

Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2

Nota técnica C1, C2, C3 e C4

Erosão Hídrica

Erosão específica. Ameaça de erosão “in situ”.

Dezembro de 2017



Erosão Hídrica

Erosão específica. Ameaça de erosão “in situ”.

| Ficha do documento | |
|---------------------------|--|
| Projecto | Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2 |
| Coordenação | António Betâmio da Almeida (IST), Rodrigo Proença de Oliveira (IST), Paulo França (UMa) |
| Cliente | Governo Regional da Madeira / Direcção-Regional de Infra-estruturas e equipamentos |
| Documento | Nota Técnica C1, C2, C3 e C4. Erosão Hídrica. Erosão específica. Ameaça de erosão “in situ”. |
| Autores | Miguel Azevedo Coutinho; Rodrigo Proença de Oliveira; Cláudia Caetano |
| Data | Dezembro de 2017 |
| Versão | Versão para divulgação pública |



Erosão Hídrica

Erosão específica. Ameaça de erosão “in situ”.

Índice de texto

| | |
|--|-----|
| Índice de texto..... | iii |
| Índice de figuras | iv |
| Índice de quadros..... | v |
| 1 Enquadramento | 1 |
| 2 Âmbito e objectivos | 2 |
| 3 Metodologia..... | 3 |
| 3.1 Equação Universal da Perda de solo (USLE)..... | 3 |
| 4 Aplicação da metodologia preconizada | 6 |
| 4.1 Erosividade da precipitação, R | 7 |
| 4.2 Erodibilidade do solo, K..... | 10 |
| 4.3 Factor fisiográfico, LS | 11 |
| 4.4 Factor de coberto vegetal, C | 11 |
| 4.5 Factor de prática agrícola, P..... | 11 |
| 4.6 Ameaça da erosão do solo “in situ” | 12 |
| 5 Resultados preliminares..... | 12 |
| 6 Síntese e conclusões | 20 |
| 7 Referências bibliográficas | 21 |
| Anexos..... | 23 |
| Anexo A – Cartas de precipitação anual média consoante as técnicas. Krigagem, idw e cokrigagem. | 23 |
| Anexo B – Tipo de solo | 26 |
| Anexo C – Carta de declives da ilha da Madeira | 28 |
| Anexo D – Uso do solo..... | 29 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2: Carta da erosividade da precipitação, equação R_2 | 9 |
| Figura 1: Carta da erosividade da precipitação, equação R_1 | 9 |
| Figura 3: Carta da erosividade da precipitação, equação R_2' | 10 |
| Figura 4: Carta da erosividade da precipitação, equação R_3 | 10 |
| Figura 5: Carta da erosividade da precipitação (R_2') para a ilha da Madeira..... | 13 |
| Figura 6: Carta do factor de erodibilidade dos solos (K) para a ilha da Madeira..... | 14 |
| Figura 7: Carta do factor fisiográfico (LS) para a ilha da Madeira..... | 15 |
| Figura 8: Carta relativa ao factor de coberto vegetal (C) para a ilha da Madeira..... | 16 |
| Figura 9: Carta do factor de prática agrícola (P) para a ilha da Madeira. | 17 |
| Figura 10: Carta da erosão hídrica (E) para a ilha da Madeira..... | 18 |
| Figura 11: Ameaça de erosão hídrica na ilha da Madeira. | 19 |
| Figura A.1: Distribuição da precipitação anual média (mm) - krigagem..... | 23 |
| Figura A.2: Distribuição da precipitação anual média (mm) - IDW..... | 24 |
| Figura A.3: Distribuição da precipitação anual média (mm) - cokrigagem..... | 25 |
| Figura C.1: Carta de declives (%) da ilha da Madeira..... | 28 |

Índice de quadros

| | |
|---|----|
| Quadro 1: Códigos de estrutura (α) e permeabilidade (β)..... | 5 |
| Quadro 2: Precipitação anual média (mm) e Índice Modificado de Fournier para os postos considerados. | 8 |
| Quadro B.1: Dados analíticos do solo e valor de K adoptado ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1} \cdot ano^{-1}$)..... | 26 |
| Quadro D.1: Descrição, código COSRAM, área e valor do factor de cultura e uso (C) atribuído às classes de uso e ocupação..... | 29 |



Erosão Hídrica

Erosão específica. Ameaça de erosão “in situ”

1 Enquadramento

Este documento foi produzido no âmbito da 2ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira (EARAM2), um projeto desenvolvido para o Governo Regional da Madeira por um consórcio constituído pelo Instituto Superior Técnico (IST), pela Associação para o Desenvolvimento do IST (ADIST) e pela Universidade da Madeira (UMa).

O EARAM2 constitui a sequência à 1ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira, lançado pela Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira (SRES) após o acontecimento hidrológico ocorrido em 20 de Fevereiro de 2010. Os trabalhos da referida 1ª Fase decorreram entre 1 de Maio e 31 de Dezembro de 2010 e tiveram os seguintes objetivos gerais:

- Caracterização fenomenológica do evento de 20 de Fevereiro;
- Avaliação dos riscos associados às aluviões na Ilha da Madeira;
- Estabelecimento de princípios gerais de orientação das intervenções de prevenção e proteção.

O âmbito geográfico desta 1ª fase compreendeu a área abrangida pelas bacias hidrográficas mais afetadas pelo evento de 20 de Fevereiro de 2010: as bacias das ribeiras de João Gomes, Santa Luzia e São João, do Concelho do Funchal, e as bacias das ribeiras da Ribeira Brava e Tabua, do Concelho da Ribeira Brava.

A descrição dos estudos efetuados, as principais conclusões obtidas e os princípios orientadores propostos foram apresentados no Relatório Final (Dezembro de 2010), no Relatório-Síntese (Novembro de 2010) e no relatório com os Princípios Orientadores (Agosto de 2010).

O EARAM2 complementa os trabalhos da 1ª fase do projeto e tem os seguintes objetivos estratégicos:

- Aprofundar o conhecimento sobre o fenómeno dos aluviões, melhorar da metodologia para avaliação do risco e contribuir para a implementação da Diretiva da EU sobre cheias e inundações (Diretiva 2007/60/CE) à Região Autónoma da Madeira;
- Estender a avaliação do risco a toda a ilha da Madeira;
- Conceber o sistema de previsão e aviso de aluviões;
- Avaliar os condicionalismos sociais na prevenção do risco de aluviões

- Desenvolver ações de divulgação pública e de formação sobre este tipo de risco.

Este documento é um dos produtos intermédios do EARAM2 e tem por principal objetivo a partilha de informação entre os elementos da equipa IST/UMa e dos vários organismos da administração regional que acompanham o projeto. Pode ser objeto de revisão e atualização frequente e deve, por isso, ser lido como documento de trabalho. A versão final do documento será integrada no relatório final do projeto.

2 Âmbito e objetivos

A catástrofe que ocorreu na ilha da Madeira a 20 de Fevereiro de 2010, com intensos fluxos de detritos, originou uma enorme devastação por todo o território e um elevado número de perdas de vidas. Sendo a erosão hídrica uma componente importante do fenómeno destaca-se neste estudo.

Entende-se por erosão hídrica a desagregação e o transporte de material sólido - sedimentos – com origem nos solos e rochas da litosfera. No processo erosivo é possível distinguir diversas fases, como: a meteorização das rochas superficiais; a desagregação dos solos e das rochas superficiais; o destacamento das partículas superficiais, pelos agentes erosivos, pela precipitação e pelo escoamento; o transporte dos sedimentos erodidos (no espaço interfluvial e rede de drenagem), fundamentalmente, pelo escoamento superficial; a deposição de sedimentos (na rede de drenagem ou em meio recetor); e a consolidação de sedimentos, nos meios recetores.

Como principais origens de fluxos de material sólido consideram-se três tipos de erosão hídrica no espaço interfluvial:

- Erosão distribuída - provocada por escoamento distribuído sobre o terreno, em encostas e bacias de receção;
- Erosão localizada - resultante de escoamento concentrado, que provoca sulcos, ravinas ou incisão de canais incipientes;
- Mobilização e transporte de sedimentos - provenientes de movimentos de vertente ou de massa, pelo escoamento distribuído ou concentrado.

A erosão espacialmente distribuída no espaço interfluvial que não está associada a escoamentos concentrados, designa-se por erosão distribuída ou laminar sendo este o caso de estudo abordado no presente trabalho. Designa-se também por erosão específica por ser habitualmente quantificada em volume ou peso por unidade de área e para uma determinada duração.

Sendo este estudo (EARAM2) uma sequência da 1ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira, parte da informação teórica disponibilizada neste relatório foi baseada no Anexo E do EARAM.

Como principal objetivo, este estudo pretende obter a carta com a distribuição dos valores estimados de perda de solo e conseqüentemente a distribuição dos níveis de ameaça de perda de solo, para a totalidade do território da ilha da Madeira. Para atingir devidamente

o objetivo deste trabalho é importante que se concretize os seguintes aspetos, baseados, fundamentalmente, na metodologia de Wischmeier, com os aperfeiçoamentos introduzidos pela RUSLE:

- Elaboração da carta de erosividade de precipitação da ilha após produção das cartas de precipitação anual média e do Índice Modificado de Fournier;
- Elaboração da carta de erodibilidade dos solos através da análise da tipologia dos diversos solos existentes na carta de solos da ilha da Madeira;
- Elaboração da carta do fator LS para a ilha da Madeira sendo necessário previamente produzir as cartas de declives da ilha, densidade de drenagem e comprimento de encosta;
- Identificação e localização das zonas de terraços e socacos.

Devido ao número limitado de postos com dados de precipitação subdiária e subhorária a erosividade da precipitação teve de ser obtida por equações de correlação entre o Índice Modificado de Fournier e o parâmetro de Wischmeier, estabelecidos para o posto do Funchal, para postos do sul de Portugal ou através de relações disponíveis na literatura.

3 Metodologia

3.1 Equação Universal da Perda de solo (USLE)

Para a análise e estimativa dos níveis de incidência da erosão considera-se que a metodologia mais adequada face aos condicionamentos e dados disponíveis é a aplicação da Equação Universal da Perda de Solo – EUPS (USLE), com os necessários ajustamentos.

A metodologia preconizada por Wischmeier e Smith em 1965 foi aplicada com as atualizações entretanto sugeridas em 1978 e outras adaptações introduzidas pelo formalismo da Equação Universal da Perda de Solo Revista - EUPSR (*Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE*) (Renard et al., 1997), com os ajustamentos e as condições compatíveis com os dados disponíveis.

De referir que cada parâmetro do processo erosivo das metodologias USLE e RUSLE é traduzido por um fator. Assim, do produto dos fatores obtém-se a estimativa de perda de solo. A equação é representada pela expressão:

$$E = R \times K \times LS \times C \times P \quad (3.1)$$

Em que:

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

Referem-se, seguidamente de forma resumida, aspetos teóricos relativos a cada um dos parâmetros da equação. Esta metodologia encontra-se desenvolvida de forma mais pormenorizada no relatório e anexo E da fase 1.

3.1.1 Erosividade da precipitação, *R*

Para proceder ao cálculo do fator 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·mm·h⁻¹·ha⁻¹, obtém-se através da aplicação da equação (Equação 3.2) apresentada de seguida. Habitualmente, a duração dos períodos analisados é de um ano.

$$R_i = \sum_{j=1}^m E \times I_{30j} \quad (3.2)$$

O valor do índice EI₃₀ (índice de erosividade de Wischmeier - *R*), para cada acontecimento pluvioso (chuvada *j*), é obtido pelo produto da energia cinética total da precipitação pela máxima intensidade da precipitação com a duração de 30 minutos. Expressa-se, geralmente, em termos específicos, por unidade de área e tempo, em MJ·mm·h⁻¹·ha⁻¹·ano⁻¹, através da expressão seguinte (Equação 3.3):

$$E \times I_{30j} = \left(\sum_{k=1}^q e_k \times p_k \right) \times I_{30 \text{ máx}_j} \quad (3.3)$$

A energia cinética da precipitação - *e_k* - para um período - *k* - de intensidade constante, obtém-se pelas Equações 3.4 e 3.5 (Foster et al., 1981):

$$e_k = 0.119 + 0.0873 \times \log_{10} I_k, \text{ para } I_k \leq 76 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1} \quad (3.4)$$

$$e_k = 0.263, \text{ para } I_k > 76 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1} \quad (3.5)$$

Para um período de características médias, usualmente uma normal climática, a erosividade anual média é obtida pela expressão:

$$R_{\text{méd}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (3.6)$$

Em que:

R_{méd} - Erosividade anual média;

R_i - Erosividade no ano - *i*;

n - Número de anos do período.

3.1.2 Erodibilidade dos solos, *K*

O fator de erodibilidade do solo - *K* – é expresso através de um valor da perda de solo por unidade de erosividade da precipitação, num talhão de encosta em condições padrão (9% de declive e 22.13 m de comprimento, em cama de sementeira, mobilizado no sentido de maior declive). É contabilizado em peso por unidade de fator de erosividade, ou seja, t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹.

A erodibilidade do solo é resultante das características do solo, sendo estas obtidas através dos dados analíticos das unidades dos solos que se encontram referenciados na Carta de Solos da Ilha da Madeira (DRA-RAM, 1992).

Para quantificar a erodibilidade do solo é possível recorrer-se a um monograma ou aplicar a expressão apresentada seguidamente (Equação 3.7), tendo esta sido aplicada no presente estudo:

$$K = \frac{2.1 \times M^{1.14} \times (12 - Mo) + 3.25 \times (\alpha - 2) + 2.5 \times (\beta - 3)}{759.3} \quad (3.7)$$

Em que:

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

Mo - Matéria orgânica (%);

α - Código de classe de estrutura do solo (1 a 4);

β - 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 correspondem, respectivamente, a:

Quadro 1: Códigos de estrutura (α) e permeabilidade (β).

| Código de estrutura (α) | Designação | Código de permeabilidade (β) | 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 |

3.1.3 Fator fisiográfico, LS

O fator de comprimento de encosta - L (adimensional) - corresponde à relação entre os comprimentos da encosta e do talhão de referência, com o comprimento de 22.13 m. Relativamente ao fator de declive da encosta - S (adimensional) - corresponde à relação entre os declives da encosta e do talhão de referência, com declive de 9%. Habitualmente, estes dois fatores são agrupados e calculados simultaneamente e o valor deste combinado designa-se de fator fisiográfico.

Para o cálculo do fator de comprimento - L - aplica-se a Equação 3.8:

$$L = \left(\frac{\lambda_e}{22.13} \right)^m \quad (3.8)$$

Em que:

λ_e - Comprimento da encosta (m);

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

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

Para o cálculo do fator de declive - S – utilizam-se as expressões seguintes (Equação 3.9 e 3.10):

$$S = 10.8 \times \sin \theta + 0.03, \text{ para } s \leq 9\% \quad (3.9)$$

$$S = 16.8 \times \sin \theta - 0.03, \text{ para } s > 9\% \quad (3.10)$$

Em que:

θ - Ângulo da encosta com a horizontal, em $^\circ$ \angle ;

s - Declive da encosta, em %.

3.1.4 Fator de coberto vegetal, C

Quanto ao fator do coberto vegetal - C (adimensional) - este representa a relação entre as perdas de solo observadas com os cobertos vegetais existentes e o valor para a situação de referência – alqueive verde. Este parâmetro varia entre 0 e 1, considerando-se assim em lados opostos uma cultura de máxima cobertura (área protegida = 100 %) e uma cultura inexistente (área protegida = 0 %), respetivamente.

No cálculo do fator para usos agrícolas e florestais é necessário ponderar os efeitos de cobertura do solo, sendo que estes variam consoante os calendários agrícolas, as diferentes fases vegetativas e a incidência da erosividade da precipitação ao longo do ano. Nos cobertos florestais, é importante atender aos diferentes estratos do coberto (canopies) e aos efeitos da interceção da precipitação pelo coberto e do gotejo que atinge o solo (Antunes, 1999, e Coutinho, 2000).

3.1.5 Factor de prática agrícola, P

Designa-se por fator de prática agrícola, ou de medidas de proteção do solo – P (adimensional) - o valor que traduz a relação entre as práticas agrícolas, de uso do solo, as medidas de proteção ou conservação efetivas e as condições de referência. Neste último caso considera-se que não se aplicam medidas de proteção e as culturas de lavouras são realizadas segundo as linhas de maior declive. O fator P varia entre 0 e 1, sendo 0 o caso que ocorre em situações de máxima proteção e estruturação (terraços de nível, com controlo do escoamento e da drenagem), enquanto com 1 existe uma ausência total de medidas de proteção (lavouras ao longo do maior declive).

4 Aplicação da metodologia preconizada

Tal como referido anteriormente, para a análise e estimativa da erosão hídrica distribuída na ilha da Madeira, foi aplicada a metodologia da Equação Universal da Perda de Solo - EUPS (Universal Soil Loss Equation - USLE), com as atualizações de 1978 e outras adaptações introduzidas pelo formalismo da Equação Universal da Perda de Solo Revista - EUPSR (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE).

A quantificação de níveis de erosão resultou da estimativa dos diferentes fatores, anteriormente mencionados. Apresenta-se em seguida a metodologia aplicada neste estudo em cada fator da expressão da perda de solo.

4.1 Erosividade da precipitação, R

Devido à morosidade, à falta de dados suficientes e ao cuidado necessário a ter no processo de estimativa do parâmetro da erosividade de precipitação de Wischmeier, utilizou-se uma equação de regressão simples (Coutinho e Tomás, 1993; Coutinho e Antunes, 2013; Mannaerts e Gabriels, 2000; Nazareno, 2004; Silva, 2004) que estabelece relações regionais, em base anual. Uma das expressões experimentadas neste estudo foi a equação linear obtida para o posto do Funchal, relativo a um conjunto incompleto de dados:

$$R_1 = 1.95 \times P - 619.1 \quad (4.1)$$

Em que:

R_1 - Erosividade média anual (MJ. mm. h⁻¹. ha⁻¹. ano⁻¹)

P - Precipitação média anual (mm. ano⁻¹)

Além desta, estabeleceram-se ainda relações entre R e o Índice Modificado de Fournier (IMF) (Arnoldus, 1977), tendo-se alcançado as expressões que se seguem:

$$R_2 = 1.68 \times IMF^{1.386} \quad (4.2)$$

$$R_2' = 1.365 \times IMF^{1.408} \quad (4.3)$$

$$R_3 = 13.79 \times IMF - 299.3 \quad (4.4)$$

Em que:

R_2, R_2', R_3 - Erosividade média anual (MJ. mm. h⁻¹. ha⁻¹. ano⁻¹);

IMF – Índice Modificado de Fournier.

De referir que a expressão 4.3 é resultado de um aperfeiçoamento efetuado à equação 4.2, com base em dados obtida para o posto do Funchal, para postos do sul de Portugal e para a ilha da Sicília (Fantappiè, et ali, 2014). Na estimação deste fator (R) considerou-se a precipitação anual média de 26 postos, sendo que, para a maioria dos postos os valores de precipitação correspondem ao período entre os anos hidrológicos de 1949/50 a 1979/80. Além destes, definiram-se ainda 6 postos fictícios estrategicamente localizados de forma a melhorar os resultados obtidos.

Os 32 postos utilizados nesta fase, tal como os valores de precipitação anual média e os valores de IMF estimados, e definidos para o caso das estações fictícias, poderão ser observadas no Quadro 2. A consideração de postos fictícios resultou da ponderação de valores por interpolação, na orla litoral e carta de precipitação do PRAM (SRA & INAG, 2003).

Quadro 2: Precipitação anual média (mm) e Índice Modificado de Fournier para os postos considerados.

| | 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 |
| Caniçal | 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 |
| A | 643.0 | 122.1 |
| B | 615.0 | 117.3 |
| C | 600.0 | 114.8 |
| D | 1370.0 | 240.4 |
| E | 1400.0 | 245.1 |
| F | 1060.0 | 191.1 |

Para obter a distribuição da precipitação anual média e Índice Modificado de Fournier consideraram-se três técnicas distintas do software ArcMap: krigagem, cokrigagem e idw (Inverse distance weighted). Os respetivos mapas de distribuição da precipitação anual média poderão ser consultados em anexo (Anexo A) nos quais se observa que a técnica cokrigagem apresenta resultados mais satisfatórios, em comparação com as cartas de

precipitação anual obtidas por krigagem e idw. Como tal, definiu-se que a técnica adoptada seria a cokrigagem.

Com recurso à aplicação da técnica de cokrigagem, obteve-se a distribuição do IMF para toda a área da ilha da Madeira o que permitiu elaborar cartas de erosividade da precipitação para as quatro equações de erosividade definidas anteriormente (Equações 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4). Estas cartas encontram-se representadas nas Figuras 1, 2, 3 e 4:

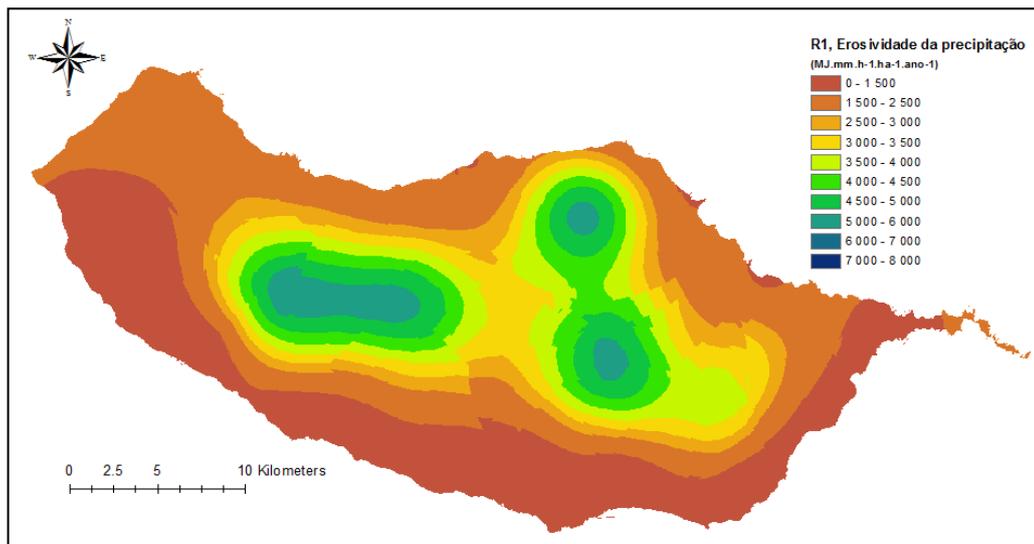


Figura 1: Carta da erosividade da precipitação, equação R₁.

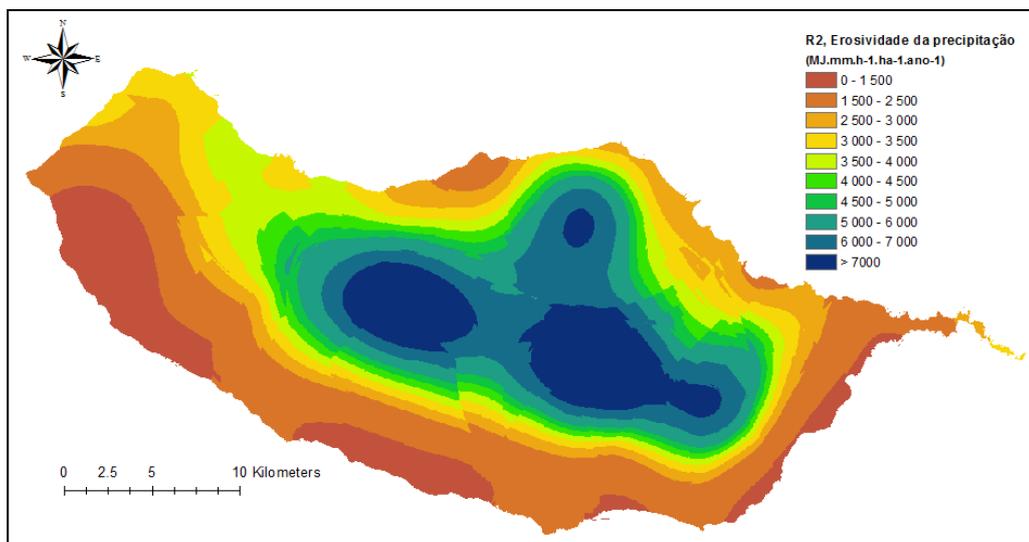


Figura 2: Carta da erosividade da precipitação, equação R₂.

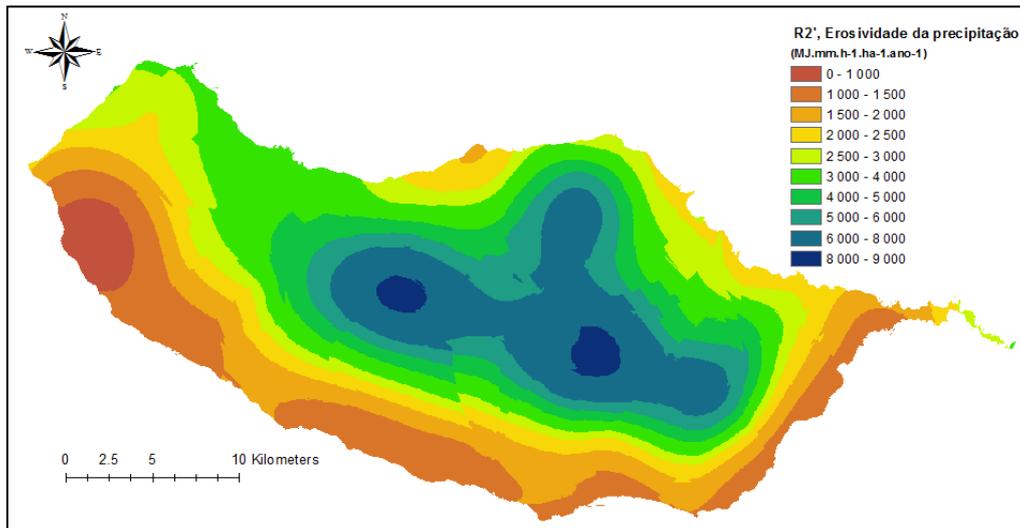


Figura 3: Carta da erosividade da precipitação, equação R_2' .

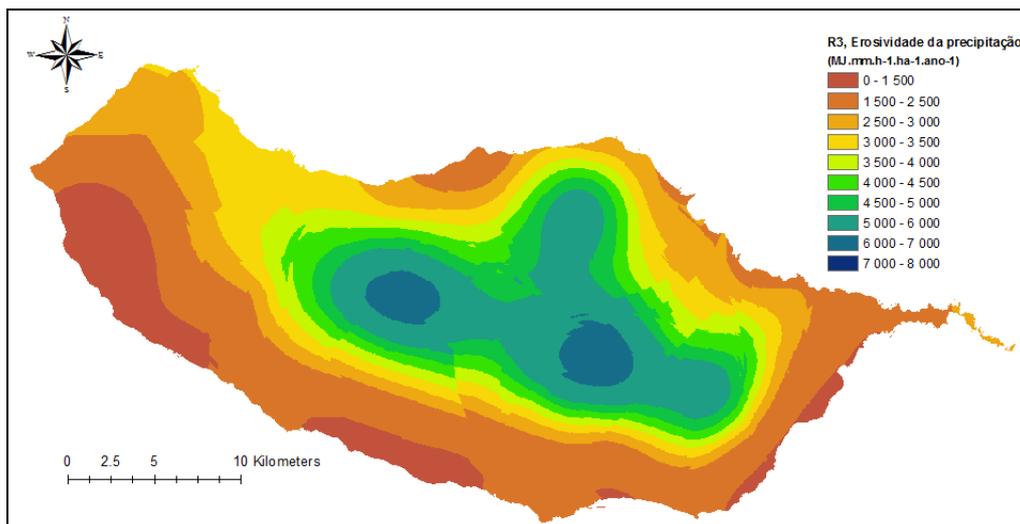


Figura 4: Carta da erosividade da precipitação, equação R_3 .

Foi decidido, para a estimativa da erosão hídrica (E) optar pelo uso dos valores de erosividade de precipitação resultantes da aplicação da expressão R_2' (Figura 3).

4.2 Erodibilidade do solo, K

O cálculo dos diversos fatores associados à erodibilidade do solo é relativamente complexo e requer algum conhecimento das condições locais, pelo que, neste trabalho, as estimativas restringiram-se maioritariamente à aplicação direta da equação descrita anteriormente, sem qualquer ajustamento e à adoção de valores de K resultantes da experiência, no caso de não existirem dados analíticos da textura, estrutura e permeabilidade do solo.

No cálculo de K para as unidades de solo foi tida em consideração a informação disponível, sobre texturas, estrutura e permeabilidade dos solos e, sempre que apropriado, as condicionantes de fases pedregosas, ou outras características particulares dos solos do horizonte superficial (consultar Anexo B). Sendo que esta informação foi obtida na Carta dos Solos da ilha da Madeira (DRA-RAM, 1992).

4.3 Fator fisiográfico, LS

No cálculo deste parâmetro aplicaram-se as equações enunciadas no sub-capítulo 3.1.3 (Equações 3.8, 3.9 e 3.10). No entanto, para obter o valor de comprimento de encosta (λ_e) necessário para estimar o fator de comprimento (L), aplicou-se a seguinte expressão (Equação 3.14):

$$\lambda_e = \frac{1}{2 \times Dd} \quad (3.14)$$

Em que:

Dd – Densidade de drenagem (m^{-1})

Definindo-se a densidade de drenagem (m/m^2) pelo quociente entre o comprimento de todos os cursos de água por uma determinada área, onde estes se encontram inseridos, o parâmetro L foi estimado com recurso a diversas ferramentas do software ArcMap. Quanto ao fator de declive da encosta, S, este foi calculado diretamente através de ferramentas do mesmo software. A carta de declives da ilha da Madeira obtida poderá ser consultada em anexo (Anexo C).

4.4 Fator de coberto vegetal, C

Na estimativa do fator de coberto vegetal utilizou-se, numa primeira abordagem, as subdivisões das classes de uso do solo da COSRAM (Carta de Ocupação do Solo da Região Autónoma da Madeira) e atribuiu-se valores ao parâmetro C consoante as respetivas características. Em anexo poderão ser consultados os vários valores de C definidos para as diferentes classes (Anexo D).

4.5 Fator de prática agrícola, P

Neste estudo, aplicou-se o valor 0.1 a toda a área da Madeira onde estejam identificados terraços/socalcos enquanto à restante área é atribuído o valor 1.0. Para identificar as áreas de terraços que se encontram dispersas pelo território da ilha cruzou-se informação relativa à ocupação do solo e ao tipo de solo. Das diversas classes de uso de solo consideradas, as que apresentam maior tendência a conterem terraços, tendo estas sido utilizadas na estimação do fator de prática agrícola, são: Agricultura com espaços naturais e seminaturais, Bananal, Cultura de cana-de-açúcar, Culturas temporárias de regadio associadas a pomar, Culturas temporárias de regadio associadas a vinha, Floricultura, Pomares de citrinos, Pomares de frutos tropicais, SAF de outras espécies com culturas temporárias de regadio, Sistemas culturais e parcelares complexos e vinhas. Através da Carta de Solos da ilha da Madeira identificaram-se os perfis de terreno que na descrição das suas características topográficas mencionam socalcos. Para a validação das áreas

resultantes do cruzamento destes dados, ou seja, terrenos correspondentes a terraços/socalcos, recorreu-se à validação pelo Google Earth.

4.6 Ameaça da erosão do solo “in situ”

Tendo por base o estudo realizado na Sicília sobre o risco da erosão do solo (Fantappiè, Priori, & Costantini, 2014) considerou-se pertinente estimar o número de anos necessários para que ocorra a depleção total do recurso edáfico - solo de cobertura, designando-se esta propriedade como ameaça da erosão do solo. De acordo com essa referência foram adotadas as seguintes classes de nível de ameaça de erosão do solo: a) **baixo**, sendo necessários mais de 500 anos para que exista erosão completa; b) **moderado**, em que o tempo para erosão completa varia entre os 100 e 500 anos; c) **alto**, considerando que existirá erosão completa do solo entre 10 e 100 anos; d) **muito alto**, onde serão necessários até, no máximo, 10 anos para se observar a erosão completa do solo de cobertura, representando esta a situação de ameaça mais preocupante.

Numa primeira abordagem adotou-se, para o peso volúmico aparente, um valor de 1.7 ton.m⁻³. Com recurso a este, à distribuição da erosão hídrica pela ilha e tendo ainda acesso aos valores de espessura do solo, estimou-se o número de anos associado à perda total do solo de cobertura, o que permitiu definir os vários níveis de ameaça da erosão hídrica.

5 Resultados preliminares

Tendo aplicado a metodologia descrita anteriormente obtiveram-se cartas para cada um dos fatores pertencentes à Equação Universal da Perda de Solo Revista (fatores: R, K, LS, C e P) e, através destes, a carta de erosão hídrica correspondente a toda a área da ilha da Madeira. Estimou-se ainda o nível de ameaça da erosão hídrica, subdividindo-se este em quatro classes distintas. As cartas mencionadas serão apresentadas adiante (Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11).

Na Figura 5, a erosividade de precipitação contém valores compreendidos entre cerca de 661 e 8 515 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹. O valor médio de erosividade de precipitação da ilha é de cerca de 2 960 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹. Quanto ao fator de erodibilidade dos solos (Figura 6), os valores variam entre 0.0001 e 0.0192 t.h.MJ⁻¹mm⁻¹, registando-se um valor médio de cerca de 0.008 t.h.MJ⁻¹mm⁻¹. O fator de comprimento de encosta L apresenta valores que variam entre 1.28 e 4.75 m. Relativamente ao fator de declive, os valores estimados variam entre 0.03 e 16.12. Do produto destes dois fatores, o fator fisiográfico (LS) obtido para toda a área da ilha da Madeira apresenta o valor máximo de cerca de 76.35 e valor médio de 22.74 (Figura 7). Como a área correspondente a terraços/socalcos é significativamente inferior à restante, como seria expectável, o fator de prática agrícola P apresenta o valor médio de cerca de 0.98 (Figura 8). Relativamente aos valores do fator de coberto vegetal atribuídos, estes 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 9).

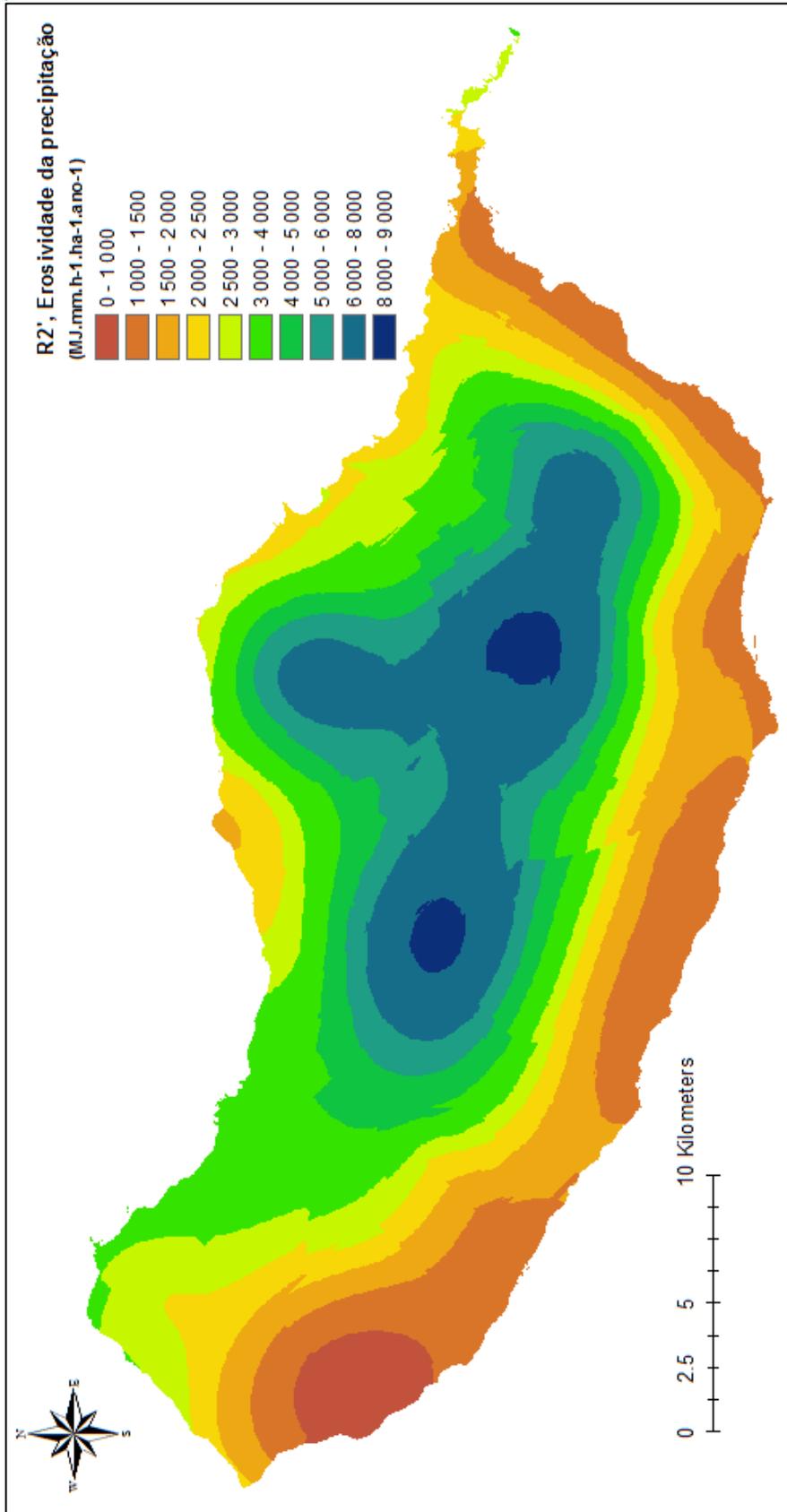


Figura 5: Carta da erosividade da precipitação (R₂') para a ilha da Madeira.

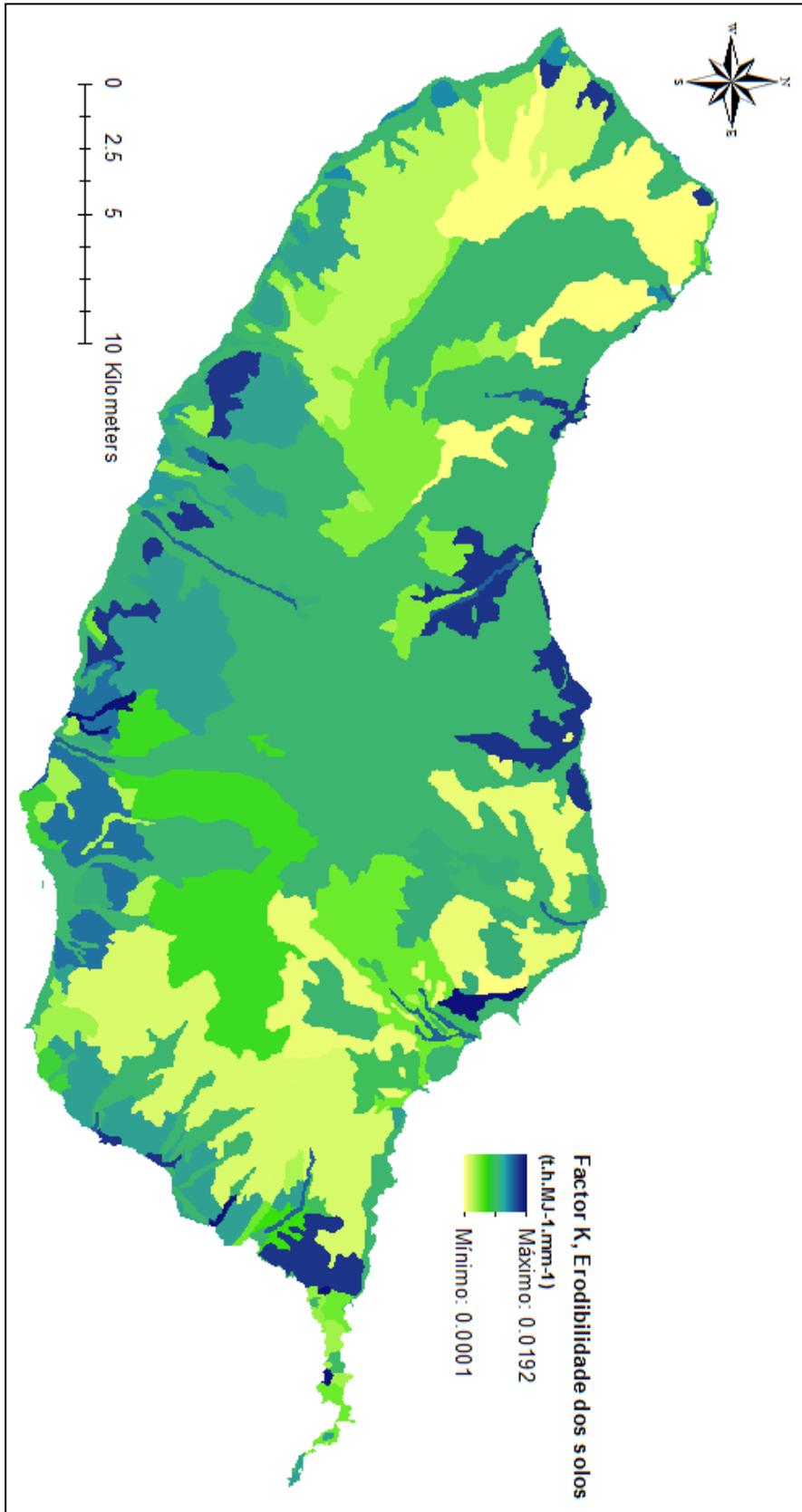


Figura 6: Carta do factor de erodibilidade dos solos (K) para a ilha da Madeira.

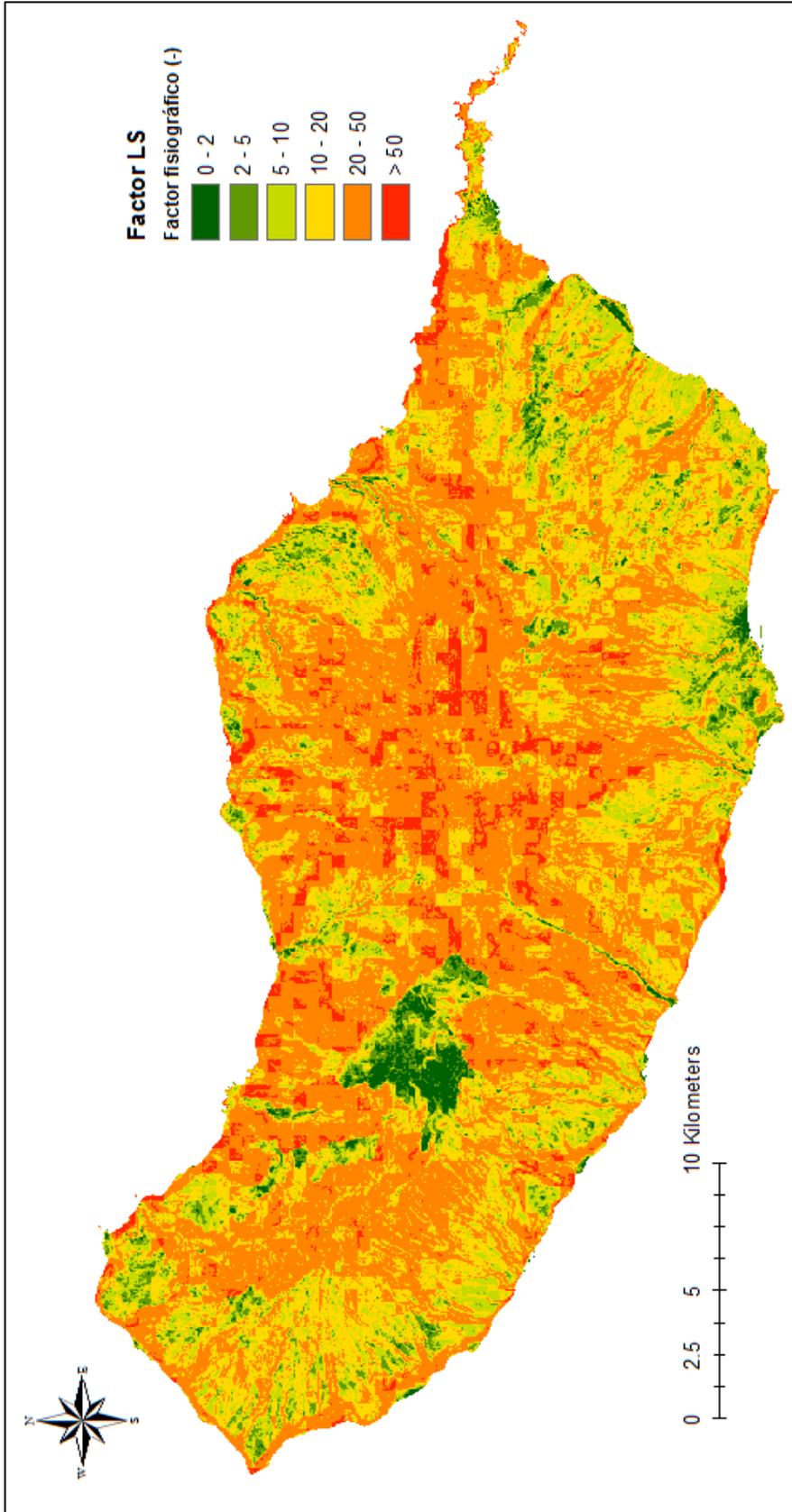


Figura 7: Carta do factor fisiográfico (LS) para a ilha da Madeira.

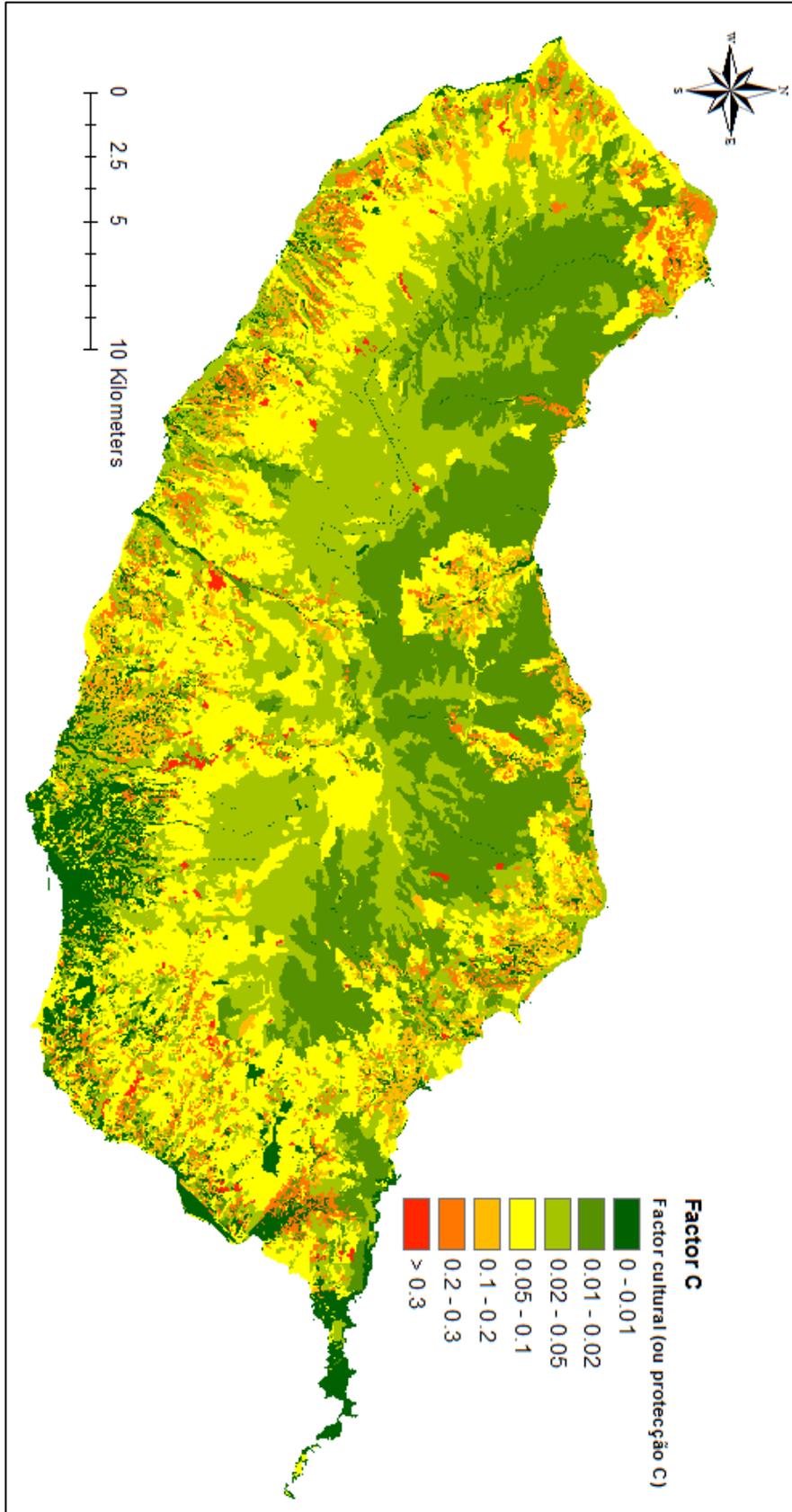


Figura 8: Carta relativa ao factor de coberto vegetal (C) para a ilha da Madeira.

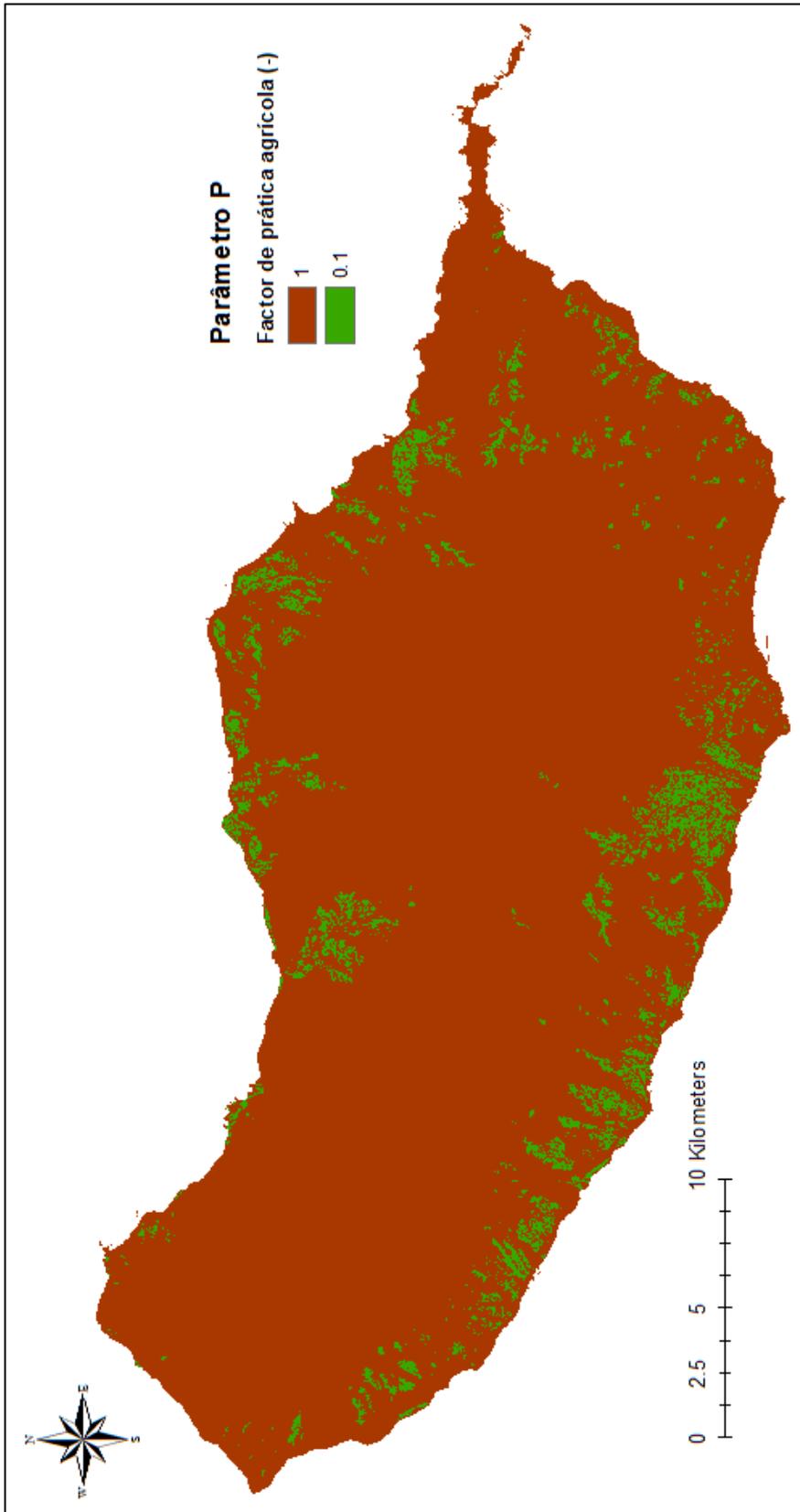


Figura 9: Carta do factor de prática agrícola (P) para a ilha da Madeira.

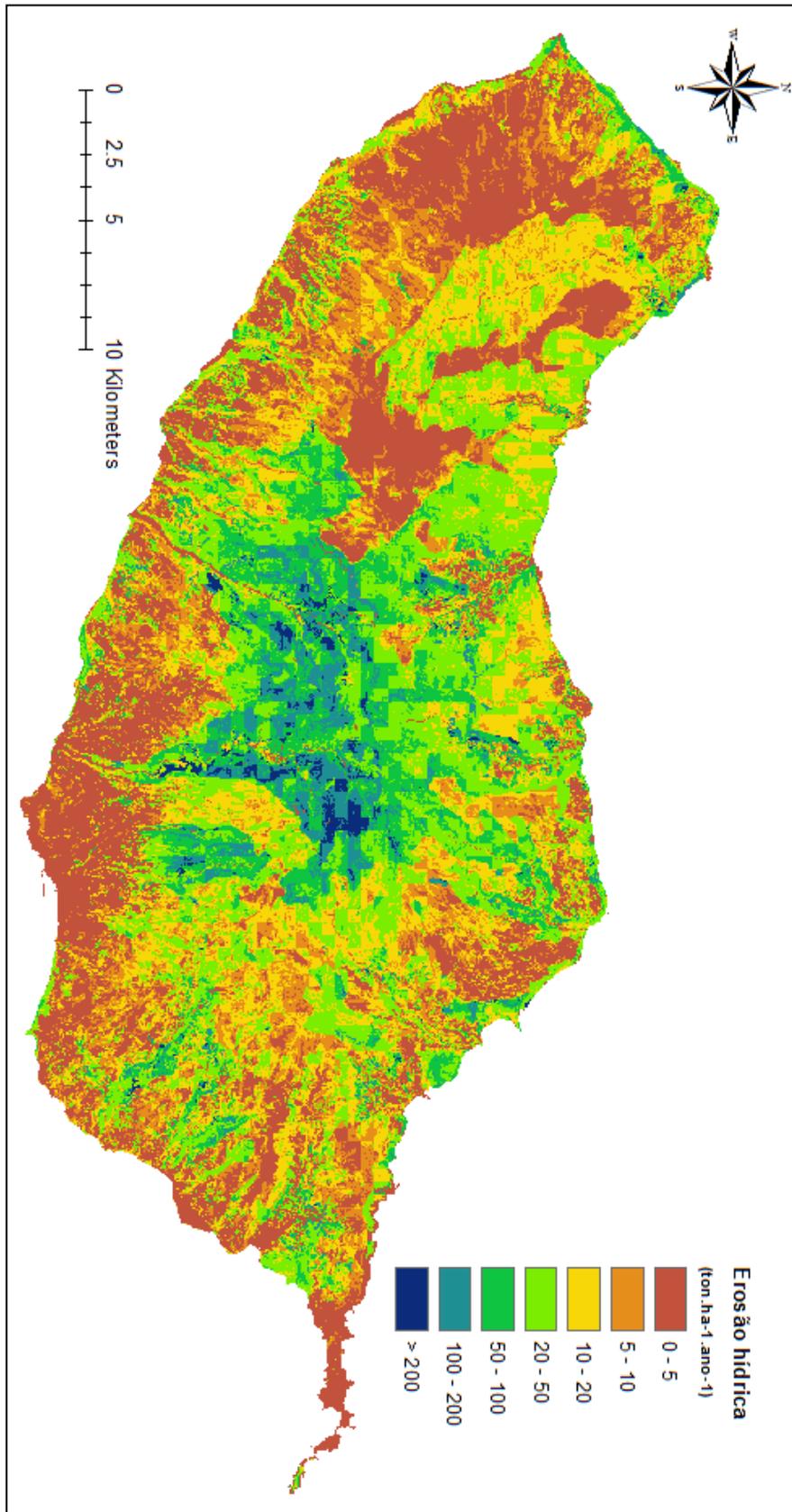


Figura 10: Carta da erosão hídrica (E) para a ilha da Madeira.

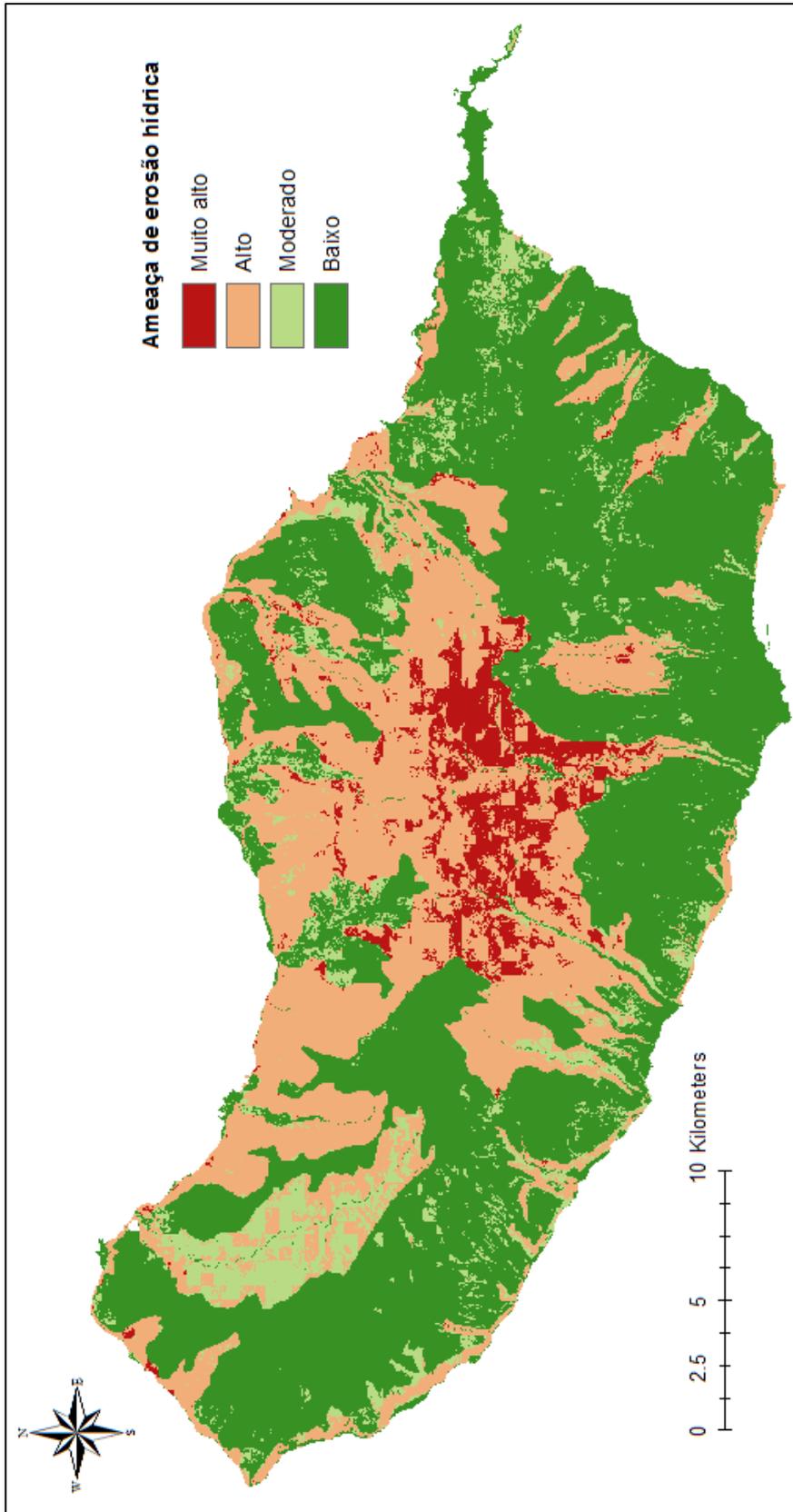


Figura 11: Ameaça de erosão hídrica na ilha da Madeira.

6 Síntese e conclusões

O valor médio global de erosão hídrica obtido para a ilha da Madeira é de cerca de $28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, sendo o valor máximo calculado de, aproximadamente, $920 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Verifica-se ainda que a zona central da ilha da Madeira apresenta valores elevados de perda de solo, tal como certas áreas localizadas junto à costa embora estas se apresentem em menor extensão. Observa-se ainda que, tal como esperado, zonas populacionais como é o caso do Funchal e outros núcleos urbanos apresentam valores relativamente baixos de erosão hídrica.

Quanto à ameaça da erosão hídrica, apesar do valor médio estimado para a total depleção do recurso edáfico ser de aproximadamente 21 727 anos, a área que corresponde aos níveis de ameaça muito alto e alto é significativa. Observa-se, ainda, que zonas que apresentam declives relativamente elevados têm associado um nível de ameaça de erosão hídrica alto (ou muito alto).

De referir que os resultados apresentados constituem valores preliminares uma vez que determinados fatores serão ainda mais aprofundados e que outras hipóteses serão estudadas, designadamente as associadas aos acontecimentos extremos de erosão e aos efeitos propagados para a rede de drenagem (off site effects).

No entanto, considera-se que, com esta primeira versão da carta de perda de solo obtida, é possível obter desde já, uma perceção da magnitude e distribuição do fenómeno erosivo na ilha da Madeira.

7 Referências bibliográficas

Antunes, C.R e Coutinho, M.A, 1999 - A Conceptual Model of Rainfall Interception for Tree and Bush Canopies. 10 th International Soil Conservation Organization Conference. 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 Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 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. Congresso Mundial do Sobreiro e da Cortiça. Centro Cultural de Belém. Lisboa, Portugal.

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.

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., & Costantini, E. a. C., 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.K., Renard, K. G., and Moldenhauer, W.C., 1981 - Conversion of the Universal soil Loss Equation to SI metric units. Journal of Soil and Water Conservation, Vol. Nov.-Dec., pp. 355-359.

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 (RUSLE). USDA, Agricultural Research Service, Agricultural Handbook, Nr. 703. Washington D.C. USA.

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, Soil Conservation Service, Agricultural Handbook, Nr. 537. Washington D.C. USA.



Anexos

Anexo A – Cartas de precipitação anual média consoante as técnicas. Krigagem, idw e cokrigagem.

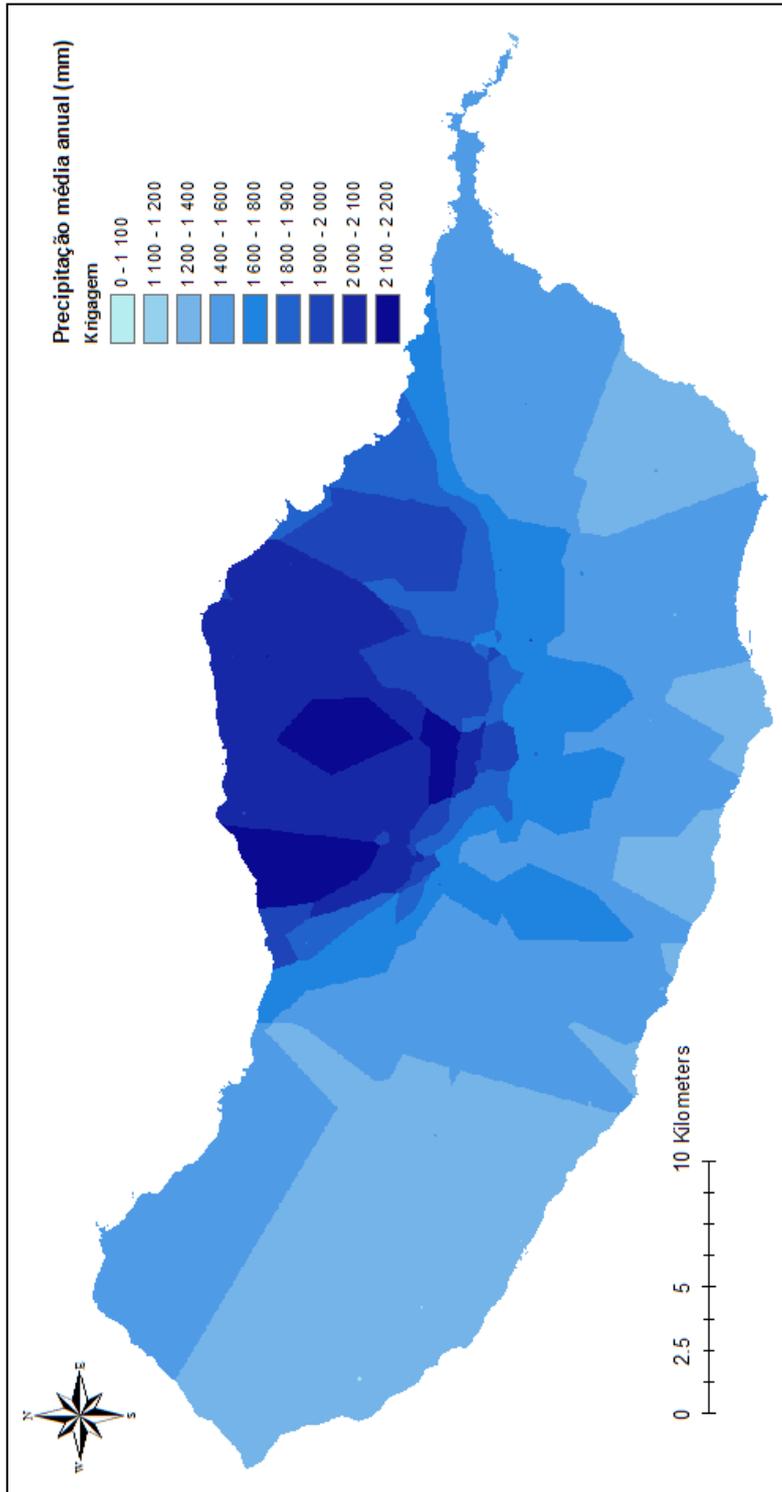


Figura A.112: Distribuição da precipitação anual média (mm) - krigagem.

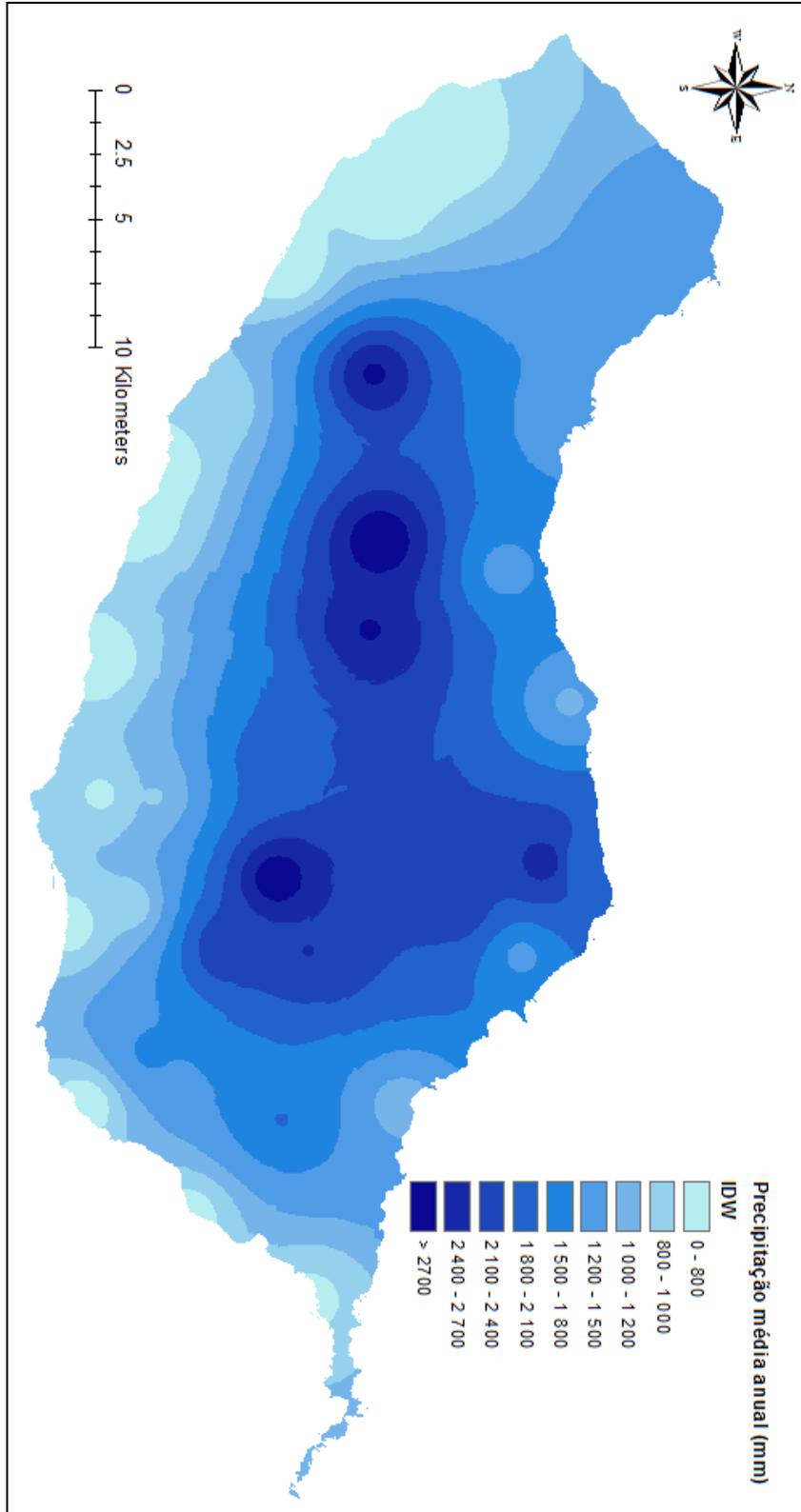


Figura 13: Distribuição da precipitação anual média (mm) - IDW.

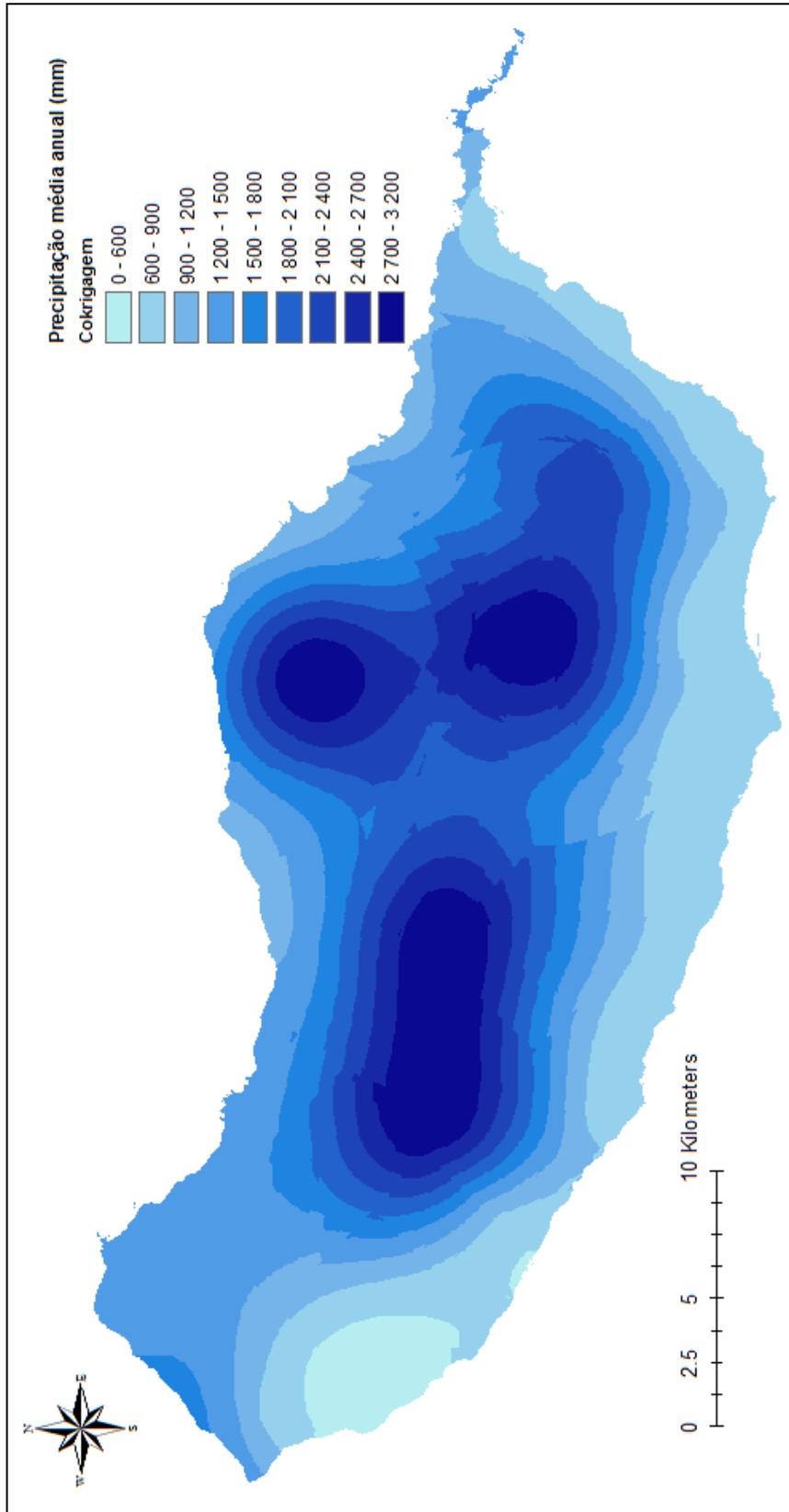


Figura 14: Distribuição da precipitação anual média (mm) - cokrigagem.

Anexo B – Tipo de solo
Quadro B.1: Dados analíticos do solo e valor de K adoptado (t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹·ano⁻¹).

| Sigla | Tipo de solo | Área | Perfil | M | Mo | α | β | K |
|--------|--------------------|---------|--------|---------|---------|----------|---------|---------|
| ARc | Calcaric Arenosols | 0.414 | 56/80 | 1835.87 | 0.9 | 2 | 1 | 0.00956 |
| CLh | Haplic Calcisols | 0.340 | 494/81 | 2194.20 | 3.4 | 2 | 2.5 | 0.01368 |
| | | | 995/82 | 1722.23 | 2.1 | 2 | 2.5 | 0.01174 |
| CMd | Dystric Cambisols | 2.157 | 134/80 | 2241.77 | 4.9 | 2 | 2 | 0.00967 |
| | | | 177/80 | 1984.67 | 7.3 | 2 | 2 | 0.00418 |
| Cme | Eutric Cambisols | 3.594 | 411/81 | 3142.41 | 3.6 | 2 | 2 | 0.01925 |
| | | | 579/81 | - | - | - | - | - |
| Cmu | Humic Cambisols | 13.415 | 7/80 | 2476.59 | 4.7 | 2.5 | 3 | 0.01707 |
| | | | 9/80 | 515.17 | 3.6 | 2 | 3 | 0.00287 |
| CMv | Vertic Cambisols | 0.626 | 10/80 | 1977.60 | 5.2 | 2 | 2.5 | 0.00912 |
| | | | 60/80 | 1567.84 | 2 | 2 | 2 | 0.00885 |
| CMx | Chromic Cambisols | 38.414 | 16/80 | 2589.60 | 5.8 | 2 | 2.5 | 0.01170 |
| | | | 181/80 | 712.85 | 5.6 | 2.5 | 2.5 | 0.00366 |
| | | | 200/80 | 2165.80 | 2.9 | 2 | 2.5 | 0.01433 |
| PHh | Haplic Phaeozems | 51.724 | 66/80 | 1793.58 | 4.4 | 2 | 2.5 | 0.00911 |
| | | | 67/80 | 2498.88 | 2.9 | 2 | 2.5 | 0.01716 |
| | | | 160/80 | 1758.67 | 4.1 | 2.5 | 2.5 | 0.01140 |
| | | | 477/81 | 2067.59 | 4.7 | 2 | 2.5 | 0.01051 |
| | | | 142/80 | 2976.95 | 4.5 | 2 | 2.5 | 0.01728 |
| Vre | Eutric Vertisols | 8.469 | 445/81 | - | - | - | - | - |
| | | | 103/80 | 861.52 | 4.8 | 2.5 | 2.5 | 0.00491 |
| | | | 222/80 | 1918.69 | 3.1 | 2 | 2.5 | 0.01196 |
| | | | 234/80 | 1764.72 | 5.3 | 2 | 2.5 | 0.00767 |
| | | | 410/81 | 1214.07 | 5.1 | 2 | 2.5 | 0.00462 |
| Anz | Vitric Andosols | 9.071 | 993/82 | 900.29 | 2 | 2 | 3 | 0.00645 |
| | | | 5/80 | 1299.91 | 4.1 | 2.5 | 1 | 0.00331 |
| ANu | Umbric Andosols | 298.557 | 987/82 | - | - | - | - | - |
| | | | 22/80 | 2046.10 | 20.2 | 2 | 2.5 | 0.00145 |
| | | | 138/80 | 3842.15 | 9.3 | 2.5 | 2.5 | 0.01052 |
| | | | 163/80 | 2499.20 | 19.3 | 2 | 2.5 | 0.00243 |
| | | | 25/80 | 3592.35 | 16.5 | 2 | 3 | 0.00703 |
| | | | 63/80 | 1741.51 | 15.8 | 2 | 2.5 | 0.00153 |
| | | | 91/80 | 635.18 | 19.8 | 2 | 3 | 0.00083 |
| | | | 131/80 | 291.72 | 7.2 | 2.0 | 2.5 | 0.00080 |
| | | | 156/80 | 3204.81 | 7.2 | 2 | 2.5 | 0.01153 |
| | | | 170/80 | 816.79 | 35.8 | 2 | 3 | 0.00018 |
| 221/80 | 4337.42 | 23.7 | 2 | 2.5 | 0.00428 | | | |
| | | | 513/81 | 1863.00 | 17 | 2 | 2.5 | 0.00161 |

| Sigla | Tipo de solo | Área | Perfil | M | Mo | α | β | K |
|------------|--|---------|--------|---------|------|----------|---------|---------|
| | | | 6/80 | 536.43 | 36.5 | 2 | 3 | 0.00009 |
| | | | 148/80 | 1287.81 | 20.8 | 2 | 2.5 | 0.00012 |
| - | Área Urbana | 5.136 | - | - | | | | 0.010 |
| - | Área de acesso muito difícil | 0.161 | - | - | | | | 0.015 |
| DP | Depósito de praia | 0.024 | - | - | | | | 0.001 |
| FLd | Dystric Fluvisols | 0.572 | 927/82 | - | | | | 0.015 |
| FLe | Eutric Fluvisols | 4.716 | 26a/82 | - | | | | 0.015 |
| TAd | Terreno Acidentado Dístrico | 238.985 | - | - | | | | 0.01 |
| TAe | Terreno Acidentado Êutrico | 42.752 | - | - | | | | 0.01 |
| TRd | Terreno Rochoso Dístrico | 18.002 | - | - | | | | 0.005 |
| Tre | Terreno Rochoso Êutrico | 4.870 | - | - | | | | 0.005 |

Anexo C – Carta de declives da ilha da Madeira

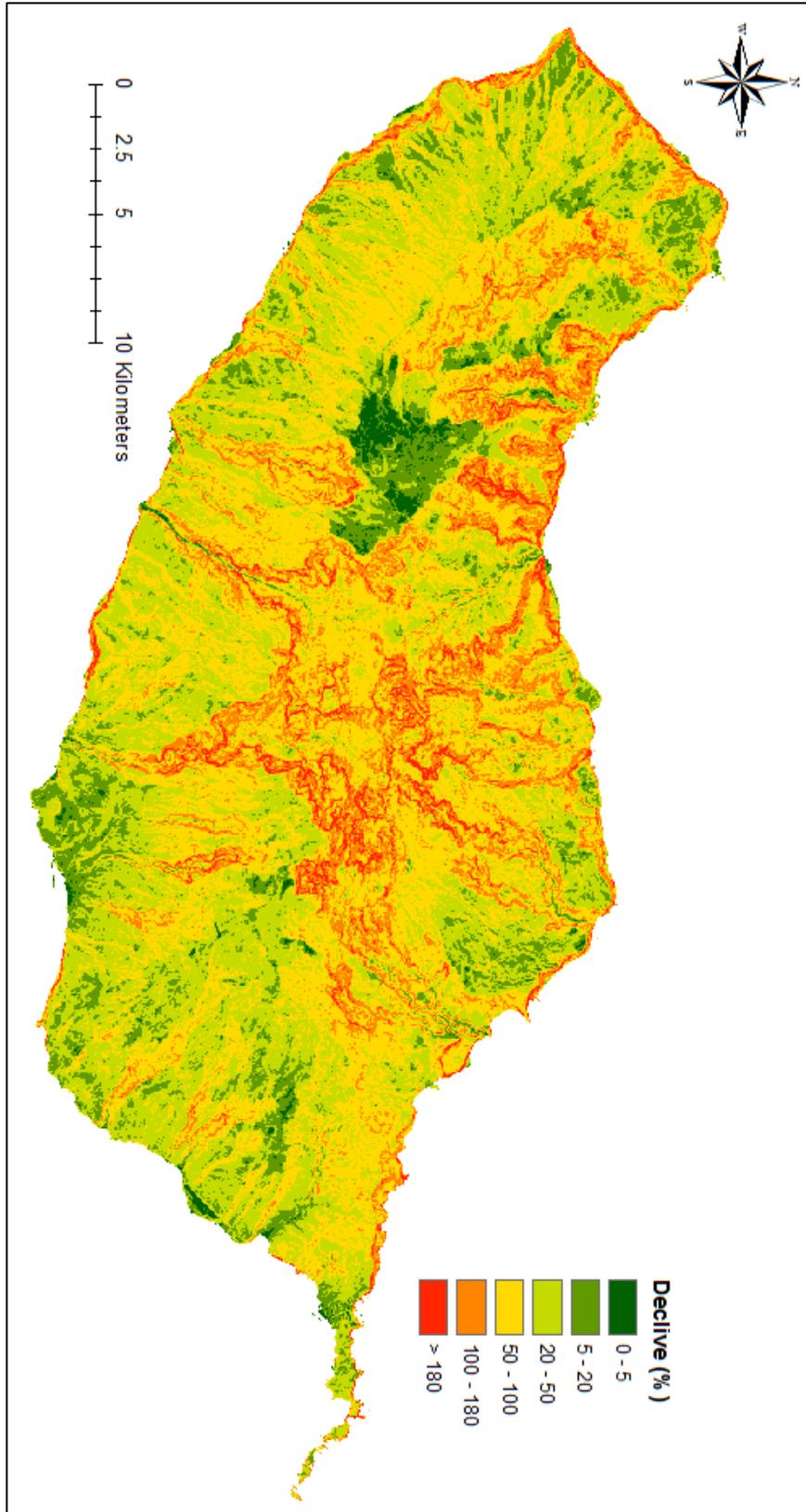


Figura 15: Carta de declives (%) da ilha da Madeira.

Anexo D – Uso do solo

Quadro D.1: Descrição, código COSRAM, área e valor do factor de cultura e uso (C) atribuído às classes de uso e ocupação.

| Descrição | Código COSRAM | Área (km ²) | C |
|---|---------------|-------------------------|-------|
| Tecido urbano contínuo pred. vertical | 11111 | 3.32 | 0.001 |
| Tecido urbano contínuo pred. horizontal | 11121 | 18.37 | 0.001 |
| Áreas de estacionamento e logradouros | 11131 | 0.32 | 0.01 |
| Tecido urbano descontínuo | 11211 | 12.14 | 0.02 |
| Tecido urbano descontínuo esparso | 11221 | 7.66 | 0.05 |
| Indústria | 12111 | 3.27 | 0.001 |
| Comércio | 12121 | 0.24 | 0.001 |
| Instalações Agrícolas | 12131 | 0.10 | 0.02 |
| Equipamentos públicos e privados | 12141 | 2.99 | 0.001 |
| Infra-estruturas de produção de energia renovável | 12151 | 0.19 | 0.001 |
| Infra-estruturas de produção de energia não renovável | 12152 | 0.06 | 0.001 |
| Infra-estruturas de captação, tratamento e abastecimento de água para consumo | 12161 | 0.09 | 0.001 |
| Infra-estruturas de tratamento de resíduos e águas residuais | 12171 | 0.14 | 0.001 |
| Rede viária e espaços associados | 12211 | 4.08 | 0.001 |
| Terminais portuários de mar e de rio | 12311 | 0.24 | 0.001 |
| Estaleiros navais e docas secas | 12321 | 0.02 | 0.001 |
| Marinas e docas pesca | 12331 | 0.15 | 0.001 |
| Aeroportos | 12411 | 0.90 | 0.001 |
| Pedreiras | 13121 | 0.89 | 0.3 |
| Aterros | 13211 | 0.45 | 0.05 |
| Lixeiras e Sucatas | 13221 | 0.09 | 0.05 |
| Áreas em construção | 13311 | 1.61 | 0.3 |
| Áreas abandonadas em território artificializado | 13321 | 0.27 | 0.03 |
| Parques e jardins | 14111 | 0.83 | 0.01 |
| Cemitérios | 14121 | 0.13 | 0.01 |
| Campos de Golfe | 14211 | 1.45 | 0.01 |
| Outras instalações desportivas | 14212 | 0.93 | 0.001 |
| Parques de Campismo | 14221 | 0.01 | 0.01 |
| Outros equipamentos de lazer | 14222 | 0.20 | 0.01 |
| Equipamentos culturais e zonas históricas | 14231 | 0.24 | 0.001 |
| Estufas e viveiros | 21121 | 0.72 | 0.01 |
| Floricultura | 21131 | 0.13 | 0.03 |
| Cultura de cana-de-açúcar | 21141 | 0.74 | 0.03 |
| Culturas temporárias de regadio | 21211 | 36.31 | 0.2 |
| Vinhas | 22111 | 11.46 | 0.1 |
| Vinhas com pomar | 22121 | 0.01 | 0.05 |
| Pomares de frutos frescos | 22211 | 0.43 | 0.05 |
| Pomares de citrinos | 22215 | 0.06 | 0.05 |
| Outros Pomares | 22216 | 0.13 | 0.05 |
| Pomares de frutos tropicais | 22217 | 0.21 | 0.05 |
| Bananal | 22218 | 8.03 | 0.03 |
| Pastagens permanentes | 23111 | 1.90 | 0.03 |
| Culturas temporárias de regadio associadas a vinha | 24121 | 0.18 | 0.15 |

| Descrição | Código COSRAM | Área (km ²) | C |
|--|------------------|----------------------------|-------|
| Culturas temporárias de regadio associadas a pomar | 24122 | 0.09 | 0.08 |
| Sistemas culturais e parcelares complexos | 24211 | 24.24 | 0.1 |
| Agricultura com espaços naturais e semi-naturais | 24311 | 6.25 | 0.08 |
| SAF de outras espécies com culturas temporárias de regadio | 24424 | 0.05 | 0.08 |
| Florestas de outros carvalhos | 31113 | 0.01 | 0.05 |
| Florestas de castanheiro | 31114 | 3.62 | 0.05 |
| Florestas de eucalipto | 31115 | 30.60 | 0.08 |
| Florestas de espécies invasoras | 31116 | 8.48 | 0.04 |
| Florestas de outras folhosas | 31117 | 5.25 | 0.05 |
| Florestas de castanheiro com folhosas | 31124 | 1.07 | 0.05 |
| Florestas de eucalipto com folhosas | 31125 | 15.74 | 0.06 |
| Florestas de espécies invasoras com folhosas | 31126 | 8.29 | 0.04 |
| Florestas de outra folhosa com folhosas | 31127 | 1.19 | 0.05 |
| Floresta natural da Madeira | 31128 | 161.25 | 0.02 |
| Florestas de pinheiro bravo | 31211 | 24.63 | 0.07 |
| Florestas de outras resinosas | 31213 | 4.87 | 0.07 |
| Florestas de pinheiro bravo com resinosas | 31221 | 0.31 | 0.07 |
| Florestas de outras resinosas com resinosas | 31223 | 0.14 | 0.07 |
| Florestas de castanheiro com resinosas | 31314 | 0.20 | 0.06 |
| Florestas de eucalipto com resinosas | 31315 | 8.73 | 0.07 |
| Florestas de espécies invasoras com resinosas | 31316 | 4.63 | 0.05 |
| Florestas de outra folhosa com resinosas | 31317 | 0.18 | 0.06 |
| Florestas de misturas de folhosas com resinosas | 31318 | 1.07 | 0.06 |
| Florestas de pinheiro bravo com folhosas | 31321 | 44.14 | 0.06 |
| Florestas de outras resinosas com folhosas | 31323 | 1.97 | 0.06 |
| Florestas de misturas de resinosas com folhosas | 31324 | 0.18 | 0.06 |
| Vegetação herbácea natural | 32111 | 78.56 | 0.04 |
| Matos densos | 32211 | 103.99 | 0.03 |
| Matos pouco densos | 32221 | 57.96 | 0.07 |
| Florestas abertas de castanheiro | 32414 | 0.20 | 0.08 |
| Florestas abertas de eucalipto | 32415 | 0.65 | 0.12 |
| Florestas abertas de espécies invasoras | 32416 | 0.02 | 0.1 |
| Florestas abertas de outras folhosas | 32417 | 0.07 | 0.08 |
| Florestas abertas de espécies invasoras com folhosas | 32426 | 0.02 | 0.08 |
| Florestas abertas de pinheiro bravo | 32431 | 4.45 | 0.12 |
| Florestas abertas de outras resinosas | 32433 | 0.74 | 0.12 |
| Florestas abertas de eucalipto com resinosas | 32455 | 0.12 | 0.12 |
| Florestas abertas de espécies invasoras com resinosas | 32456 | 0.03 | 0.12 |
| Florestas abertas de pinheiro bravo com folhosas | 32461 | 0.85 | 0.1 |
| Cortes rasos | 32481 | 0.76 | 0.25 |
| Novas Plantações | 32482 | 0.90 | 0.3 |
| Viveiros florestais | 32491 | 0.04 | 0.12 |
| Praias, dunas e areais costeiros | 33121 | 1.77 | 0.001 |
| Rocha nua | 33211 | 5.59 | 0.001 |
| Vegetação esparsa | 33311 | 0.19 | 0.08 |
| Áreas ardidas | 33411 | 2.23 | 0.35 |
| Paúis | 41111 | 0.77 | 0.001 |
| Aquicultura litoral | 42221 | 0.02 | 0.001 |

| Descrição | Código COSRAM | Área (km ²) | C |
|--|------------------|----------------------------|-------|
| Cursos de água naturais | 51111 | 2.29 | 0.001 |
| Canais artificiais | 51121 | 0.46 | 0.001 |
| Lagos e lagoas interiores artificiais | 51211 | 0.04 | 0.001 |
| Lagos e lagoas interiores naturais | 51212 | 0.01 | 0.001 |
| Reservatórios de represas ou de açudes | 51231 | 0.10 | 0.001 |
| Aquicultura interior | 51233 | 0.01 | 0.001 |
| Lagoas costeiras | 52111 | 0.01 | 0.001 |