

# Erosividade da precipitação para a ilha da Madeira. Análise da catástrofe de 20 de Fevereiro de 2010

## Rainfall erosivity in Madeira Island. Analysis of the 20 February 2010 catastrophe

Miguel Azevedo Coutinho<sup>1</sup> e Carla Rolo Antunes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil, Secção de Hidráulica e Recursos Hídricos e Ambientais, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal, E-mail: macout@civil.ist.utl.pt

<sup>2</sup> Departamento de Ciências da Terra, do Mar e do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, Edifício 8, 8005 - 139 Faro, Portugal, E-mail: cmantunes@ualg.pt, author for correspondence

Recebido/Received: 2013.04.29

Aceitação/Accepted: 2013.10.04

### RESUMO

O parâmetro de erosividade de precipitação R de Wischmeier (USLE/RUSLE) é um indicador adequado para a avaliação da erosão hídrica potencial. A catástrofe natural ocorrida na Ilha da Madeira, a 20 de Fevereiro de 2010, de cheias repentinas com intensas torrentes de detritos, foi responsável por enorme devastação e perdas de vidas. Desde então têm sido desenvolvidos esforços para analisar o acontecimento e avaliar a erosão distribuída. Foi adoptada a metodologia da RUSLE, no entanto, afigurava-se fundamental obter os valores distribuídos de R, tanto para o acontecimento, como em base anual. O Observatório Meteorológico do Funchal é a única estação meteorológica disponível com longos registos de dados de precipitação com discriminação de 10 minutos (últimos 10 anos), que permite o cálculo da erosividade, no acontecimento e em bases diárias e mensais. Esta estação tem também registos horários para mais de 20 anos, existindo registos diários desde meados da década de 1930. Devido à escassez de dados, foi necessário recorrer a análises de correlação para estimar a erosividade em períodos mais alargados e em outros locais. A metodologia estabelecida no estudo desenvolvido permitiu o cálculo do parâmetro de erosividade da RUSLE para a Madeira. Permitiu, também, fazer comparações com estimativas anteriormente obtidas para Portugal Continental. O procedimento desenvolvido demonstrou boa robustez, sendo apresentada uma proposta para lidar com casos de escassez de dados.

**Palavras-chave:** Equação da perda de solo revista (RUSLE), erosividade, modelação da erosão, precipitação, risco de erosão

### ABSTRACT

To assess local or regional potential erosion, an adequate indicator is the rainfall erosivity parameter (R) of RUSLE. The Madeira's island catastrophe of 20 February 2010, with intense debris flows was responsible for devastation and losses of lives; efforts have been made to analyze the event and to evaluate the distributed erosion. The RUSLE methodology was adopted, however the key issue was obtaining the distributed values of R, both for the event and on a yearly basis. Funchal-Observatório is the only meteorological station available with long records and precipitation data with 10 minute discrimination (last 10 years), to enable the calculation of the erosivity, by event and on daily and monthly basis. This station has also hourly records for more than 20 years and daily records exist since the middle 1930's.. Due to the scarcity of data, correlations were established to estimate erosivity for larger periods and assess erosivity in other locations. The established methodology allowed calculation of RUSLE erosivity parameter on yearly and event basis, in Madeira. Comparisons were made with previously estimations obtained for Portugal. The procedure showed good robustness and a proposal to deal with cases of data scarcity is presented.

**Keywords:** Erosion models, erosion risk, precipitation, rainfall erosivity, revised universal soil loss equation

## Introdução

A metodologia da Equação Universal da Perda de Solo Revista – EUPSR ou RUSLE – (Renard *et al.*, 1997), desenvolvida para actualização da Equação Universal da Perda de Solo – EUPS ou USLE – (Wischmeier e Smith, 1978), constitui uma ferramenta muito adequada e testada para a avaliação da erosão hídrica do solo. Neste âmbito, o parâmetro de erosividade de precipitação (R) da RUSLE representa um indicador fundamental para essa avaliação.

Na maior parte dos casos não existem dados suficientes para o cálculo deste fator e, outros parâmetros, tal como o Índice de Fournier Modificado, não constituem, por si só, alternativas viáveis, para a avaliação precisa da erosividade.

A catástrofe que assolou a ilha da Madeira a 20 de Fevereiro de 2010, com intensos fluxos de detritos, foi responsável por enorme devastação e perdas de vidas; tendo motivado cuidadoso estudo do acontecimento (Almeida *et al.*, 2010), particularmente a avaliação da erosão distribuída, que constitui componente importante do fenómeno.

## Justificação do estudo

A tempestade com inundações e torrentes de detritos catastróficas, que ocorreu a 20 de Fevereiro de 2010 na ilha da Madeira, nas bacias hidrográficas orientadas a sul, abrangendo a zona do Funchal, das ribeiras Brava e da Tabua (Figura 1), motivou a realização de diversos estudos para a análise do fenómeno.

Nesta tempestade, a chuvada (com precipitações entre cerca de 150 a 300 mm) teve uma duração de aproximadamente 20 horas estando as zonas mais afectadas localizadas nas bacias hidrográficas das ribeiras de S. João, St. Luzia e João Gomes. Estas bacias têm a foz na baixa do Funchal e perfazem uma área total de cerca de 42 km<sup>2</sup>.

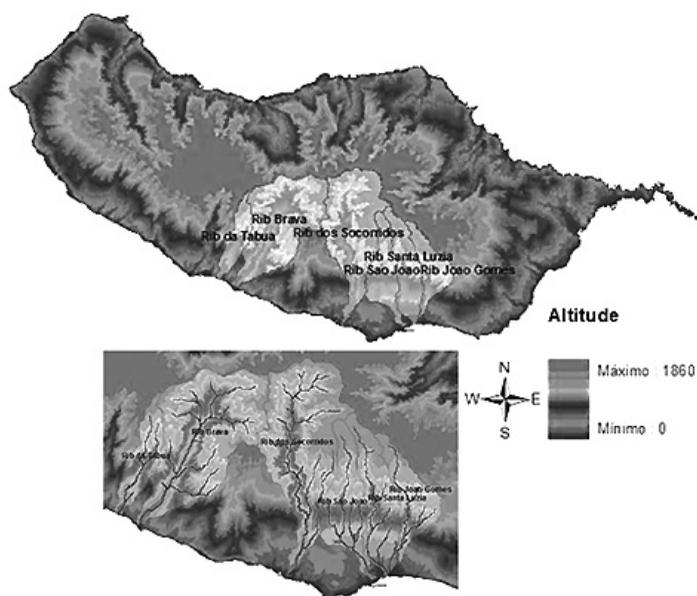
Elevadas quantidades de sedimentos e detritos foram depositados, na baixa e frente litoral do Funchal, tendo as águas costeiras ficado carregadas de sedimentos durante, pelo menos, mais de uma semana. Mais de 300 000 m<sup>3</sup> de detritos foram removidos dos arruamentos e zona marginal e a estimativa global de material erodido e transportado foi superior a 1 200 000 t (Almeida *et al.*, 2010).

## Abordagem ao problema

No presente estudo optou-se pelo uso da metodologia da RUSLE, com relevância à obtenção dos valores de R, distribuídos espacial e temporalmente, para o acontecimento e para vários anos.

Em termos de dados disponíveis, a estação meteorológica do Funchal-Observatório é a única com registos de precipitação com 10 minutos de discriminação (nos últimos 10 anos), que permite o cálculo da erosividade, por chuvada, em base diária e mensal e para um período relativamente longo. Esta estação dispõe também de registos horários para mais de 20 anos e os registos diários existem desde a década de 1930.

Recentemente, foram instaladas estações meteorológicas automáticas, em locais com altitudes mais



**Figura 1** – Localização das zonas mais afectadas pelos temporais de 20 de Fevereiro de 2010, na ilha da Madeira.

elevadas, mas, o número de anos de dados com a discriminação de 10 minutos não excede, no geral, mais que 2 a 4 anos. Devido à escassez de dados, foram desenvolvidas correlações para estimativa de erosividade para períodos maiores e para a avaliação da erosividade em outros locais.

Par dar maior consistência ao trabalho, utilizaram-se, ainda, dados de outros trabalhos desenvolvidos em Portugal, desde 1985, nomeadamente, dados do Centro Experimental da Estação de Vale Formoso - CEEVF (Coutinho e Tomás, 1993; Coutinho e Tomás, 1995), do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana (Hidroprojecto *et al.* 2001a), do Plano de Bacia Hidrográfica dos Rios Sado e Mira (Hidroprojecto *et al.* 2001b) e do Plano de Uso da Terra para a Zona Interior Centro (Agroconsultores, 2003).

A metodologia estabelecida permitiu o cálculo do parâmetro de erosividade RUSLE numa base anual e por acontecimentos (chuvadas de Wischmeier), na Madeira, tendo sido efectuadas comparações com as estimativas anteriores obtidas para Portugal Continental. A maior parte destas estimativas resultaram dos dados da estação de Vale Formoso (CEEVF) e de mais alguns registos obtidos para a região de Lisboa. Os dados permitiram o estabelecimento de relações regionais anuais do parâmetro de erosividade da precipitação (RUSLE) em função da precipitação anual, para diferentes regiões de Portugal, nomeadamente:

$$R \approx 1,35 \cdot P - 390,6; \text{ para Minho e Douro Litoral} \\ \text{(Agroconsultores, 2001)} \quad (1)$$

$$R \approx 2,23 \cdot P - 406,3; \text{ para a Zona Interior Centro} \\ \text{(Agroconsultores, 2003)} \quad (2)$$

$$R \approx 3,0 \cdot P - 550,0; \text{ para o sul de Portugal} \\ \text{(Tomás e Coutinho, 1993; Loureiro e Coutinho, 1995)} \quad (3)$$

$$R \approx 4,26 \cdot P - 930,2; \text{ para Vale Formoso} \\ \text{(Tomás e Coutinho, 1993)} \quad (4)$$

onde, P e R representam as grandezas anteriormente descritas.

A comparação com as equações e estimativas obtidas para Portugal Continental mostram que existe uma forte dependência das características globais da região, designadamente: geografia/ morfologia, condições climáticas, precipitação média anual, número de dias de precipitação e o valor do índice de concentração da precipitação.

As estimativas mostram sempre melhor ajustamento quando são obtidas a partir de dados de

estações próximas da região e com características semelhantes. Também, a qualidade das estimativas foi sempre melhor quando se partiu de dados diários para mensais ou, de dados mensais para valores anuais.

O procedimento mostrou grande robustez e eficácia pelo que, a partir destes estudos se desenvolveu uma proposta metodológica (Coutinho e Antunes, 2011) para lidar com casos de escassez de dados.

## Material e métodos

### Modelação da Erosão Hídrica (Equação EUPSR)

A Equação Universal da Perda de Solo Revista (EUPSR / RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier e Smith, 1978; Renard *et al.* 1997) foi a metodologia adoptada para a análise e avaliação do processo erosivo, em particular para o cálculo do parâmetro de erosividade da precipitação. No entanto, a questão principal colocada foi a determinação dos valores distribuídos de R, tanto por chuvada como em base anual.

A RUSLE constitui uma ferramenta muito adequada para a estimativa e modelação da erosão hídrica, a nível local e para planeamento. A equação é traduzida pela expressão:

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (5)$$

onde:

E - perda de solo por erosão hídrica (distribuída) (t. ha. ano<sup>-1</sup>);

R - erosividade da precipitação (MJ. mm. h<sup>-1</sup>. ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>);

K - erodibilidade do solo (t. h. MJ<sup>-1</sup>. mm<sup>-1</sup>);

L S - factor fisiográfico

(comprimento x declive, adimensional);

C - factor de coberto vegetal (adimensional);

P - factor de prática agrícola e conservação (adimensional).

O parâmetro de erosividade da precipitação ou, de Wischmeier, traduz o efeito da energia cinética da precipitação no solo, em que a sua estimativa resulta de um processo de cálculo complexo (Renard *et al.* 1997).

A erosividade R (ou EI<sub>30</sub>) representa o valor, para a chuvada ou para o ano, da energia cinética da precipitação multiplicado pelo valor da intensidade máxima da chuva, em 30 minutos, calculado para todas as chuvadas do período (em MJ. mm. h<sup>-1</sup>. ha<sup>-1</sup>).

O valor de R ( $R_a$  ou  $R_{méd}$ ) resulta da soma ou média de valores obtidos, para o período de referência (ano, em geral). Os valores são obtidos por aplicação das fórmulas:

$$R_i = \sum_{j=1}^m E \cdot I_{30_j} \quad (6)$$

$$R_{méd} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (7)$$

onde:

- $R_{méd}$  - erosividade anual média;
- $R_i$  - erosividade no ano  $i$ ;
- $E \cdot I_{30}$  - erosividade de Wischmeier (para cada chuvada  $j$ );
- $n$  - n.º de anos no período;
- $m$  - n.º de chuvadas no ano  $i$ .

sendo, a erosividade para cada chuvada obtida por:

$$E \cdot I_{30_j} = \left( \sum_{k=1}^q e_k \cdot p_k \right) \cdot I_{30_{\max_j}} \quad (8)$$

em que, para  $I_k \leq 76 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$

$$e_k = 0,119 + 0,0873 \cdot \log_0 I_k \quad (9)$$

e, para  $I_k > 76 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$

$$e_k = 0,263 \quad (10)$$

onde:

- $e_k$  - energia cinética da chuva, com intensidade constante, por mm de precipitação ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ );
- $q$  - n.º períodos de chuva, com intensidade constante  $I_k$ ;
- $p_k$  - precipitação no período  $k$  (mm);
- $I_k$  - intensidade da chuva no período  $k$  ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ );
- $I_{30}$  - intensidade máxima da chuva em 30 minutos, para a chuvada  $j$  ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

Devido à morosidade e cuidado a ter no processo de cálculo, a forma mais simples para a aplicação da metodologia resulta no estabelecimento de relações regionais, em base anual, através de uma equação de regressão simples (Coutinho e Tomás, 1993; Mannaerts e Gabriels, 2000; Nazareno, 2004; Silva, 2004), do tipo:

$$R = a \cdot P - b \quad (11)$$

onde:

- $P$  - precipitação média anual ( $\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$ )
- $R$  - erosividade média anual ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ )
- $a, b$  - parâmetros dependentes das características climáticas da região.

Como em muitos casos não existem dados suficientes para a estimativa do parâmetro de erosividade de precipitação  $R$  de Wischmeier considerou-se necessário estabelecer as relações entre este parâmetro e o Índice Modificado de Fournier (Arnoldus, 1977). Para a sua determinação foi seguida a formulação adoptada por Lujan e Gabriels (2005).

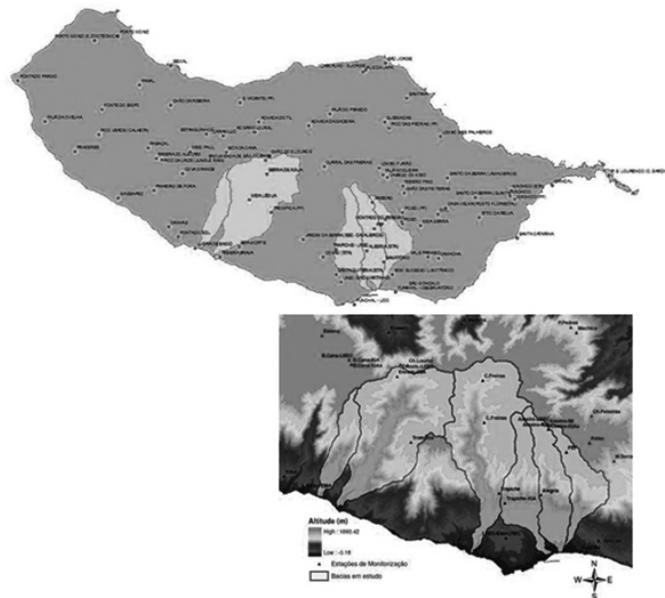
## Dados Disponíveis

A ilha da Madeira detém, actualmente, uma rede relativamente densa, de estações climáticas e postos meteorológicos, a maioria automática, pertencentes a instituições oficiais e privadas, a maior parte estabelecida recentemente (Almeida *et al.*, 2010).

Grande parte dos postos tem períodos de recolha de dados inferiores a 5 anos, dos quais poucos com discriminação de 10 minutos, ou inferior, e somente dois com registos superiores a 10 anos.

O posto do Funchal-Observatório tem cerca de 10 anos com registos de pormenor (10 min) e mais cerca de 10 anos com registos horários. Este posto é o único para o qual se pode calcular a erosividade, num período mais extenso e que permite efectuar uma análise de longo termo, pois dispõe de registos diários desde meados da década de 1930. Na Figura 2 encontram-se indicados os postos e estações meteorológicas da ilha da Madeira e da região objecto do estudo.

Para Portugal Continental dispõe-se, também, de uma boa rede de Estações Climáticas e Postos Meteorológicos, que pertencem, maioritariamente, ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (ex-Instituto de Meteorologia) e à Agência Portuguesa do Ambiente (ex-INAG), que detém elevados padrões de qualidade.



**Figura 2** – Localização dos postos e estações meteorológicas na ilha da Madeira.

Dos dados existentes da rede meteorológica do ex-INAG, só os registos diários de precipitação estão disponíveis *online*, em acesso livre aos utilizadores. Na generalidade dos casos, o acesso a registos udográficos é difícil, mesmo tratando-se de trabalhos de divulgação e investigação. No entanto, alguns dados de estações experimentais do Ministério da Agricultura e do ex-INAG têm sido disponibilizados para projetos de investigação conjunta, ao abrigo de protocolos.

Até ao princípio do ano 2000 foram usados basicamente os dados do Centro Experimental de Vale Formoso (CEEVF), que iniciou o seu funcionamento em meados da década de 1960, além de que se dispôs de outros dados e registos, obtidos com equipamento próprio em outros locais de estudo.

Se, em Portugal, tivesse sido reconhecido o interesse estratégico da investigação sobre erosão hídrica teria sido possível dispor actualmente de mais dados e informação mais consolidada sobre a erosividade da precipitação, dados fundamentais para a avaliação de riscos de erosão e de outros parâmetros ambientais, nomeadamente a degradação ambiental e a desertificação.

O estudo apresentado desenvolve unicamente relações obtidas com os anos mais recentes de dados, com discriminação de 10 min para o posto Funchal-Observatório.

## Resultados e discussão

Os valores para o parâmetro da erosividade da precipitação - R - têm vindo a ser calculados para os

acontecimentos erosivos de precipitação na ilha da Madeira de acordo com a metodologia de Wischmeier, nomeadamente para a tempestade do dia 20 de Fevereiro de 2010.

Para esta tempestade, a chuvada teve uma duração de aproximadamente 20h, desde as 3 às 23h, compreendendo a precipitação de dois dias (sinópticos) 19 e 20 de Fevereiro de 2010, tendo-se registado 147 mm de chuva na estação Funchal-Observatório. O valor máximo da intensidade da precipitação em 30 minutos foi  $62,8 \text{ mm.h}^{-1}$  e o valor da erosividade (Wischmeier), calculado foi  $R = 2\,145 \text{ MJ. mm. h}^{-1}. \text{ha}^{-1}$  (Figura 3).

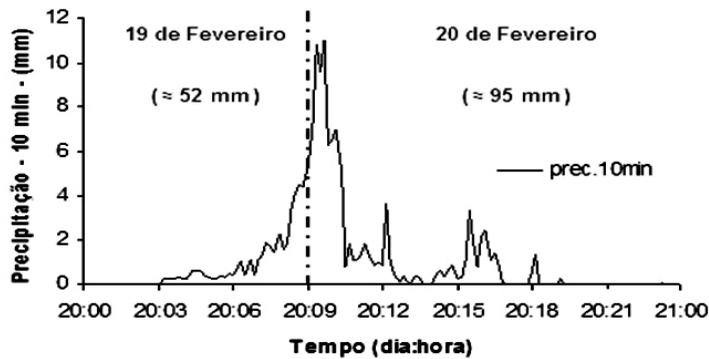
De acordo com a metodologia desenvolvida, o valor estimado para a erosividade anual média no Funchal (P aproximadamente 640 mm) é  $R = 680 \text{ MJ. mm. h}^{-1}. \text{ha}^{-1}. \text{ano}^{-1}$ , e, nas bacias hidrográficas da região em estudo ( $P \approx 1900 \text{ mm}$ ), resultou o valor da erosividade de  $R \approx 3\,000 \text{ MJ. mm. h}^{-1}. \text{ha}^{-1}. \text{ano}^{-1}$ . Devido à escassez de dados foi necessário estabelecer uma metodologia baseada em correlações entre parâmetros calculados e dados obtidos, de forma a permitir a estimativa da erosividade noutras períodos e noutras localizações.

Para além do estabelecimento destas correlações da erosividade, para diferentes localizações, não se efectuaram correlações da precipitação nem da erosividade com a altitude.

## Correlações com a Erosividade

Como se referiu anteriormente, devido à escassez de dados foi necessário estabelecer uma metodolo-

**Precipitação Funchal (20 Fev. 2010)**



**Figura 3** – Gráfico da precipitação na estação Funchal-Observatório, nos dias 19 e 20 de Fevereiro de 2010.

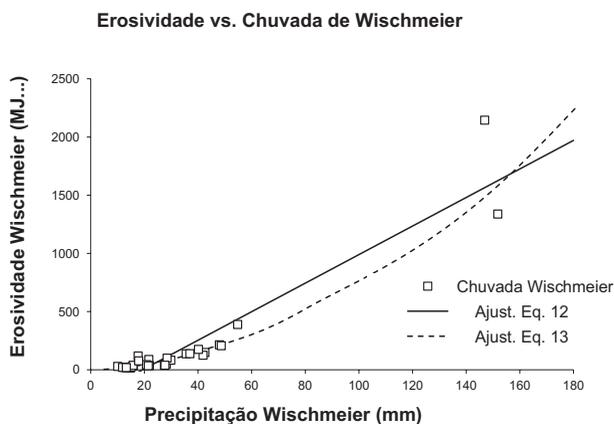
gia baseada em correlações entre parâmetros calculados e dados obtidos.

Com base nos elementos calculados a partir dos registos do Funchal-Observatório, com a discriminação de 10 minutos, na sua extrapolação para todo o período de registos e, seguidamente, para a sua extrapolação para outros postos da ilha, foram estabelecidas as correlações apresentadas em seguida.

Na Figura 4 apresenta-se a relação da erosividade da chuva de Wischmeier  $R_w$  com a quantidade de precipitação  $P_w$ , para cada chuva de acordo, com a metodologia de Wischmeier, em que foi obtido um muito bom ajustamento, com  $r^2 > 0,92$ , tendo-se obtido as relações:

$$R_w = 12,27 \cdot P_w - 237,0 \quad (12), \text{ ou,}$$

$$R_w = 0,244 \cdot P_w^{1,750} \quad (13)$$



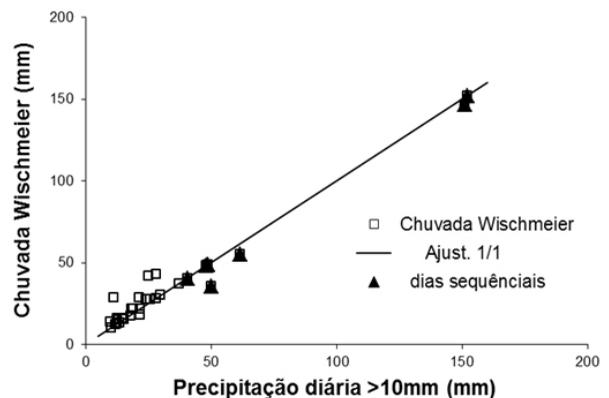
**Figura 4** – Relação erosividade ( $R_w$ ) - precipitação ( $P_w$ ).

Na Figura 5 apresenta-se a relação entre o valor da chuva de Wischmeier  $P_w$  e a quantidade de precipitação diária superior a 10,0 mm ( $P_{10s}$ ), em que foi obtido um muito bom ajustamento, com  $r^2 > 0,96$ , com as relações:

$$P_w = 0,944 \cdot P_{10s} - 3,51 \quad (14), \text{ ou,}$$

$$P_w = 0,995 \cdot P_{10s} \quad (15)$$

**Chuvada Wischmeier vs. Precipitação diária >10mm**



**Figura 5** – Relação chuva de Wischmeier ( $P_w$ ) - quantidade de precipitação diária superior a 10,0 mm ( $P_{10s}$ ).

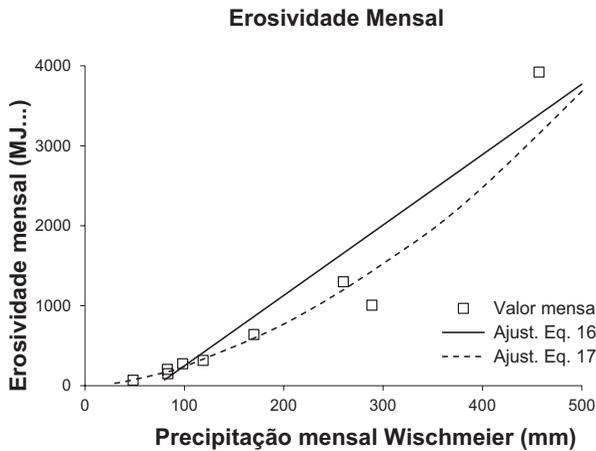
Observou-se que sequências de dias chuvosos com quantidades de precipitação de 35 a 40 mm ( $P_{10s}$ ) pertenciam, em geral à mesma chuva de Wischmeier.

Na Figura 6 apresenta-se a relação entre o valor da erosividade mensal  $R_m$  e a precipitação mensal de

Wischmeier  $P_{Wm}$  (ou precipitação mensal erosiva), em que a correlação monomial apresenta um ajustamento muito bom, com  $r^2 > 0,96$ . As relações encontradas são:

$$R_m \approx 8,81 \cdot P_{Wm} - 632,9 \quad (16) \text{ ou,}$$

$$R_m \approx 0,102 \cdot P_{Wm}^{1,686} \quad (17)$$



**Figura 6** – Relação erosividade mensal ( $R_m$ ) - precipitação mensal de Wischmeier ( $P_{Wm}$ ).

Na Figura 7 apresenta-se a relação entre o valor da erosividade mensal  $R_m$  e a precipitação mensal de dias com precipitação superior a 10,0 mm,  $P_{10sm}$  (contabilizando chuvadas sequenciais), em que a correlação monomial apresenta um ajustamento muito bom, com  $r^2 > 0,96$ , com as relações:

$$R_m \approx 8,20 \cdot P_{10sm} - 508,8 \quad (18) \text{ ou,}$$

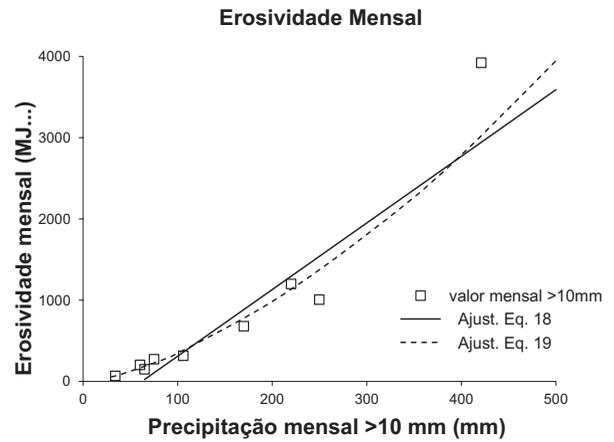
$$R_m \approx 0,102 \cdot P_{10sm}^{1,503} \quad (19)$$

A regressão preliminar entre a erosividade mensal  $R_m$ , a precipitação mensal, de dias com precipitação superior a 10,0 mm,  $P_{10ms}$  e o número de dias de precipitação superior a 10,0 mm,  $d_{10s}$  obtida para a Madeira é dado pela seguinte expressão, com  $r^2 \approx 0,93$ .

$$R_m \approx 9,14 \cdot P_{10sm} - 117,0 \cdot d_{10s} \quad (20)$$

Uma regressão semelhante foi, anteriormente, determinada para o Algarve (Loureiro e Coutinho, 2001), nomeadamente:

$$R_m \approx 7,05 \cdot P_{10sm} - 88,9 \cdot d_{10s} \quad (21)$$



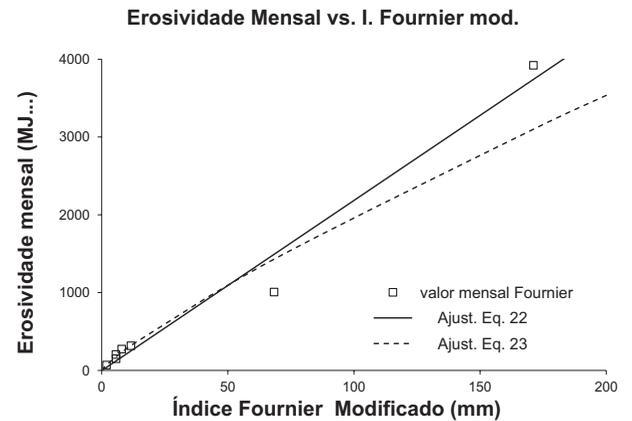
**Figura 7** – Relação erosividade mensal ( $R_m$ ) - precipitação mensal de dias com precipitação superior a 10,0 mm ( $P_{10sm}$ ).

Considera-se, no entanto, que o esforço e cuidado suplementar para o processamento duma regressão múltipla deste tipo não compensa o esforço face ao diminuto valor acrescentado obtido.

Na Figura 8 apresenta-se a relação entre a erosividade mensal  $R_m$  e o Índice de Fournier Modificado mensal  $IF_{Mm}$ , em que se obteve um muito bom ajustamento, com  $r^2 > 0,95$ :

$$R_m \approx 21,87 \cdot IF_{Mm} - 16,4 \quad (22) \text{ ou,}$$

$$R_m \approx 40,67 \cdot IF_{Mm}^{0,843} \quad (23)$$



**Figura 8** – Relação erosividade mensal ( $R_m$ ) - Índice de Fournier Modificado mensal ( $IF_{Mm}$ ).

Considera-se que a correlação através do Índice de Fournier Modificado constitui a melhor metodologia, quando não estão disponíveis valores de precipitação diária.

Foi analisada a relação entre a erosividade anual,  $R_a$ , e o Índice de Fournier Modificado anual,  $IF_{Ma'}$ , mas, as correlações obtidas em termos anuais conduziram a estimativas de baixo rigor, uma vez que o coeficiente de determinação,  $r^2$  é geralmente inferior a 0,7. As equações obtidas são as seguintes:

$$R_a \approx 11,75 \cdot IF_{Ma'} - 133,6 \quad (24) \text{ ou,}$$

$$R_a \approx 4,66 \cdot IF_{Ma'}^{1,154} \quad (25)$$

Com base nas correlações estabelecidas e numa fase preliminar dos estudos em que não foram ainda processados todos os dados, a metodologia desenvolvida permitiu o cálculo do parâmetro de erosividade da RUSLE em base anual e por acontecimento, para a ilha da Madeira. Para a região do Funchal, foi obtida a relação, com  $r^2 \approx 0,82$ .

$$R_a \approx 1,95 \cdot P_a - 619,1 \quad (26)$$

onde,  $R_a$  e  $P_a$  representam as grandezas anteriormente descritas.

Face à concordância dos resultados com dados e equações regionais semelhantes, obtidas para outras regiões de Portugal, considera-se que a abordagem desenvolvida é consistente, podendo ser extrapolada para regiões climáticas homogêneas, em base anual ou para outros períodos.

## Conclusões

A partir de estudos de erosividade da precipitação, recentemente elaborados para a ilha da Madeira e considerando outros estudos anteriores, podem ser apresentadas as seguintes conclusões, com carácter preliminar:

- Observaram-se muito boas relações entre o parâmetro de erosividade de Wischmeier  $R_w$  e o valor da precipitação  $P_w$  para cada chuvada, bem como entre os valores da chuvada de Wischmeier  $P_w$  e a precipitação, para dias com mais de 10 mm de chuva (precipitação erosiva)  $P_{10s}$  (sequencialmente acoplados);
- Obtiveram-se boas a muito boas relações entre erosividade mensal de Wischmeier  $R_{wm}$  e a precipitação mensal  $P_{wm}$  e  $P_{10sm}$  - precipitação mensal erosiva;
- Verificou-se que a regressão múltipla entre  $R_{wm}$ ,  $P_{10sm}$  e  $d_{10s}$  não conduz a melhoria significativa da precisão das estimativas;

d) A relação entre a erosividade mensal  $R_{wm}$  e o valor mensal do Índice de Fournier Modificado  $IF_{Mm}$  é significativamente melhor do que as relações mensais com  $P_{wm}$  ou  $P_{10sm}$ . Esta conclusão considera-se importante, particularmente para a extrapolação da metodologia a outros locais onde não existam dados de pormenor;

e) Anualmente, as relações entre a erosividade anual  $R_a$  e os valores anuais do Índice de Fournier Modificado  $IF_{Ma'}$  ou da precipitação anual  $P_a$  não são boas, pelo que é aconselhável a obtenção das estimativas anuais, por adição de valores mensais;

f) Para fins de planeamento é reconhecida a vantagem de estabelecer e dispor de relações regionais do tipo  $R = a \cdot P - b$ , porque estas são de simples aplicação.

O procedimento desenvolvido mostrou boa robustez e consistência que justificou a apresentação da proposta de metodologia para aplicação em casos de escassez de dados. Refere-se, todavia, que a sua aplicação a regiões de extensão elevada deva ser efectuada com as necessárias precauções e unicamente em situações de homogeneidade climática, o que geralmente implica que a área abrangida não ultrapasse 5 000 a 10 000 km<sup>2</sup>. Reconhece-se, a necessidade de aprofundar ainda o trabalho, para melhorar e otimizar a metodologia desenvolvida.

## Referências Bibliográficas

- Agroconsultores (2001) - *Carta de Aptidão da Terra de Entre-Douro e Minho*. IDRHa - Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica, Lisboa, 53 p.
- Agroconsultores (2003) - *Carta de Aptidão e Uso da Terra, Zona Interior Centro (ZIC)* IDRHa - Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica, Lisboa, 71 p.
- Almeida, A.B.; Oliveira, R.P.; Gonçalves, A.B.; Flor, A.F.; Sousa, A.J.; Coutinho, M.A.; Ferreira, R.L.; Pereira, M.J.; Pereira, M.C.; Lousada, M.S.; Matias, M.P.; Pina, P.; Heleno, S.; Lira, C. (2010) - Estudo de avaliação do risco de aluviões na Ilha da Madeira. Relatório Técnico. Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira, Instituto Superior Técnico, Universidade da Madeira, Laboratório Regional de Engenharia Civil. [citado 2012-09-23]. Disponível em: <[https://fenix.ist.utl.pt/publico/showResearchResult.do?resultId=1370095028753&method=showPublication&contentContextPath\\_PATH=/investigacao/cehidro/lateral/listpublicacoes/](https://fenix.ist.utl.pt/publico/showResearchResult.do?resultId=1370095028753&method=showPublication&contentContextPath_PATH=/investigacao/cehidro/lateral/listpublicacoes/)>

- publicacoes&\_request\_checksum\_=88ef34c3dc67486ec81301dda530103c7badaa5c>
- 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. e Antunes, C. R. (2011) - An optimized methodology to estimate the USLE/RUSLE R parameter in the Portuguese Madeira island and in the southern Mediterranean region. In: *Proceedings - 6<sup>th</sup> International Congress of ESSC Thessalonica*, Grécia, p. 92.
- Coutinho, M. A. e Tomás, P. P. (1993) - *Erosão Hídrica dos Solos em Pequenas Bacias Hidrográficas, Aplicação da Equação Universal de Degradação de Solos*. Publicação nº 7/93, CEHIDRO – Instituto Superior Técnico, Lisboa, 25 p.
- Coutinho, M.A. e Tomás, P.P. (1995) - Characterization of raindrop size distributions at the Vale Formoso Experimental Erosion Center. *Catena*, vol. 25, n. 2, p. 187-197.
- HIDROPROJECTO, COBA, HIDROTÉCNICA (2001a) - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana - Relatório Final*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água. Lisboa, 732 p.
- HIDROPROJECTO, COBA, HIDROTÉCNICA (2001b) - *Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Sado e Mira - Relatório Final*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, DRAA-lentejo. Lisboa, 675 p.
- Loureiro, N.S. e Coutinho, M.A. (2001) - A new procedure to estimate RUSLE  $EI_{30}$  index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. *Journal of Hydrology*, vol. 250, n. 1, p. 12-18.
- Loureiro, N. S. e Coutinho, M.A. (1995) - Rainfall changes and rainfall erosivity increase in the Algarve (Portugal). *Catena*, vol. 24, n. 2, p. 187-197.
- Lujan, D. L. e Gabriels, D. (2005) - Assessing the Rain Erosivity and Rain Distribution in Different Agro-climatological Zones in Venezuela. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, Special Issue, May 2005, p.16-29.
- 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, L.K. e Yoder, D.C. (1997) - *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook No. 703. Washington, USA, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 384 p.
- Silva, A. M. (2004) - Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, vol.57, p. 251-259.
- Tomás, P. P. e Coutinho, M. A. (1993) - *Estudo do parâmetro de erosividade da Equação Universal de Degradação de Solos*. Publicação nº 2/93, CEHIDRO - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 17 p.
- Wischmeier, W.H. e Smith, D.D. (1978) - *Predicting Rainfall Erosion Losses: A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook No. 537. Washington, USA, U.S. Department of Agriculture, 58 p.