se valores compreendidos entre cerca de 661 e 8 515  $\text{MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . O valor médio de erosividade de precipitação da ilha é de cerca de 2 960  $\text{MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Quanto ao factor de erodibilidade do solo (Figura 4), os valores variam entre 0,0001 e 0,0192  $\text{t.h.MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$ , registando-se o valor médio de cerca de 0,008  $\text{t.h.MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$ .

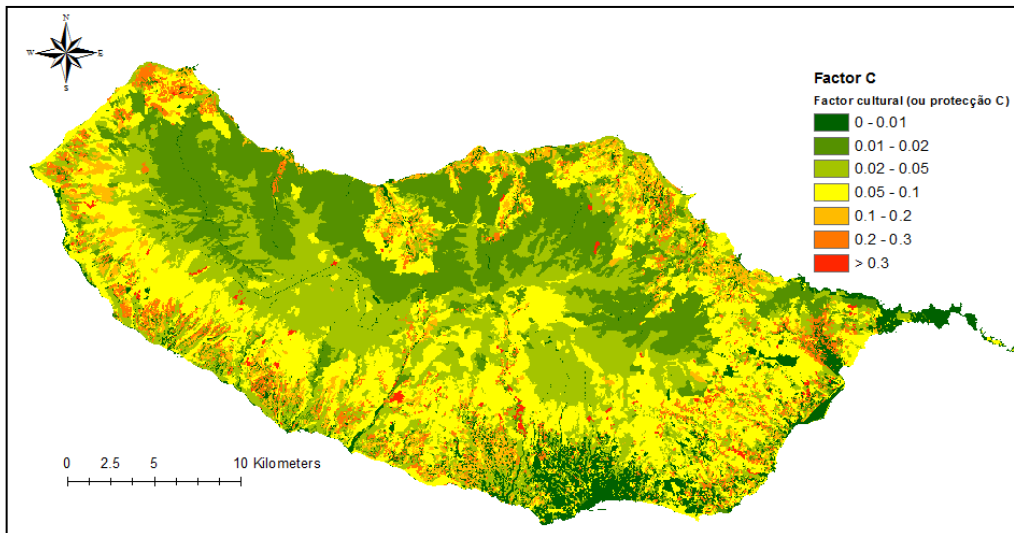


**Figura 4.** Carta do factor de erodibilidade dos solos (K) para a ilha da Madeira

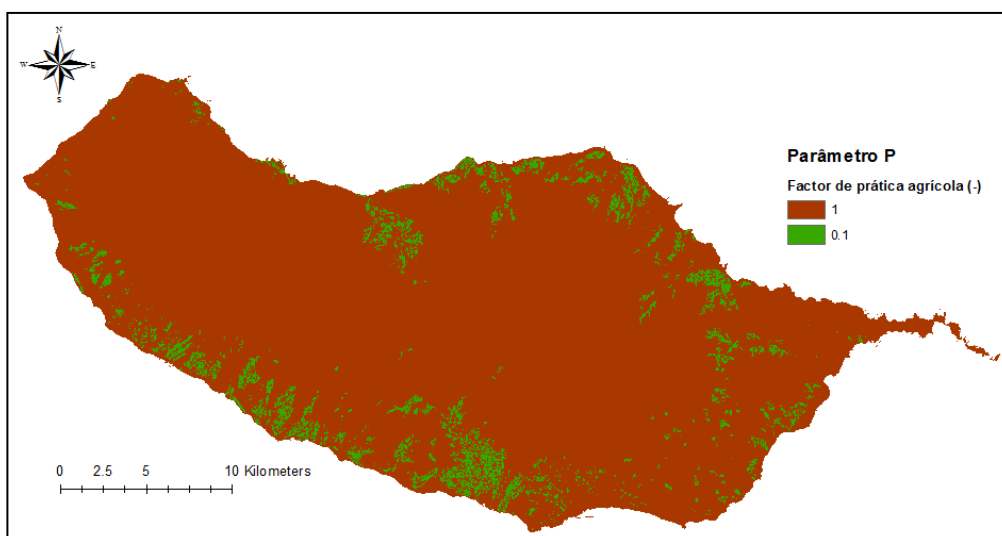
O factor de comprimento de encosta, L, apresenta valores que variam entre 1,28 e 4,75. Relativamente ao factor de declive, S, os valores calculados variam entre 0,03 e 16,12. Do produto destes factores - factor fisiográfico (LS) - obtido para a ilha apresenta o máximo de cerca de 76,4 e o valor médio de 22,7 (Figura 5). Relativamente ao factor de coberto vegetal os valores atribuídos variam, consoante as várias classes de uso e ocupação do solo, entre 0,001 e 0,35, apresentando o valor médio de cerca de 0,05 (Figura 6). Como a área correspondente a terraços/socalcos é significativamente inferior à restante, o factor de prática agrícola P tem o valor médio de cerca de 0,98 (Figura 7).



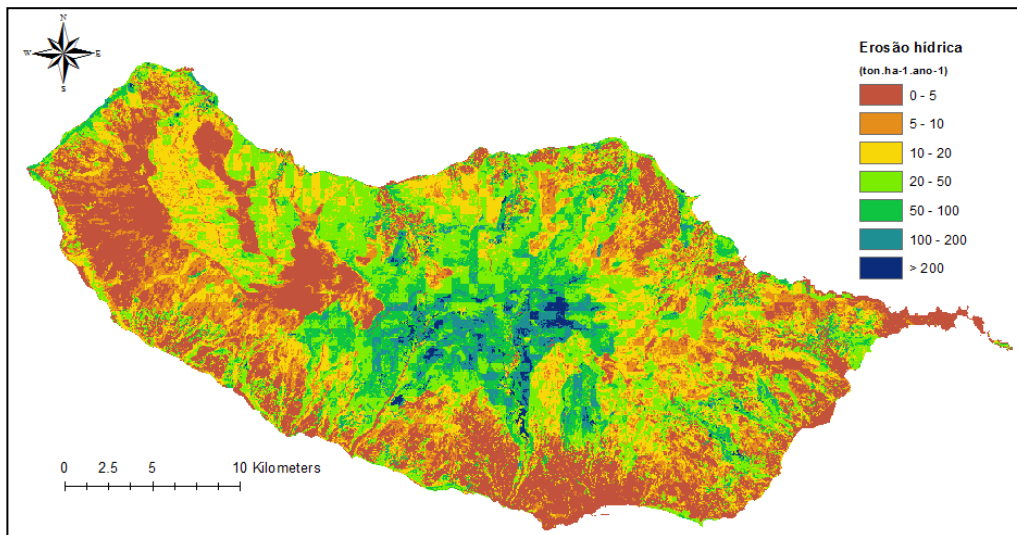
**Figura 5.** Carta do factor fisiográfico (LS) para a ilha da Madeira



**Figura 6.** Carta relativa ao factor de coberto vegetal (C) para a ilha da Madeira



**Figura 7.** Carta do factor de prática agrícola (P) para a ilha da Madeira

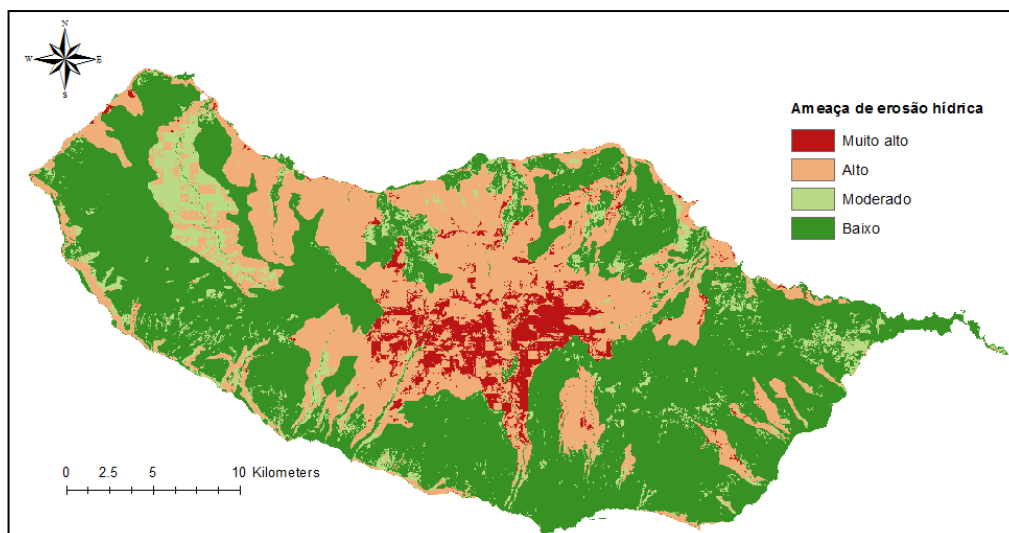


**Figura 8.** Carta da erosão hídrica (E) para a ilha da Madeira

## 6. CONCLUSÕES E ESTUDOS EM CURSO

O valor estimado para a erosão hídrica na ilha da Madeira é de cerca de 28 t·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup>, tendo-se calculado um máximo de, 920 t·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (Figura 8). Verificam-se os valores mais elevados na zona central da ilha da Madeira e em áreas localizadas junto à costa embora estas sejam de menor extensão. Observa-se, nas zonas mais urbanizadas, como é o caso do Funchal, e em outros núcleos, valores relativamente baixos de erosão hídrica.

Relativamente à ameaça da erosão hídrica (Figura 9), apesar do valor médio do tempo estimado para a total depleção do recurso edáfico ser cerca de 21 700 anos, reconhece-se ser significativa a área com níveis de ameaça muito alta e alta. Observa-se, que zonas com declives elevados têm associado um nível de ameaça de erosão alta (ou muito alta).



**Figura 9.** Carta da ameaça de erosão hídrica na ilha da Madeira

Os resultados obtidos são preliminares. Alguns factores serão mais aprofundados e estão em curso outras análises, designadamente, associadas a acontecimentos extremos de erosão e a efeitos propagados aos cursos de água (*offsite effects*). Considera-se, todavia, que esta carta de perda de solo permite, desde já, a percepção da magnitude e distribuição do fenómeno erosivo na ilha da Madeira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, C.R e Coutinho, M.A. (1999). A Conceptual Model of Rainfall Interception for Tree and Bush Canopies. 10th ISCO. Sustaining the Global Farm. Local Action for Land Stewardship. Purdue University. West Lafayette. Indiana. USA.
- Arnoldus, H. M. J. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco (Annex IV). In: FAO Soils Bulletin 34 - Assessing Soil Degradation. Italy, FAO Rome, p. 39-48.
- Coutinho, M.A, Antunes, C.R, Tomás P.P. e Loureiro, N.S. (1994). Caracterização da Erosividade da Precipitação no Sul de Portugal. Revista da APRH, Vol. 15 Nº3. Lisboa.
- Coutinho, M.A. e Antunes, C.R. (2000). Leaf Retention and Throughfall Drop Sizes Under Quercus sp. A Contribution for a Conceptual Model of Rainfall Interception for Tree and Bush Canopies. Cong. Mundial do Sobreiro e da Cortiça. C. Cultural de Belém. Lisboa.
- Coutinho, M.A. e Antunes, C.R. (2013). Erosividade da precipitação para a ilha da Madeira. Análise da catástrofe de 20 de Fevereiro de 2010. Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal, Revista de Ciências Agrárias, 2013, 36(4), p. 417-425. Lisboa.
- Coutinho, M.A., Oliveira, R. P., Caetano, C. T. (2014). Erosão Hídrica. Erosão específica. Ameaça de erosão “in situ”, Nota Técnica C1, C2, C3 e C4. Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira – 2ª Fase (ERAM2). G. Regional da Madeira. Funchal.
- DRA-RAM (1992). Carta de Solos da Ilha da Madeira, Direcção Regional de Agricultura, Secretaria Regional de Economia, Região Autónoma da Madeira.
- Fantappiè, M., Priori, S., and Costantini, E. (2014). Soil erosion risk, Sicilian Region (1:250,000 scale). Journal of Maps, 11(2), 10. doi:10.1080/17445647.2014.956349
- Foster, G. R, McCool, D., Renard, K. G, and Moldenhauer, W.C. (1981). Conversion of the Universal soil Loss Equation to SI metric u. Journal of S&WC, Vol. Nov.-Dec., pp. 355-359.
- Mannaerts, C. M. e Gabriels, D. (2000). Rainfall erosivity in Cape Verde. Soil and Tillage Research, vol.55, n. 3/4 p. 207-212.
- Nazareno, D. (2004). Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime. Hydrology and Earth Sciences, vol.8, n. 1, p. 103-107.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. and Yoder, D. C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation. USDA, ARS, Ag. Handbook, Nr. 703. Washington D.C. USA.
- Silva, A. M. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. Catena, vol.57, p. 251-259.
- SRA, & INAG. (2003). Plano Regional da Água da Madeira. Funchal, Madeira.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. USDA, SCS, Agricultural Handbook, Nr. 537. Washington D.C. USA.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi fundamentalmente desenvolvido no âmbito do projeto EARAM2. Um agradecimento é devido ao Governo Regional da Madeira.