



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
Agrária

# **Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo** **Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)**

Hugo David Gonçalves Simões

## **Orientadores**

Paulo Alexandre Justo Fernandez

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica em Recursos Agro-Florestais e Ambientais, Especialização em Análise de Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica do Professor Adjunto Mestre e Especialista Paulo Alexandre Justo Fernandez, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

**Julho de 2013**



## Composição do júri

### Presidente do júri

Doutora Maria do Carmo Simões Mendonça Horta Monteiro

Professora Adjunta da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco

### Vogais

Doutor António Francisco Canatário Duarte

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Mestre Especialista Paulo Alexandre Justo Fernandez

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco



## **Dedicatória**

Ao Rafael, à Isabel, aos meus pais, irmã e avós.



## Agradecimentos

O desenvolvimento desta Tese advém dos conhecimentos e competências adquiridas ao longo do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica em Recursos Agro-Florestais e Ambientais, assim como, da minha experiência profissional.

Manifesto por este meio o meu agradecimento a todos que, direta e indiretamente, contribuíram para que essas discências vertessem no desenvolvimento deste projeto, em especial:

Ao Professor Paulo Alexandre Justo Fernandez, pela orientação científica, pela disponibilidade, pelo incentivo, motivação, transmissão de conhecimentos, pelos esclarecimentos que contribuíram para ampliar as minhas competências científicas e pela confiança demonstrada em mim.

Ao projeto Observatório Territorial e Ambiental Alentejo – Extremadura – Centro (OTALEX-C) pela aquisição e disponibilização dos dados de solos e da ocupação do solo (1:25 000) das bacias hidrográficas de estudo.

Ao meu filho e à minha esposa pelo apoio, incentivo e compreensão por todo o tempo consumido na elaboração deste projeto.

Um agradecimento especial aos meus pais, avós, irmã e sogra, pela ajuda que têm prestado a mim, à minha esposa e ao meu filho.

A todos os meus amigos e colegas pelo apoio prestado.



## Resumo

Este estudo pretendeu desenvolver uma metodologia de modelação espacial da erosão hídrica do solo em Sistemas de Informação Geográfica recorrendo à aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e às diversas fontes de informação disponíveis para modelar cada uma das suas variáveis de entrada.

Neste estudo foram definidos três objetivos específicos: avaliação do efeito da fonte de informação geográfica na modelação da erosão hídrica do solo, desenvolvimento de mapas de erosão e comparação dos resultados obtidos com o projeto europeu *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment* (PESERA), nas duas bacias hidrográficas de estudo localizadas no rio Ocreza e no rio Ponsul.

O fator topográfico (LS) desta equação foi determinado através de diversos algoritmos com recurso a três Modelos Digitais de Terreno (MDT) com resoluções espaciais distintas (12,5 m, 30 m e 80 m). Os resultados deste fator demonstraram ser influenciados pelo tipo de algoritmo e pela resolução do MDT usado no seu cálculo.

O fator erosividade (R) foi estimado através de um modelo numérico que relaciona o fator físico altitude com a precipitação. Neste fator foram aplicados vários métodos de interpolação espacial, tendo-se demonstrado que o método *Inverse Distance Weighted (IDW)* é aquele que apresenta melhor ajustamento.

A erodibilidade (K) foi estimada partindo de duas cartografias de solos de Portugal, desenvolvidas com escalas e classificações diferentes, tendo existido neste estudo um esforço na compatibilização da legenda e destes valores entre a classificação do *Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (S.R.O.A)* e a *World Reference Base for Soil Resources (WRB)*. A utilização de diferentes cartografias de solos demonstrou que os valores de erodibilidade diferem quando estimados com base em cartografia a diferentes escalas e com classificações distintas.

Os fatores inerentes ao coberto vegetal (C), às práticas agrícolas e medidas de conservação da erosão (P) foram estimados recorrendo à Carta de Uso e Ocupação do Solo para 2007, existente em Portugal.

A modelação espacial da erosão hídrica foi efetuada através da combinação das diversas variáveis de entrada do modelo EUPS, usando as três resoluções espaciais definidas para este estudo.

Os resultados deste estudo demonstraram que os MDT com resoluções de 12,5 m e 80 m garantem a representatividade da geografia do terreno, ao contrário do MDT de 30 m que apresenta algumas limitações.

A análise dos mapas de erosão, obtidos pelo método EUPS, revelou que a sua produção é influenciada pela resolução espacial. Assim, resoluções espaciais ou classificações diferentes das fontes de informação geram mapas de erosão distintos.

A comparação dos valores de erosão obtidos pela EUPS com os resultados apresentados no projeto PESERA revelou uma aproximação nos resultados obtidos na bacia hidrográfica do rio Ponsul e uma dissimilitude na bacia hidrográfica do rio Ocreza.

## **Palavras chave**

Erosão Hídrica do Solo, EUPS, Modelo Digital de Terreno, Modelação Espacial, PESERA.

## Abstract

This study aims to develop a methodology for spatial modeling of soil water erosion in Geographic Information Systems through the application of *Universal Soil Loss Equation (USLE)* and the various sources of information available to model each of its input variables.

In this study were defined three specific objectives: evaluation of the effect of geographic information source in modeling soil water erosion, erosion maps development and comparison of the results obtained with the European project *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA)*, in Ponsul and Ocreza watersheds.

The topographic factor (LS) of this equation was determined by several algorithms using three Digital Elevation Models (DEM) with different spatial resolutions (12.5 m, 30 m and 80 m). The results of this factor were influenced by the type of algorithm and by the resolution of the DEM used in its calculation.

The erosivity factor (R) was estimated through a numerical model that relates the physical factor of elevation with precipitation. In this factor were applied several spatial interpolation methods, and it was shown that the *Inverse Distance Weighted (IDW)* was the one with better adjustment.

The erodibility (K) was estimated from two soil maps of Portugal, developed with different scales and classifications, having existed in this study an effort to merge the legend and these values between the classification *World Reference Base for Soil Resources (WRB)* and S.R.O.A.. The use of different cartographies of soils showed that the erodibility is different when estimated by different scales and different classifications.

The factors of vegetation cover (C), agricultural practices and conservation measures of erosion (P) were estimated using the Land Cover map produced in 2007 for Portugal.

The spatial modeling of erosion was performed by combining the several input variables of the USLE model, using the three resolutions defined for this study.

The results of this study have shown that the DEM with resolutions of 12.5 m and 80 m guarantee the representativeness of terrain geography, unlike the 30 m DEM that presents some limitations.

Analysis of erosion maps, obtained by USLE, revealed that its production is influenced by spatial resolution. Thus, spatial resolutions or a different classification of information sources generates maps with different erosion values.

The comparison of erosion values obtained by the USLE with the results presented in PESERA project revealed proximity on the results obtained in river Ponsul basin and dissimilarity in the river Ocreza basin.

## Keywords

Digital Elevation Model, PESERA, Soil Water Erosion, Spatial Modeling, USLE.



# Índice geral

Resumo .....	IX
Abstract .....	XI
Índice geral.....	XIII
Índice de figuras.....	XV
Índice de tabelas .....	XVII
Índice de anexos .....	XIX
Lista de símbolos .....	XXI
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos.....	XXIII
1. Introdução .....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Organização do Estudo.....	2
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 Erosão Hídrica.....	4
2.2 Modelo EUPS.....	5
2.2.1 Fator Erosividade (R) .....	6
2.2.2 Fator Erodibilidade (K) .....	7
2.2.3 Fator Topográfico (LS).....	8
2.2.4 Fator Coberto Vegetal (C) .....	10
2.2.5 Fator de Práticas Agrícolas e Medidas de Controlo da Erosão (P) .....	11
2.3 Sistemas de Informação Geográfica na Modelação da Erosão .....	12
3. Materiais e Métodos .....	13
3.1 Áreas de Estudo.....	14
3.2 Descrição dos Dados.....	15
3.2.1 Sistema de Coordenadas .....	15
3.2.2 Modelo Digital de Terreno .....	16
3.2.3 Dados de Precipitação.....	17
3.2.4 Cartografia de Solos .....	18
3.2.5 Cartografia de Uso e Ocupação do Solo.....	19
3.2.6 Pan-European Soil Erosion Risk Assessment.....	19
3.3 Qualidade do Modelo Digital de Terreno.....	20
3.4 Cálculo do Fator Topográfico.....	21
3.4.1 Programa Executável em C++ .....	22
3.4.2 Método Mitasova .....	23
3.4.3 Framework do SEXTANTE em QuantumGIS.....	25

3.4.4	Topocrop Terrain Indices .....	27
3.4.5	Usle2D .....	28
3.5	Cálculo do Fator Erosividade .....	31
3.5.1	Distribuição Espacial do Fator Erosividade .....	31
3.5.2	Interpolação Espacial .....	33
3.6	Cálculo do Fator Erodibilidade.....	34
3.6.1	Cartografia de Solos .....	35
3.7	Cálculo dos Fatores Coberto Vegetal e Práticas Agrícolas .....	38
3.8	Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo .....	38
3.9	Métodos Estatísticos.....	40
4.	Resultados .....	45
4.1	Avaliação da Qualidade dos Modelos Digitais de Terreno.....	45
4.2	Distribuição Espacial do Fator Topográfico.....	46
4.3	Distribuição Espacial do Fator Erosividade.....	52
4.4	Distribuição Espacial do Fator Erodibilidade .....	53
4.5	Distribuição Espacial do Coberto Vegetal e Práticas Agrícolas .....	54
4.6	Distribuição Espacial da Erosão Hídrica do Solo .....	56
5.	Conclusões .....	65
	Referências Bibliográficas.....	69
	ANEXOS.....	75

## Índice de figuras

Figura 1 – Enquadramento geográfico da área de estudo.....	14
Figura 2 - Estações meteorológicas ativas no distrito de Castelo Branco.....	18
Figura 3 - Cartas de solos disponíveis à escala 1:25 000 nas áreas de estudo.....	19
Figura 4 - Enquadramento geográfico dos vértices geodésicos utilizados para avaliação dos MDT.....	20
Figura 5 - Procedimento de cálculo do fator LS com o programa C++.....	23
Figura 6 - Procedimento de cálculo do fator LS através do método Mitsova <i>et al.</i> (2001).....	24
Figura 7 - Modelo de cálculo do fator LS proposto por Mitsova <i>et al.</i> (2001), em <i>Model Builder</i> .....	25
Figura 8 - Procedimento de cálculo do fator LS com o SEXTANTE em QuantumGIS.....	26
Figura 9 - Procedimento de cálculo do fator LS com o <i>Topocrop Terrain Indices</i> .....	27
Figura 10 - Procedimento de cálculo do fator LS com <i>Usle2D</i> .....	30
Figura 11 - Estações meteorológicas utilizadas no cálculo do Fator R.....	31
Figura 12 - Mapas resultantes da metodologia de cálculo do Fator LS.....	46
Figura 13 - Valores médios de LS obtidos por cada algoritmo usando o MDT de 12,5 m.....	47
Figura 14 - Valores médios de LS obtidos por cada algoritmo usando o MDT de 30 m.....	49
Figura 15- Valores médios de LS obtidos por cada algoritmo usando o MDT de 80 m.....	50
Figura 16 - Valores médios de LS obtidos por cada algoritmo usando os três MDT.....	51
Figura 17- Resultados da relação entre o fator R e a altitude.....	52
Figura 18 - Distribuição das classes do fator CP por área na bacia hidrográfica do rio Ponsul.....	55
Figura 19 - Distribuição das classes do fator CP por área na bacia hidrográfica do rio Ocreza.....	55
Figura 20 - Distribuição espacial da erosão hídrica do solo na bacia hidrográfica do rio Ponsul.....	57
Figura 21 - Distribuição espacial da erosão hídrica do solo na bacia hidrográfica do rio Ocreza.....	58
Figura 22 - Distribuição da erosão do solo por classes para a bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul.....	59
Figura 23 - Distribuição da erosão do solo por classes para a bacia hidrográfica de estudo do rio Ocreza.....	60
Figura 24 - Distribuição da erosão do solo por classes nas duas bacias hidrográficas de estudo com base nos dados do Projeto PESERA.....	63



## Índice de tabelas

Tabela 1 - Fontes de Informação dos Modelos Digitais de Terreno.....	16
Tabela 2 - Identificação das ferramentas de cálculo do Fator LS e respetivos algoritmos.....	22
Tabela 3 - Precipitação média anual, fator R e altitude de cada estação meteorológica.....	32
Tabela 4 - Valores de erodibilidade para a cartografia de solos à escala 1:25 000.....	35
Tabela 5 - Valores de erodibilidade para a cartografia de solos à escala 1:100 000. ....	37
Tabela 6 - Combinação das variáveis de entrada do modelo EUPS no cálculo dos mapas de erosão da bacia hidrográfica do rio Ponsul.....	39
Tabela 7 - Combinação das variáveis de entrada do modelo EUPS no cálculo dos mapas de erosão da bacia hidrográfica do rio Ocreza.....	39
Tabela 8 - Avaliação da qualidade dos MDT para cada resolução e bacia hidrográfica em estudo. ....	45
Tabela 9 - Resultados dos valores de erodibilidade gerados pelos métodos de interpolação <i>IDW, Spline e Ordinary Kriging</i> . ....	52
Tabela 10 - Erro Médio Quadrático dos métodos de interpolação <i>IDW, Spline e Ordinary Kriging</i> . ....	53
Tabela 11 - Classes do fator CP. ....	54



## Índice de anexos

ANEXO I - Delimitação das Bacias Hidrográficas de Estudo .....	77
ANEXO II - Modelos Digitais de Terreno .....	81
ANEXO III - Layout do Interface da Ferramenta Desenvolvida para o Modelo Mitasova.....	89
ANEXO IV – Integração do Fator R em SIG e Métodos de Interpolação.....	91
ANEXO V – Tabelas e Modelo de Cálculo do Fator K.....	99
ANEXO VI – Tabela e Modelo de Cálculo do Fator CP .....	107
ANEXO VII –Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo. ....	111
ANEXO VIII – Mapas de Distribuição Espacial do Fator LS.....	117
ANEXO IX – Resultados da Comparação dos Algoritmos do Fator LS.....	129
ANEXO X – Mapas de Distribuição Espacial do Fator R .....	143
ANEXO XI – Comparação de Resultados e Mapas de Distribuição Espacial do Fator K.....	147
ANEXO XII – Mapas de Distribuição Espacial do Fator CP .....	153
ANEXO XIII - Resultados da Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo através da EUPS .....	157
ANEXO XIV – Mapas do Projeto PESERA e Resultados da Comparação entre a EUPS e o PESERA.....	161



## Lista de símbolos

$A$  - Perda média anual de solo

$A(i,j)$  - Área de contribuição de uma célula com coordenadas  $(i,j)$  em  $m^2$

$C$  - Fator Coberto Vegetal

$D$  - Resolução ou tamanho da célula em metros

$g$  - Número de grupos de empates

$H$  - Estatística de teste de *Kruskal-Wallis*

$H_0$ : - Hipótese nula

$H_1$ : - Hipótese alternativa

$k$  - Amostras

$K$  - Fator Erodibilidade

$L$  - Fator Comprimento de encosta

$LS$  - Fator Topográfico

$m$  - Constante dependente do declive

$N$  - Tamanho da amostra ou da amostra global

$n_i$  - Dimensão de cada uma das  $k$  amostras

$P$  - Fator de Práticas Agrícolas ou Medidas de Controlo de Erosão

$P_a$  - Precipitação anual (mm)

$R$  - Fator Erosividade

$R_j$  - Soma das ordens de cada uma das amostras

$S$  - Fator declive

$S_i^{Altitude\ do\ MDT}$  - Valores de altitude obtidos pelo MDT

$S_i^{Altitude\ do\ Vértice\ Geodésico}$  - Valores de altitude observados em cada vértice geodésico

$S_i^{Valor\ interpolado}$  - Valor de R interpolado espacialmente

$S_i^{Valores\ de\ R}$  - Valor real de R calculado para cada ponto de controlo

$Sin$  - Seno

$S_w$  - Desvio padrão das ordens

$Tan$  - Tangente

$t_i$  - Número de observações em cada grupo de empates

$U$  - Estatística de teste de Mann-Whitney-Wilcoxon

$W$  - Estatística de teste de Levene

$x$  - Valor da direção do escoamento

$\bar{X}_i$  - Média da amostra  $i$

$\tilde{X}_i$  – Mediana da amostra  $i$

$X_{ij}$  – Observação  $j$  da amostra  $i$

$Z$  – Estatística de teste  $Z$

$\bar{Z}$  – Média de  $Z_i$  na amostra global

$\bar{Z}_i$  – Média de  $Z_i$  na amostra

$\beta$  – Razão entre erosão originada pelo escoamento e a erosão originada pelo impacto das gotas de chuva.

$\theta$  – Inclinação da encosta em graus

$\lambda$  - Comprimento da encosta num plano horizontal

## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

ASTER GDEM – ASTER Global Digital Elevation Model

CAOP - Carta Administrativa Oficial de Portugal

CLC – CORINE *Land Cover*

COS2007 – Carta de Uso e Ocupação do Solo para 2007

COS'90 – Carta de Ocupação do Solo de 1990

EMQ - Erro Médio Quadrático

EROS - Earth Resources Observation and Science Center

ESDB - European Soil Database

ETRS89 - European Terrestrial Reference System 1989

EUA – Estados Unidos da América

EUPS – Equação Universal de Perda de Solo

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

GRETL - Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library 1.9.11

IDW – Inverse Distance Weighted

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

IGP – Instituto Geográfico Português

INRA – Institut National Recherche Agronomique

MARS - Monitoring Agricultural Resources

MDT – Modelo Digital de Terreno

METI – Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NGA – National Geospatial-Intelligence Agency

OTALEX C - Observatório Territorial e Ambiental Alentejo – Extremadura- Centro

PESERA – Pan-European Soil Erosion Risk Assessment

RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation

SEXTANTE – Sistema Extremeño de Análisis Territorial

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

S.R.O.A. – Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

TIN – Triangulated Irregular Network

USLE – Universal Soil Loss Equation

WRB – World Reference Base for Soil Resources

## 1. Introdução

Nas últimas décadas o estudo da erosão hídrica do solo tem-se revelado cada vez mais importante para a comunidade científica, decisores políticos e ambientalistas, sobretudo por ser evidente o aumento das taxas de erosão em diversos locais do planeta, que estão correlacionadas com o aumento da pressão humana exercida sobre os recursos naturais, sobre a ocupação do solo, sobre a alteração de práticas agrícolas e de conservação do solo. São exemplos a desflorestação, os fogos florestais, práticas agrícolas inapropriadas e a construção urbanística ou de infraestrutura em locais inadequados (Terranova *et al.* 2009).

Nos Estados Unidos da América (EUA), o desenvolvimento de modelos para prever e quantificar as perdas de solo, na agricultura, surgiram no chamado Corn Belt na década de quarenta, com a intenção de preservar o solo como recurso natural. Na linha destas investigações surge a Universal Soil Loss Equation (USLE) ou Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) que, ainda hoje, é a equação mais aplicada, estudada e revista no que concerne aos estudos de erosão do solo em todo o mundo (Wischmeier and Smith 1978, Kinnell 2010).

Esta equação, assente no conceito da erosão hídrica do solo é um processo complexo que depende de fatores temporais e espaciais, estima as perdas médias anuais de solo através dos fatores de erosividade (R), erodibilidade (K), topográfico (LS), do coberto vegetal (C) e de práticas agrícolas/medidas de controlo da erosão (P) (Wischmeier and Smith 1978, Kinnell 2010).

Na Europa, a tentativa de homogeneizar metodologias de modelação e criação de mapas de erosão para o espaço europeu, levou a Directorate-General Research da Comissão Europeia a financiar um projeto de investigação designado de Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA), que desenvolveu um modelo físico distribuído espacialmente que combina os efeitos da topografia, clima e solo, numa única e integrada forma de previsão do escoamento e erosão do solo (Kirkby *et al.* 2004, S.P.I.04.73. 2004, Panagos *et al.* 2012).

O projeto PESERA disponibiliza a estimativa da erosão hídrica do solo na Europa, baseada numa abordagem harmonizada (Kirkby *et al.* 2004, S.P.I.04.73. 2004, Panagos *et al.* 2012).

Em Portugal, a identificação das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo têm tido por base a aplicação da EUPS adaptada ao território nacional e a metodologia vertida na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, que define as orientações estratégicas, diretrizes e critérios de âmbito nacional e regional para a delimitação das áreas integradas na Reserva Ecológica Nacional ao nível municipal.

A par da evolução da modelação hidrológica e da análise espacial da erosão hídrica do solo tem estado a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a sua integração com modelos que permitem estimar e prever os fenómenos de erosão.

A integração da modelação hidrológica e da análise espacial da erosão hídrica do solo com os Sistemas de Informação Geográfica tem contribuído para um avanço quantitativo e qualitativo na caracterização, estimativa e previsão dos fenómenos de erosão.

Os SIG são, hoje em dia, as ferramentas predominantes da modelação de fenómenos hidrológicos como a erosão hídrica, porque apresentam capacidade de integração de dados complexos que representam a variabilidade espacial nas bacias hidrográficas, capacidade de combinar informação geográfica complexa, como a topografia, o uso e ocupação do solo ou a meteorologia, a possibilidade de simulação diversos cenários partindo de múltipla informação, capacidade de análise da informação geográfica com distintas resoluções e possibilidade de gerar os resultados em mapas (Fistikoglu and Harmancioglu 2002, Santos *et al.* 2006).

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é efetuar a modelação espacial da erosão hídrica do solo, através da aplicação do modelo EUPS, em ambiente de SIG, em duas bacias hidrográficas nos rios Ponsul e Ocreza.

Como objetivos específicos este estudo pretende avaliar o efeito de diferentes fontes de informação geográfica na modelação da erosão, elaborar mapas de erosão e comparar os resultados obtidos com os apresentados no projeto PESERA.

## 1.2 Organização do Estudo

Este estudo encontra-se estruturado em cinco capítulos principais.

Ao longo do primeiro capítulo é feita a introdução do tema e são definidos os objetivos e a estrutura deste estudo.

No segundo capítulo é elaborada a revisão bibliográfica e a abordagem ao tema da erosão hídrica do solo, ao modelo EUPS, aos seus fatores, ao projeto PESERA e à integração da modelação da erosão hídrica do solo em SIG.

No terceiro capítulo, designado de materiais e métodos, é apresentada uma breve abordagem à área de estudo, uma caracterização dos dados utilizados, das fórmulas de cálculo dos fatores da EUPS, dos processos de modelação espacial inerentes à elaboração dos mapas de erosão e dos métodos estatísticos aplicados neste estudo.

No capítulo quarto são apresentados e analisados os resultados dos fatores da EUPS, da aplicação final do modelo e da obtenção dos mapas de erosão, assim como, a comparação de resultados com o projeto PESERA.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões deste estudo, algumas limitações identificadas e propostas para trabalhos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Erosão Hídrica

A erosão do solo é entendida como um fenómeno físico que se caracteriza pelo transporte de partículas do solo através da ação de agentes erosivos como a água, o vento, o gelo/neve e a gravidade (Tóth and Van Beek 2012).

Embora seja considerado um processo natural indispensável à formação do solo na escala temporal geológica, considera-se que ocorre erosão do solo quando a taxa de remoção deste, realizada por um dos agentes erosivos acima referidos, excede a taxa de formação do mesmo (Ellis and Mellor 1995, Kirkby *et al.* 2004).

O processo de formação do solo é lento e à escala humana é considerado um recurso não renovável, pois qualquer perda superior a 1 ton/ha/ano pode ser considerada irreversível para um intervalo de tempo de 50 a 100 anos (Montanarella 2004).

A erosão acelerada devido à atividade humana tem conduzido a que os valores naturais de erosão tenham sido largamente ultrapassados nas últimas décadas (Kirkby *et al.* 2004).

A erosão hídrica é certamente a forma mais importante, disseminada e conhecida de degradação do solo na Europa. Os principais efeitos causados por este fenómeno são a perda de solo fértil, o aumento da degradação do coberto vegetal e diminuição do controlo hidrológico natural. Estes processos estão diretamente relacionados com o processo de desertificação (Serrasolses *et al.* 2004, Martín-Fernández and Martínez-Núñez 2011)

Os dois principais mecanismos responsáveis pela erosão hídrica do solo são o impacto das gotas de precipitação no solo e o escoamento superficial. O primeiro mecanismo está relacionado com a fase inicial do processo de erosão e pode ter grande representatividade na erosão ocorrida em terrenos cultivados. Em terrenos argilosos este mecanismo pode levar a

uma redução na capacidade de infiltração e conseqüentemente ao aumento do escoamento superficial (Henriques 2009).

O último mecanismo é o responsável por remover e transportar as partículas para fora do seu local de origem, podendo ocorrer quer em solos saturados quer em solos não saturados de água. Geralmente o escoamento superficial ocorre quando a intensidade de precipitação supera a capacidade de infiltração do solo (Henriques 2009).

A erosão hídrica do solo varia ainda dependendo do tipo de escoamento que ocorre no solo. A cada tipo de escoamento está geralmente associado um grau de intensidade de erosão (Henriques 2009).

A síntese da avaliação de impacto desenvolvida para suportar a Estratégia Temática de Proteção do Solo do Sexto Programa Comunitário de Ação em matéria de Ambiente estima que cerca de 115 milhões de hectares, ou seja 12% do território Europeu, estejam afetados pela erosão hídrica do solo (Comissão das Comunidades Europeias 2006)

Em Portugal, estima-se que as áreas em risco de erosão cobrem quase um terço do país e as principais características que expõem o território nacional a esta vulnerabilidade são as alterações da ocupação e uso do solo, assim como, a ocorrência de chuvas intensas após os períodos secos de verão, com uma concentração da precipitação nos períodos de outono-inverno (Nunes *et al.* 2011).

A modelação da erosão hídrica assume especial importância na identificação e monitorização de área em risco ou afetadas pela erosão. Nesse sentido, os modelos recomendados para estudar este fenómeno nos países europeus são a EUPS, o PESERA e o modelo desenvolvido pelo *Institut National Recherche Agronomique* (INRA) (Van-Camp *et al.* 2004).

## 2.2 Modelo EUPS

A equação de perda do solo, designada internacionalmente por Universal Soil Loss Equation (USLE) e em Portugal por Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), foi desenvolvida no National Runoff and Soil Loss Data Center, entre os anos 60 e 70, para prever a erosão do solo agrícola dos EUA, mas rapidamente a sua aplicação se generalizou a outros países do mundo (Wischmeier and Smith 1978, Kinnell 2010).

Na origem deste modelo esteve a necessidade de estimar as perdas médias anuais de solo por unidade de área partindo de cinco fatores físicos, espaciais, temporais e de gestão. A aplicação deste modelo é feita pela multiplicação desses fatores através da seguinte equação (Wischmeier and Smith 1978, Van Remortel *et al.* 2004):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Equação 1

Em que o  $A$  é a perda média anual de solo ( $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ),  $R$  é o fator de erosividade da chuva ( $\text{Mj.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  ou  $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ),  $K$  é o fator erodibilidade do solo ( $\text{ton.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ),  $LS$  é o fator topográfico que conjuga o comprimento de encosta ( $L$ ) e o declive ( $S$ ),  $C$  é o

fator de coberto vegetal e o  $P$  é o fator de práticas agrícola e medidas de controlo da erosão (Wischmeier and Smith 1978, Catalão and Pacheco 2010).

No ano de 1997 foi publicada uma revisão desta equação que pretendeu tirar partido do conhecimento e dos dados obtidos entre 1980 e 1990. Esta revisão passa a ser conhecida por Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Renard *et al.* 1997) e apesar de usar a equação da USLE, insere algumas alterações na forma como os fatores são calculados (Kinnell 2010).

Em 2003 foi desenvolvido o *software* RUSLE1 para implementar o modelo RUSLE nos EUA. Com ele surgem dois novos modelos desta equação, a RUSLE1.06c e a RUSLE2, que passam a ser independentes quanto ao uso do solo e possuem a capacidade de determinar a deposição em encostas, em faixas com vegetação densa, em socacos ou em bacias sedimentares, usando equações para determinar a capacidade de transporte e de deposição. Outra característica deve-se ao facto destes modelos poderem ser aplicados em locais expostos a um escoamento superficial (Foster *et al.* 2003, Kinnell 2010).

A introdução de novas técnicas de cartografia digital e em particular, a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica têm exigido uma constante readaptação de modelos como a EUPS a estas ferramentas. Se por um lado este aspeto permite na sua maioria a evolução para análises, métodos e modelos mais complexos, também é verdade que se tem evoluído para o cálculo mais complexo dos fatores implicados nesses modelos (Garcia Rodriguez and Suárez 2010).

### 2.2.1 Fator Erosividade (R)

O fator erosividade (R) é um índice numérico que expressa o potencial erosivo da chuva no solo. Este fator determina as perdas de solo influenciadas pela precipitação, num cenário em que todas as outras variáveis sejam constantes. A estimativa desta variável é efetuada em função da intensidade da precipitação que traduz de certa forma a capacidade da chuva em destacar e transportar as partículas do solo. Por esta razão, este fator é reconhecido como um dos melhores parâmetros para determinar o potencial erosivo do impacto das gotas de precipitação e também o potencial da capacidade de transporte de partículas gerado pelo escoamento superficial (Loureiro and Coutinho 2001, Pertussatti and Sobrinho 2010, Henriques 2009).

O fator R definido por Wischmeier and Smith (1978) para a EUPS estima a erosividade recorrendo ao índice  $IE_{30}$ . Este índice é descrito pelo produto entre a energia cinética da precipitação e a máxima intensidade da precipitação num período de 30 minutos. O cálculo do valor anual do  $IE_{30}$  é obtido pela soma dos índices calculados individualmente para cada acontecimento pluvioso (Wischmeier and Smith 1978, Henriques 2009, Kouli *et al.* 2009).

A determinação do índice  $IE_{30}$  para cada acontecimento pluvioso exige que sejam disponibilizados grandes quantidades de medições de precipitação para períodos relativamente curtos. No entanto, as estações nem sempre possibilitam o acesso a tal quantidade de dados e por outro lado o volume de dados inerente a um determinado período pode tornar este cálculo moroso (Wischmeier and Smith 1978, Kouli *et al.* 2009).

Como resposta a estas condicionantes é frequente recorrer-se à média de precipitação mensal ou anual para proceder ao cálculo do fator R. São vários os modelos que têm sido

desenvolvidos para usar em áreas com registos de precipitação limitados (Loureiro and Coutinho 2001, Kouli *et al.* 2009).

Arnoldus (1977) propõe a determinação do fator de erosividade baseado em valores de precipitação média mensal e anual. Este mesmo autor em 1980 introduz uma equação modificada do índice de Fournier que vem a comprovar estar correlacionada com o fator R da EUPS (Arnoldus 1977, 1980, Loureiro and Coutinho 2001, Kouli *et al.* 2009).

Coutinho *et al.* (1993) desenvolveram uma metodologia para determinar o fator de erosividade (R), com base em parâmetros obtidos em Portugal e que considera apenas as precipitações ocorridas anualmente. Por este fato é possível interpolar o fator R com base em séries temporais longas, uma vez que a precipitação anual é o parâmetro mais antigo que se encontra disponível nas estações meteorológicas portuguesas (Henriques 2009).

### 2.2.2 Fator Erodibilidade (K)

Na definição de Wischmeier and Smith (1978) o fator de erodibilidade (K) do solo é um valor quantitativo determinado experimentalmente, que reflete a suscetibilidade do solo à erosão. Este fator foi desenvolvido em parcelas experimentais, com 22,13 m de comprimento e 9% de declive, nas quais foram registadas características físicas e químicas do solo ao longo do tempo, definindo assim o valor de K para muitos dos solos dos EUA (Wischmeier and Smith 1978, Jebari *et al.* 2012).

A metodologia de cálculo de K assume que se conheçam os fatores do solo tais como: a textura, a estrutura, a permeabilidade, o teor em limo, argila, areia e em matéria orgânica, obrigando à caracterização dos solos (Pimenta 1998a, Meneses 2011).

A aplicação deste fator na modelação da EUPS em SIG pressupõe que exista uma conciliação entre a informação alfanumérica e cartográfica dos solos. Nesse sentido, Pimenta (1998a, 1998b) definiu valores de erodibilidade K adaptados a algumas das unidades mais representativas dos solos de Portugal.

A avaliação da erodibilidade do solo em grandes áreas e em áreas complexas, como as bacias hidrográficas, leva a que seja necessário recorrer a informação mais generalizada como a cartografia de solos com unidades pedológicas caracterizadas (Pimenta 1998b).

Em Portugal é possível obter cartografia de solos classificada ao nível das unidades, complexo de unidades, fases do solo e percentagens das unidades que integram os complexos. Esta cartografia está disponível à escala 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000 e 1 000 000, no entanto, em formato digital apenas a escala 1:1 000 000 cobre Portugal continental, sendo que as restantes escalas estão disponíveis apenas para algumas regiões do país (Pimenta 1998b, DGADR 2012)

A classificação presente nas cartas de solos varia em função da escala e das regiões, sendo por isso necessário compatibilizar e homogeneizar as legendas (SPCS 2004).

As cartas de solos disponíveis a 1:25 000 e 1:50 000 são baseada e classificadas no sistema adotado pelo Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (S.R.O.A.), que assenta na informação proveniente do trabalho de campo efetuado por Cardoso (1965) (Pimenta 1998b, DSRNAH 1999).

A cartografia de solos disponível à escala 1:1 000 000 para Portugal foi baseada na classificação da *FAO* (Pimenta 1998b, SPCS 2004).

Enquanto a cartografia 1:100 000 varia na sua classificação dependendo da região para que foi desenvolvida. Na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, na região de Entre o Douro e o Minho e nas Ilhas da Madeira, as cartografias de solos usam a classificação da *FAO/UNESCO*. A cartografia da Região Interior Centro utiliza a classificação *World Reference Base for Soil Resources* de 1998 (WRB) e nas ilhas dos Açores os esquemas de classificação adotados têm também variado (Pimenta 1998b, SPCS 2004, DGADR 2012).

A adoção do referencial mundial de solos, *World Reference Base for Soil Resources*, pela União Internacional das Sociedades de Ciências do Solo (IUSSS) remete para a necessidade urgente de adotar um esquema padrão para fazer corresponder este referencial com as classificações de solos existentes em Portugal (SPCS 2004, FAO 2006).

### 2.2.3 Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) resulta da conjugação entre a variável comprimento de encosta (L) e a variável declive (S). Este fator define-se como a proporção esperada de perda de solo por unidade de área a partir de uma parcela com 22,13 m de comprimento e com um declive de 9% (Wischmeier and Smith 1978).

Em condições de uso do solo em que os fatores de coberto vegetal (C), de práticas de agrícolas e medidas de conservação do solo (P) são constantes, o fator LS assume maior influência na variação da perda de solo (Oliveira *et al.* 2010).

Das duas variáveis que compõem o fator LS o declive assume mais influência na perda de solo do que o comprimento de encosta. Em situações em que o fator topográfico possui maior valor devido ao declive, geralmente, existe uma proporcionalidade em relação à velocidade de escoamento superficial e conseqüentemente no aumento de perda de solo (Moore and Wilson 1992, Oliveira *et al.* 2010).

A estimativa deste fator tem originado grandes dificuldades no seu cálculo desde as primeiras aplicações da EUPS. A sua determinação sempre apresentou limitações em áreas de relevo complexo ou de grande extensão, contribuindo muitas vezes para estimativas erradas de erosão do solo (Moore and Wilson 1992, Mitasova *et al.* 1996, Oliveira *et al.* 2010, Ferreira and Panagopoulos 2012). Assim, foram desenvolvidas diversas fórmulas de cálculo do fator topográfico (Henriques 2009).

Em 1940 Zingg desenvolveu a primeira equação que tentava matematicamente relacionar a erosão do solo com os efeitos topográficos do declive e do comprimento de encosta. Nos anos seguintes muitos foram os que lhe seguiram o exemplo, sendo de destacar os trabalhos de Musgrave (1947), Smith and Whitt (1948) e Wischmeier and Smith (1965 e 1978) referidos por Garcia Rodriguez and Suárez (2010).

McCool *et al.* (1987, 1989) efetuaram a revisão do fator declive (S) na equação da EUPS, na tentativa de desenvolverem uma equação para declives moderados (<9%) e outra para declives acentuados (≥9%).

A equação de Wischmeier and Smith (1978) foi integrada no modelo da EUPS (USLE) (Wischmeier and Smith 1978) para cálculo do fator LS, enquanto que a revisão da relação do

fator de declive (S) por parte de McCool *et al.* (1987, 1989) foi integrada na EUPS Revista (RUSLE) (Renard *et al.* 1997, Garcia Rodriguez and Suárez 2010).

Os valores estimados pelas duas equações para declives inferiores a 20% são idênticos, contudo, quando o declive aumenta, o valor obtido de perda de solo pela EUPS Revista (RUSLE) tende a ser metade do valor obtido pela EUPS (USLE) (Renard *et al.* 1997, Garcia Rodriguez and Suárez 2010).

Conforme referido anteriormente a aplicação do fator LS, até à década de 80, era considerada impraticável em terrenos de relevo complexo, como as bacias hidrográficas, uma vez que a variação do comprimento de encosta se tornava difícil de estimar a essa escala (Mitasova *et al.* 1996, Garcia Rodriguez and Suárez 2010).

Atualmente a modelação hidrológica tem incorporado a variabilidade espacial das características do terreno, como o fator topográfico, os solos e a vegetação através de SIG (Garcia Rodriguez and Suárez 2010, Minella *et al.* 2010, Ferreira and Panagopoulos 2012).

Este novo paradigma proporcionou o desenvolvimento e o uso de diversos algoritmos, aplicações e *softwares* que permitem representar e analisar a superfície do terreno das bacias hidrográficas a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT).

A partir dos finais da década de 90 começaram a surgir aplicações específicas para o cálculo do fator LS da EUPS com base no MDT.

Entre essas ferramentas destacam-se o programa *Usle2D* (Desmet and Govers 1996, Van Oost *et al.* 2000), a metodologia de Mitasova *et al.* (2001) para integração do cálculo deste fator em ArcGIS, a extensão *Topocrop Terrain Indices* para ArcView 3.x (Schmidt 2004), o programa executado em linguagem C++ por Van Remortel *et al.* (2004) e a ferramenta para cálculo do LS existente nos módulos do *SAGA GIS* que mais recentemente foi integrado no programa *QuantumGIS* através da extensão disponibilizada pelo framework do *Sistema Extremeño de Análisis Territorial (SEXTANTE)* (Olaya 2012).

O programa *Usle2D* foi desenvolvido pela Universidade de Leuven para calcular o fator LS da EUPS a partir do MDT. Esta aplicação oferece a possibilidade de determinar o LS através da combinação da equação de Desmet and Govers (1996) para a variável L com os algoritmos da variável S propostos por Wischmeier and Smith (1978), McCool *et al.* (1987, 1989), Govers (1991) ou (Nearing 1997). É possível ainda estimar o fator LS conjugando uma das três opções disponíveis referentes ao comportamento do escoamento (Desmet and Govers 1996, Van Oost and Govers 2000, Van Oost *et al.* 2000).

O modelo desenvolvido por Mitasova *et al.* (2001) pretende otimizar a modelação de métodos como a EUPS através da sua integração em SIG e da utilização de fontes de dados com várias resoluções espaciais. Este algoritmo pode ser calculado diretamente em plataformas SIG como o ArcView, o ArcGIS ou o GRASS e baseia o seu cálculo na fórmula derivada de Desmet and Govers (1996) proposta por Mitasova *et al.* (1996).

A extensão *Topocrop Terrain Indices* foi desenvolvida para avaliar índices da superfície do terreno num projeto relacionado com agricultura de precisão, disponibilizando entre esses índices o cálculo do fator topográfico LS da EUPS, através da equação proposta por Moore and Wilson (1992). Esta ferramenta é integrada na plataforma Arcview 3.x conjuntamente com a extensão de análise espacial (Schmidt 2004).

Dos trabalhos de Hickey *et al.* (1994) e Hickey (2000) resultou um programa desenvolvido em *ArcInfo™ Arc Macro Language (AML)* para calcular o fator LS a partir do MDT. Este programa foi atualizado por Van Remortel *et al.* (2001) e Van Remortel *et al.* (2004) para a linguagem de programação *C++* de forma a tornar o processamento mais eficiente (Van Remortel *et al.* 2004, Khosrowpanah *et al.* 2007).

Na versão *AML* as equações usadas para o cálculo do fator L e do fator S baseavam-se no trabalho desenvolvido por Wischmeier and Smith (1978), contudo, a versão atualizada deste programa disponibilizado na linguagem *C++* incorpora a fórmula de cálculo do fator L de Wischmeier and Smith (1978) e a equação do fator S proposta por McCool *et al.* (1987) (Van Remortel *et al.* 2004, Khosrowpanah *et al.* 2007).

O framework do *SEXTANTE* no *QuantumGIS* permite utilizar numa única plataforma de SIG um conjunto de ferramentas e algoritmos disponíveis em diversos programas de SIG. Uma das aplicações externas integrada neste framework é o programa *SAGA GIS* que disponibiliza os algoritmos de Moore *et al.* (1991), de Desmet and Govers (1996) ou de Böhner and Selige (2006) para obter o cálculo automático do fator LS (Olaya 2004, 2012).

#### 2.2.4 Fator Coberto Vegetal (C)

O fator coberto vegetal (C) traduz o efeito da ocupação do solo na taxa de perda de solo, atendendo ao fato de que a vegetação tende a reduzir o impacto erosivo da precipitação e a retardar o escoamento (Ferreira and Panagopoulos 2012).

A dinâmica da vegetação é fundamental na quantificação e interpretação da resposta do uso e da ocupação do solo aos processos hidrológicos e erosivos. O aumento de coberto vegetal está associado a uma diminuição exponencial do escoamento superficial, no entanto, vários autores apontam que a veracidade desta afirmação apenas se verifica acima dos 40% de coberto e que o mesmo tipo de relação se pode observar entre a perda de sedimentos e o coberto vegetal (Nunes *et al.* 2011).

Este fator da EUPS representa a proporção de perda de solo de uma parcela cultivada com determinadas práticas culturais em contraste com uma situação padrão em que a parcela se mantém permanentemente a descoberto (solo nu), sob condições idênticas (Wischmeier and Smith 1978, Pimenta 1998b).

O coberto vegetal assume uma importância especial não só pela redução do poder erosivo provocado pelo impacto das gotas da chuva, como também, pelo volume de água que atinge o solo. Assim, uma das formas de controlo de erosão mais recorrentes assenta no controlo da alteração do uso do solo e no aumento da cobertura da superfície do solo (Nunes *et al.* 2011).

Então, a determinação do fator C deve ter em consideração variáveis como o tipo de cultura, as rotações culturais praticadas, os períodos de sementeira, a densidade de vegetação, as práticas agrícolas com recursos a maquinaria, os períodos do ano em que essas práticas são efetuadas e o estado do solo (Pimenta 1998b, Meneses 2011).

A variabilidade espacial e temporal deste fator deve-se sobretudo às alterações de hábitos e práticas culturais que se vão ajustando às condições hidrológicas (Pimenta 1998b).

Estes aspetos levam a que nem sempre seja possível obter todos os dados inerentes às variáveis acima descritas, sobretudo se a abordagem à EUPS for efetuada em grandes bacias

hidrográficas. No sentido de colmatar esta falta de informação, Pimenta (1998b) definiu valores do fator C para a cartografia de ocupação do solo à escala 1:100 000 (CLC - CORINE *Land Cover*) e à escala 1:25 000 (COS'90 - Carta de Ocupação do Solo de 1990).

Atualmente as principais fontes de informação cartográfica de uso e ocupação do solo para Portugal continental são a Carta de Ocupação do Solo de 1990 (COS'90) à escala 1:25 000, a CORINE *Land Cover* (CLC) para 1990 (CLC90), para 2000 (CLC2000) e para 2006 (CLC2006) à escala 1:100 000 e a Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007) à escala 1:25 000 desenvolvida pelo Instituto Geográfico Português (IGP).

A COS2007 é uma atualização da sua edição anterior (COS'90) mas teve na sua génese diferentes metodologias, diferentes regras de produção cartográfica e de nomenclatura utilizada. Apesar de manter a Unidade Mínima Cartográfica (UMC) de 1 ha, que era usada na sua antecessora, viu reduzida a distância mínima entre linhas de 40 m para 20 m, as imagens aéreas utilizadas na sua produção foram ortorrectificadas e utilizaram-se séries multi-temporais intra-anuais de imagens de satélite que permitiram uma melhor identificação das classes de ocupação e uso do solo.

Esta possui uma nomenclatura de ocupação e uso do solo hierárquica até cinco níveis e 193 classes de ocupação e uso do solo ao nível mais detalhado, em que os primeiros três níveis são semelhantes às classes da nomenclatura da CORINE *Land Cover* (CLC) e cujo esforço de harmonização e compatibilização foi notório com outras nomenclaturas de referência internacional, tais como, o *Temperate and Boreal Forest Resources Assessment 2000* da FAO e o *Land Cover Classification System* das Nações Unidas.

Por estes motivos a COS2007 é um produto de excelência na ocupação e uso do solo quer ao nível nacional quer ao nível Europeu. Por isso pode-se afirmar que esta é atualmente a melhor fonte de informação cartográfica de ocupação e uso do solo disponível em Portugal para a aplicação na modelação de fatores tais como o fator C e P da EUPS.

### 2.2.5 Fator de Práticas Agrícolas e Medidas de Controlo da Erosão (P)

O fator P estima a perda de solo decorrente de práticas agrícolas ou medidas de controlo de erosão como as culturas realizadas ao longo das curvas de nível, em faixas, terraços ou socos (Wischmeier and Smith 1978, Khosrowpanah *et al.* 2007).

As práticas agrícolas influenciam a velocidade do escoamento superficial e a quantidade de sedimentos transportados quando os solos cultivados estão expostos à precipitação (Wischmeier and Smith 1978).

Este fator está diretamente relacionado com o fator C porque se por um lado a cobertura vegetal auferir uma proteção do solo perante a capacidade erosiva da precipitação, por outro a disposição desse coberto ou dessas culturas ao longo das encostas conjuntamente com as práticas agrícolas aplicadas devem ser um complemento na redução dos fenómenos erosivos a que estão expostos (Meneses 2011).

À semelhança do fator C, também a aplicação do fator P em áreas do território mais vastas e complexas, como as bacias hidrográficas, requer uma simplificação dos seus valores para cada tipo de prática agrícola e de conservação em função da ocupação do solo. Nesse sentido, o consórcio de empresas PROCESL - Engenharia Hidráulica e Ambiental Lda., HIDRORUMO -

Projeto e Gestão S.A., GIBB Portugal e HP, no decorrer dos projetos de planeamento das principais bacias hidrográficas portuguesas, definiu valores do fator P para as principais ocupações de solo em Portugal.

A existência de cartografia atual e rigorosa na classificação da ocupação e uso do solo é fundamental para a determinação deste fator através da modelação em SIG, pelo que também neste caso a COS2007 se assume, atualmente, como uma das fontes de informação cartográficas mais ajustadas ao estudo desta variável para Portugal.

## 2.3 Sistemas de Informação Geográfica na Modelação da Erosão

Os avanços tecnológicos nos sistemas de informação têm contribuído para o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais eficientes, tais como, os Sistemas de Informação Geográfica, a deteção remota e o desenvolvimento de modelos avançados de gestão ambiental (Fistikoglu and Harmancioglu 2002).

A popularização dos SIG, nas últimas décadas, deve-se sobretudo à capacidade que oferecem para manipular dados espaciais complexos e combinar diversas fontes de informação geográfica permitindo simular, testar e avaliar cenários e modelos de gestão, na sua maioria ligados ao planeamento e ordenamento do território (Pinto da Costa *et al.* 2000, Fistikoglu and Harmancioglu 2002, Santos *et al.* 2006).

A capacidade de integração dos SIG nos modelos hidrológicos torna esta ferramenta imprescindível à modelação espacial da erosão hídrica do solo, na medida em que este tipo de modelos requer uma análise de variáveis que apresentam variação espacial (Santos *et al.* 2006)

A integração destes modelos de erosão em SIG tem sido frequente nos últimos anos. Um dos modelos empíricos que mais se tem estudado e modificado através desta integração tem sido a EUPS (Mitasova *et al.* 1996).

A modelação dos processos hidrológicos ao nível das bacias hidrográficas requer ainda uma vasta fonte de informação para representar corretamente as suas características físicas e hidrológicas, são exemplos a topografia, a geologia, o uso e ocupação do solo ou regime de precipitação (Pinto da Costa *et al.* 2000, Santos *et al.* 2006).

Por sua vez, deve atender-se às capacidades do próprio SIG no que concerne à necessidade de processamento, edição e análise que o modelo exige, pois o grau de integração pode variar desde o simples recurso do SIG para gestão de dados do modelo até uma integração mais sinérgica entre o SIG e o modelo (Pinto da Costa *et al.* 2000, Santos *et al.* 2006).

As vantagens de integrar os SIG na modelação da erosão hídrica resultam sobretudo na capacidade de gerar fontes de informação consistentes, de acelerar o processo de modelação e de aumentar a precisão do mesmo (Pinto da Costa *et al.* 2000).

### 3. Materiais e Métodos

A metodologia deste estudo foi orientada de acordo com os objetivos propostos e baseia-se na aplicação do modelo da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e na respetiva modelação em SIG.

O modelo conceptual deste estudo foi desenvolvido de acordo com as seguintes fases:

---

#### Fase I

---

- Levantamento das fontes de informação geográfica relevantes para o estudo.
- Seleção do Modelo Digital de Terreno mais adequado ao estudo.

---

#### Fase II

---

- Seleção dos métodos de determinação de cada uma das variáveis do modelo EUPS.
- Modelação de cada uma das variáveis de acordo com as fontes de informação disponíveis e os modelos anteriormente selecionados.

---

#### Fase III

---

- Modelação espacial da erosão hídrica através da combinação das variáveis de entrada do modelo EUPS.

---

#### Fase IV

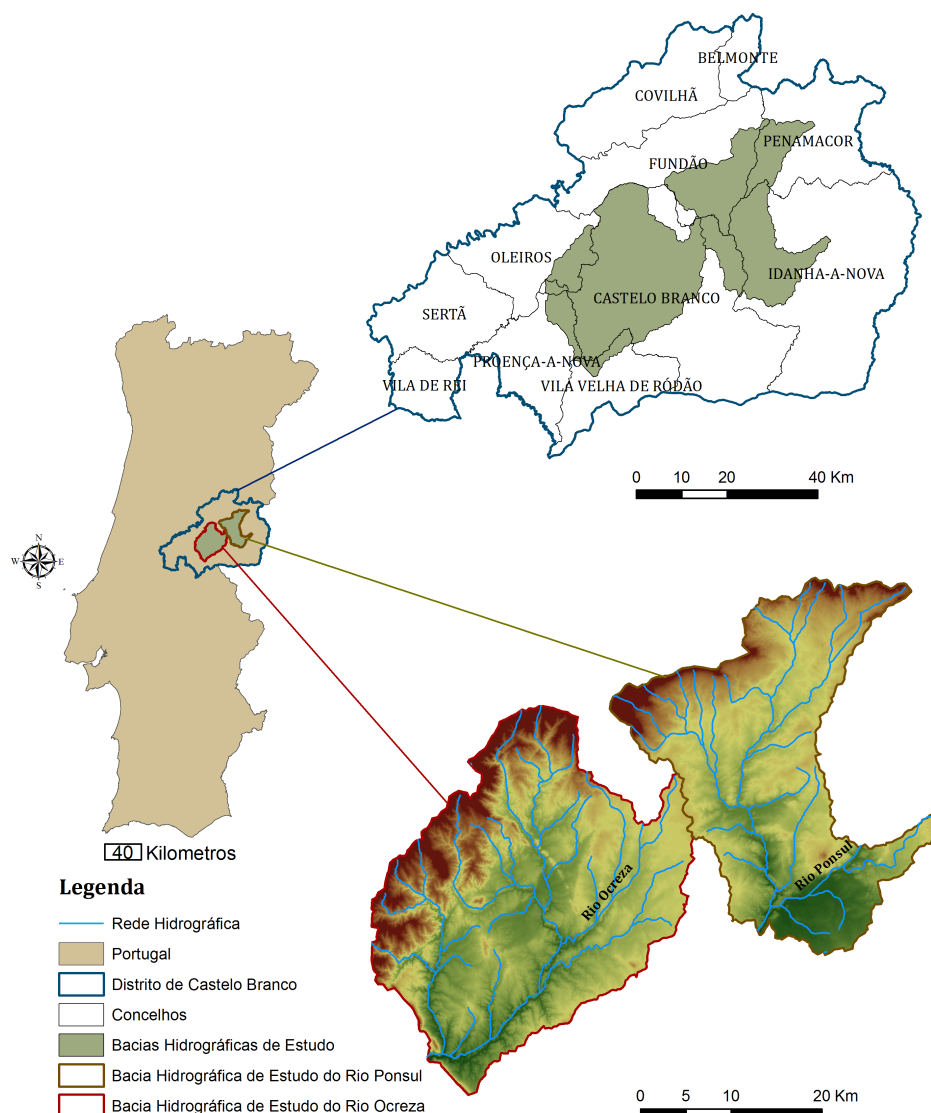
---

- Comparação da distribuição espacial da erosão prevista pela EUPS com os resultados do projeto PESERA.

### 3.1 Áreas de Estudo

Os objetivos deste estudo pressupõem que o modelo conceptual da metodologia inicialmente proposta seja aplicado em duas bacias hidrográficas distintas. A eleição dessas bacias teve em linha de conta a localização na região da Beira Interior Sul, o grau de importância das linhas de água, a existência de fontes de informação geográfica e a representatividade das bacias em termos de relevo complexo e variabilidade espacial dos processos hidrológicos.

As áreas de estudo estão integradas na bacia hidrográfica do rio Tejo e inseridas em duas das suas principais sub-bacias, a bacia do rio Ocreza e a bacia do rio Ponsul (Figura 1).



**Figura 1** - Enquadramento geográfico da área de estudo.

Na metodologia proposta para este estudo optou-se por delimitar duas bacias mais pequenas dentro destas duas sub-bacias (Ocreza e Ponsul) de forma a otimizar a capacidade de processamento de informação. Para efeitos deste estudo essas duas pequenas bacias passaram a ser designadas de bacia hidrográfica de estudo do rio Ocreza e bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul.

A delimitação destas bacias foi efetuada através da modelação em *ArcGIS Desktop 10*, recorrendo às imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), como MDT e à informação vetorial das estações hidrométricas, fornecidas pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), como ponto de partida para a mesma.

O modelo de análise espacial para extrapolação destas bacias hidrográficas, assim como a sua representação cartográfica, são apresentados no Anexo I (Figuras 1 – 2)

A bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul possui uma área de 680 Km<sup>2</sup> e a bacia hidrográfica de estudo do rio Ocreza abrange uma área de 885 Km<sup>2</sup>.

A bacia de estudo do rio Ocreza abrange os concelhos de Castelo Branco, Vila Velha de Rodão, Proença-a-Nova e Oleiros, embora a maior área esteja no município de Castelo Branco.

A bacia de estudo do rio Ponsul abrange os seguintes concelhos, Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Penamacor e Fundão.

As bacias hidrográficas do rio Ocreza e do rio Ponsul são responsáveis pela drenagem respetiva em cerca de 60% e 35% da área do concelho de Castelo Branco. O Ocreza é o único rio que possui as linhas de cabeceira situadas neste concelho e o rio Ponsul o único curso de água deste município com caudal permanente (Cupeto *et al.* 2007).

O rio Ponsul nasce na Serra do Ramiro, em Penamacor, a uma altitude de 650 m e tem um comprimento de 79,8 km. O rio Ocreza nasce na serra da Gardunha, a uma altitude de 1100 m, e tem um comprimento de 82,2 km, com alguns troços bastante sinuosos (Cupeto *et al.* 2007).

Ainda no rio Ocreza é possível encontrar o maior armazenamento de água do concelho de Castelo Branco, a Albufeira de Santa Águeda (Cupeto *et al.* 2007).

Pelas características acima descritas verifica-se que as bacias hidrográficas destes dois rios são, à escala regional, importantes para o sistema hidrológico do distrito de Castelo Branco.

## 3.2 Descrição dos Dados

### 3.2.1 Sistema de Coordenadas

No processo de levantamento das fontes de informação geográficas necessárias para a prossecução deste estudo, constatou-se que a vasta informação recolhida nem sempre se encontrava harmonizada no mesmo sistema de coordenadas.

Este tópico reveste-se de grande importância para que se garanta uma correta modelação espacial dos dados.

O sistema global de referência adotado neste estudo foi o *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89), adotado com a designação para Portugal de ETRS Portugal TM06.

A adoção deste referencial, neste estudo, implicou que antes de qualquer processamento fosse efetuada a harmonização dos sistemas de coordenadas através de transformações/projeções de coordenadas.

Para efetuar estas conversões recorreu-se a um método baseado em grelhas de diferenças de coordenadas entre os data locais tradicionalmente usados em Portugal, disponibilizadas no formato NTV2 por Gonçalves (2008). Para a conversão do Datum mundial WGS84 para

ETRS Portugal TM06 recorreu-se aos parâmetros de transformação existentes por defeito na plataforma SIG.

O recurso às grelhas para converter coordenadas apresenta duas vantagens primordiais, a primeira é que os estudos realizados revelam que este método é mais rigoroso do que os métodos de Bursa-Wolf ou Molodensky, normalmente implementados nos programas comerciais e outros. A segunda vantagem é que através da sua disponibilização no formato NTV2 é possível configurar estas transformações nos programas de SIG mais usados, quer sejam proprietários ou de código aberto (Gonçalves 2009).

Este trabalho foi desenvolvido recorrendo a diversas aplicações e a algumas plataformas de código aberto, no entanto, a ferramenta primordial no tratamento, processamento e análise de informação geográfica foi o *ArcGIS Desktop 10 Service Pack 4* (ArcGIS), onde se configurou este tipo de transformação por grelhas através do formato NTV2.

A identificação das restantes plataformas e aplicações será efetuada no decorrer da descrição da metodologia deste trabalho.

### 3.2.2 Modelo Digital de Terreno

A definição do Modelo Digital de Terreno (MDT) é imprescindível para a modelação espacial da erosão hídrica em SIG, sobretudo quando se pretende determinar o fator topográfico LS da EUPS para bacias hidrográficas.

Um dos principais objetivos específicos deste estudo foi avaliar o efeito das fontes de informação na representação da variação espacial da altitude, o que implicou que no desenvolvimento conceptual deste trabalho fosse definido à partida o recurso a três MDT que apresentam resoluções espaciais distintas (Tabela 1).

**Tabela 1** - Fontes de Informação dos Modelos Digitais de Terreno.

Fonte Informação	Escala	Resolução	Produtor	Formato	Ano Produção
Altimetria	1:25 000	12,5 m	IGeoE	Vetorial (shp)	2001
ASTER Global Digital Elevation Model Version2		30 m	METI e NASA	Raster (Geotiff)	2011
Shuttle Radar Topography Mission Version 2.1		80 m	NGA e NASA	Raster (Geotiff)	2009

O primeiro passo no tratamento da informação de base para a criação dos MDT foi harmonizar os sistemas de coordenadas para ETRS89 Portugal TM06, de acordo com os métodos anteriormente definidos.

A altimetria foi assim convertida do sistema de coordenadas Datum Lisboa Hayford-Gauss IGeoE para ETRS Portugal TM06 e as imagens ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) foram convertidas do Datum WGS84 para ETRS Portugal TM06.

As imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) já foram adquiridas para este estudo com o sistema de coordenadas ETRS Portugal TM06, tendo esta conversão sido efetuada por Gonçalves (2012).

Após este procedimento foram desenvolvidos os Modelos Digitais de Terreno propriamente ditos, com recurso à plataforma de SIG *ArcGIS Desktop 10*.

O MDT gerado pela altimetria à escala 1:25 000 foi obtido através do processo *Triangulated Irregular Network* (TIN) usando o tipo de superfície *masspoint* na incorporação da altimetria nesta triangulação.

Esta TIN foi convertida em formato raster e foi-lhe atribuído uma resolução espacial de 12,5 metros. De acordo com estabelecido por Hengl (2006) esta resolução demonstra ser o melhor compromisso entre a escala de produção e a representatividade dos dados quando convertidos em raster.

Existindo desde logo um raster com dados de elevação e uma resolução adequada à sua fonte de informação, o último passo deste processo foi a remoção de pequenas imperfeições, passíveis de existir neste MDT, através do processo *Fill Sinks*. Este comando executa a correção de pequenas imperfeições nos valores de altitude das células.

As imagens ASTER GDEM e SRTM são fornecidas diretamente como MDT, uma vez que cada célula das suas imagens corresponde ao valor de altitude da superfície do terreno. No entanto, também estes MDT tiveram de ser alvo de algum processamento geográfico.

O modelo ASTER GDEM é fornecido de acordo com um cartograma definido para todo o mundo e por essa razão para uma determinada área poderemos ter mais que uma imagem. Neste estudo ocorreu exatamente essa situação, pelo que foi necessário proceder à junção dessas imagens usando a ferramenta *Mosaic to New Raster* e também ao *Fill Sinks* para remoção de pequenas imperfeições, passíveis de existir neste MDT.

O modelo SRTM usado neste estudo foi obtido já com o preenchimento de células vazias, com as coordenadas ETRS Portugal TM06 e com uma resolução espacial de 80 metros obtida por reamostragem bi-linear (Gonçalves 2012).

A cada um destes MDT foi aplicada uma máscara com os limites das bacias hidrográficas de estudo obtendo no total três MDT com resoluções espaciais distintas para cada uma das bacias de estudo. A representação desta modelação espacial encontra-se no Anexo II (Figura 3 – 8).

### 3.2.3 Dados de Precipitação

A fonte de informação de precipitação utilizada neste trabalho foi obtida através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

A primeira informação relacionada com a precipitação necessária ao estudo da modelação da EUPS foi a localização geográfica das estações meteorológicas que abrangem a área de estudo. Esta fonte de informação foi obtida em formato *shapefile através do Atlas da Água e* convertida do sistema de coordenadas Datum Lisboa Hayford-Gauss IGeoE para ETRS Portugal TM06 (SNIRH 2012).

Após este processo as estações foram sobrepostas às bacias hidrográficas em estudo e procedeu-se à seleção das estações ativas para o distrito de Castelo Branco (Figura 2).

Para a modelação do fator R da EUPS foi necessário obter os registos de precipitação das estações meteorológicas. Estes dados foram disponibilizados pelo SNIRH em formato

alfanumérico, pelo que posteriormente foi efetuada a sua ligação com a componente geográfica correspondente à localização das estações.

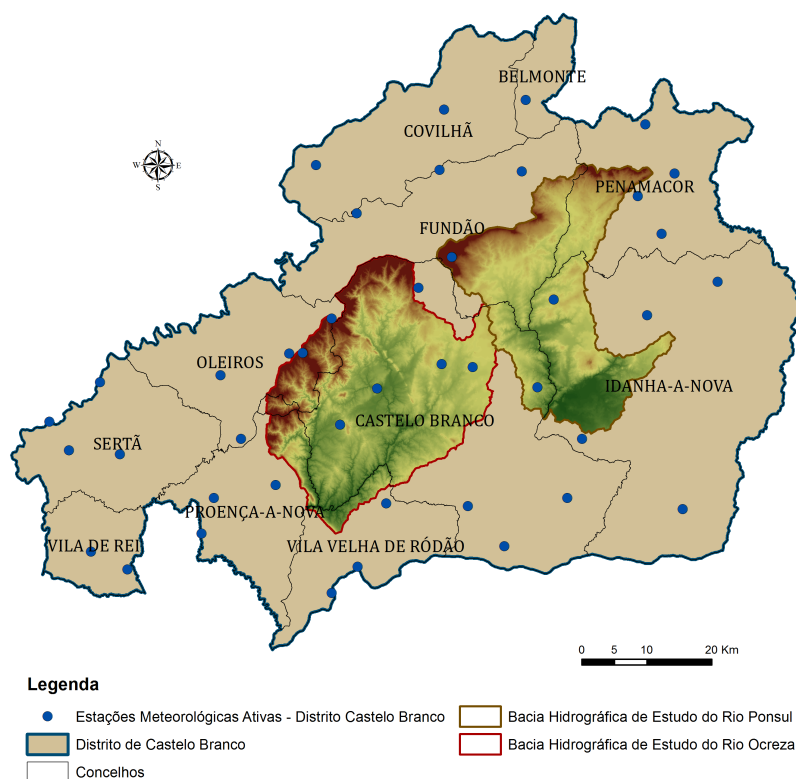


Figura 2 - Estações meteorológicas ativas no distrito de Castelo Branco.

### 3.2.4 Cartografia de Solos

O modelo da EUPS pressupõe a utilização de cartografia do solo para calcular o fator de erodibilidade atendendo a cada mancha de solo.

Conforme abordado no capítulo da revisão bibliográfica existem diversas cartografias, escalas e classificações disponíveis em Portugal.

Neste estudo foram utilizadas duas fontes de informação relativas aos solos, a cartografia à escala 1:25 000, classificada pelo Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (S.R.O.A.) de acordo com a classificação de Cardoso (1965) e a cartografia à escala 1:100 000, desenvolvida para a Região Interior Centro com a classificação *World Reference Base for Soil Resources* (WRB 1998).

Contudo, só foi possível utilizar a cartografia de solos à escala 1:25 000 na bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul, pois a sua cobertura não abrange a bacia hidrográfica de estudo do rio Ocreza, conforme apresentado na Figura 3.

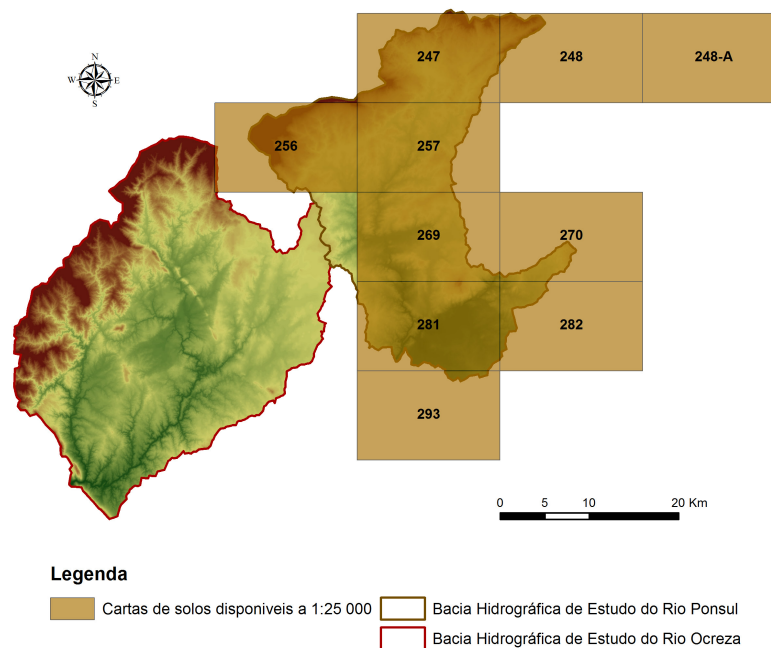


Figura 3 - Cartas de solos disponíveis à escala 1:25 000 nas áreas de estudo.

As duas cartografias de solos foram convertidas do sistema de coordenadas Datum Lisboa Hayford-Gauss IGeoE para ETRS Portugal TM06.

Estes dados foram adquiridos e disponibilizados pelo Projeto OTALEX C - Observatório Territorial e Ambiental Alentejo – Extremadura- Centro.

### 3.2.5 Cartografia de Uso e Ocupação do Solo

Neste estudo foi utilizada a Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007) à escala 1:25 000, com uma nomenclatura de três níveis hierárquicos. Esta cartografia foi desenvolvida em formato vetorial pelo IGP (2010), com uma Unidade Cartográfica Mínima de 1 ha, com o sistema de coordenadas ETRS89 Portugal TM06, uma exatidão temática de 85% e uma exatidão posicional melhor ou igual que 5,5 metros. Estes dados foram adquiridos e disponibilizados pelo Projeto OTALEX C - Observatório Territorial e Ambiental Alentejo – Extremadura- Centro.

### 3.2.6 Pan-European Soil Erosion Risk Assessment

Os dados cartográficos relativos ao *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment* (PESERA) utilizados neste estudo foram elaborados no âmbito desse projeto.

A estimativa de erosão hídrica do solo ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) apresentada nesta cartografia foi determinada recorrendo à base de dados europeia de solos *European Soil Database* (ESDB), à cartografia CORINE *Land Cover*, aos dados climáticos do projeto *Monitoring Agricultural Resources* (MARS) e a um MDT disponibilizado pelo *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS), com uma resolução espacial de 1000 m. Os resultados produzidos por este modelo dependem sobretudo da ocupação do solo e da precisão da interpolação dos dados meteorológicos (Kirkby *et al.* 2004, S.P.I.04.73. 2004, Panagos *et al.* 2012).

A resolução espacial desta cartografia é de 1000 m e o sistema de coordenadas definido é o ETRS89 (Kirkby *et al.* 2004, S.P.I.04.73. 2004, Panagos *et al.* 2012).

### 3.3 Qualidade do Modelo Digital de Terreno

O recurso à modelação espacial da erosão hídrica em SIG, através do MDT, requer o conhecimento da qualidade dos dados e das fontes de informação usados nesse processo.

No presente estudo foi avaliada a qualidade dos MDT usados como informação de base no cálculo do fator LS.

Este processo consistiu em obter os dados dos vértices geodésicos da rede geodésica nacional, disponibilizados pelo IGP (2012) em formato alfanumérico, onde constam as coordenadas em ETRS89 Portugal TM06 e as altitudes da base de cada vértice.

Recorrendo ao valor das coordenadas M e P e ao comando *Make XY Event Layer* gerou-se a representação desses vértices em pontos no *ArcGIS Desktop 10*, que posteriormente foram exportados para o formato *shapefile* com o atributo de pontos.

A altitude da base dos vértices geodésicos foi validada recorrendo à carta militar e verificou-se a correspondência dos valores entre as duas fontes de informação, embora a carta militar represente os valores em números inteiros e os dados da rede geodésica estejam em números reais.

Este método de avaliação da qualidade dos MDT utilizou os vértices geodésicos como pontos de validação dos mesmos. Assim, para a bacia hidrográfica do rio Ocreza foram seleccionados 67 vértices geodésicos e para o rio Ponsul 52 vértices geodésicos (Figura 4).

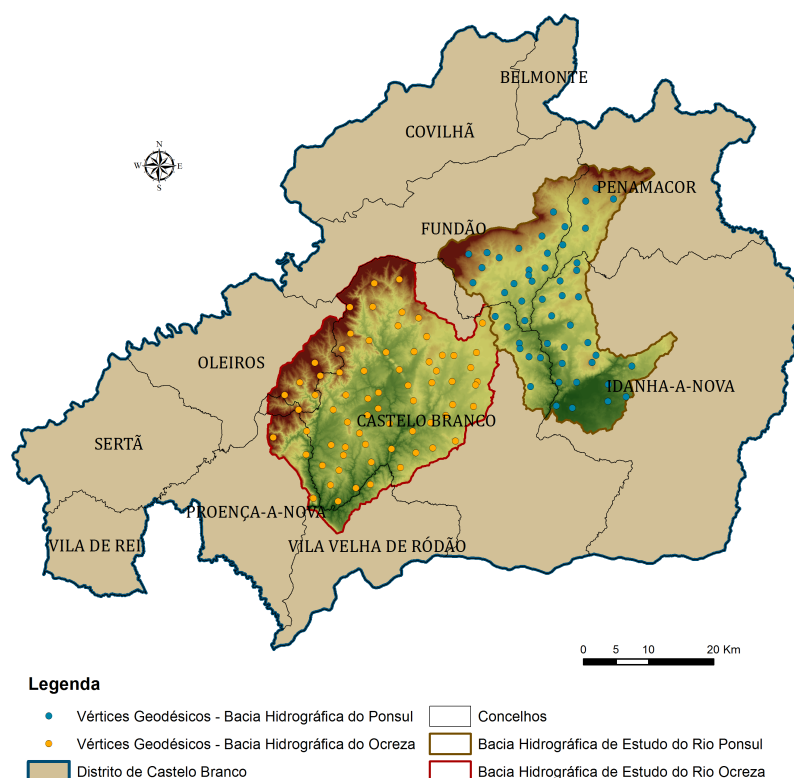


Figura 4 - Enquadramento geográfico dos vértices geodésicos utilizados para avaliação dos MDT.

Usando os pontos de validação definidos extraiu-se o valor da altitude em cada um dos MDT e utilizou-se o Erro Médio Quadrático (EMQ) para comparar os valores de altitude obtidos pelo MDT, com os valores de altitude observados em cada vértice geodésico.

A equação usada na determinação deste erro foi a seguinte:

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i^{Altitude\ do\ MDT} - S_i^{Altitude\ do\ Vértice\ Geodésico})^2}{N}}$$

Equação 2

Em que  $S_i^{Altitude\ do\ MDT}$  corresponde aos valores de altitude obtidos pelo MDT,  $S_i^{Altitude\ do\ Vértice\ Geodésico}$  aos valores de altitude observados em cada vértice geodésico e  $N$  ao tamanho da amostra.

### 3.4 Cálculo do Fator Topográfico

Dos fatores que compõem a EUPS o fator topográfico (LS) é sem dúvida o que tem originado maior debate quanto à sua formulação de cálculo.

Conforme referido anteriormente, a determinação deste fator apresenta limitações em áreas de relevo complexo ou de grande extensão, podendo contribuir para estimativas erradas de erosão do solo.

A incorporação do cálculo do fator LS em métodos de modelação espacial, através da utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm permitido calcular este fator para zonas em que o relevo apresenta essa complexidade, como é o caso das bacias hidrográficas.

Atualmente existem diversas ferramentas e algoritmos integrados quer em plataformas SIG, quer em programas independentes que potenciam o cálculo do fator LS recorrendo aos Modelos Digitais de Terreno.

Assim, pretendeu-se testar os diferentes algoritmos, abordados anteriormente, com os três MDT no cálculo do fator LS na bacia hidrográfica do rio Ponsul.

O primeiro passo para prosseguir com esta metodologia foi estudar os algoritmos disponíveis para o cálculo do fator LS e respetivas ferramentas onde estão implementados. A síntese desta primeira abordagem está representada na Tabela 2 que identifica as ferramentas e os respetivos algoritmos usados neste estudo.

**Tabela 2** - Identificação das ferramentas de cálculo do Fator LS e respetivos algoritmos.

Algoritmos	C++		USLE2D		SEXTANTE SAGA (Quantum GIS)	TOPOCROP (ARCVIEW 3.2)	MITASOVA (ArcGIS 10.0)
	L	S	L	S	LS	LS	LS
Wischmeier and Smith (1978)	•			•			
McCool <i>et al.</i> (1987, 1989)		•		•			
Desmet and Govers (1996)			•		•		
Moore and Wilson (1992)						•	
Mitasova <i>et al.</i> (2001)							•

### 3.4.1 Programa Executável em C++

No programa executável desenvolvido em linguagem C++ por Van Remortel *et al.* (2004), o fator LS é calculado recorrendo à equação do fator L (comprimento de encosta) proposta por Wischmeier and Smith (1978) e à sua conjugação com as equações do fator S (declive) propostas por McCool *et al.* (1987).

Assim, para declives inferiores a 9% a equação aplicada pelo programa é:

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m \times 10,8 \sin \theta + 0,03^\circ$$

Equação 3

Em declives superiores a 9% a equação aplicada passa a ser a seguinte:

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m \times 16,8 \sin \theta - 0,5^\circ$$

Equação 4

Em ambas as equações a constante  $m$  é estimada pelas seguintes equações:

$$m = \frac{\beta}{(\beta + 1)}$$

Equação 5

$$\beta = \frac{\left( \frac{\sin \theta}{0,0896} \right)}{3,0 \times (\sin \theta)^{0,8} + 0,56}$$

Equação 6

A variável  $\lambda$  corresponde ao cumprimento da encosta (m) num plano horizontal, o  $\theta$  refere-se à inclinação da encosta em graus, o  $m$  é uma constante dependente do declive e o  $\beta$  assume-se como a razão entre erosão originada pelo escoamento e a erosão originada pelo impacto das gotas de chuva.

O cálculo do fator LS através deste programa requer que os MDT estejam em formato ASCII, neste caso os MDT foram convertidos de raster para ASCII (.txt) e depois foram introduzidos neste programa para determinar o valor de LS (Figura 5).

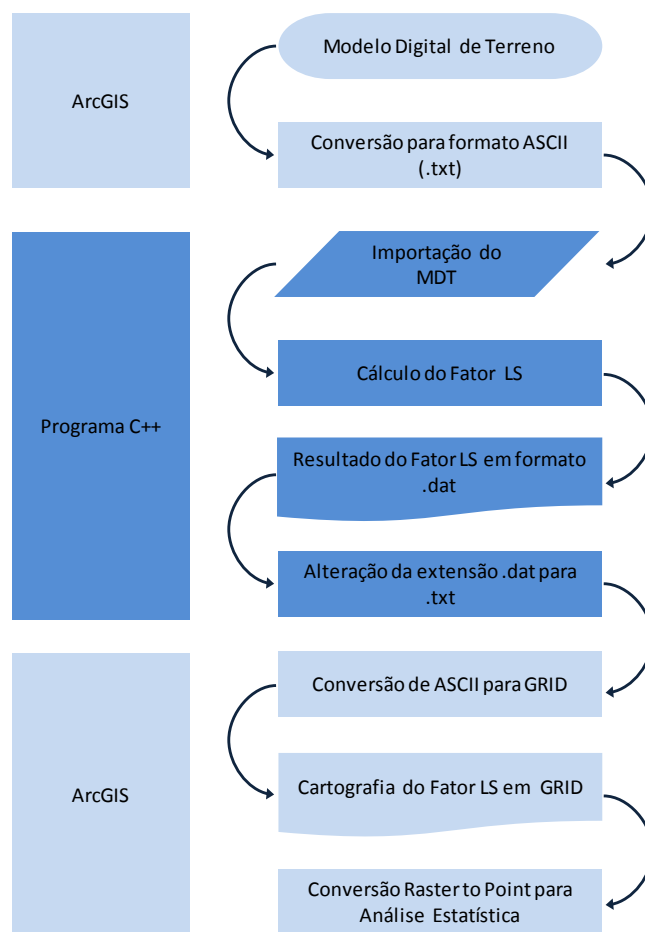


Figura 5 - Procedimento de cálculo do fator LS com o programa C++.

Este procedimento foi efetuado individualmente para cada um dos MDT provenientes de fontes de informação com resoluções espaciais distintas (12,5m, 30m e 80m), gerando assim, três mapas de LS processados pela mesma ferramenta.

### 3.4.2 Método Mitsova

A metodologia de cálculo do fator LS proposta por Mitsova *et al.* (2001) assenta numa forma derivada da equação de Desmet and Govers (1996), uma vez que incorpora o impacto da convergência do escoamento e substitui o comprimento da encosta pela área contributiva (escoamento acumulado) (Mitsova *et al.* 2001).

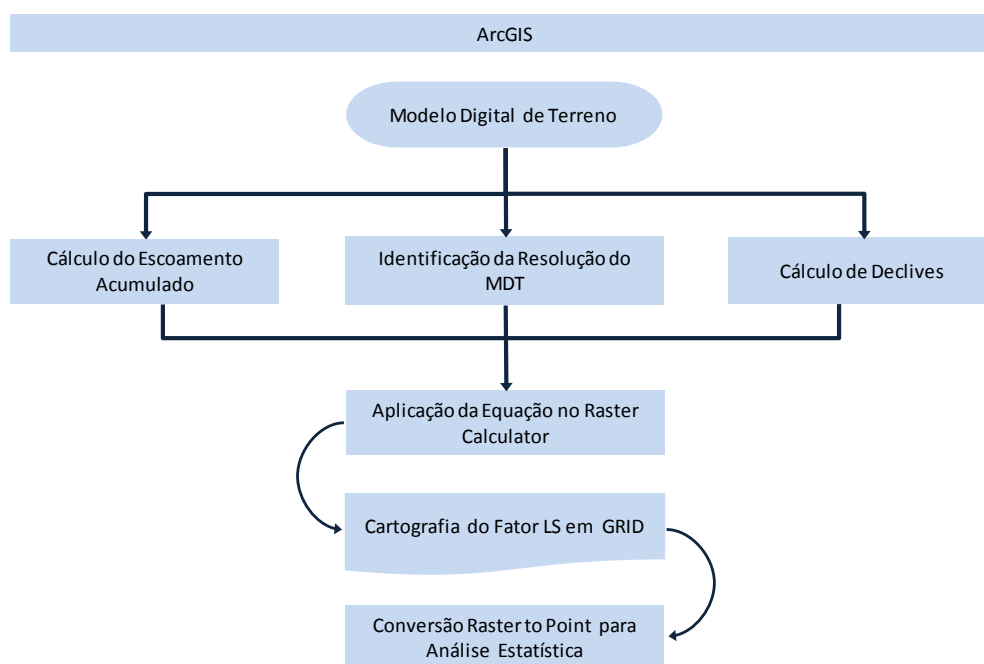
Este modelo caracteriza-se pela aplicação direta da equação 7 no *Raster Calculator* do ArcGIS:

$$LS = \left( \frac{\text{Escoamento Acumulado} \times \text{Resolução}}{22,1} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\sin \theta \times 0,01745}{0,09} \right)^{1,4} \times 1,4$$

Equação 7

De acordo com a equação este algoritmo permite calcular o fator LS através dos dados do escoamento acumulado, da resolução espacial do MDT e da inclinação ( $\theta$ ).

A Figura 6 demonstra o procedimento da metodologia aplicada no cálculo deste fator, comum a cada um dos MDT.



**Figura 6** - Procedimento de cálculo do fator LS através do método Mitsova *et al.* (2001).

Este procedimento foi integrado no *Model Builder* do *ArcToolBox* e foram definidos parâmetros de entrada e de saída no modelo, de forma a criar uma ferramenta que permita o cálculo do fator LS de uma forma mais intuitiva e prática.

A Figura 7 apresenta o modelo em questão e no Anexo III (Figura 9) pode-se observar o *layout* da ferramenta desenvolvida.

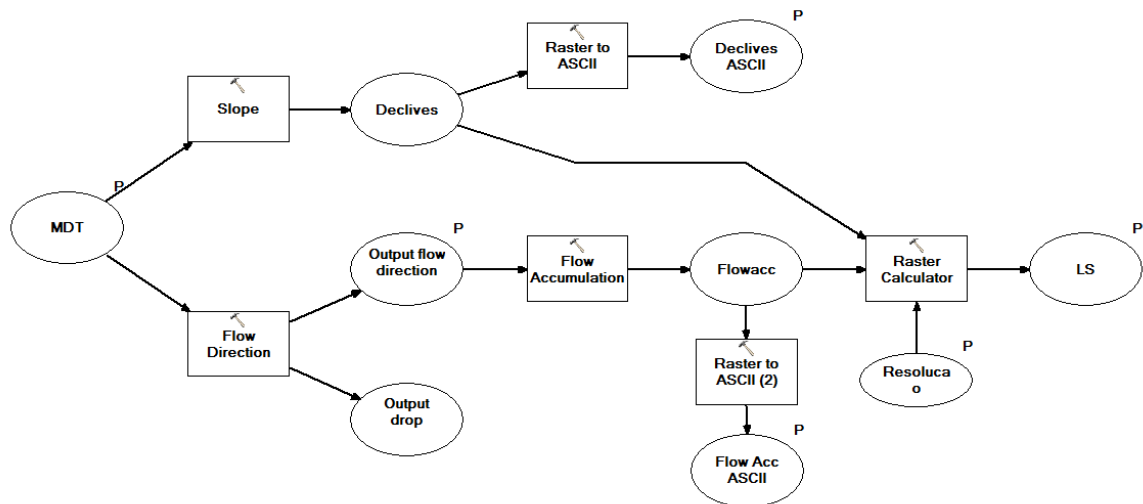


Figura 7 - Modelo de cálculo do fator LS proposto por Mitsova *et al.* (2001), em *Model Builder*.

Este modelo foi exportado para *Python Script* por forma a recorrer a esta ferramenta de cálculo do fator LS sempre que necessário e sem utilizar ferramentas adicionais para o cálculo do escoamento acumulado ou dos declives, permitindo também guardar o resultado destas variáveis.

Da aplicação deste modelo resultou a elaboração de três mapas do fator LS provenientes de MDT com diferentes resoluções espaciais (12,5m, 30m e 80m).

### 3.4.3 Framework do SEXTANTE em QuantumGIS

A disponibilização do *framework* do Sistema Extremeño de Análisis Territorial (*SEXTANTE*) integrado em *QuantumGIS* permite que esta plataforma de SIG possua atualmente uma caixa de ferramentas com várias funcionalidades para processamento e modelação de informação geográfica.

Das centenas de algoritmos que o *SEXTANTE* disponibiliza a maioria são provenientes da integração do *software SAGA GIS* neste *framework* da *SEXTANTE*.

Os algoritmos do *SAGA GIS* presentes no *SEXTANTE* estão distribuídos por módulos, entre eles existe o módulo *Terrain Analysis - Hydrology* dedicado à modelação hidrológica. Este módulo apresenta uma ferramenta que permite calcular o fator LS através de três algoritmos referidos anteriormente na revisão bibliográfica. Neste estudo optou-se por utilizar o algoritmo proposto por Desmet and Govers (1996) cujas equações são as seguintes:

Para declives inferiores a 9% a equação aplicada pelo programa é:

$$LS = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \times D^{m+2} \times 22,13^m} \times 10,8 \sin \theta + 0,03^\circ$$

Equação 8

Em declives superiores a 9% a equação aplicada passa a ser a seguinte:

$$LS = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \times D^{m+2} \times 22,13^m} \times 16,8 \sin \theta - 0,5^\circ$$

Equação 9

Em ambas as equações a constante  $m$  é estimada pelas equações 5 e 6, apresentadas anteriormente.

A variável  $A_{(i,j)}$  refere-se à área de contribuição de uma célula com coordenadas  $(i,j)$  em  $m^2$ , a variável  $D$  refere-se à resolução espacial ou tamanho da célula em  $m$ , a variável  $x$  refere-se ao valor da direção de escoamento,  $\theta$  refere-se à inclinação da encosta em graus, o valor de  $m$  é o fator dependente do declive.

No *SEXTANTE* o algoritmo disponibilizado pelo *SAGA GIS* tem como dados de entrada o declive e o escoamento acumulado, por isso é necessário o processamento geográfico prévio desta informação. Como na metodologia anterior se procedeu ao cálculo dessa informação através da ferramenta desenvolvida e esta foi guardada em formato ASCII (.txt), foi utilizada esta informação para proceder à determinação do fator LS com o *SEXTANTE*.

O procedimento da metodologia usada no cálculo deste algoritmo encontra-se descrito na Figura 8.

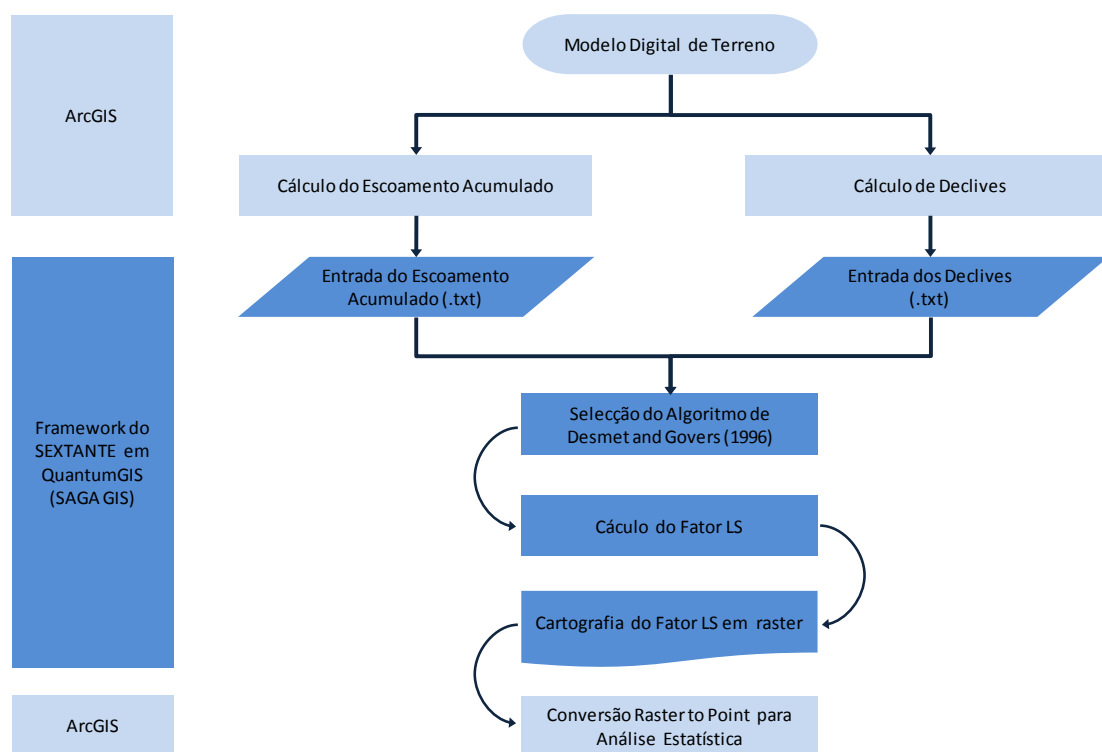


Figura 8 - Procedimento de cálculo do fator LS com o SEXTANTE em QuantumGIS.

A aplicação desta metodologia foi efetuada com base nos três MDT com resoluções espaciais distintas (12,5m, 30m e 80m), originando assim três mapas do fator LS.

### 3.4.4 Topocrop Terrain Indices

A extensão *Topocrop Terrain Indices* efetua o cálculo do fator LS através do algoritmo proposto por Moore and Wilson (1992). Nesta formula a avaliação da perda de solo é definida pela área de influência de um célula (escoamento acumulado) e pela inclinação (Schmidt 2004). Esta extensão utiliza o *ArcView 3.x* com a extensão *Spatial Analyst* incorporada (Schmidt 2004).

O algoritmo e os parâmetros de cálculo do LS neste programa são:

$$LS = \left( \frac{\text{Escoamento Acumulado}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \times 1,4$$

Equação 10

À semelhança do método proposto por Mitasova *et al.* (2001), também a equação de Moore and Wilson (1992) se baseia no escoamento acumulado e na inclinação ( $\theta$ ).

O procedimento metodológico da determinação deste algoritmo está esquematizado na Figura 9. Também neste algoritmo a metodologia descrita foi aplicada recorrendo aos três MDT com diferentes resoluções espaciais (12,5m, 30m e 80m), dando origem a três mapas do fator LS.

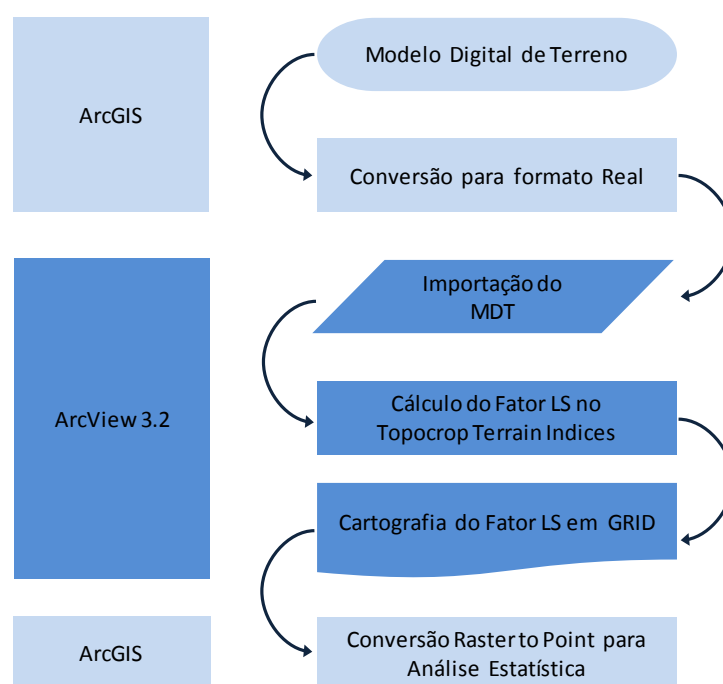


Figura 9 - Procedimento de cálculo do fator LS com o *Topocrop Terrain Indices*.

### 3.4.5 Usle2D

O programa *Usle2D* estima o comprimento de encosta ( $L$ ) a partir do MDT e através da equação proposta por Desmet and Govers (1996) apresentada a seguir:

$$L = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \times D^{m+2} \times 22,13^m}$$

Equação 11

Em que a variável  $A_{(i,j)}$  é a área de contribuição de uma célula com coordenadas  $(i,j)$  em  $m^2$ , a variável  $D$  é a resolução espacial ou tamanho da célula em  $m$ , a variável  $x$  indica o valor da direção de escoamento e o valor de  $m$  depende do declive e é estimado pelas equações 5 e 6, apresentadas anteriormente..

Em relação ao fator declive ( $S$ ), este programa permite o seu cálculo através dos algoritmos de Wischmeier and Smith (1978), de McCool *et al.* (1987, 1989), de Govers (1991) ou de Nearing (1997). Neste estudo foram aplicados apenas os algoritmos propostos por Wischmeier and Smith (1978) e McCool *et al.* (1987, 1989) (Desmet and Govers 1996, Van Oost and Govers 2000, Van Oost *et al.* 2000).

As equações disponíveis para o cálculo de  $S$  no *Usle2D* são as seguintes:

---

Wischmeier and Smith (1978)

---

$$S = 65,41 \sin 2 \theta + 4,56 \sin \theta + 0,065$$

Equação 12

Nesta equação  $\theta$  representa a inclinação da encosta em graus e neste caso específico o  $m$  da equação do fator  $L$ , proposta por Desmet and Govers (1996), será atribuído de acordo com o valor do fator  $S$ . Desta forma, esquematizam-se os valores de  $m$  obtidos em função de  $S$ :

$$\begin{aligned} S < 1\% \quad m &= 0,2 \\ 1\% \leq S \leq 3\% \quad m &= 0,3 \\ 3\% \leq S \leq 5\% \quad m &= 0,4 \\ S > 5\% \quad m &= 0,5 \end{aligned}$$

---

 McCool *et al.* (1987, 1989)
 

---

Equação para declives inferiores a 9%:

$$S = 10,8 \sin \theta + 0,03^\circ$$

Equação 13

Equação para declives superiores a 9%:

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,5^\circ$$

Equação 14

O  $\theta$  é a inclinação da encosta em graus e neste algoritmo o  $m$  do fator  $L$  é determinado em função das equações 5 e 6.

Este programa permite escolher entre três opções para determinar a direção do escoamento, o método *Steepest Descent*, o método *Multiple Flow* e o método *Flux Decomposition*.

O método *Steepest Descent*, baseia-se em definir a direção do escoamento da célula central para outra célula na vizinhança tendo em consideração o maior declive (Van Oost and Govers 2000).

O método *Multiple Flow* distribui o escoamento pelas células com cota inferior à célula central, sendo que a fração recebida por cada uma destas células é proporcional ao produto da distância ponderada, entre essas células, e do fator de ponderação geométrica (Van Oost and Govers 2000).

O método *Flux Decomposition* decompõe o escoamento atendendo à área e à exposição da encosta (Van Oost and Govers 2000).

A metodologia usada neste estudo abordou o cálculo do fator LS com recurso ao *Usle2D* aplicando os algoritmos acima descritos a cada um dos três MDT (12,5m, 30m e 80m) e para cada uma das opções de direção do escoamento.

Para proceder ao cálculo do fator topográfico com recurso a esta ferramenta foi necessário converter os MDT para formato *IDRISI (.rst)*, pelo fato de apenas ser possível utilizar dados provenientes deste *software* ou do *SURFER*.

Esta aplicação permite ainda considerar o cálculo do fator LS através da divisão da área por parcelas, contudo, neste trabalho foi estudada a totalidade da área das bacias hidrográficas. Assim, foi criado um raster para os limites das bacias hidrográficas com um valor constante de 1, porque o programa solicita sempre a informação relativa às parcelas.

O modelo conceptual da metodologia aplicada no cálculo deste fator a partir do programa *Usle2D* é apresentado na Figura 10.

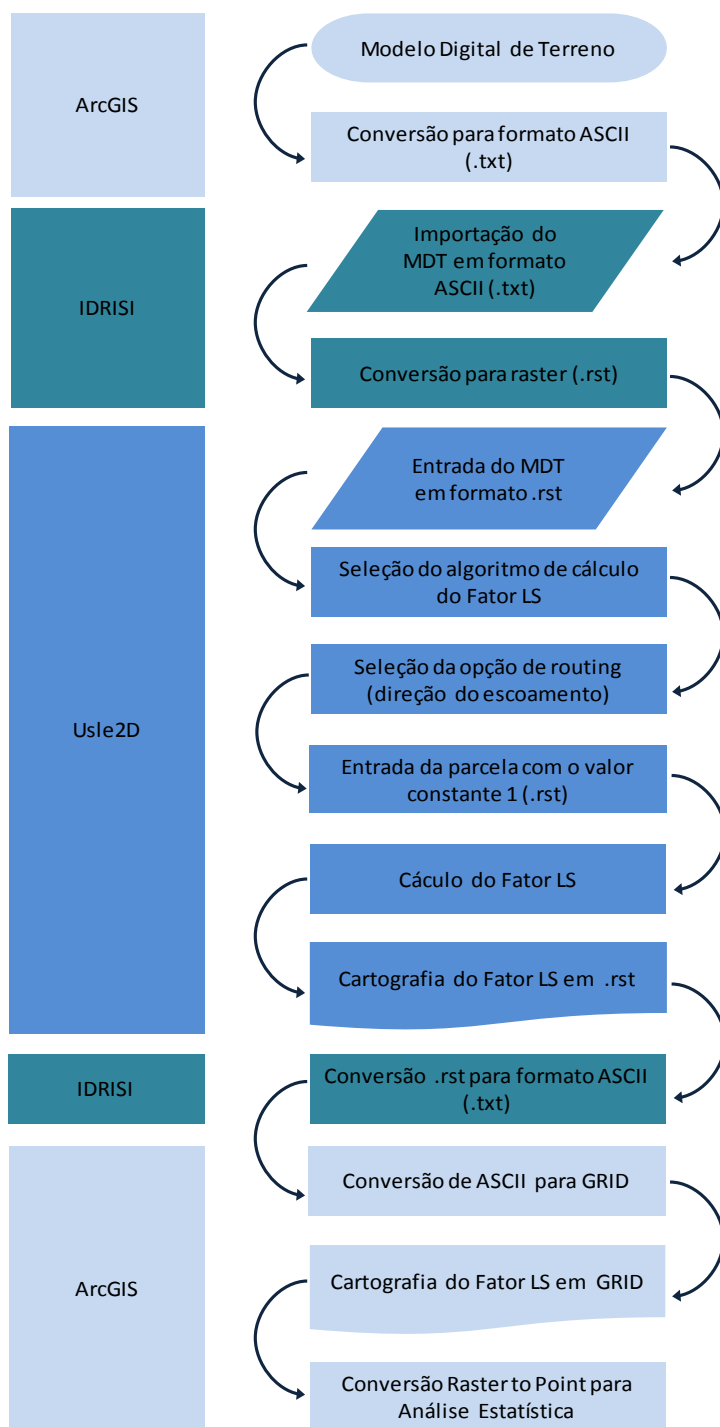


Figura 10 - Procedimento de cálculo do fator LS com Usle2D.

### 3.5 Cálculo do Fator Erosividade

O estudo do fator erosividade (R) abordado neste trabalho contemplou duas etapas, a primeira foi a determinação de um modelo numérico para calcular a distribuição espacial do fator R. A segunda etapa foi comparar diferentes métodos de interpolação espacial, de forma a avaliar qual o melhor método para interpolar dados pontuais de erosividade.

#### 3.5.1 Distribuição Espacial do Fator Erosividade

A determinação do fator R da EUPS proposto por Wischmeier and Smith (1978) é feita através do índice  $IE_{30}$  para cada evento pluvioso considerado erosivo. No entanto, a estimativa deste índice implica a disponibilidade de uma grande quantidade de medições de precipitação e nem sempre as estações meteorológicas possuem esses dados disponíveis.

O desenvolvimento do modelo de cálculo do fator R proposto nesta metodologia recorreu à utilização das estações meteorológicas ativas existentes até à envolvente a 5 Km dos limites das bacias hidrográficas de estudo.

No estudo foram utilizadas 14 estações meteorológicas ativas disponibilizadas pelo SNIRH e que estão representadas na Figura 11.

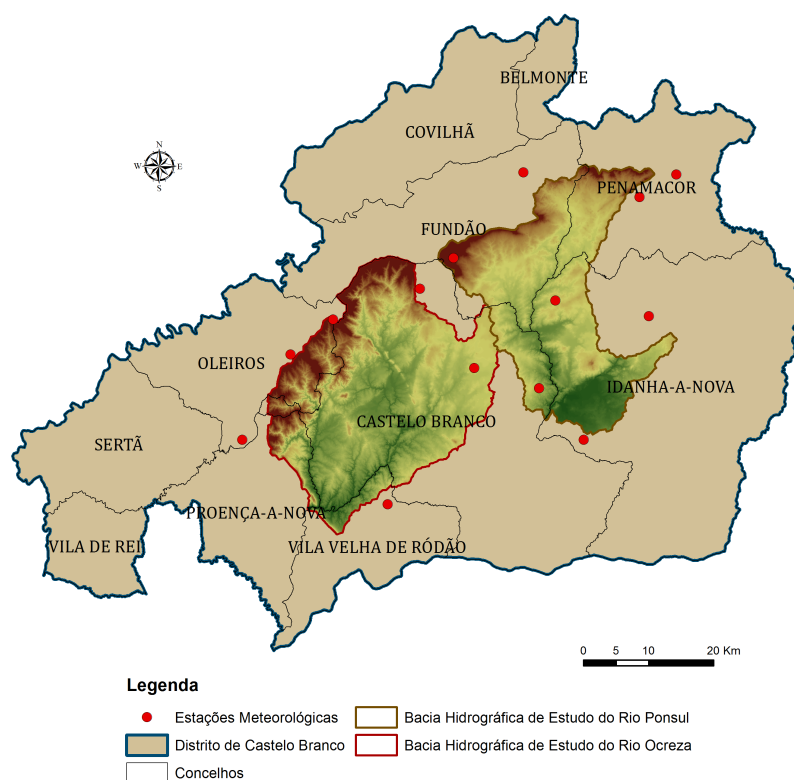


Figura 11 - Estações meteorológicas utilizadas no cálculo do Fator R.

De acordo com o tipo de dados disponíveis nestas estações e às condicionantes inerentes à estimativa do índice  $IE_{30}$ , considerou-se que a metodologia de cálculo do fator erosividade mais ajustada seria a equação desenvolvida por Coutinho *et al.* (1993).

Esta equação foi desenvolvida com base em registos de precipitação obtidos no território português e permite o tratamento de séries temporais longas. A equação resultante desse trabalho é a seguinte:

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

Equação 15

Onde,  $R$  é o fator erosividade ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) e  $P_a$  é a precipitação anual (mm).

Com base nos dados de precipitação média anual de cada uma das 14 estações foi possível estimar o índice de erosividade.

Obtido o fator  $R$  para cada uma das estações meteorológicas tornou-se necessário definir a metodologia para interpolar os valores de  $R$  para a totalidade das áreas das bacias hidrográficas de estudo.

A metodologia apresentada por Henriques (2009) considera o condicionalismo físico da altitude na distribuição da precipitação. Assim, para aplicar este método de cálculo do fator  $R$  foi necessário extrair os valores de altitude de cada uma das estações meteorológicas, com base no MDT (12,5 m), através do comando *Extract Values to Points* do *ArcGIS Desktop 10*.

A Tabela 3 identifica para cada estação meteorológica os valores de precipitação média anual, o fator  $R$  e a sua altitude.

**Tabela 3** - Precipitação média anual, fator  $R$  e altitude de cada estação meteorológica.

Código	Estações Meteorológicas	Percipitação média anual (mm)	Factor R ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ )	Altitude (m)
14M/01UG	ALCAINS	673,7	144,4	373,7
13K/05UG	ALTO DA FOZ DO GIRALDO	1201,9	292,3	685,7
12M/02UG	CAPINHA	714,4	155,8	484,6
13M/03G	CASTELO NOVO	1364,2	337,8	600,0
14K/04UG	ESTREITO	1081,4	258,6	723,3
140/01UG	IDANHA-A-VELHA	673,3	144,3	271,1
14J/02UG	ISNA	1339,8	330,9	630,3
14N/02UG	LADOEIRO	609,7	126,5	220,0
14M/02UG	MATA	707,3	153,8	350,0
120/03UG	MONTE DO CAVALHEIRO	871,7	199,9	460,0
120/01UG	PENAMACOR	776,3	173,2	470,0
13N/01UG	SÃO MIGUEL DE ACHA	778,5	173,8	378,4
13L/04UG	SÃO VICENTE DA BEIRA	1023,2	242,3	564,1
15L/02UG	SARNADAS DE RODÃO	799,5	179,7	339,3

Conhecida a altitude das estações meteorológicas correlacionou-se este valor com os valores calculados do fator  $R$ , através do método de regressão linear.

Da análise dos resultados da relação do fator  $R$  com a altitude verifica-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é igual a 72%, indicando que a altitude possui uma correlação forte e positiva com os dados do fator  $R$  e que pode integrar a equação de regressão estimada para

calcular a distribuição do fator R. Assim, o cálculo da distribuição espacial de R foi obtido com base na seguinte equação:

$$R = 0,391 \times \textit{Altitude} + 25,146$$

Equação 16

Através do *ArcGIS Desktop 10* e do *Raster Calculator* aplicou-se esta equação a cada uma das bacias, usando cada um dos três MDT como a variável altitude e obteve-se a distribuição espacial do fator R por bacia e para as diferentes resoluções espaciais (Anexo IV - Figura 10).

### 3.5.2 Interpolação Espacial

A abordagem a métodos de interpolação em estudos de variabilidade espacial em que a influência da resolução nos resultados é importante, como é o caso da interpolação do fator erosividade R da EUPS, deve ser precedida de uma análise cuidada da área em estudo, da densidade de pontos e da resolução espacial pretendida nos resultados.

Com o intuito de avaliar os métodos de interpolação, *Inverse Distance Weighted (IDW)*, *Spline* e *Ordinary Kriging* disponíveis no *ArcGIS Desktop 10*, efetuou-se uma comparação para identificar qual o processo mais adequado à interpolação dos dados de erosividade e qual a resolução espacial adequada à modelação através deste procedimento, tendo em conta os dados meteorológicos disponíveis em Portugal.

A primeira etapa deste procedimento foi selecionar as estações meteorológicas ativas no distrito de Castelo Branco.

A área usada para esta avaliação correspondeu à soma das áreas das duas bacias hidrográficas de estudo do rio Ocreza e do rio Ponsul (uma vez que são contíguas), contabilizando estas um total de 1565 Km<sup>2</sup>.

A segunda etapa foi determinar qual a melhor resolução que se poderia obter da interpolação destes dados, atendendo à densidade de estações meteorológicas. Para tal, recorreu-se à ferramenta *Grid Size Calculator* desenvolvida por Hengl (2007).

O resultado desta avaliação, considerando 34 das 42 estações meteorológicas ativas e uma área de 1565 Km<sup>2</sup>, apontou para uma resolução espacial ótima de cerca de 500 m.

A terceira etapa consistiu na determinação do Erro Médio Quadrático (EMQ) associado a cada um dos métodos de interpolação espacial.

Para tal, foi gerada uma seleção aleatória de 20% dos 42 pontos existentes em formato vetorial (*shapefile*), representativos das estações meteorológicas, através da função *r.sample* do programa *Geospatial Modelling Environment* da *Spatial Ecology*.

Depois desta seleção reservou-se 20% dos pontos (8 pontos) para o processo de validação e procedeu-se à interpolação espacial do fator R com base nas 34 estações restantes. Os mapas com a identificação das estações selecionadas encontram-se no Anexo IV (Figuras 11 – 12).

A quarta etapa foi a interpolação espacial dos dados usando os três métodos *IDW*, *Spline* e *Ordinary Kriging*.

No *ArcGIS Desktop 10* foi usado o método do *IDW* e do *Spline* no *Spatial Analyst Tools*, enquanto que para o método *Ordinary Kriging* se recorreu ao *Geostatistical Analyst*.

No *IDW* usou-se o fator R como o valor de Z, a resolução espacial de 500m e preconizou-se um raio de procura usando 12 pontos (Anexo IV - Figura 13).

No método de *Spline* usou-se o tipo *Spline* Regularizado, o fator R como o valor de Z e a resolução espacial de 500m (Anexo IV - Figura 14).

O processo de determinação do *Ordinary Kriging* foi do tipo preditivo, sem transformações, recorrendo ao modelo do tipo esférico, considerando o semivariograma e a otimização do modelo. Depois de terminado este processo os dados foram exportados para raster com uma resolução espacial de 500m (Anexo IV - Figura 15).

A última etapa foi a avaliação dos mapas através dos 8 pontos de controlo utilizados para validação. A partir dos mapas gerados por cada um dos métodos de interpolação espacial foi extraído o valor do fator R obtido nesses locais, através do comando *Extract Values to Points*.

Através da determinação do Erro Médio Quadrático (EMQ) foi avaliado qual o melhor método de interpolação espacial para o cálculo do fator R da EUPS.

A equação usada para determinar este erro foi a seguinte:

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i^{Valor\ interpolado} - S_i^{Valor\ real\ de\ R})^2}{N}}$$

Equação 17

Em que  $S_i^{Valor\ interpolado}$  corresponde ao valor de R interpolado espacialmente,  $S_i^{Valores\ de\ R}$  é o valor real de R calculado para cada um dos pontos de controlo e N refere-se ao tamanho da amostra.

### 3.6 Cálculo do Fator Erodibilidade

O cálculo do fator erodibilidade (K) pressupõe a determinação dos teores de areia, limo, argila e matéria orgânica que constituem cada tipo de solo.

Como as áreas abordadas neste estudo são vastas e o recurso à determinação destes constituintes do solo é um processo moroso, foi utilizada uma metodologia que se baseia no uso de informação cartográfica dos solos portugueses com as unidades pedológicas devidamente caracterizadas e nos valores de erodibilidade apresentados por Pimenta (1998a, 1998b).

### 3.6.1 Cartografia de Solos

A cartografia de solos à escala 1:25 000 encontra-se classificada pelo Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (S.R.O.A.) de acordo com a classificação de Cardoso (1965), que se divide em unidades, complexo de unidades, fases do solo e percentagens das unidades que integram os complexos. Os valores de erodibilidade propostos por Pimenta (1998a, 1998b) foram determinados para cada tipo de solo de acordo com esta classificação.

A primeira etapa do cálculo do fator K foi proceder à correspondência entre os valores de erodibilidade estimados por Pimenta (1998a, 1998b) no sistema métrico e as unidades que integram os complexos do solo na área da bacia de estudo do rio Ponsul.

O processo de correspondência dos valores de erodibilidade com esta legenda foi ainda complementado através da consulta dos documentos desenvolvidos por Rogado (1993) e pela DSRNAH (1999).

Os valores de erodibilidade disponibilizados nos trabalhos de Pimenta (1998a, 1998b) são apresentados no Anexo V (Tabela 1 - 3).

Os valores de erodibilidade usados na produção da cartografia do fator K são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Valores de erodibilidade para a cartografia de solos à escala 1:25 000.

Tipo Solo SROA	Código SROA	K (métrico)	Tipo Solo SROA	Código SROA	K (métrico)	
Afloramentos Rochosos	Argn	0	Solos Litólicos Não Húmicos	Par	0,29	
	Arg	0		Pg	0,1	
	Arq	0		Pga	0,3	
	Arx	0		Pgm	0,28	
Aluissolos Antigos e de Solos de Baixas	At	0,33		Pgr	0,31	
	Atl	0,05		Ppq	0,26	
	Sb	0,35		Spn	0,31	
	Sbl	0,35		Vt	0,31	
Aluissolos Modernos	A	0,38		Solos Mediterrâneos Pardos	Pa	0,29
	Al	0,17			Pac	0,31
Área Social	ASoc	0,04			Pag	0,26
Litossolos	Eg	0,39	Pat		0,29	
	Egn	0,39	Pgn		0,23	
	Ex	0,39	Pm		0,23	
Rankers	Qg	0,51	Pmg		0,29	
	Qn	0,51	Pmh		0,21	
	Qq	0,51	Px		0,29	
Regossolos	Rg	0,06	Solos Mediterrâneos Vermelhos e Amarelos		Sr	0,32
Solos Hidromórficos	Ca	0,39			Srt	0,32
	Cal	0,39		Va	0,23	
	Pb	0,4		Vag	0,2	
	Ps	0,25		Vg	0,2	
	Sg	0,3		Vgn	0,2	
Solos Litólicos húmicos	Mng	0,07		Vqx	0,33	
	Mnn	0,32	Vtc	0,2		
	Mnsn	0,32	Vx	0,32		
	Mnsq	0,32	Solos Turfosos com 'Muck'	Sp	0	

Como esta cartografia disponibiliza a percentagem das unidades que integram os complexos de solo, após ter completado a correspondência entre as unidades e os valores de

erodibilidade, procedeu-se ao cálculo da média ponderada dos valores de K atendendo a essas mesmas percentagens, obtendo assim o cálculo final do K.

Estando os dados interligados e o valor final de K definido para cada tipo de solo, efetuou-se a ligação destes dados com a informação vetorial em *shapefile*, através da realização de um *Join* no *ArcGIS Desktop 10*.

Após a correta organização da estrutura vetorial com os dados alfanuméricos foram convertidos os polígonos para raster com base no valor de K, definindo inicialmente uma resolução de 12,5 m e fazendo posteriormente uma reamostragem bilinear desse raster para as resoluções espaciais de 30 m e 80 m (Anexo V - Figura 16).

O cálculo do fator K com recurso à cartografia existente para a área de estudo à escala 1:100 000 corresponde à segunda etapa do estudo deste fator.

Esta cartografia utiliza a classificação *World Reference Base for Soil Resources* de 1998 (WRB) e a adoção deste referencial na sua versão de 2006 torna necessário a harmonização e correspondência com as classificações existentes em Portugal (FAO 2006).

As unidades pedológicas desta cartografia foram definidas a partir de subdivisões dos principais grupos da *World Reference Base for Soil Resources* (WRB), correspondendo em geral ao nível de generalização de subunidades de solo e, nalguns casos, de unidades de solo.

Não havendo uma correspondência direta entre as unidades pedológicas desta classificação e os valores de K para Portugal, à data da elaboração desta metodologia, desenvolveu-se um esforço com este trabalho de relacionar os sistemas de classificação WRB 1998, FAO 1985 e S.R.O.A de forma a conseguir fazer corresponder os valores de K determinados por Pimenta (1998a, 1998b) com a legenda WRB 1998 desta cartografia (Tabela 5).

Esta mesma legenda é apresentada nesta cartografia de solos sob a forma de código identificando apenas a Unidade Cartográfica do Solo correspondente.

A interpretação dessa legenda foi o primeiro passo neste processo de correspondência de legendas, para tal, recorreu-se ao *World Reference Base for Soil Resources* de 2006 (FAO 2006) e ao trabalho apresentado na *European Summer School on Soil Survey* por Jones *et al.* (2003).

No processo de correspondência desta legenda foram usados, para além dos dois documentos anteriormente mencionados, os trabalhos desenvolvidos por Rogado (1993), Pimenta (1998a, 1998b), DSRNAH (1999) e Martins and Lourenço (2012).

Depois de efetuada a relação entre os referenciais WRB 1998, FAO e S.R.O.A para cada tipo de solo identificado nesta cartografia, procedeu-se à atribuição dos valores de K no sistema métrico para cada unidade de solo constituinte dos solos dominantes.

Na maioria, os solos dominantes são compostos por dois tipos de solo, no entanto não são identificadas as percentagens relativas a cada um. A determinação do valor de K final dos solos dominantes desta cartografia foi calculada pela média aritmética do valor de erodibilidade de cada tipo de solo que constitui o mesmo.

Também nesta cartografia se efetuou a ligação destes dados com a informação vetorial em *shapefile*, através da realização de um *Join* no *ArcGIS Desktop 10*, tendo posteriormente procedido à conversão dos polígonos para raster com base no valor de K (Anexo V - Figura 19).

De acordo com Hengl (2006) a resolução ótima para esta cartografia à escala 1:100 000 seria de 50 m, contudo, devido às resoluções definidas para este estudo (12.5 m, 30 m e 80 m), optou-se por produzir esta cartografia do fator K com uma resolução espacial de 80 m.

**Tabela 5** - Valores de erodibilidade para a cartografia de solos à escala 1:100 000.

S.R.O.A.	Código S.R.O.A.	Código FAO	FAO	Código WRB	WRB	K (métrico)
Afloramentos Rochosos	Argn, Arg, Arq, Arx	RO	Afloramentos Rochosos	R	Afloramentos Rochosos	0,00
Aluviossolos Modernos Não Calcários	Al, A, Aa	Jd	Fluivissolos Dístricos	FL.dy	Fluvisol Dystric	0,26
Área Social	ASoc	Urb	Urbanos		Área Social	0,04
Litólicos húmicos	Mnsx, Mnsq	T	Antrossolos	AT.pa.rg	Anthrosol Plaggic Regic	0,35
Litólicos não húmicos	Par, Pg, Pga, Pgm, Ppg, Psn, Pt, Vf, Vts, Vt	Bdx	Cambissolos Dístricos Crómicos	CM.dy.ha(cr)	Cambisol Dystric Haplic (Chromic)	0,31
		Bd	Cambissolos Dístricos	CM.len.dy	Cambisol Endoleptic Dystric	0,31
				CM.len.sk(dy)	Cambisol Endoleptic Skeletic (Dystric)	0,31
				CM.sk.dy	Cambisol Skeletic Dystric	0,31
				CM.dy.ha	Cambisol Dystric Haplic	0,31
Litossolos	Rg	Id	Litossolos Dístricos	LP.dy	Leptosol Dystric	0,39
Mediterrânicos Vermelhos de Materiais Não Calcários, Normais	Vgn,Pv, Vx, Pvx, Vtc, Sr	Lrk, Lcr, Lf	Luvisolos	LV.ap.dy	Luvisol Abruptic Dystric	0,32
				LV.ap.dy(ab)	Luvisol Abruptic Dystric (Albic)	0,32
				LV.dy.cr	Luvisol Dystric Chromic	0,32
Plano de Água			Plano de Água		Plano de Água	0,00
Rankers	Qg, Qn, Qq	U	Ranker	UM.hu.sk	Umbrisol Humic Skeletic	0,51
				UM.len.hu	Umbrisol Endoleptic Humic	0,51
				UM.lep.hu	Umbrisol Epileptic Humic	0,51
Regossolos Psamíticos	Rg	Rc	Regossolos	RG.lep.dy	Regosol Epileptic Dystric	0,06
				RG.ai.dy	Regosol Aric Dystric	0,06
				RG.len.dy	Regosol Endoleptic Dystric	0,06
				RG.len.sk(dy)	Regosol Endoleptic Skeletic (Dystric)	0,06
				RG.lep.dy	Regosol Epileptic Dystric	0,06
				RG.lep.dy(sk)	Regosol Epileptic Dystric (Skeletic)	0,06
RG.sk.dy	Regosol Skeletic Dystric	0,06				

### 3.7 Cálculo dos Fatores Coberto Vegetal e Práticas Agrícolas

O cálculo do fator coberto vegetal (C) e do fator práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão (P) pressupõe a utilização da mesma fonte de informação relativa ao uso e ocupação do solo. Assim, este estudo recorreu à utilização da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007) à escala 1:25 000, com a nomenclatura de três níveis hierárquicos, disponibilizada pelo Projeto OTALEX C - Observatório Territorial e Ambiental Alentejo – Extremadura- Centro, para determinar os valores destes fatores.

Para o cálculo do fator coberto vegetal foi necessário fazer corresponder os valores de C propostos por Pimenta (1998b) com a legenda da COS2007.

Enquanto para o fator práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão se procedeu à correspondência dos valores de P, propostos pelo consórcio de empresas PROCESL – Engenharia Hidráulica e Ambiental Lda., HIDRORUMO – Projeto e Gestão S.A., GIBB Portugal e HP, com a legenda da COS2007.

Após a correspondência dos valores destes fatores com a legenda da COS2007 procedeu-se à multiplicação do fator C com o fator P e obteve-se o fator CP, de acordo com a Tabela 4 do Anexo VI.

Esta informação foi integrada na tabela de atributos da COS2007 e efetuou-se a sua conversão em formato raster com base no valor do fator CP. A resolução espacial da cartografia de CP é de 12,5 m de acordo com a escala da fonte de informação (1:25 000) e com Hengl (2006).

Após esta conversão em raster reamostrou-se os mapas de CP de cada uma das bacias hidrográficas para as resoluções de 30m e 80m (Anexo VI - Figura 17).

### 3.8 Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo

A modelação espacial da erosão hídrica do solo permite a identificação e monitorização de área em risco de erosão. Neste estudo foram combinadas as variáveis de entrada do modelo EUPS, contudo, estas podem provir de fontes de informação distintas ou possuir resoluções espaciais distintas.

Prosseguindo os objetivos deste estudo a metodologia da modelação da EUPS focou-se em produzir mapas de erosão atendendo aos resultados das variáveis da EUPS, às suas resoluções finais e à disponibilidade de informação existente para cada uma dessas bacias.

Para a bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul foram produzidos quatro mapas de erosão do solo. Os primeiros três mapas foram calculados usando, para cada mapa, variáveis de entrada do modelo EUPS com a mesma resolução, tendo resultado assim o primeiro mapa de erosão numa resolução de 12,5 m, o segundo numa resolução de 30 m e o terceiro numa resolução de 80 m (Tabela 6).

O quarto mapa de erosão para a bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul utilizou as variáveis de entrada do modelo EUPS com uma resolução de 80 m, diferindo do mapa três apenas na fonte de informação utilizada para determinar o fator K, uma vez que se recorreu à cartografia de solos à escala 1:100 000 e o mapa três foi determinado com a cartografia de solos à escala 1:25 000.

**Tabela 6** - Combinação das variáveis de entrada do modelo EUPS no cálculo dos mapas de erosão da bacia hidrográfica do rio Ponsul.

Resolução Espacial (m)	MDT			Fator LS Topocrop			Fator K (1:25 000)			Fator K (1:100 000)	Fator CP (1:25 000)			Fator R			Resolução Espacial dos Mapas Finais (m)
	12,5	30	80	12,5	30	80	12,5	30	80	80	12,5	30	80	12,5	30	80	
Mapa_Ponsul1	●			●			●				●			●			12,5
Mapa_Ponsul2		●			●			●				●			●		30
Mapa_Ponsul3			●			●			●				●			●	80
Mapa_Ponsul4			●			●			●			●			●		80

Na bacia hidrográfica de estudo do rio Ocreza determinaram-se três mapas de erosão do solo. No caso específico desta bacia, todos os mapas resultantes da combinação das variáveis de entrada do modelo EUPS foram produzidos com a mesma resolução espacial final de 80 m. Uma vez que para esta bacia a informação cartográfica dos solos não está disponível à escala 1:25 000.

Cada mapa de erosão foi gerado pela combinação dos fatores da EUPS obtidos com a mesma resolução, à exceção do fator K que foi aplicado com a resolução de 80 m nos três mapas, limitando assim a combinação das variáveis a uma produto final dependente da sua resolução (Tabela 7).

**Tabela 7** - Combinação das variáveis de entrada do modelo EUPS no cálculo dos mapas de erosão da bacia hidrográfica do rio Ocreza.

Resolução Espacial (m)	MDT			Fator LS Topocrop			Fator K (1:25 000)			Fator K (1:100 000)	Fator CP (1:25 000)			Fator R			Resolução Espacial dos Mapas Finais (m)
	12,5	30	80	12,5	30	80	12,5	30	80	80	12,5	30	80	12,5	30	80	
Mapa_Ocreza1	●			●						●	●			●			80
Mapa_Ocreza2		●			●					●		●			●		80
Mapa_Ocreza3			●			●				●			●			●	80

A modelação dos mapas de erosão destas bacias hidrográficas foi efetuada aplicando o modelo EUPS em *ArcGIS Desktop 10*, recorrendo ao *Model Builder* e à função *Raster Calculator*, onde foi integrada esta equação tendo como variáveis de entrada a informação geográfica resultante da determinação de cada um dos fatores (Anexo VII - Figuras 18 e 19).

Sendo um dos objetivos deste estudo a comparação da modelação da EUPS com os resultados do projeto PESERA tornou-se necessário reamostrar os mapas resultantes da EUPS para a resolução espacial do PESERA, ou seja, para 1000 m. Assim como, utilizar a

classificação deste projeto europeu como forma de representar os resultados de distribuição espacial da erosão hídrica do solo obtidos neste estudo (Anexo VII - Figura 20).

Os mapas de erosão obtidos através da EUPS utilizados nesta comparação foram os mapas Ocreza 1, Ocreza 2, Ocreza 3, Ponsul 3 e Ponsul 4.

Foi necessário ainda delimitar o mapa PESERA de acordo com as bacias de estudo recorrendo ao *ArcGIS Desktop 10* e à máscara do limite de cada uma das bacias hidrográficas em estudo (Anexo VII - Figura 21).

### 3.9 Métodos Estatísticos

Os métodos estatísticos utilizados no âmbito deste estudo foram aplicados recorrendo aos programas de análise estatística *SPSS Statistics 17.0* e *GRETLM - Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library 1.9.11*, apoiados por algum processamento de dados em *Microsoft Excel 2010* e *ArcGIS Desktop 10*.

As análises estatísticas, efetuadas neste trabalho, pressupuseram sempre a avaliação prévia da distribuição normal das amostras e da homogeneidade de variâncias de forma a definir qual o método estatístico mais ajustado para cada amostra.

O estudo da normalidade foi efetuado através do programa *GRETLM*. Este programa testa a normalidade através dos testes de *Doornik-Hansen*, de *W* de *Shapiro-Wilk*, de *Lilliefors* e de *Jarque-Bera*. Neste estudo usou-se o teste de *Lilliefors* que corresponde ao teste de *Kolmogorov-Smirnov* com a correção de *Lilliefors*.

Esta opção teve em consideração o teste mais ajustado à dimensão da amostra ( $n > 30$ ) e o fato do *p-value* produzido pelo *GRETLM* ser determinado do mesmo modo que no programa de análise estatística *R*.

Neste caso é aplicada a estatística de teste de *Lilliefors* proposta por Dallal and Wilkinson (1986), para um *p-value* inferior ou igual a 0,1 e a fórmula modificada da estatística de teste *Z*, enunciada na equação 18, quando o *p-value* é superior a 0,1 (Gross 2012).

$$Z = D \frac{\sqrt{n} - 0,01 + 0,85}{\sqrt{n}}$$

Equação 18

A normalidade das amostras foi testada considerando as seguintes hipóteses:

$H_0$ : A amostra segue uma distribuição normal

$H_1$ : A amostra não segue uma distribuição normal

O intervalo de confiança adotado para este estudo foi de 95%, sendo que a rejeição de  $H_0$  ocorre se  $p\text{-value} \leq \alpha = 0,05$ .

No programa *GRET* o teste da distribuição normal é realizado através da função *TESTE DE NORMALIDADE* existente no módulo de análise *VARIÁVEL*.

A homogeneidade de variâncias foi avaliada através do teste de *Levene* recorrendo ao programa *SPSS*. Este teste recorre à estatística de teste desenvolvida por Levene (1960) que é dada pela equação 19.

$$W = \frac{(N - k)}{(k - 1)} \times \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{Z}_i - \bar{Z})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2}$$

Equação 19

Em que  $n_i$  é a dimensão de cada uma das  $k$  amostras,  $N$  é a dimensão da amostra global,  $\bar{Z}_i$  é a média de  $Z_i$  na amostra  $i$  e  $\bar{Z}$  é a média de  $Z_i$  na amostra global. A variável  $Z$  pode definir-se como  $Z_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_i|$  ( $i = 1, \dots, k$  e  $j = 1, \dots, n_i$ ), quando existe normalidade, ou como  $Z_{ij} = |X_{ij} - \tilde{X}_i|$ , quando não existe normalidade. Nestas equações  $X_{ij}$  é a observação  $j$  da amostra  $i$ ,  $\bar{X}_i$  é a média da amostra  $i$  e  $\tilde{X}_i$  é a mediana da amostra  $i$ .

A homogeneidade de variâncias foi testada considerando as seguintes hipóteses:

$H_0$ : As variâncias são homogéneas

$H_1$ : As variâncias não são homogéneas

Neste teste a rejeição de  $H_0$ : ocorre se  $p\text{-value} \leq \alpha = 0,05$ .

O procedimento para testar estas hipóteses em *SPSS* consistiu em utilizar a função *EXPLORE* existente no módulo de análise *DESCRIPTIVE STATISTICS*.

Dentro desta função foi selecionada a opção *UNTRANSFORMED* para calcular o teste de Levene sem submeter as amostras a qualquer tipo de transformação.

A ausência de condições de normalidade e de homogeneidade de variâncias nas amostras estudadas levou a que os resultados obtidos neste estudo fossem analisados comparativamente mediante a utilização de testes não paramétricos.

Os testes utilizados no decorrer deste trabalho foram o de *Mann-Whitney-Wilcoxon* (teste M-W-W), o de *Kruskal-Wallis* (teste K-W) e o *Método de Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes* determinado pelo teste *LSD de Fisher*.

O teste M-W-W é um teste não-paramétrico alternativo ao teste *t-Student* e foi usado para comparar as médias de duas amostras independentes.

O teste de hipóteses que lhe está subjacente é:

$H_0$ : As duas amostras têm distribuições idênticas

$H_1$ : As duas amostras têm distribuições diferentes

A estatística de teste usada neste caso é a de  $U$  e é calculada combinando as observações das duas amostras numa única variável de tamanho  $N1+N2$ . Essa variável é ordenada por ordem crescente, atribuindo a ordem de 1 à observação menor e o número de ordem  $N1+N2$  à observação maior. Em casos de empate é atribuído a cada uma das observações o número de ordem médio que essas observações teriam se não tivessem empatadas.

Depois somam-se os números de ordem das observações de cada amostra ( $R1$  e  $R2$ ) e calcula-se a quantidade de vezes que uma observação da amostra 1 ( $n1$ ) precede uma da amostra 2 ( $n2$ ), ou o inverso, através das seguintes equações:

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1 \quad \text{para a amostra 1}$$

Equação 20

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2 = n_1 n_2 - U_1 \quad \text{para a amostra 2}$$

Equação 21

A estatística  $U$  de M-W-W é então dada por  $U = \min(U_1, U_2)$ . Neste estudo este teste foi realizado através do programa *SPSS* que determina ainda o  $p$ -value assintótico a partir da estatística  $Z$  que é dada pela seguinte equação:

$$Z = \frac{U - E(U)}{S_w} \sim N(0,1)$$

Equação 22

Em que  $E(U)$  é igual a  $\frac{n_1 n_2}{2}$  e  $S_w$  é o desvio padrão das ordens.

Também neste teste se rejeitou  $H_0$ : para valores de  $p$ -value  $\leq \alpha = 0,05$ .

Neste estudo o teste M-W-W foi aplicado na comparação dos valores médios de erodibilidade obtidos através de duas fontes de informação de solos distintas (cartas de solos à escala 1:25 000 e 1:100 000).

No *SPSS* aplicou-se este teste através da função 2 *INDEPENDENT SAMPLES* existente no módulo de análise *NONPARAMETRIC TESTS*.

Foi selecionada a variável erodibilidade como *TEST VARIABLE* e a variável que identifica a fonte de informação de solos como *GROUPING VARIABLES*. Os grupos definidos neste teste consideraram os resultados obtidos através da cartografia 1:25 000 como grupo 1 e os da cartografia 1:100 000 como grupo 2.

Selecionou-se o tipo de teste *Mann-Whitney U* e procedeu-se ao processamento da análise estatística destes dados.

O teste K-W ou análise de variância pelos números de ordem (“ranks”) é um teste utilizado para comparar duas ou mais amostras independentes. Este teste deve ser aplicado em situações que a ANOVA não pode ser utilizada, nomeadamente quando as amostras não provêm de populações normais, ou quando as variâncias são muito heterogéneas.

As hipóteses que estão subjacentes a este teste pretendem verificar se  $k$  amostras têm distribuições idênticas e são dadas por:

$H_0$ : As distribuições das  $k$  amostras são idênticas

$H_1$ : As distribuições das  $k$  amostras diferem na localização

Para calcular esta *estatística de teste* ( $H$ ) é necessário ordenar, por ordem crescente, todas as observações das diferentes amostras em estudo, atribuindo a cada observação a sua ordem na amostra global, mantendo a indicação de que amostra provém essa mesma observação. Em caso de empates a ordem dessas observações é estabelecida pela média aritmética das ordens que essas observações teriam se não fossem empates.

A estatística de teste  $H$  é dada por:

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum_{i=1}^g (t_i^3 - t_i)}{N^3 - N}}$$

Equação 23

Em que  $R_j$  é a soma das ordens de cada uma das amostras,  $N$  é a dimensão da amostra global ( $N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$ ),  $t_i$  é o número de observações em cada grupo de empates, e  $g$  é o número de grupos de empates.

Neste estudo o teste K-W foi aplicado na comparação dos valores médios do fator LS, na comparação dos valores médios de erosão do solo obtidos através da EUPS e na comparação entre os valores obtidos pela EUPS e os valores disponibilizados no projeto PESERA.

A estatística do teste K-W foi desenvolvida em SPSS através da função *K INDEPENDENT SAMPLES* existente no módulo de análise *NONPARAMETRIC TESTS*.

Para proceder à correta aplicação deste teste os dados a estudar foram previamente ordenados por ordem crescente.

Nesta função as variáveis a estudar foram introduzidas na *TEST VARIABLE LIST* e as variáveis que identificam os grupos foram introduzidas na caixa de *GROUPING VARIABLE*. Depois foi definido o número de grupos a testar através do comando *DEFINE RANGE*.

Na caixa *TEST TYPE* foi selecionado o teste *KRUSKAL-WALLIS H* e procedeu-se ao processamento da análise estatística dos dados.

Neste teste rejeitou-se  $H_0$ : quando  $p\text{-value} \leq \alpha = 0,05$ .

Nos casos em que a hipótese nula foi rejeitada foi necessário proceder à *Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes*, para identificar qual ou quais os grupos que diferem entre si.

Na versão do *SPSS 17.0* usada neste estudo, este procedimento não está implementado na função de cálculo do teste K-W. Assim, foi necessário transformar as observações da amostra em ordens e de seguida aplicar, a essa nova variável, uma *ANOVA one-way* usando como comparação múltipla de médias das ordens o método *LSD de Fisher* (Marôco 2011).

As hipóteses a testar para todas as combinações de grupos 2 a 2 foram:

$H_0$ : *As distribuições dos grupos são idênticas*

$H_1$ : *As distribuições dos grupos diferem entre si*

A transformação das observações das amostras em ordens foi efetuada através da função *RANK CASES* existente no menu *TRANSFORM*. Neste procedimento foi selecionada a variável com o valor a transformar em ordem (valor de LS ou valor de erosão) e foi gerada uma nova variável com as ordens.

Através da função *ANOVA one-way* existente no módulo de análise *COMPARE MEANS* selecionou-se a nova variável para a caixa da *DEPENDENT LIST* (variável dependente) e a variável que identifica os grupos na caixa *FACTOR*. No menu *POSTHOC* selecionou-se o teste *LSD* e procedeu-se à análise dos dados para obter os resultados da comparação múltipla.

Também neste teste a rejeição de  $H_0$ : ocorreu para  $p\text{-value} \leq \alpha = 0,05$ .

## 4. Resultados

Os resultados do presente estudo são apresentados sob a forma de gráficos, mapas ou tabelas e a sua análise incidiu na aplicação de métodos de comparação estatística e na avaliação do erro através do método do Erro Médio Quadrático (EMQ).

Os dados analisados foram sempre obtidos através dos mapas resultantes da modelação efetuada neste estudo. A sua transposição para dados alfanuméricos foi feita extraindo o valor de cada célula para o formato de pontos, permitindo assim, associar esses valores a uma tabela de atributos passível de ser analisada estatisticamente.

### 4.1 Avaliação da Qualidade dos Modelos Digitais de Terreno

A avaliação da qualidade dos MDT realizada através do Erro Médio Quadrático (EMQ) foi desenvolvida para cada um dos MDT das bacias hidrográficas em estudo.

O resultado desta avaliação encontra-se discriminado por bacia e por resolução espacial na Tabela 8.

**Tabela 8** - Avaliação da qualidade dos MDT para cada resolução e bacia hidrográfica em estudo.

	<i>EMQ MDT 12,5 m</i>	<i>EMQ MDT 30 m</i>	<i>EMQ MDT 80 m</i>
<i>Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza</i>	5,89 m	11,19 m	8,88 m
<i>Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul</i>	6,20 m	10,36 m	8,15 m

Nas duas bacias tornou-se evidente que o MDT com menor erro é o que apresenta uma resolução espacial de 12,5 m, seguido do MDT com resolução espacial de 80 m e posteriormente do MDT com uma resolução espacial de 30 m.

Relativamente aos valores de EMQ de 5,89 m e 6,20 m para o MDT com a resolução de 12,5 m (origem altimetria 1:25 000), o fato das cumeadas não estarem ajustadas aos pontos cotados pode-se refletir no valor destes erros, uma vez que os pontos de validação usados foram os vértices geodésicos.

Esta avaliação demonstra que existe uma variação no EMQ muito grande entre os três MDT, especialmente entre a resolução espacial de 12,5 m e os restantes modelos.

O EMQ do MDT com resolução espacial de 30 m (ASTER GDEM) e com resolução espacial de 80 m (SRTM) aproximam-se dos resultados obtidos pelo Professor José Alberto Gonçalves (Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) e comunicados em Carreira (2010). Em que os EMQ obtidos através de 800 pontos cotados foram de 13,3 m para os MDT provenientes do ASTER e 5,9 para os modelos provenientes do SRTM (Carreira 2010).

Tendo em conta o terreno complexo das bacias hidrográficas em estudo e a comparação com os dados anteriormente referidos é possível então aferir que os MDT obtidos com as imagens SRTM, com a resolução espacial de 80 m, garantem alguma representatividade do detalhe do terreno, no entanto, as imagens ASTER evidenciam alguns problemas na representação do relevo que podem estar relacionados com o preenchimento de zonas vazias.

## 4.2 Distribuição Espacial do Fator Topográfico

A aplicação metodológica proposta neste estudo para o cálculo do fator LS, partindo de diferentes algoritmos e de diferentes MDT para as duas bacias hidrográficas em estudo, produziu vários mapas representativos dos valores do fator topográfico, como se pode verificar na Figura 12 e nos mapas constantes no Anexo VIII (Figuras 22 – 31)

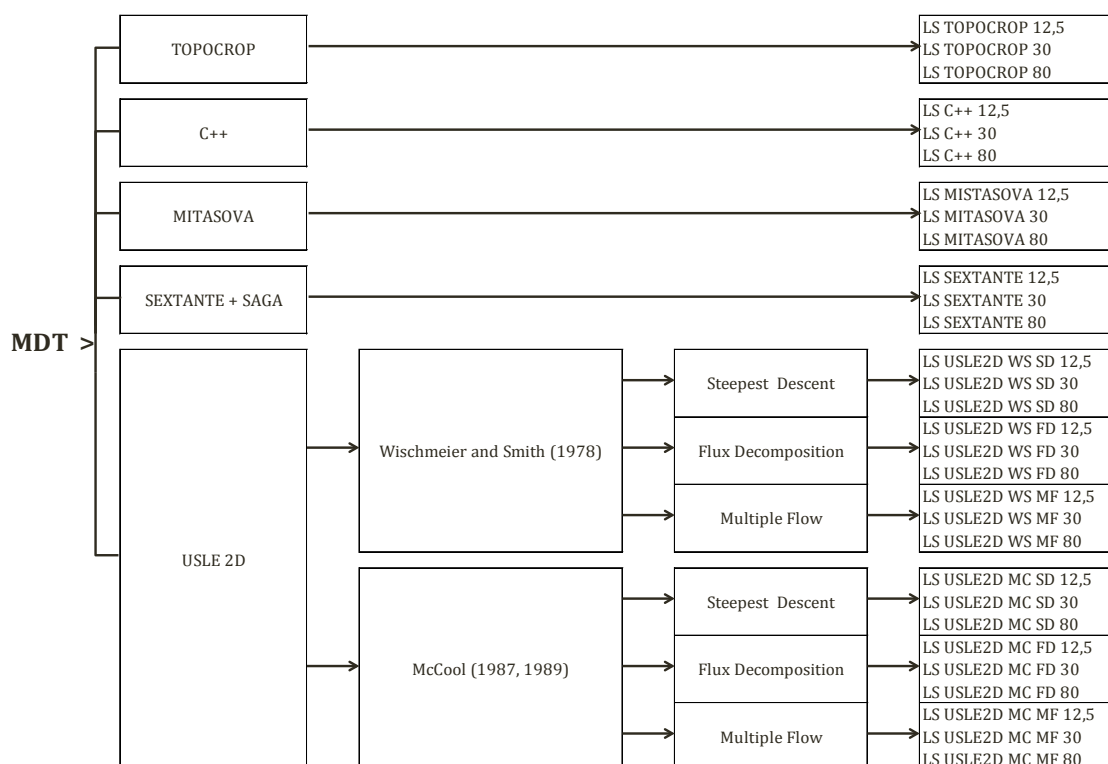


Figura 12 - Mapas resultantes da metodologia de cálculo do Fator LS.

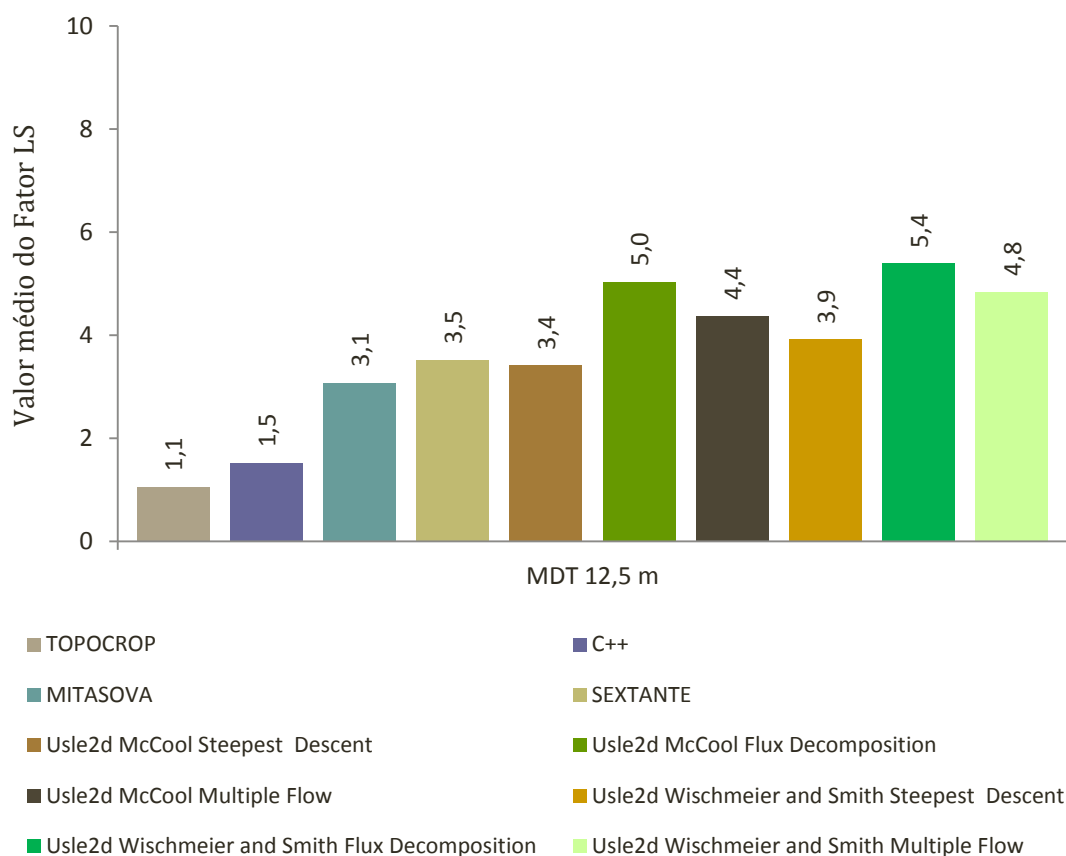
Disponibilizados os resultados do fator LS procedeu-se à sua análise estatística de forma a testar a influência da informação geográfica de base e dos algoritmos na determinação deste fator.

A primeira hipótese que se pretendeu testar neste estudo foi a influência dos diferentes algoritmos na determinação do fator topográfico LS, quando utilizado o mesmo MDT

A segunda hipótese foi testar a influência dos diferentes MDT no cálculo do fator LS, quando utilizado o mesmo algoritmo.

Para testar a primeira hipótese foi desenvolvido o estudo estatístico para avaliar se, recorrendo ao MDT com uma resolução espacial de 12,5 m e aos diferentes algoritmos aqui estudados, ocorrem diferenças estatísticas nos resultados do fator LS.

A primeira abordagem a este estudo foi feita analisando a distribuição dos valores médios do fator LS obtidos pelos diversos algoritmos usando o MDT de 12,5m. Os resultados, representados na Figura 13, demonstram que a média de valores dos algoritmos estudados se situa entre 1,1 e 5,4.



**Figura 13** - Valores médios de LS obtidos por cada algoritmo usando o MDT de 12,5 m.

Numa primeira análise parece existir semelhanças entre os valores médios obtidos por alguns dos algoritmos, no entanto, foi necessário aprofundar esta análise de forma a comprovar se existem algoritmos que produzem valores estatisticamente diferentes entre si.

Para identificar o teste estatístico a aplicar no estudo desta hipótese, procedeu-se à análise prévia da distribuição das amostras e da homogeneidade de variâncias. Os resultados desta análise são apresentados no Anexo IX (Tabela 5) e evidenciam que as amostras não seguem uma distribuição normal e que não existe homogeneidade de variâncias.

A não existência de uma distribuição normal e de homogeneidade de variâncias tornou necessária a aplicação de testes não paramétricos.

Como as hipóteses inicialmente definidas implicavam a comparação das amostras quanto à sua semelhança nos valores obtidos para quantificar o fator LS, a escolha do método não paramétrico a aplicar neste estudo recaiu sobre o teste de *Kruskal-Wallis* (Anexo IX - Tabela 6).

Neste caso específico do MDT com resolução espacial de 12,5 m o teste *Kruskal-Wallis* foi aplicado sobre uma amostragem aleatória de 25% dos resultados obtidos para cada algoritmo, uma vez que a dimensão total das amostras condicionava o processamento de dados em *SPSS Statistics 17.0*, inviabilizando este teste.

Os resultados obtidos com este teste demonstram que pelo menos um dos algoritmos de cálculo do fator LS gera, para o mesmo MDT, valores de LS diferentes dos restantes.

Para identificar os algoritmos que diferem entre si foi aplicado o *Método de Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes*, através do teste LSD de Fisher.

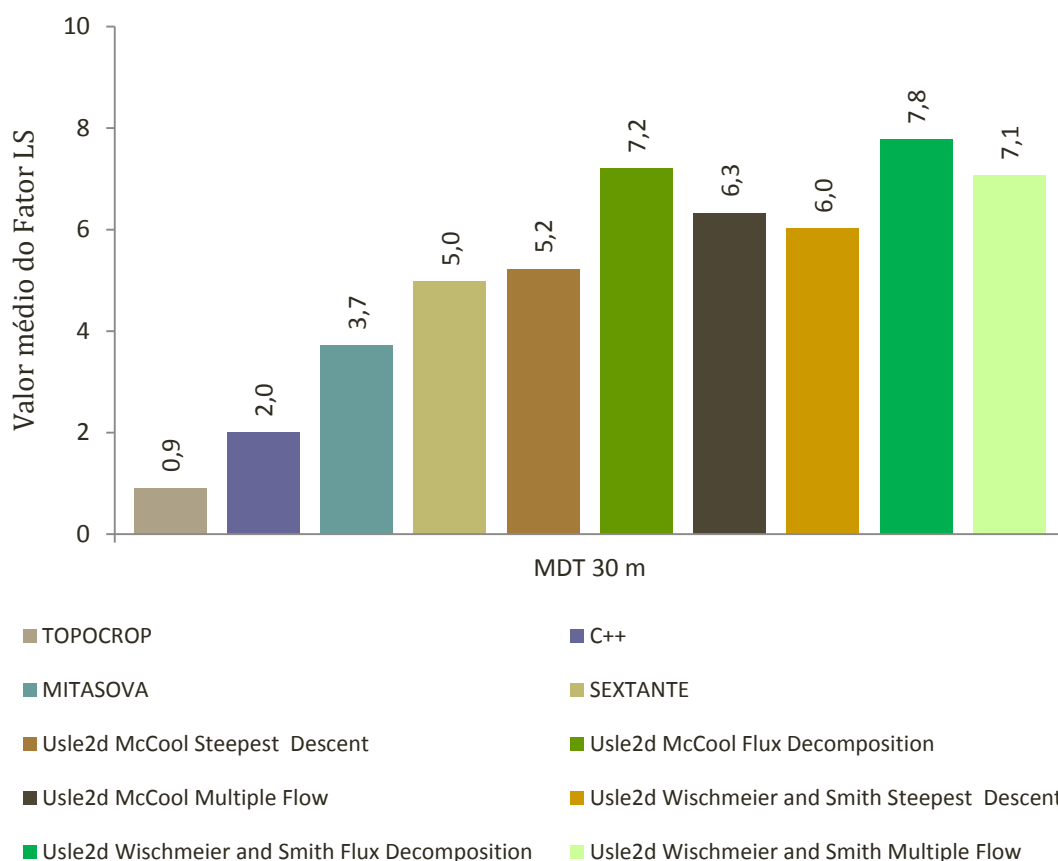
Nesta comparação já foi possível processar e analisar 100 % da dimensão das amostras em *SPSS Statistics 17.0*.

O resultado desta comparação é apresentado no Anexo IX (Tabela 7) e revela que todos os resultados do fator LS obtidos pelos diferentes algoritmos diferem entre si, quando utilizado para o seu cálculo o MDT com resolução espacial de 12,5 m.

Verificou-se então, que apesar de existirem casos com uma proximidade de valores médios calculados para este fator, estatisticamente existem diferenças entre eles.

Assim, verifica-se que cada algoritmo produz resultados do fator topográfico diferentes dos restantes.

Os valores obtidos para o fator LS, com base no MDT com resolução espacial de 30 m, por cada um dos algoritmos apresentam médias muito próximas a variar entre 0,9 e 7,8, de acordo com a Figura 14.



**Figura 14** - Valores médios de LS obtidos por cada algoritmo usando o MDT de 30 m.

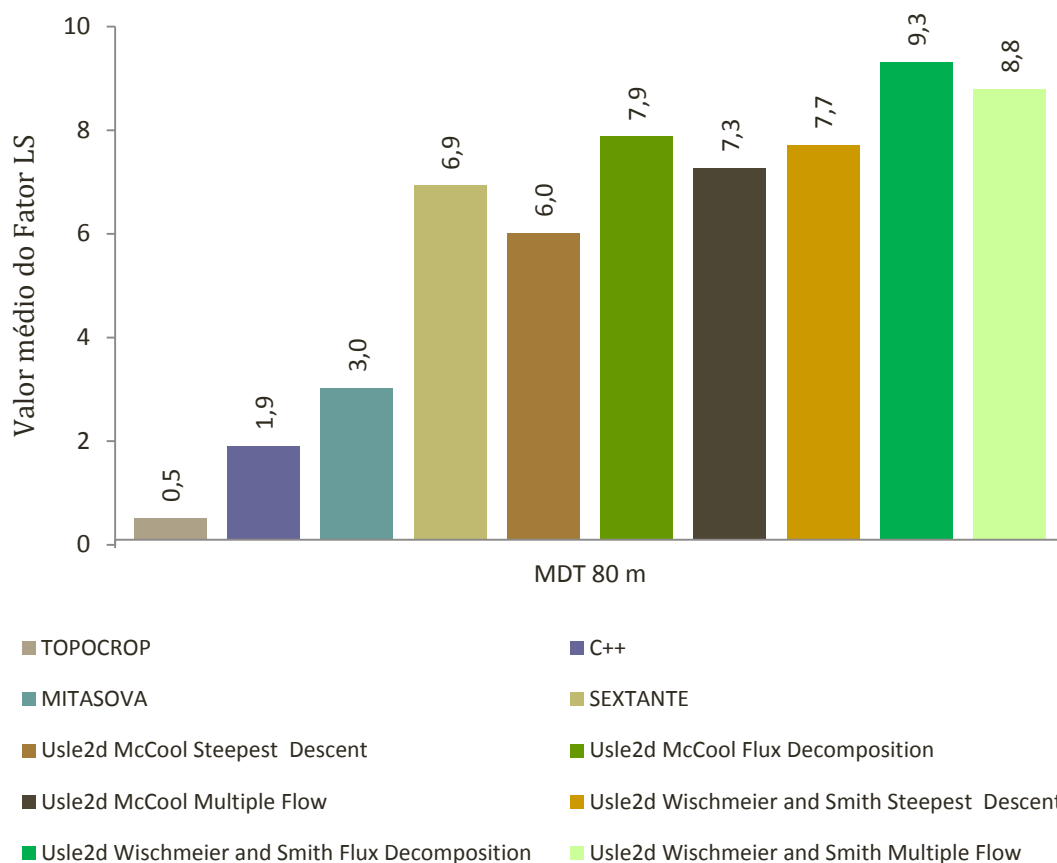
Os testes à normalidade e à homogeneidade de variâncias evidenciaram que estas amostras também não possuem distribuição normal nem homogeneidade de variâncias, de acordo com o Anexo IX (Tabela 8). Assim, aplicou-se novamente o teste de *Kruskal-Wallis* para averiguar se existem diferenças nos resultados obtidos pelos vários algoritmos usando o MDT com resolução espacial de 30 m.

O teste de *Kruskal-Wallis* demonstra que pelo menos um dos resultados do cálculo do fator LS difere dos restantes, quando determinado com base no MDT com resolução espacial de 30 m (Anexo IX – Tabela 9).

A averiguação dos algoritmos que apresentam diferenças entre si foi feita novamente pela *Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes* através do teste LSD de Fisher. Estes resultados são apresentados detalhadamente no Anexo IX (Tabela 10).

A análise destes resultados demonstra que os valores médios de LS obtidos pelos vários algoritmos diferem entre si, quando calculados com base no MDT com resolução espacial de 30 m. Assim, pode-se afirmar que as diferenças deste fator ocorrem devido à aplicação de algoritmos distintos, quando usada a resolução espacial de 30 m.

Os valores médios de LS obtidos pelos diferentes algoritmos com base no MDT com resolução espacial de 80 m demonstram a mesma tendência dos dados obtidos com os MDT anteriores, conforme apresentado na Figura 15.



**Figura 15-** Valores médios de LS obtidos por cada algoritmo usando o MDT de 80 m.

A metodologia de análise estatística efetuada, para este MDT, foi idêntica à dos dois pontos anteriores e começou pela análise da distribuição normal e da homogeneidade de variâncias. Os resultados desses testes são apresentados no Anexo IX (Tabela 11) e demonstram que também estas amostras não seguem uma distribuição normal nem possuem homogeneidade de variâncias

A análise de *Kruskal-Wallis* indicou mais uma vez que existem diferenças nos valores médios de LS, obtidos com base no MDT com resolução espacial de 80 m, entre pelo menos dois dos algoritmos usados neste estudo (Anexo IX - Tabela 12). Assim, aplicou-se novamente a *Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes* com recurso ao teste *LSD de Fisher* para averiguar quais os algoritmos que diferem entre si.

Esta comparação demonstrou que os algoritmos produzem resultados do fator LS diferentes entre si quando utilizado este MDT (Anexo IX – Tabela 13).

Para testar a segunda hipótese colocada neste estudo da distribuição espacial do fator topográfico foi necessário recorrer a cada um dos algoritmos e determinar com cada um dos três MDT (12,5 m, 30 m e 80 m) os valores do fator LS.

Os resultados da média desses valores são apresentados na Figura 16 e demonstram que entre os MDT o mesmo algoritmo, na maioria dos casos, produz valores de LS que variam entre si, no entanto, para testar esta hipótese foi necessário detalhar a análise estatística destes dados.

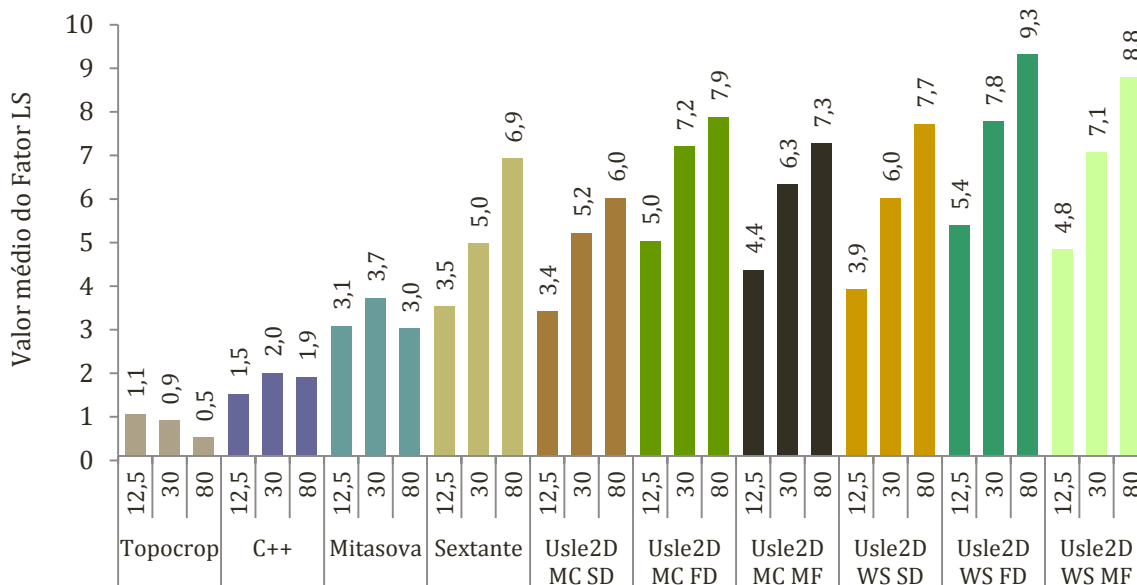


Figura 16 - Valores médios de LS obtidos por cada algoritmo usando os três MDT.

O estudo estatístico foi realizado individualmente para cada algoritmo procedendo ao respetivo teste da distribuição normal e da homogeneidade das variâncias das amostras (Anexo IX - Tabela 14 e 15).

Os resultados destes testes demonstram que as amostras não seguem uma distribuição normal e que as suas variâncias não são homogêneas. Então, para o seu estudo estatístico adotou-se mais uma vez o teste de *Kruskal-Wallis* para analisar se existem diferenças entre os resultados obtidos com o mesmo algoritmo recorrendo a MDT com diferentes resoluções espaciais.

A aplicação deste teste demonstra que em todos os algoritmos pelo menos um dos MDT gera diferenças estatísticas nos resultados dos valores do fator LS (Anexo IX - Tabela 16).

Procedeu-se então à análise da *Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes* para identificar que MDT geram resultados diferentes entre si quando aplicado o mesmo algoritmo.

O resultado dessa comparação é apresentado detalhadamente no Anexo IX (Tabela 17) e demonstra que, em todos os algoritmos, o cálculo recorrendo a diferentes MDT gera valores do fator LS distintos para cada resolução espacial. Ou seja, a utilização do mesmo algoritmo variando apenas o MDT gera valores do fator LS diferentes.

A avaliação dos resultados dos diversos estudos estatísticos efetuados ao fator LS evidencia que os valores deste fator variam consoante o tipo de algoritmo aplicado e consoante a fonte de informação geográfica (MDT) utilizada para a sua determinação.

### 4.3 Distribuição Espacial do Fator Erosividade

A correlação entre a altitude das estações meteorológicas e os valores calculados do fator R, pela metodologia de Coutinho *et al.* (1993), permitiram estimar a equação de regressão linear utilizada no estudo da distribuição espacial do fator R. Os resultados desta correlação e da respetiva equação de regressão linear são apresentados pela Figura 17.

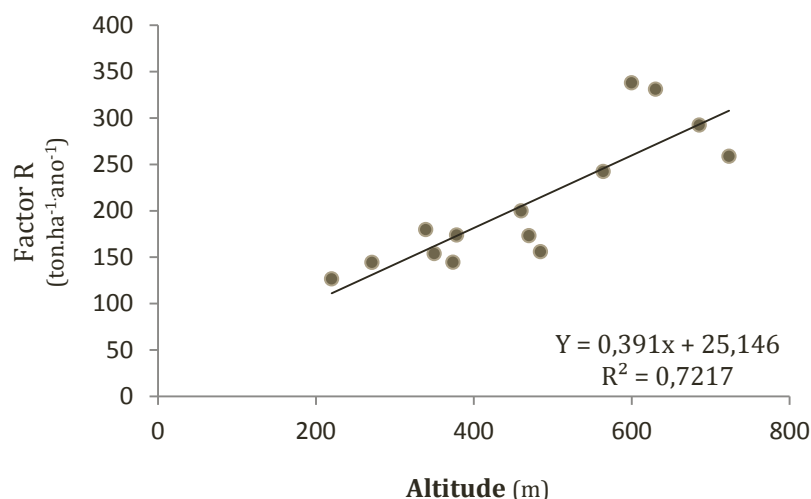


Figura 17- Resultados da relação entre o fator R e a altitude.

Os resultados provenientes da aplicação da equação de regressão linear estimada para calcular o fator R, obtidos para as áreas de estudo, encontram-se representados no Anexo X (Figura 32 – 34).

Da avaliação dos métodos de interpolação *Inverse Distance Weighted (IDW)*, *Spline* e *Ordinary Kriging* obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 9, que identificam os valores de erosividade gerados por estes processos para cada um dos pontos de validação. Os mapas de distribuição espacial do fator R resultantes da interpolação espacial, através dos métodos anteriormente mencionados, encontram-se no Anexo IV (Figuras 13 – 15)

Tabela 9 - Resultados dos valores de erodibilidade gerados pelos métodos de interpolação *IDW*, *Spline* e *Ordinary Kriging*.

Código	Estações Meteorológicas	Fator R	Fator R	Fator R	Fator R
		Coutinho et al. (1993) (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	<i>IDW</i> (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	<i>SPLINE</i> (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	<i>ORDINARY KRIGING</i> (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
12M/02UG	CAPINHA	155,84	215,66	149,73	216,71
13M/03G	CASTELO NOVO	337,78	227,62	166,46	216,59
14J/02UG	ISNA	330,95	252,20	269,19	250,39
14K/02U	SARNADAS DE SÃO SIMÃO	287,16	258,71	262,15	250,52
14M/01UG	ALCAINS	144,44	185,68	200,35	184,93
15J/01UC	PROENÇA-A-NOVA	278,23	235,19	235,56	256,72
16I/01U	AMÊNDOA	260,54	247,60	245,73	246,12

A partir dos valores apresentados na tabela 9 foi determinado o EMQ para cada método de interpolação. A Tabela 10 apresenta os resultados do EMQ da interpolação espacial da erosividade.

**Tabela 10** - Erro Médio Quadrático dos métodos de interpolação *IDW*, *Spline* e *Ordinary Kriging*.

<i>EMQ IDW</i>	<i>EMQ SPLINE</i>	<i>EMQ ORDINARY KRIGING</i>
61,46	74,63	63,84

Dos resultados obtidos pelo EMQ foi possível destacar o método de interpolação *IDW* como aquele que gera menor erro na interpolação dos dados do fator R e por conseguinte que melhor se adequa ao estudo deste fator quando comparado com os restantes.

No caso do *Ordinary Kriging* a diferença apresentada para o método *IDW* não é muito significativa, o que pode fazer deste método uma alternativa na impossibilidade de recorrer ao *IDW*.

A interpolação através do *Spline* gera erros superiores aos restantes métodos, pelo que não deve ser utilizado no mapeamento do fator R.

#### 4.4 Distribuição Espacial do Fator Erodibilidade

Uma vez que a determinação do fator erodibilidade do solo foi produzida recorrendo a duas fontes de informação com classificações e escalas distintas, pretendeu-se analisar estatisticamente os resultados obtidos para este fator comparando as duas cartografias, de forma a testar se efetivamente ocorrem diferenças estatísticas quando estas são aplicadas na modelação deste fator da EUPS.

Atendendo a que tanto a cartografia 1:100 000 como a cartografia 1:25 000 geraram resultados do fator K com a resolução espacial de 80 m, procedeu-se à análise comparativa dos valores do fator K obtidos por estas duas fontes de informação.

O teste à normalidade e à homogeneidade de variâncias indica que as amostras não seguem uma distribuição normal nem possuem homogeneidade de variâncias (Anexo XI – Tabela 18).

O teste não paramétrico adotado para esta análise foi o *Mann-Withney-Wilcoxon*, uma vez que apenas se pretendeu comparar duas amostras.

Os resultados deste teste indicam que as cartografias de solos a 1:25 000 e a 1:100 000 diferem entre si não só na escala e na classificação como também na produção dos valores do fator K (Anexo XI – Tabela 19).

Os resultados da distribuição espacial deste fator encontram-se representados pelos mapas constantes no Anexo XI (Figuras 35 – 38)

## 4.5 Distribuição Espacial do Coberto Vegetal e Práticas Agrícolas

A distribuição espacial do coberto vegetal e práticas agrícolas foi gerada a partir de uma única fonte de informação geográfica (COS2007) e da correspondência dos valores do fator C e fator P com a legenda dessa mesma cartografia.

Os mapas do fator CP produzidos para as diferentes resoluções espaciais adotadas neste trabalho (12,5 m, 30 m e 80 m) encontram-se também apresentados no Anexo XII (Figura 39 - 41).

Os resultados da distribuição espacial deste fator foram analisados através da reclassificação dos mapas e dos valores do fator CP em 10 classes. Nesta classificação as classes mais baixas indicam a existência de uma cobertura do solo mais elevada e as classes mais altas, uma cobertura do solo mais reduzida. A descrição destas classes é feita de acordo com a Tabela 11.

**Tabela 11** - Classes do fator CP.

Classes de CP	Descrição
0 - 0,005	Áreas associadas a territórios artificializados, planos e cursos de água. Ocupação do solo, práticas agrícolas e medidas de controlo de erosão que aumentam o grau de cobertura do solo e reduzem a sua exposição a agentes erosivos.
0,005 - 0,01	Áreas associadas a tecido urbano descontínuo, territórios artificializados e algumas áreas agrícolas como as pastagens permanentes.
0,01 - 0,015	Áreas associadas a algumas culturas agrícolas permanentes.
0,015 - 0,02	Áreas associadas a espaços verdes urbanos, a equipamentos desportivos ou de lazer e a vegetação esclerófito.
0,02 - 0,05	Áreas associadas a alguns espaços florestais e a meios naturais e semi-naturais, como florestas mistas ou vegetação herbácea natural.
0,05 - 0,1	Áreas associadas a espaços agrícolas como o olival, vinhas, culturas temporárias de regadio e sistemas culturais de parcelares complexos ou a espaços florestais como florestas de folhosas, florestas abertas, florestas de resinosas, novas plantações e matos.
0,1 - 0,15	Áreas associadas a agricultura com espaços naturais e semi-naturais e a Sistemas agro-florestais (SAF)
0,15 - 0,2	Áreas associadas a culturas temporárias de sequeiro e a culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes.
0,2 - 0,4	Áreas associadas a zonas descobertas ou com pouca vegetação.
0,4 - 0,5	Áreas associadas a áreas aridas a extração de inertes e outras zonas descobertas e em que a vegetação é praticamente ausente.

Para cada mapa reclassificado foi calculada a área ocupada pelas diferentes classes e analisada a sua distribuição em cada uma das bacias hidrográficas, conforme apresentado nas Figuras 18 e 19.

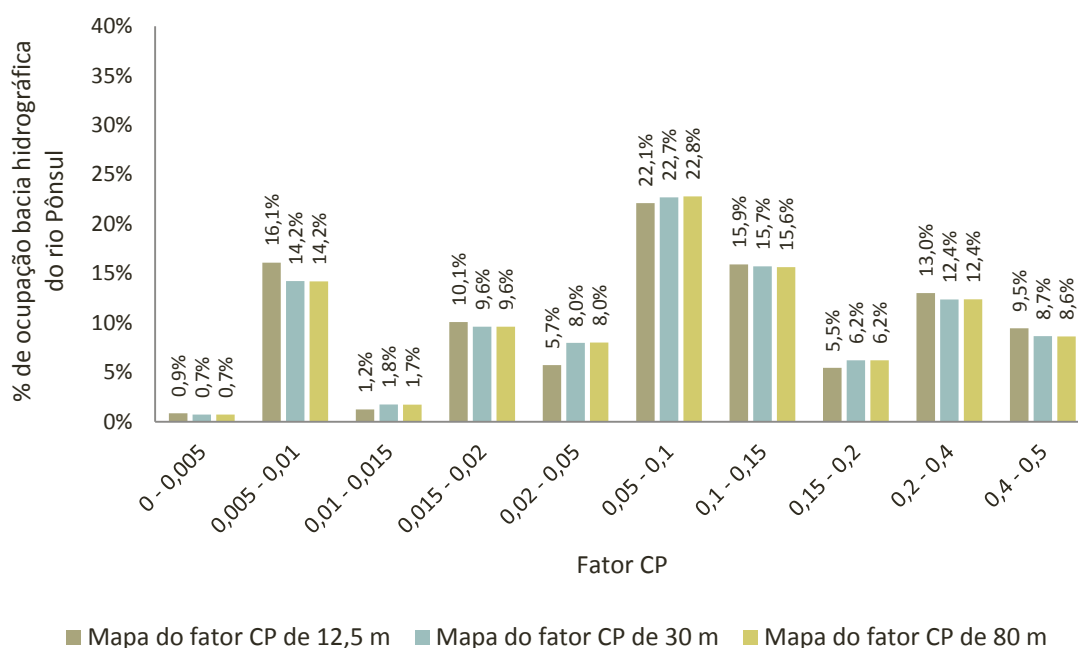


Figura 18 - Distribuição das classes do fator CP por área na bacia hidrográfica do rio Ponsul.

A análise dos resultados da distribuição espacial do fator CP permitiu verificar que a bacia hidrográfica do rio Ponsul possui apenas cerca de 0,9% da áreas com uma cobertura do solo elevada (classe 0 a 0,005), que entre 14 e 16 % desta área está caracterizada como área urbana descontínua ou como pastagens permanentes, que cerca de 23% da área desta bacia está associada a espaços agrícolas, como por exemplo o olival, e a espaços florestais, como por exemplo matos ou florestas abertas, e que entre 8,6 e 9,5% da área possui uma cobertura de solo muito reduzida.

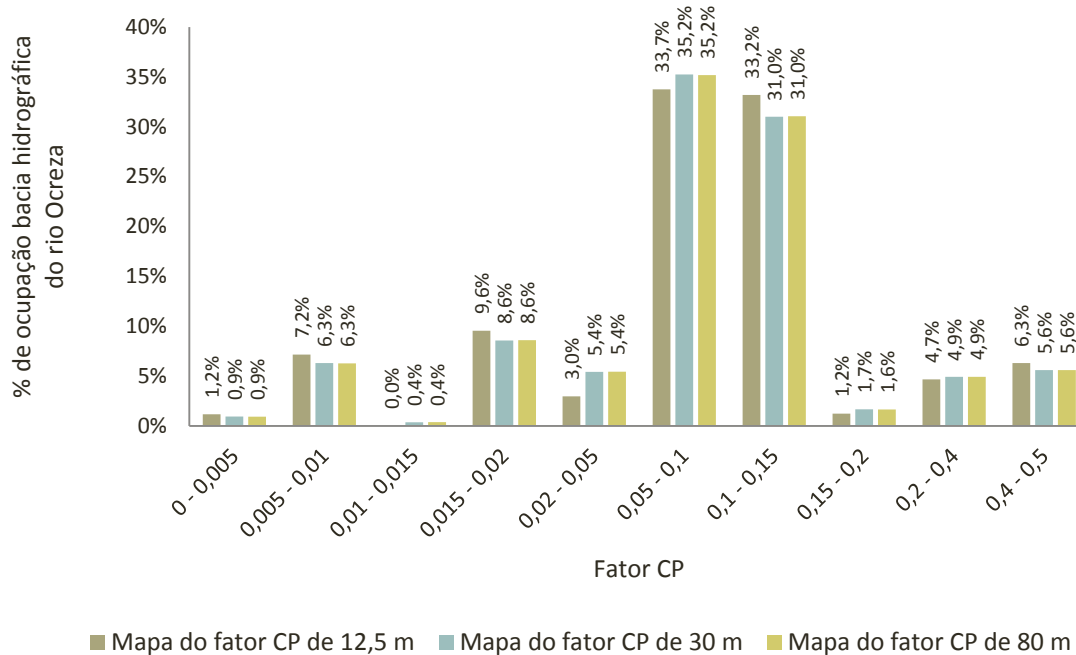


Figura 19 - Distribuição das classes do fator CP por área na bacia hidrográfica do rio Ocreza.

Os resultados da distribuição espacial de CP na bacia hidrográfica do rio Ocreza demonstram que a área classificada com cobertura do solo elevada é de cerca de 1% da área da bacia, que cerca de 35% desta área é classificada como espaços agrícolas ou espaços florestais e que cerca de 6% da área possui uma cobertura de solo muito reduzida.

## 4.6 Distribuição Espacial da Erosão Hídrica do Solo

Determinados os fatores de acordo com as fontes de informação disponíveis e a metodologia proposta neste estudo, procedeu-se à combinação dessas variáveis de acordo com o modelo EUPS e com a metodologia esquematizada pelas Tabelas 6 e 7.

Na integração das variáveis no modelo EUPS foi utilizado o mapa do fator LS calculado através do algoritmo da ferramenta de *Topocrop Terrain Indices*, ou seja, o de Moore and Wilson (1992), porque foi o algoritmo que apresentou valores de LS próximos a outros resultados anteriormente publicados (Silva 2009, Minella *et al.* 2010, Petan *et al.* 2010, Ferreira and Panagopoulos 2012).

Os resultados da aplicação do modelo EUPS na modelação espacial da erosão hídrica e a sua comparação com o projeto PESERA serão analiticamente apresentados neste ponto.

Os resultados da modelação espacial da erosão hídrica do solo através da EUPS são apresentados adotando a classificação do projeto PESERA, de forma a homogeneizar e poder comparar os resultados de ambos os modelos.

Esta legenda subdivide-se em oito classes de perda de solo e quantifica a mesma em  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  à semelhança dos resultados obtidos pela EUPS.

A classe 1 desta legenda representa as perdas de solo mais baixas ( $0$  a  $0,5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) e a classe 8 as perdas de solo mais elevadas ( $> 50 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ).

A análise dos resultados da aplicação do modelo EUPS na modelação da erosão hídrica do solo das duas bacias de estudo abordadas neste trabalho centrou-se em dois momentos distintos. Foi estudada a distribuição das classes de perda de solo por área, de forma a poder aferir quais as classes mais representativas destas perdas e como se distribui a erosão nestas bacias hidrográficas.

Num segundo momento desenvolveu-se o estudo estatístico dos resultados dos vários mapas de erosão do solo.

Esta abordagem estatística teve três objetivos: testar se ocorrem diferenças entre mapas de erosão produzidos com diferentes resoluções espaciais, testar se existem diferenças entre os valores de erosão obtidos nas duas bacias hidrográficas em estudo e perceber se a aplicação da EUPS gera valores de erosão diferentes quando o fator K condiciona a resolução espacial.

Os mapas de erosão, assim como, a distribuição das classes de erosão do solo para cada uma das bacias hidrográficas estudadas são apresentados nas Figuras 20 a 23.

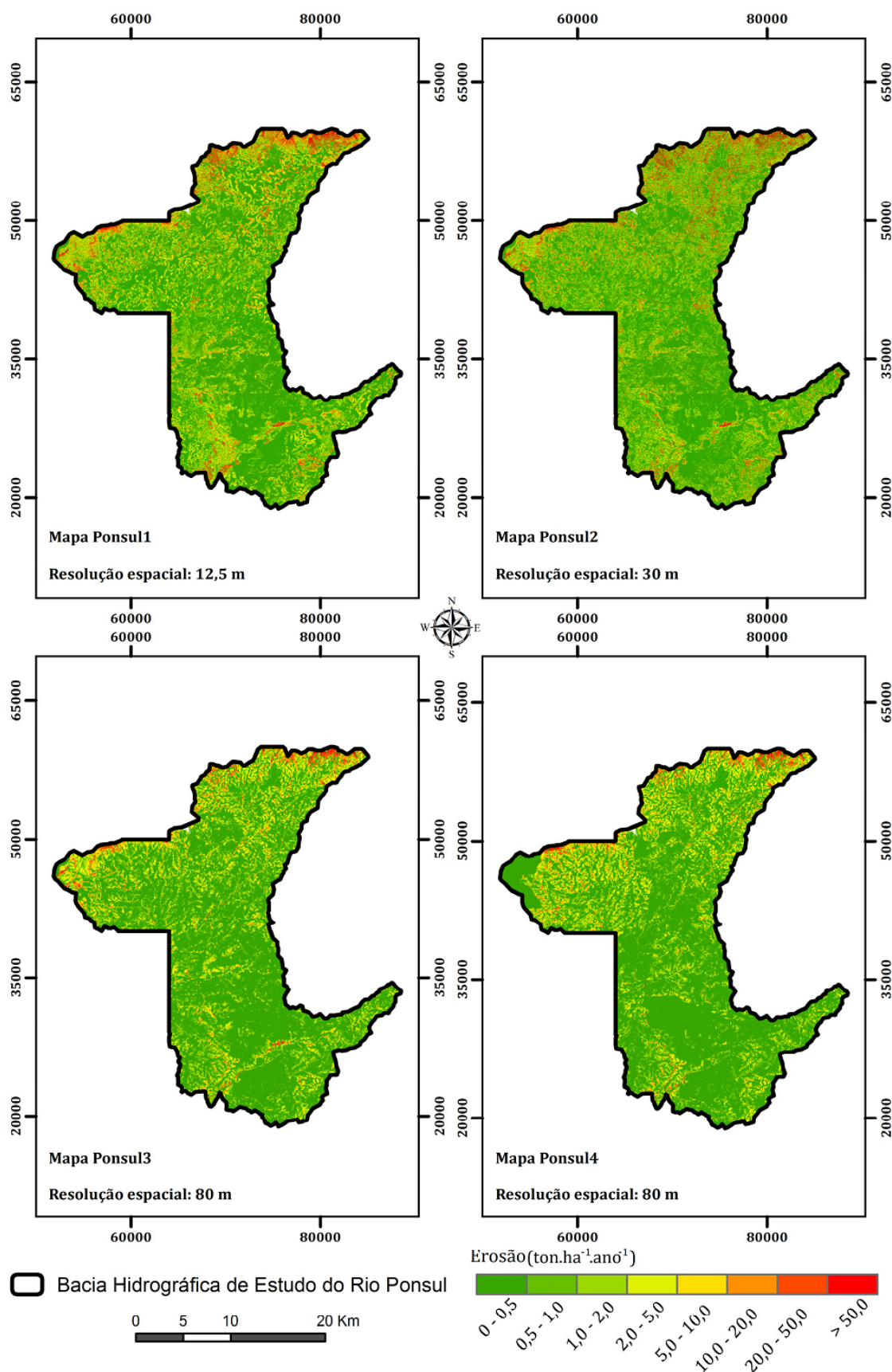


Figura 20 - Distribuição espacial da erosão hídrica do solo na bacia hidrográfica do rio Ponsul.

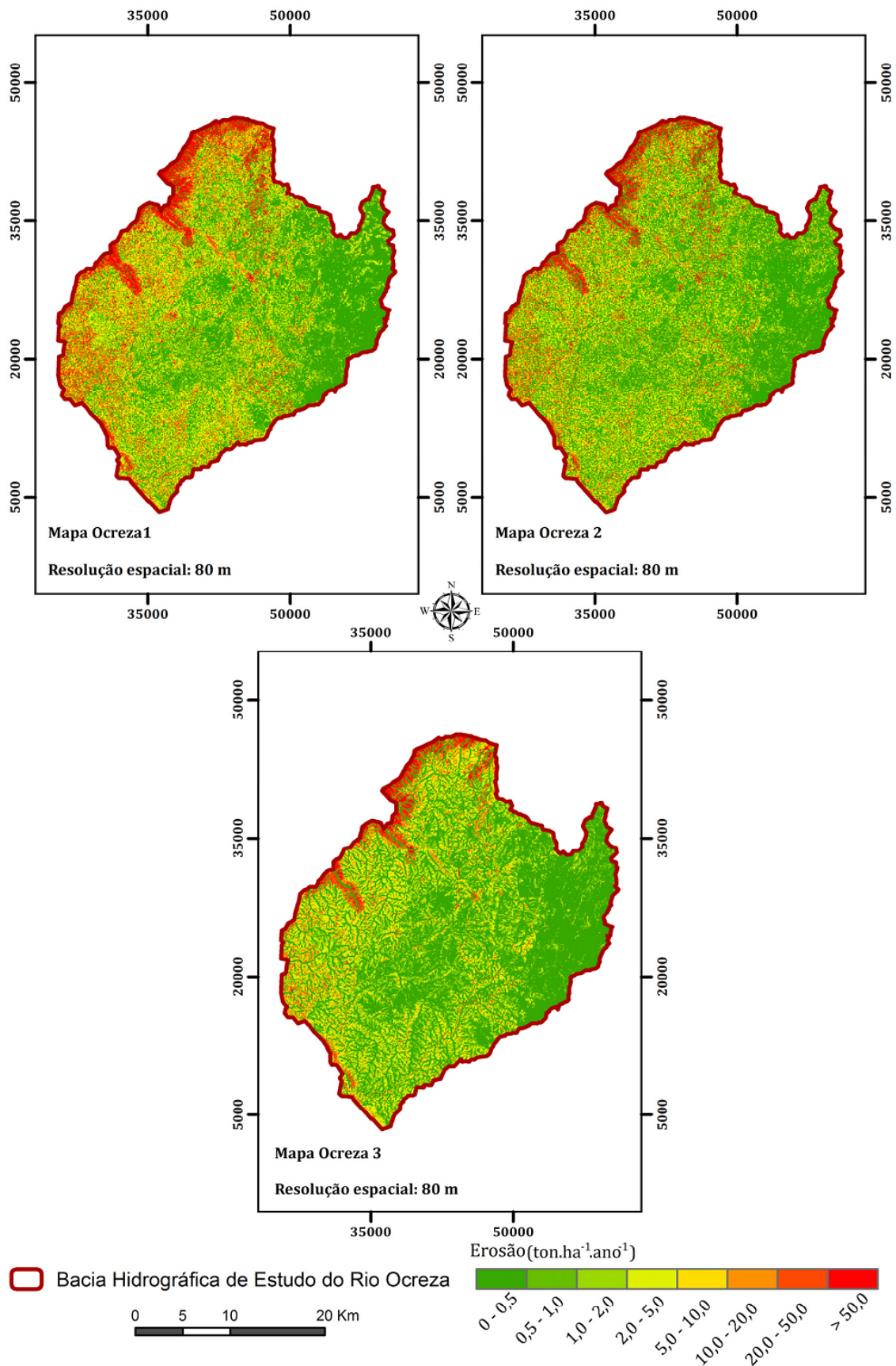


Figura 21 - Distribuição espacial da erosão hídrica do solo na bacia hidrográfica do rio Ocreza.

A Figura 22 apresenta a distribuição da erosão por classes para a bacia hidrográfica do rio Ponsul.

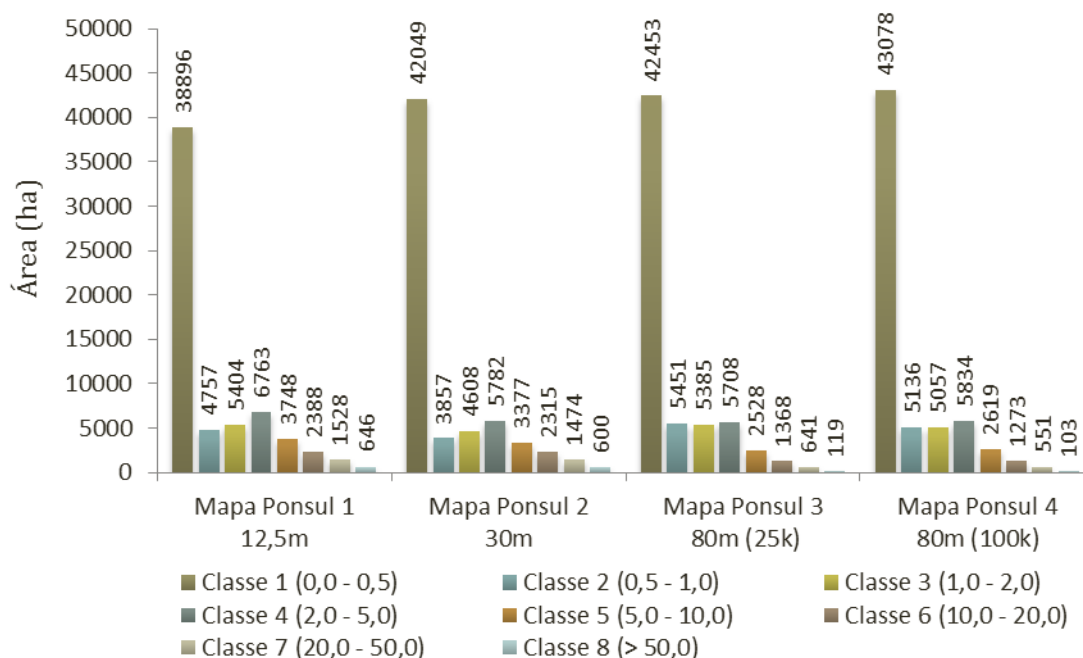
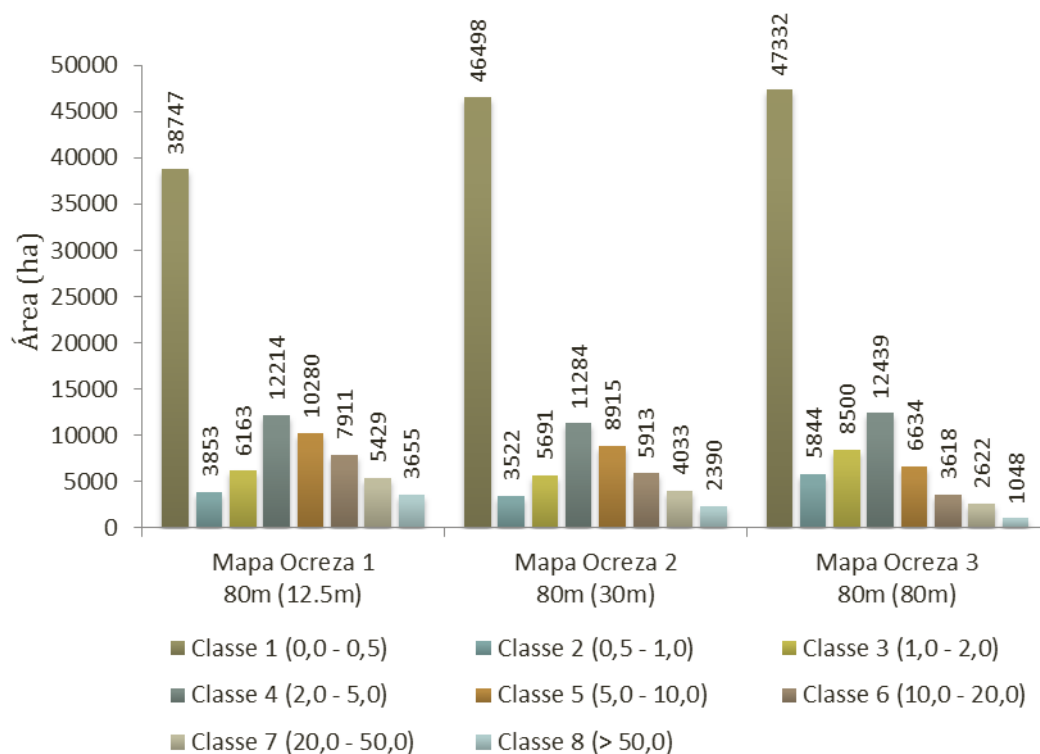


Figura 22 - Distribuição da erosão do solo por classes para a bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul

A análise destes dados permite aferir que em todos os mapas de erosão produzidos, independentemente da resolução, a classe mais representativa nesta bacia é a classe 1 e indica que entre 61% e 68% da área em estudo apresenta valores de perda de solo entre as 0 e 0,5 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. A segunda classe mais representativa é a classe 4 e indica que cerca de 9% a 11% da área de estudo possui um valor médio de perdas de solo entre as 2 e as 5 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Em termos da Classe 8 e das perdas mais elevadas de solo, os resultados determinaram que aproximadamente 1% da área desta bacia tem valores de perda de solo superiores a 50 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

A Figura 22 evidencia uma ligeira tendência de aumento das áreas da classe 1 à medida que a resolução espacial passa de 12,5 m para 30 m e 80 m. No entanto, nas restantes classes esse padrão não é tão evidente.

A figura 23 representa a distribuição da erosão por classes para a bacia do rio Ocreza.



**Figura 23** - Distribuição da erosão do solo por classes para a bacia hidrográfica de estudo do rio Ocreza

Também nesta bacia a classe mais representativa tende a ser a classe 1, classificando 44 a 54% desta área com valores de perda de solo entre as 0 e 0,5 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, enquanto cerca de 14% destas áreas possui um valor médio de erosão do solo com perdas a rondar as 2 a 5 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Os resultados determinaram ainda que entre 1% e 4% das áreas desta bacia se inserem na classe mais elevada de erosão do solo, em que podem ocorrer perdas superiores a 50 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Também nestes mapas de erosão foi perceptível o ligeiro aumento das áreas inseridas na classe 1 à medida que a resolução variou de 12,5 m para 30 e 80 m.

Analisada a distribuição da erosão hídrica do solo nas áreas das duas bacias de estudo, procedeu-se à comparação estatística dos resultados obtidos pelos mapas de erosão das bacias de estudo do rio Ponsul, por forma a testar se ocorrem diferenças entre mapas de erosão produzidos com diferentes resoluções espaciais.

Esta hipótese foi testada apenas na bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul, uma vez que devido às fontes de informação disponíveis, foi a única bacia em que foi possível criar mapas de erosão hídrica do solo com as resoluções espaciais de 12,5 m, 30 m e 80 m.

Os testes da distribuição normal e da homogeneidade de variâncias demonstram que os resultados dos mapas de erosão hídrica do solo, gerados para a bacia de estudo do rio Ponsul, não seguem um padrão normal nem possuem variâncias homogêneas (Anexo XIII - Tabela 20).

De acordo com estes resultados recorreu-se ao teste *Kruskal-Wallis* para identificar se existem diferenças nos valores de erosão hídrica do solo obtidos por diferentes resoluções espaciais (Anexo XIII - Tabela 21).

O teste de *Kruskal-Wallis* revelou que pelo menos um dos mapas gerou resultados diferentes quanto ao valor de erosão hídrica do solo. O que indica também que pelo menos um dos tipos de resolução espacial gera valores de erosão estatisticamente diferente dos restantes.

Aplicou-se a *Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes*, para identificar quais os mapas que diferem entre si (Anexo XIII - Tabela 22).

Os resultados desta comparação múltipla revelaram que os dados de erosão hídrica do solo diferem estatisticamente entre si, quando determinados através de mapas com resoluções distintas, à exceção do mapa Ponsul 2 (30 m) e do mapa Ponsul 4 (80 m) que demonstraram resultados semelhantes entre si.

O mapa Ponsul 3 e Ponsul 4, com resoluções de 80 metros, diferem apenas na variável K do modelo EUPS, sendo que para o mapa Ponsul 3 este fator foi determinado pela cartografia 1:25 000 e para o mapa Ponsul 4 pela cartografia 1:100 000.

O resultado destes dois mapas em valores de erosão hídrica do solo estatisticamente distintos parece indicar que, mantendo todos os outros fatores da EUPS, o recurso a fontes de informação do tipo de solos distintas influenciam os resultados de erosão hídrica.

De forma a estudar a influência do fator K na aplicação da EUPS realizou-se a comparação estatística entre os mapas de erosão produzidos para a bacia de estudo do rio Ocreza, uma vez que esses mapas foram gerados com a mesma fonte de informação do tipo de solo, ou seja, através da cartografia de solos à escala 1:100 000, por não estar disponível para essa área a cartografia de solos a 1:25 000.

No mapa Ocreza 1 todas as restantes variáveis entraram no modelo EUPS com a resolução espacial de 12,5 m, enquanto no mapa Ocreza 2 entraram com a resolução espacial de 30 m e no mapa Ocreza 3 com a resolução espacial de 80 m. Tendo sido a resolução espacial dos mapas finais condicionada a 80 m devido à escala da cartografia de solos.

Os resultados da normalidade e da homogeneidade de variâncias, para os mapas de erosão hídrica do solo da bacia de estudo do rio Ocreza, demonstram que não existe distribuição normal nem homogeneidade de variâncias das amostras. Assim, prosseguiu-se com o estudo estatístico aplicando novamente o teste *Kruskal-Wallis* (Anexo XIII – Tabela 23 e 24).

O teste de *Kruskal-Wallis* demonstrou que pelo menos um dos mapas de erosão da bacia de estudo do rio Ocreza gerou valores de erosão hídrica do solo distinta dos restantes, mesmo tendo estes sido obtidos com a mesma resolução espacial final e recorrido à mesma fonte de informação do tipo de solos.

A averiguação dos mapas que evidenciaram diferenças entre si foi efetuada, uma vez mais, pela aplicação do teste de *Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes* (Anexo XIII - Tabela 25).

Os valores resultantes desta comparação múltipla evidenciam que todos os mapas de erosão hídrica do solo produzidos para a bacia de estudo do rio Ocreza geram valores de erosão diferentes entre si.

Estes resultados demonstram que a influência na diferenciação dos valores de erosão hídrica do solo está relacionada com a resolução espacial das variáveis de entrada no modelo

EUPS e que mesmo mantendo a variável erodibilidade igual em todos os mapas não houve uma tendência de aproximação estatística dos resultados.

Estes dados, conjuntamente com os resultados do mapa Ponsul 3 e do mapa Ponsul 4, permitem concluir que no caso destes últimos dois mapas a diferença entre eles deve ocorrer por questões de resolução espacial e de classificação da fonte de informação usada no cálculo do fator K e não por se manterem os restantes fatores constantes.

Por outro lado estes resultados conjuntos parecem também indicar que a influência da resolução numa só variável, ou na maioria das variáveis, pode ser o suficiente para influenciar o resultado dos mapas de erosão.

Os valores de erosão hídrica do solo obtidos na bacia hidrográfica do rio Ocreza e na bacia hidrográfica do rio Ponsul foram estudados comparativamente através dos mapas de erosão com resolução espacial de 80 m, ou seja, o mapa Ponsul 3, Ponsul 4 e Ocreza 3.

O estudo da homogeneidade de variâncias e da normalidade destas amostras mais uma vez evidenciou que não existe distribuição normal nem homogeneidade de variâncias (Anexo XIII – Tabela 26).

Atendendo a esta duas condicionantes e à necessidade de proceder a nova aplicação de um teste não paramétrico, recorreu-se novamente à análise de *Kruskal-Wallis* (Anexo XIII – Tabela 27).

Esta análise revelou que pelo menos um dos mapas usados nesta comparação apresenta resultados de erosão hídrica do solo distintos dos demais. Assim, aplicou-se novamente o teste de *Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes*, que evidenciou existirem diferenças estatísticas entre os valores de erosão obtidos para cada uma das bacias hidrográficas de estudo (Anexo XIII – Tabela 28).

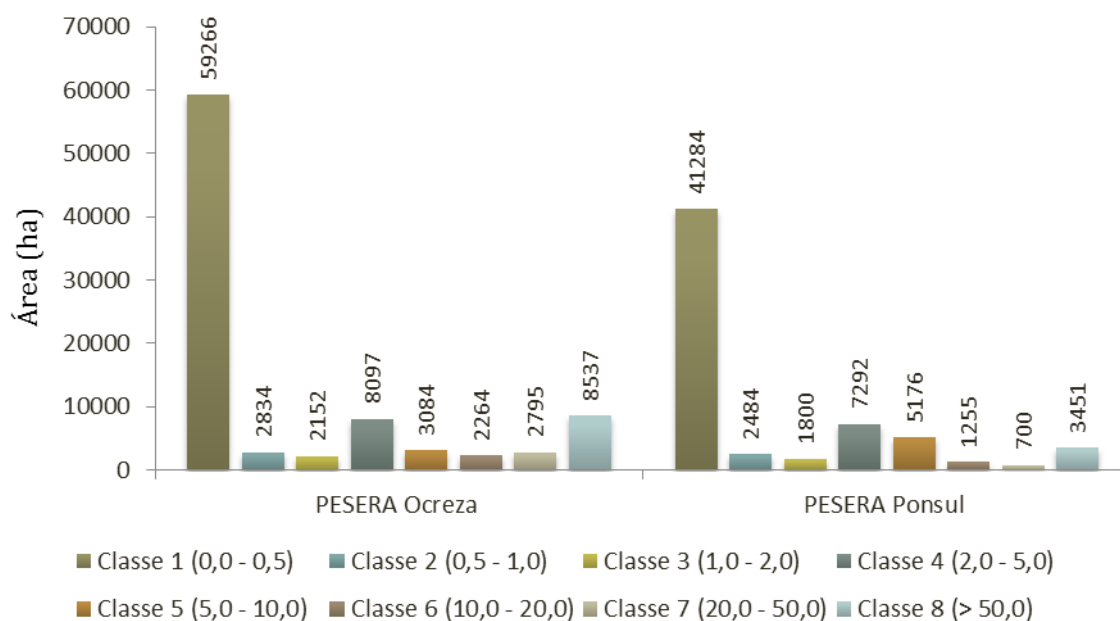
O que indica que a aplicação do modelo EUPS usando variáveis de entrada com a mesma resolução espacial em bacias distintas pode gerar diferentes valores de erosão hídrica do solo.

Sugerindo assim, que a diferença destes resultados é mais influenciada pela variabilidade espacial intrínseca a cada um dos fatores, como as diferenças na complexidade do relevo, no tipo de solos, no uso e ocupação do território e nos regimes de precipitação destas bacias, do que pela utilização da mesma resolução espacial na modelação deste fenómeno.

De notar que existe uma proximidade e parcial contiguidade geográfica destas duas bacias hidrográficas e que a variação de fatores como o relevo pode ocorrer a curtas distâncias.

O cumprimento dos objetivos propostos para este estudo pressupõe uma última etapa de análise e comparação da modelação espacial da EUPS com os valores do projeto PESERA disponibilizados pelos mapas do Anexo XIV (Figura 42).

Assim, foi efetuada a análise da distribuição das classes de erosão nas duas bacias hidrográficas de estudo atendendo aos dados do projeto PESERA apresentados na Figura 24.



**Figura 24** - Distribuição da erosão do solo por classes nas duas bacias hidrográficas de estudo com base nos dados do Projeto PESERA.

De acordo com os dados do projeto PESERA e com os valores apresentados na Figura 24, é possível constatar que, à semelhança da modelação da EUPS, também nestes resultados a classe de erosão hídrica do solo mais representada nas duas bacias de estudo é a classe 1.

Esta classe representa cerca de 67% da área da bacia hidrográfica do rio Ocreza e 65% da área da bacia hidrográfica do rio Ponsul, com um potencial de perdas de solo entre as 0 e 0,5  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

Na bacia hidrográfica de estudo do Ponsul o PESERA considera a classe 4 como a segunda mais representativa dessa área, indicando que cerca de 11% dessa bacia possui um valor médio de erosão hídrica do solo com um potencial de perdas de solo entre as 2 e as 5  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ . Estes valores coadunam-se com os resultados descritos para a modelação espacial da EUPS.

No entanto, na bacia hidrográfica do Ocreza a segunda classe mais representativa para os dados do PESERA é a classe 8 que cobre cerca de 10 % da bacia de estudo, um ponto percentual acima da classe 4 que cobre 9% desta área. Assim, nesta bacia 10% da área possui uma perda de solo que pode ser superior a 50  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  e 9% possui um potencial de perda de solo entre as 2 e as 5  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

Numa generalização destes valores pode-se afirmar que a modelação espacial da erosão hídrica do solo através da aplicação da EUPS gera resultados de distribuição das classes de erosão hídrica do solo idênticos ao projeto PESERA, sendo exceção o fato do projeto europeu considerar para a bacia do rio Ocreza valores da classe 8 mais altos que os obtidos com a EUPS.

A primeira bacia hidrográfica a ser comparada com o projeto PESERA foi a do rio Ocreza, tendo-se procedido à análise da distribuição normal das amostras e ao teste de *Levene* para testar a homogeneidade de variâncias.

Os resultados destes testes revelam não existir homogeneidade de variâncias nem distribuição normal das amostras, por isso, aplicou-se o teste de *Kruskal-Wallis* para testar se existem diferenças entre os valores de erosão hídrica do solo estimados pelo modelo EUPS e os dados obtidos pelo projeto PESERA nesta bacia hidrográfica de estudo (Anexo XIV - Tabela 29 e 30).

Este teste revelou que existe pelo menos um dos mapas de erosão estudados nesta comparação que apresenta valores de erosão hídrica do solo diferente dos restantes. Para uma melhor compreensão de quais os mapas que diferem entre si recorreu-se, uma vez mais, ao teste *LSD de Fisher* e à *Comparação Múltipla das Médias das Ordens Para Amostras Independentes* (Anexo XIV – Tabela 31).

A comparação múltipla entre os mapas de erosão produzidos pelo modelo EUPS e o modelo do PESERA na bacia hidrográfica de estudo do rio Ocreza revelou que todos os mapas produzem resultados de erosão hídrica do solo diferentes do projeto PESERA. Contudo, os mapas Ocreza 1 e Ocreza 2 apresentam valores de erosão semelhantes entre si quando comparados com uma resolução espacial de 1000 m.

As diferenças observadas anteriormente na distribuição das classes de erosão hídrica do solo entre as cartografias dos dois modelos (PESERA e EUPS), nesta bacia, corroboram as diferenças estatísticas apresentadas por esta comparação múltipla.

A comparação ao nível da bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul foi efetuada utilizando o procedimento anterior e iniciou-se pelo teste da normalidade e da homogeneidade das variâncias (Anexo XIV – Tabela 32).

Seguindo a mesma tendência das análises anteriores os dados destas amostras revelam ser desprovidos de uma distribuição normal e de homogeneidade de variâncias. Recorrendo ao teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* para avaliar a existência de diferenças estatísticas entre os resultados de erosão hídrica do solo obtidos pela modelação da EUPS e pelo Projeto PESERA obtiveram-se os resultados expressos no Anexo XIV (Tabela 33).

Neste caso, o teste de *Kruskal-Wallis* também rejeita a hipótese de os valores de erosão hídrica do solo, obtidos pelos mapas de erosão do modelo EUPS e PESERA, serem semelhantes.

Os resultados da comparação múltipla entre EUPS e PESERA para a bacia hidrográfica de estudo do rio Ponsul demonstram que os dados do projeto PESERA se aproximam dos dados obtidos pela modelação espacial da erosão hídrica do solo realizada nesta bacia através da aplicação da EUPS, chegando mesmo o mapa Ponsul 3 a produzir resultados que não diferem estatisticamente do projeto PESERA (Anexo XIV – Tabela 34).

O mapa Ponsul 4 difere estatisticamente do projeto PESERA, no entanto, não difere do mapa Ponsul 3, tornando este fato num ponto de interesse desta análise, pois anteriormente a comparação entre os dois assumia-se estatisticamente diferente para uma resolução de 80 m, à semelhança do que ocorreu com os mapas Ocreza 1 e Ocreza 2.

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo, através da modelação espacial da erosão hídrica do solo integrando o modelo EUPS em Sistemas de Informação Geográfica, permitiram atingir com sucesso os objetivos inicialmente propostos.

No decorrer deste projeto foi evidenciada a importância das fontes de informação no desenvolvimento da modelação espacial da erosão hídrica do solo, na medida em que a sua qualidade, a sua classificação, a sua abrangência e a sua escala ou resolução espacial influenciam a determinação tanto de um fator como do resultado final da modelação espacial.

Neste projeto foram utilizadas as fontes de informação geográfica capazes de dar resposta ao problemas colocados e em que se reconhece-se a qualidade inerente aos seus dados.

O recurso a este tipo de modelação requer a utilização de MDT como fonte de informação para a determinação do fator topográfico (LS) da EUPS. A qualidade inerente a esta informação reveste-se da maior importância para um estudo desta ordem, porque na sua essência estes MDT refletem a realidade e a complexidade do relevo das áreas de estudo.

A avaliação de qualidade feita, neste estudo, a estas fontes de informação revelou que os MDT com resoluções espaciais de 12,5 m e 80 m garantem a representatividade do detalhe do terreno, já o MDT com a resolução de 30 m evidenciou um EMQ elevado que evidencia poderem existir algumas limitações na representatividade do relevo.

No caso do MDT com 12,5 m, a disponibilização de pontos cotados para as áreas de estudo poderão otimizar este modelo e contribuir para uma melhor representatividade do relevo.

O desenvolvimento de diversos algoritmos e ferramentas que permitem a integração do cálculo do fator LS, na modelação em SIG, trouxe para este trabalho a necessidade de testar e comparar a sua influência na estimativa desta variável.

O estudo detalhado dos algoritmos e das resoluções aplicadas ao fator topográfico (LS) evidencia que os valores deste fator variam consoante o tipo de algoritmo aplicado e consoante o MDT utilizado para a sua determinação.

A modelação do fator erosividade (R), neste trabalho, levantou algumas questões inerentes às fontes de informação a usar, nomeadamente quanto à resolução final que as mesmas poderiam proporcionar. Uma vez que as resoluções deste estudo foram definidas para 12,5 m, 30 m e 80 m foi necessário encontrar uma metodologia que garantisse o compromisso entre os dados e o detalhe da distribuição deste fator.

O desenvolvimento de um modelo partindo da relação entre a precipitação e a altitude foi o método que se demonstrou mais ajustado aos objetivos do estudo para esta variável.

Na comparação realizada entre os métodos de interpolação *IDW*, *Spline* e *Ordinary Kriging*, verificou-se que o método *IDW* foi o que produziu menor EMQ e que conseqüentemente se evidenciou como o melhor destes métodos para proceder à interpolação espacial de dados do fator R. O fato deste método, para a área em estudo, produzir resultados com uma resolução espacial de 500 m levou a que não fosse considerada a sua integração na modelação espacial da EUPS.

A determinação do fator erodibilidade através de duas fontes de informação distintas permitiu concluir que a utilização de cartografia dos solos com escalas diferentes e sobretudo com classificações de solos distintas produzem valores de K estatisticamente diferentes.

Este trabalho evidencia a carência de cartografia de solos à escala 1:25 000 disponível para todo o território nacional, o que condiciona, em determinadas regiões, a modelação espacial da erosão hídrica do solo através da EUPS a resoluções espaciais mais grosseiras.

O estudo do fator de erodibilidade levanta ainda uma necessidade premente no que concerne à harmonização de legendas e classificações entre os diversos sistemas utilizados em Portugal e o referencial mundial *World Reference Base for Soil Resources*.

Uma vez que este projeto contemplou a harmonização parcial dessas classificações, este poderá ser um ponto de partida para um estudo mais detalhado neste âmbito, de forma a integrar também a atualização dos valores de K propostos por Pimenta (1998a, 1998b).

Quanto ao fator coberto vegetal (C) e ao fator práticas agrícolas (P) salientou-se com este estudo a necessidade de ajustar os valores destes dois fatores à cartografia de uso e ocupação do solo atualmente existente em Portugal (COS2007). Verificou-se também uma carência em trabalhos que classifiquem mais pormenorizadamente o fator P.

A análise da modelação espacial da erosão hídrica do solo permitiu concluir que nas duas bacias hidrográficas existe uma tendência em classificar a maior percentagem de área com um valor reduzido de perda de solo entre as 0 e as 0,5 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, seguida de um valor médio de perda de solo (2 - 5 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

O estudo da influência das fontes de informação com diferentes resoluções na modelação da erosão, demonstrou que na maioria dos mapas de erosão produzidos existe diferenciação dos resultados, com exceção do mapa Ponsul 2 (30 m) e do mapa Ponsul 4 (80 m) que demonstraram obter resultados semelhantes entre si.

Foi possível comprovar com este estudo que a influência na diferenciação dos valores de erosão hídrica do solo está relacionada com a cartografia de base das variáveis de entrada no

modelo EUPS. A diferença entre dois mapas de erosão pode ocorrer por questões relativas à diferença de resolução espacial ou de classificação da fonte de informação com que as variáveis são determinadas. Concluindo que a influência da resolução espacial numa só variável ou na maioria das variáveis pode ser o suficiente para obter resultados de erosão do solo diferentes.

A comparação dos resultados de erosão obtidos entre as duas bacias de estudo indicaram que apesar de se recorrer à mesma resolução espacial a aplicação da EUPS em áreas distintas tende a gerar valores de erosão hídrica do solo também diferentes.

Sendo que essas diferenças estão mais indexadas à distinta complexidade do relevo, do tipo de solos, do uso e ocupação do território e dos regimes de precipitação, do que ao uso de uma resolução comum na modelação deste fenómeno.

A comparação, dos modelos EUPS e PESERA revelou uma aproximação dos resultados entre ambos para a bacia de estudo do rio Ponsul e uma diferença nos seus resultados na bacia do Ocreza.

Essas diferenças na bacia do rio Ocreza são também evidenciadas pela distribuição das classes de erosão quando comparada com os resultados da EUPS e pelos resultados da análise estatística comparativa.

Nesta análise surgem evidências de que menores resoluções tendem a aproximar os resultados de erosão, neste caso concreto a análise dos mapas Ponsul 3 e Ponsul 4 e dos mapas Ocreza 1 e Ocreza 2 revelaram diferenças estatísticas quando comparados com uma resolução de 80 m e quando comparados com uma resolução de 1000 m essas diferenças estatísticas dissiparam-se.

O recurso à modelação espacial da erosão hídrica do solo em SIG através do modelo EUPS revelou-se com este trabalho ser uma ferramenta robusta, versátil e com capacidade de se ajustar a novos paradigmas inerentes à avaliação da erosão hídrica do solo.



## Referências Bibliográficas

- Arnoldus, H., 1977. Predicting soil losses due to sheet and rill erosion. *In: Guidelines for Watershed Management*. Rome: FAO, 99 – 124.
- Arnoldus, H.M.J., 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. *In: M. De Boodt and D. Gabriels, eds. Assessment of Erosion*. Wiley, Chichester, 127–132.
- Böhner, J. and Selige, T., 2006. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. *Göttinger Geographische Abhandlungen*, 115, 13–28.
- Cardoso, J.V.C., 1965. *Os solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese - A sul do rio Tejo*. Lisboa: Direcção Geral dos Serviços Agrícolas.
- Carreira, D., 2010. MDT 30m para Portugal [online]. *Blog Via SIG*. Available from: <http://blog.viasig.com/2010/03/mdt-30m-para-portugal/> [Accessed 11 May 2012].
- Catalão, M.E.C. and Pacheco, F.A.L., 2010. Perdas de solo e risco de erosão na bacia hidrográfica da ribeira da Meia Légua. *In: GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal VIII Congresso Nacional de Geologia*. e-Terra Revista Electrónica de Ciências da Terra, 1–4.
- Comissão das Comunidades Europeias, 2006. Estratégia temática de protecção do solo síntese da avaliação de impacto {COM(2006)231 final} {SEC(2006)620}.
- Coutinho, M.A., Álvares, M.T., and Pimenta, M.T., 1993. Erosão hídrica e sedimentação em albufeiras da bacia hidrográfica do rio Guadiana. 1º Relatório interno. LISBOA.
- Cupeto, C., Alberto, D., Quinta-Nova, L.C., Jacinto, P., Figueiredo, M.J., Rodrigues, M.A., Silva, S., Maldonado, F., Gomes, O., and Marco, C., 2007. Diagnóstico para a sustentabilidade: “Castelo Branco Agenda XXI Local”. Castelo Branco.
- Dallal and Wilkinson, 1986. An analytic approximation to the distribution of Lilliefors’s test statistic for normally. *In: The American Statistician*. 294.

- Desmet, P.J.J. and Govers, G., 1996. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51 (5), 427–433.
- DGADR, 2012. Cartas de solos e capacidade de uso, série SROA/CNROA formato digital [online]. Available from: <http://www.dgadr.pt/cartografia/cartas-solos-cap-uso-digital> [Accessed 2 Aug 2012].
- DSRNAH, 1999. Nota explicativa da carta dos solos de Portugal e da carta de capacidade de uso do solo. Lisboa.
- Ellis, S. and Mellor, A., 1995. *Soils and environment*. London: Routledge.
- FAO, 2006. World reference base for soil resources 2006. Rome.
- Ferreira, V. and Panagopoulos, T., 2012. Predicting soil erosion risk at the Alqueva dam watershed. No. Spatial and Organizational Dynamics Discussion Papers 2012-4. Faro.
- Fistikoglu, O. and Harmancioglu, N.B., 2002. Integration of GIS with USLE in assessment of soil erosion. *Water Resources Management*, 16 (6), 447–467.
- Foster, G.R., Toy, T.E., and Renard, K.G., 2003. Comparison of the USLE, RUSLE1.06c, and RUSLE2 for application to highly disturbed lands. In: *First Interagency Conference on Research in the Watersheds*. Benson, AZ: US Department of Agriculture, 154–160.
- Garcia Rodriguez, J.L. and Suárez, M.C.G., 2010. Historical review of topographical factor LS, of water erosion models. *Aqua-LAC*, 2 (2), 56–61.
- Gonçalves, J.A., 2008. Transformação de coordenadas cartográficas e geográficas usando grelhas de transformação de Datum [online]. Available from: <http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/coordenadas/index.htm> [Accessed 26 Feb 2012].
- Gonçalves, J.A., 2009. Conversões de sistemas de coordenadas nacionais para ETRS89 utilizando grelhas. In: *VI Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 9.
- Gonçalves, J.A., 2012. Modelo Digital do Terreno [online]. Available from: <http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/srtm/> [Accessed 6 Mar 2012].
- Govers, G., 1991. Rill erosion on arable land in central Belgium: rates, controls and predictability. *CATENA*, 18 (2), 133–155.
- Gross, J., 2012. nortest: Test for Normality. *R package Version 1.0-2*.
- Hengl, T., 2006. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32 (9), 1283–1298.
- Hengl, T., 2007. Grid size calculator [online]. Available from: [http://spatial-analyst.net/wiki/index.php?title=Grid\\_size\\_calculator](http://spatial-analyst.net/wiki/index.php?title=Grid_size_calculator) [Accessed 21 Jan 2013].
- Henriques, C.S., 2009. *Dinâmica de vertentes no contexto da reserva ecológica nacional: O caso de estudo do concelho de Caldas da Rainha*. Tese (Mestrado). Universidade de Lisboa Faculdade de Letras.
- Hickey, R., 2000. Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*, 29 (1), 1–8.
- Hickey, R., Smith, A., and Jankowski, P., 1994. Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID. *Computers, Environment and Urban Systems*, 18 (5), 365–380.
- IGP, 2010. Memória descritiva da carta de uso e ocupação do solo de Portugal continental para 2007. Lisboa.

- IGP, 2012. Coordenadas da rede geodésica nacional (RGN) no sistema de referência PT-TM06/ETRS89 [online]. *Rede Geodésica Nacional*. Available from: <http://www.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/rgn.asp#> [Accessed 23 Mar 2012].
- Jebari, S., Berndtsson, R., Olsson, J., and Bahri, a., 2012. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. *Journal of Hydrology*, 436-437, 102–110.
- Jones, B., Hollis, J., and Montanarella, L., 2003. European summer school on soil survey experiences with WRB : 1 : 1 , 000 , 000 scale soil map for Europe. In: *European Summer School on Soil Survey*. 10.
- Khosrowpanah, S., Heitz, L., Wen, Y., and Park, M., 2007. GIS-based soil erosion potential model of the Ugum watershed. Mangilao.
- Kinnell, P.I. a., 2010. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. *Journal of Hydrology*, 385 (1-4), 384–397.
- Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J., and Huting, J., 2004. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176. Office for Official Publications of the European C. Luxembourg.
- Kouli, M., Soupios, P., and Vallianatos, F., 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 57 (3), 483–497.
- Levene, H., 1960. Robust test for equality of variance. In: I. Olkin, ed. *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling*. Stanford: Stanford University Press, 278–292.
- Loureiro, N.S. and Coutinho, M.A., 2001. A new procedure to estimate the RUSLE EI 30 index , based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region , Portugal. *Journal of Hydrology*, 250, 12–18.
- Marôco, J., 2011. *Análise estatística com o SPSS Statistics*. 5ª Edição. Pero Pinheiro: ReportNumber, Lda.
- Martín-Fernández, L. and Martínez-Núñez, M., 2011. An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. *Science of the Total Environment*, 409 (17), 3114–3123.
- Martins, A.A.A. and Lourenço, J.M., 2012. Carta dos solos e carta da aptidão da terra do nordeste de Portugal - Síntese da informação contida na memória descritiva. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- McCool, D.K., Brown, L.C., and Foster, G.R., 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30, 1387–1396.
- McCool, D.K., Foster, G.R., Mutchler, C.K., and Meyer, L.D., 1989. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32, 1571–1576.
- Meneses, B.M.C.S., 2011. *Erosão hídrica de solos caso de estudo do concelho de Tarouca*. Tese (Mestrado). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa.
- Minella, J.P.G., Merten, G.H., and Ruhoff, A.L., 2010. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34 (4), 1455–1462.

- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., and Iverson, L.R., 1996. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10 (5), 629–641.
- Mitasova, H., Brown, W.M., Hohmann, M., and Warren, S., 2001. Using soil erosion modeling for improved conservation planning: A GIS-based tutorial [online]. Available from: <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/CerlErosionTutorial/denix/denixstart.html> [Accessed 28 Mar 2012].
- Montanarella, L., 2004. Emerging issues in soil and water management for vineyard and olive-tree orchards. In: *Integrated soil and water management for orchard development: Role and Importance*. Mosciano S. Angelo: FAO, 3–11.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5 (1), 3–30.
- Moore, I.D. and Wilson, J.P., 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47 (5), 423–428.
- Musgrave, G.W., 1947. The quantitative evaluation of factors in water erosion- A first approximation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2, 133–138.
- Nearing, M.A., 1997. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Soil Science Society of America Journal*, 61 (3), 917–919.
- Nunes, A.N., De Almeida, A.C., and Coelho, C.O. a, 2011. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography*, 31 (2), 687–699.
- Olaya, V., 2004. *A gentle introduction to SAGA GIS*. 1.1 ed. Gottingen: The SAGA User Group eV.
- Olaya, V., 2012. The SEXTANTE framework [online]. Available from: <http://www.sextantegis.com/index.html> [Accessed 18 Jun 2012].
- Oliveira, P.T.S., Rodrigues, D.B.B., Sobrinho, T.A., and Panachuki, E., 2010. Estimativa do fator topográfico da USLE a partir de três algoritmos. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 5 (2), 217–225.
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Jones, A., and Montanarella, L., 2012. European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29 (2), 329–338.
- Pertussatti, C.A. and Sobrinho, T.A., 2010. Erosão hídrica e infiltração de água sob diferentes padrões de precipitação e sistemas de uso e cobertura do solo. In: *XI Encontro de Iniciação Científica da UFMS*. Mato Grosso do Sul: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 15.
- Petan, S., Taveira-Pinto, F., Miko, M., and Pais-Barbosa, J., 2010. Modelação da erosão do solo da bacia hidrográfica do rio Leça , com a equação rusle e SIG. *Recursos Hídricos*, 31 (01), 99–110.
- Pimenta, M.T., 1998a. Caracterização da erodibilidade dos solos a sul do rio Tejo. Lisboa.
- Pimenta, M.T., 1998b. Diretrizes para a aplicação da equação universal de perda dos solos em SIG: factor de cultura C e factor de erodibilidade do Solo K. Instituto da Água (INAG), Direcção de Serviços de Recursos Hídricos (DSRH). Lisboa.
- Pinto da Costa, J., Rodrigues, R., and Brandão, C., 2000. Modelação de cheias apoiada em Sistemas de Informação Geográfica. In: *Fenómenos extremos (Cheias, Secas e Desertificação)*. Lisboa: SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, 41.

- PROCESL, HIDRORUMO, GIBB, and HP, 2001. Plano de bacia hidrográfica do rio Tejo: Análise e diagnóstico da situação de referência. Lisboa.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., and Coordinators, 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In: *Agriculture Handbook N.º 703*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 404.
- Rogado, N.J.Q., 1993. Esboço de uma carta de solos da região de aveiro na escala 1/100 000 [online]. *Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral*. Available from: [http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/carta\\_solos\\_aveiro.htm](http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/carta_solos_aveiro.htm) [Accessed 24 Sep 2012].
- Santos, S., Monteiro, A., Mourato, S., and Fernandez, P., 2006. Os Sistemas de Informação Geográfica na modelação hidrológica. In: *XII Congreso Nacional de Tecnologías de la información Geográfica. El Acceso a la Información Espacial y Las Nuevas Tecnologías Geográficas*. Granada, 465–480.
- Schmidt, F., 2004. Topocrop documentation [online]. Available from: <http://www.fs-privat.de/diss.htm> [Accessed 29 May 2012].
- Serrasolses, I., Llovet, J., and Bautista, S., 2004. Degradación y restauración de suelos forestales mediterráneos. In: *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo*. Valencia: Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo - CEAM, 93–132.
- Silva, V.A., 2009. *Evolução da ocupação e da perda de solo numa pequena sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Sado*. Tese (Mestrado). Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Smith, D.D. and Whitt, D.M., 1948. Estimating soil losses from field areas. *Agricultural Engineering*, 29, 394–396.
- SNIRH, 2012. Atlas da Água [online]. Available from: <http://geo.snirh.pt/AtlasAgua/> [Accessed 11 Mar 2012].
- SPCS, 2004. Bases para a revisão e actualização da classificação dos solos em Portugal. Lisboa: Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo.
- S.P.I.04.73., 2004. The PESERA Map: Pan-European Soil Erosion Risk Assessment. Special Publication Ispra 2004 No.73, map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities.
- Terranova, O., Antronico, L., Coscarelli, R., and Iaquina, P., 2009. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). *Geomorphology*, 112 (3-4), 228–245.
- Tóth, G. and Van Beek, C., 2012. *Risk assessment methodologies of soil threats in Europe*. Report EUR. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.
- Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., and Selvaradjou, S., 2004. *Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection*. EUR 21319. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Van Oost, K. and Govers, G., 2000. Usle2D: Online manual [online]. Available from: <http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/usle2dhome/> [Accessed 28 Mar 2012].
- Van Oost, K., Govers, G., and Desmet, P., 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15 (6), 577–589.

- Van Remortel, R., Hamilton, M., and Hickey, R., 2001. Estimating the LS Factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data within ArcInfo Grid. *Cartography*, 30 (1), 27–35.
- Van Remortel, R.D., Maichle, R.W., and Hickey, R.J., 2004. Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. *Computers & Geosciences*, 30 (9-10), 1043–1053.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of The Rocky Mountains: A guide for selection of practices for soil and water conservation. *In: Agriculture Handbook n.º 282*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. *In: Agriculture Handbook n.º 537*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture.
- Zingg, A.W., 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering*, 21 (2), 59–64.

## **ANEXOS**



## **ANEXO I - Delimitação das Bacias Hidrográficas de Estudo**



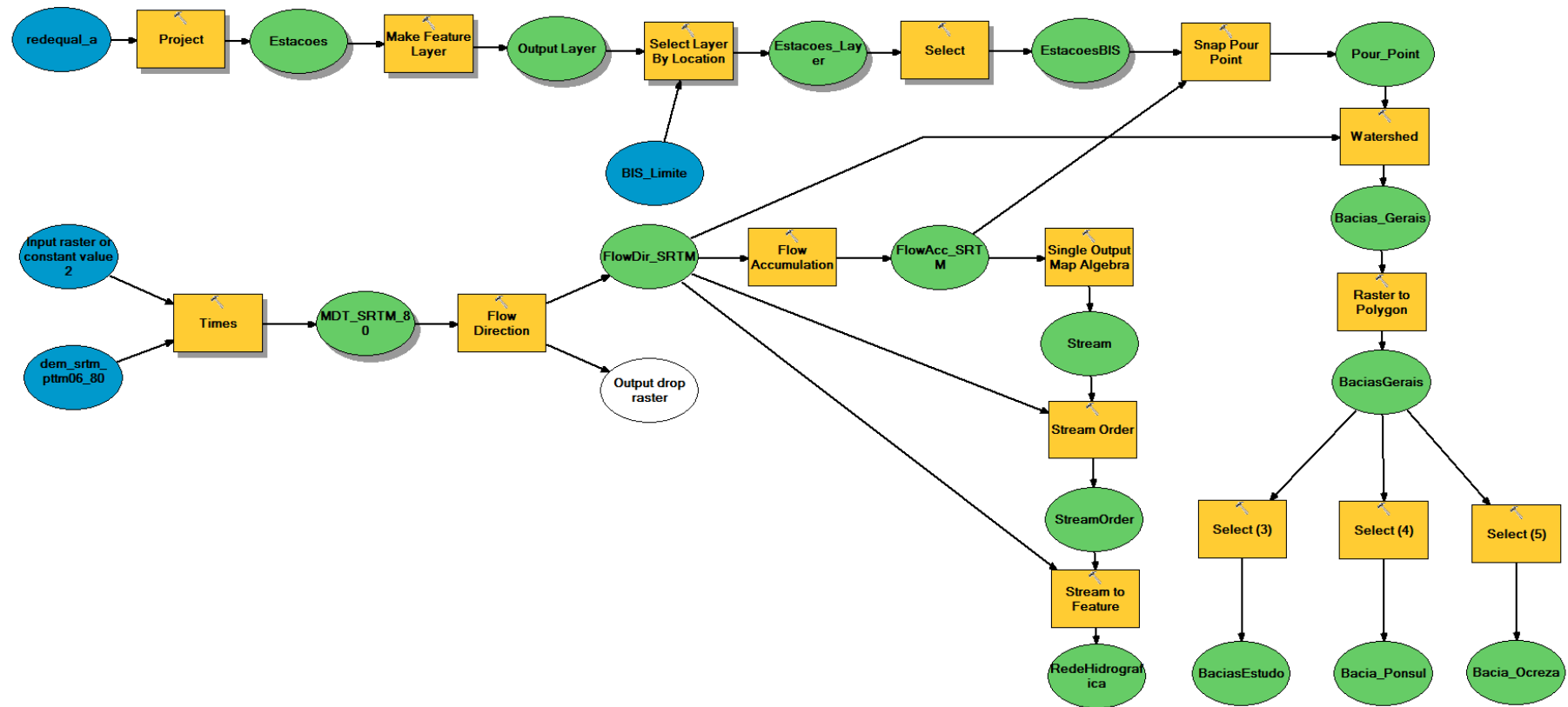
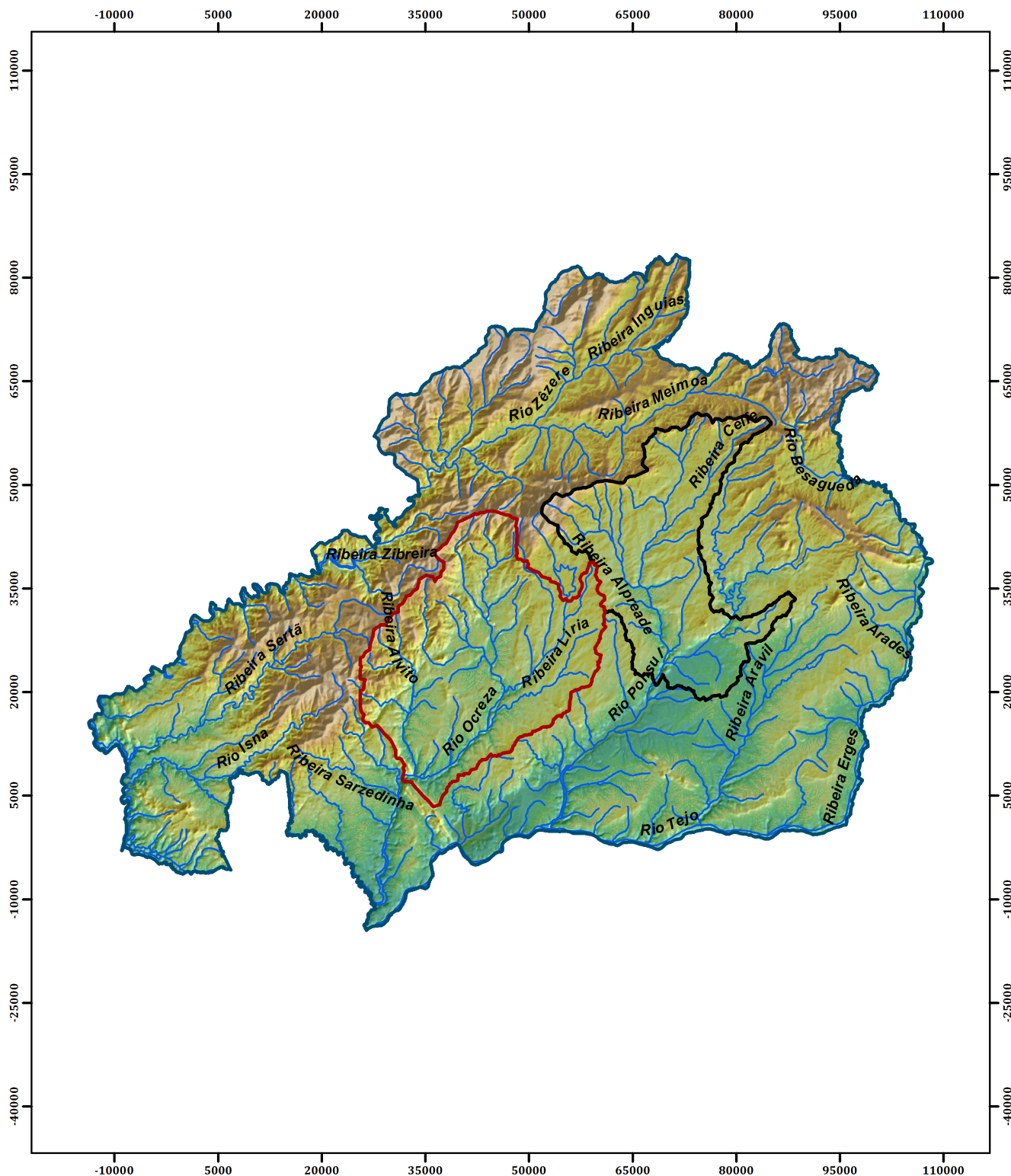



Figura 1 - Modelo para delimitação das bacias hidrográficas, desenvolvido em *Model Builder*.



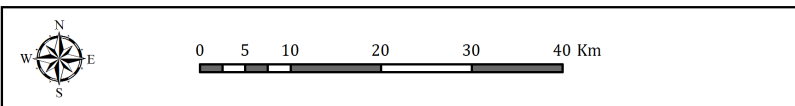
**Mapa de Delimitação das Bacias Hidrográficas**

Anexo I - Figura 2

Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06



Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013



**Legenda**

- Rede Hidrográfica
- Distrito de Castelo Branco
- Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza
- Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul

**Altitude**

	1990 m
	53 m

## **ANEXO II - Modelos Digitais de Terreno**

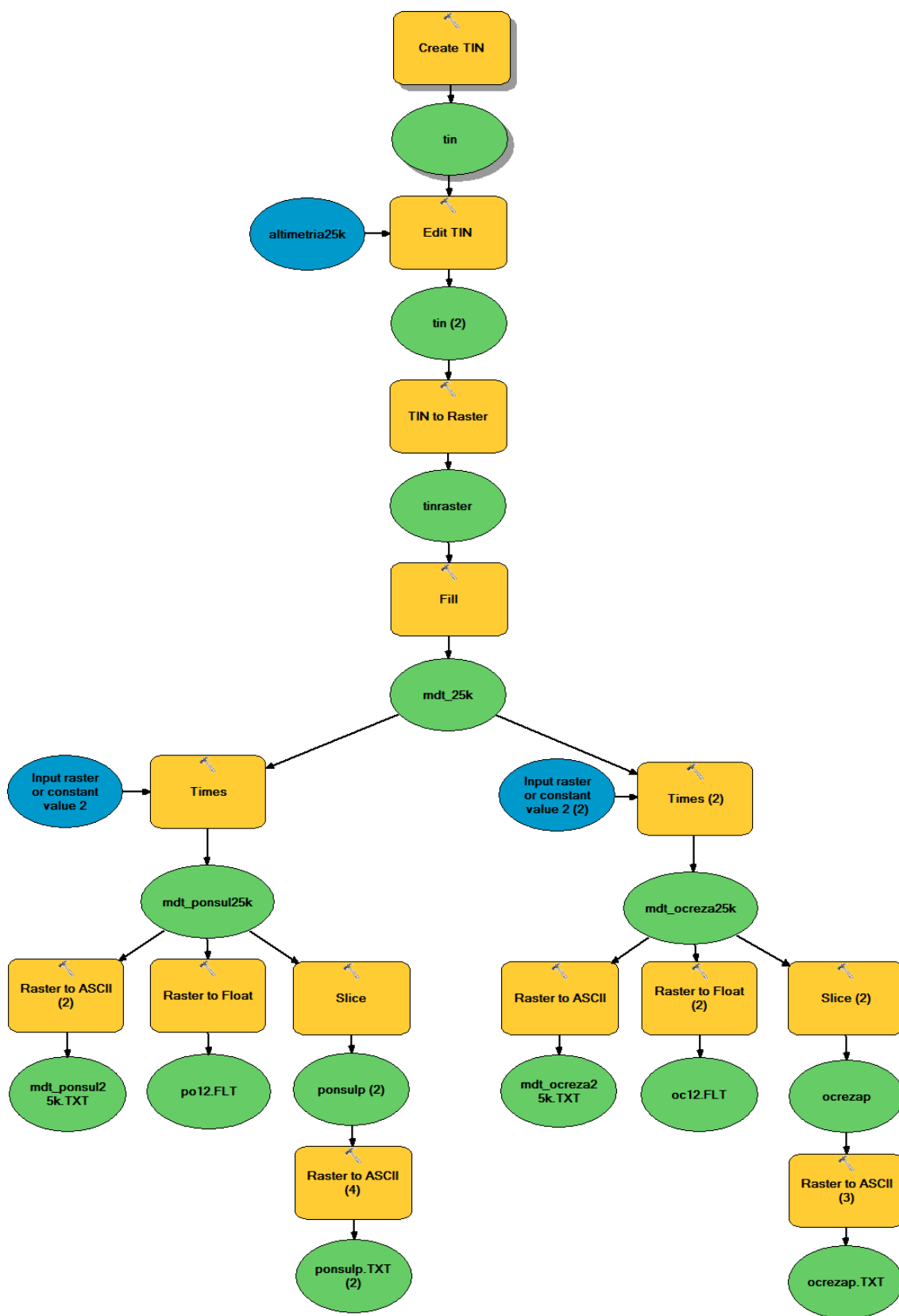


Figura 3 - Modelo para criação do MDT com resolução espacial de 12,5 m, desenvolvido em *Model Builder*.

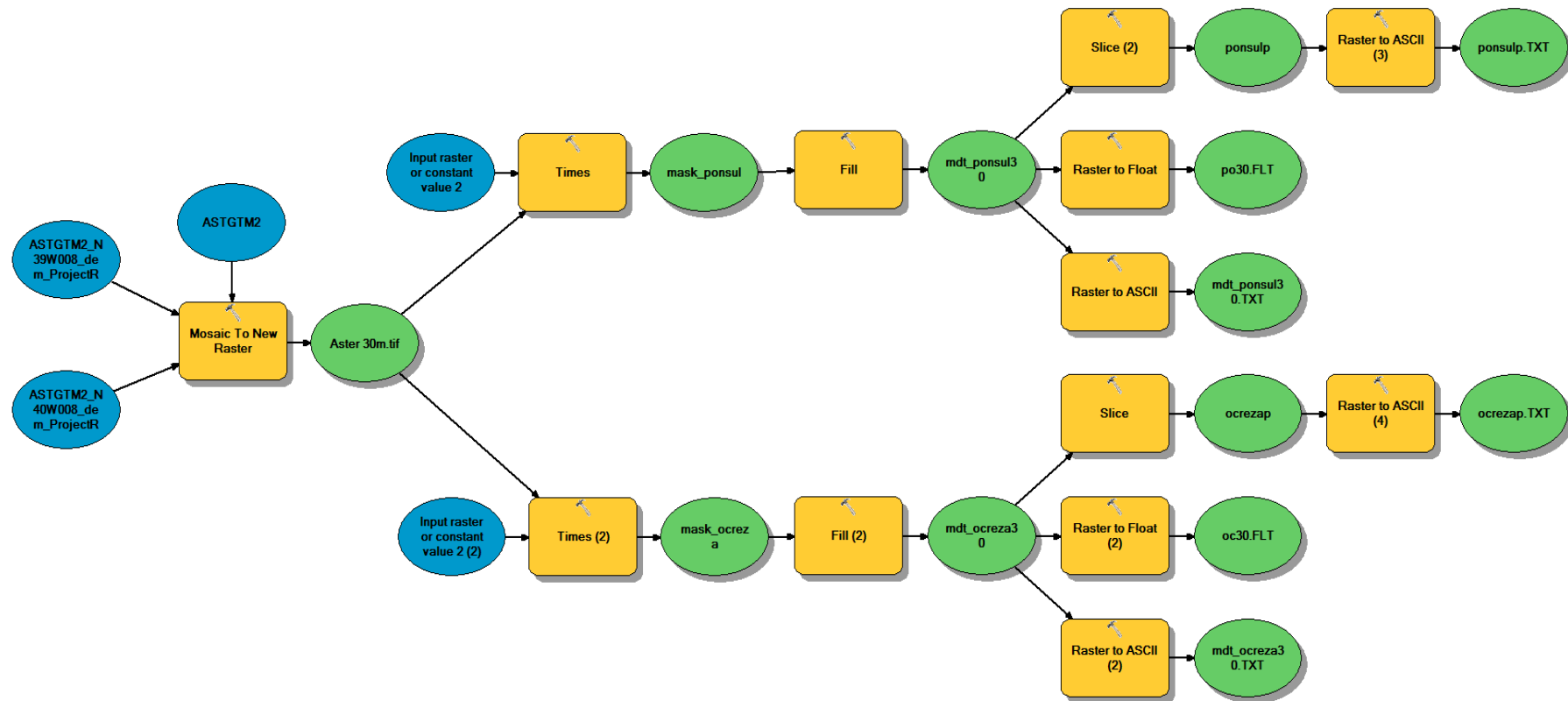


Figura 4 - Modelo usado para criação do MDT com resolução espacial de 30 m, desenvolvido em *Model Builder*.



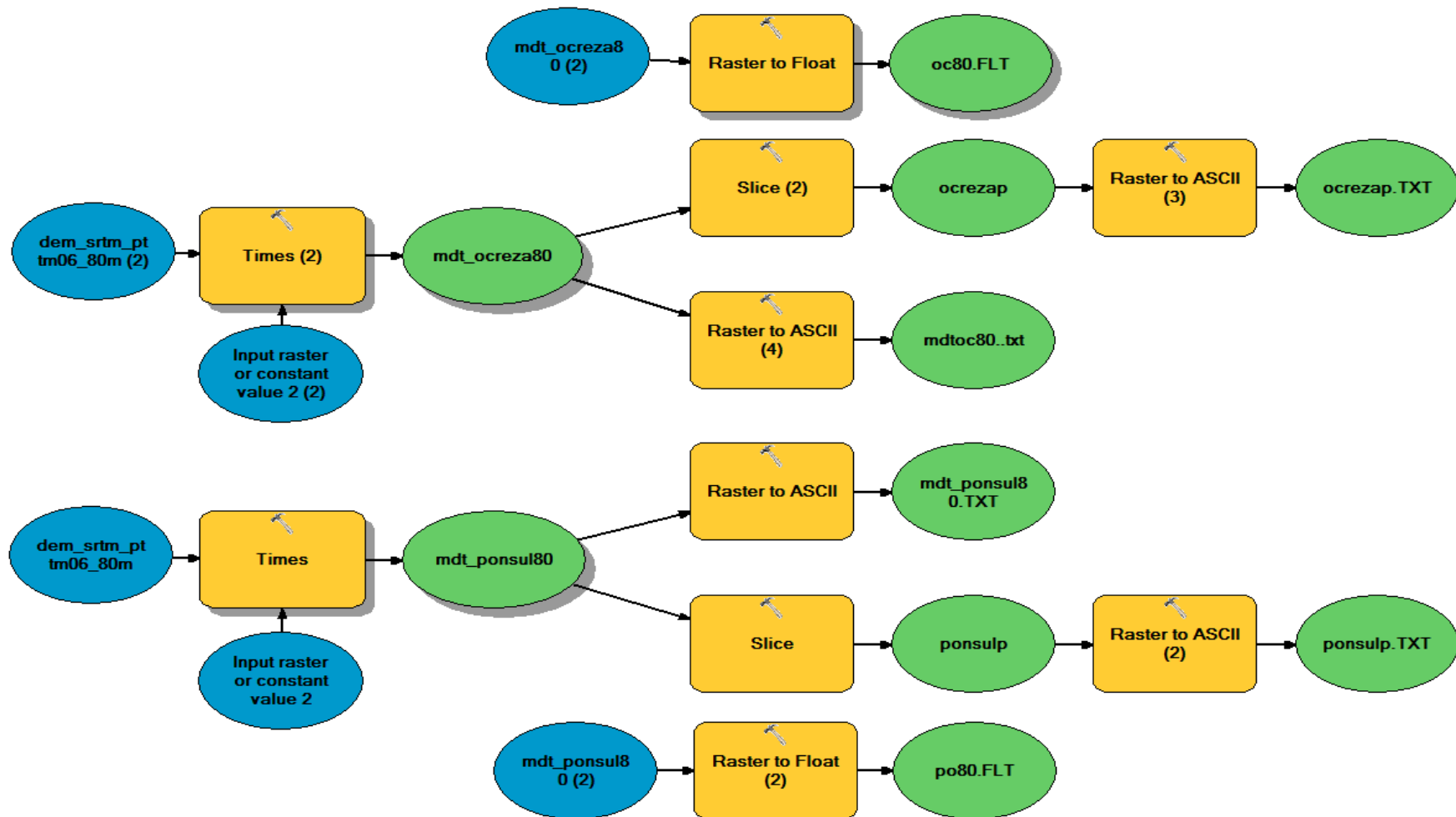
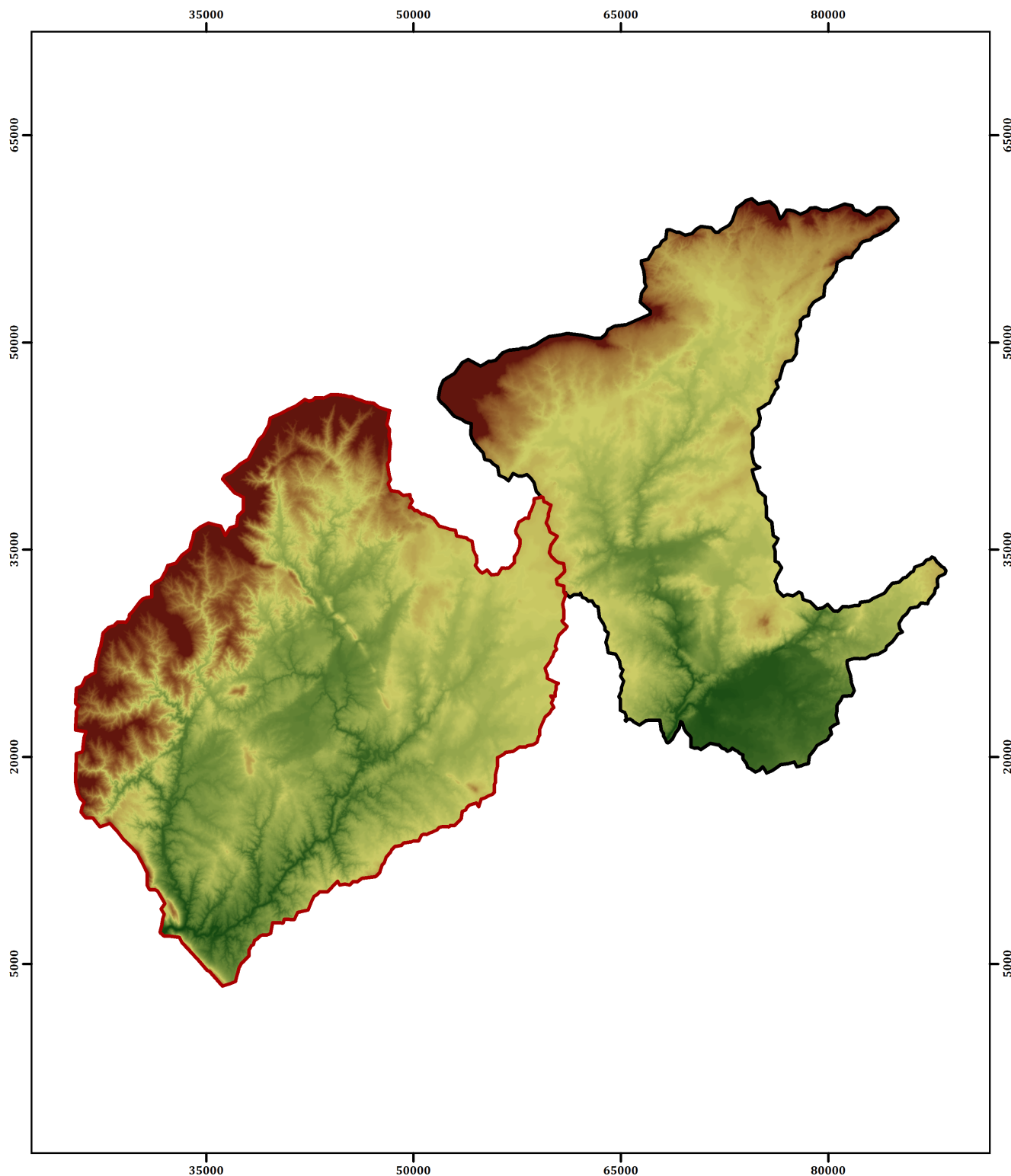
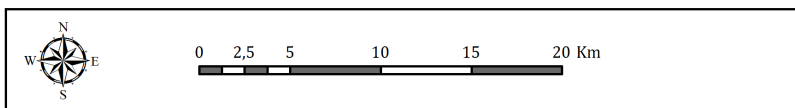


Figura 5 - Modelo usado para determinar o Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 80 m, desenvolvido em *Model Builder*.



Mapa dos MDT  
Resolução Espacial 12,5 m



Anexo II - Figura 6

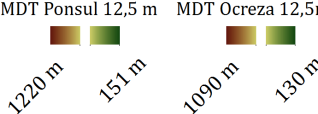
Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

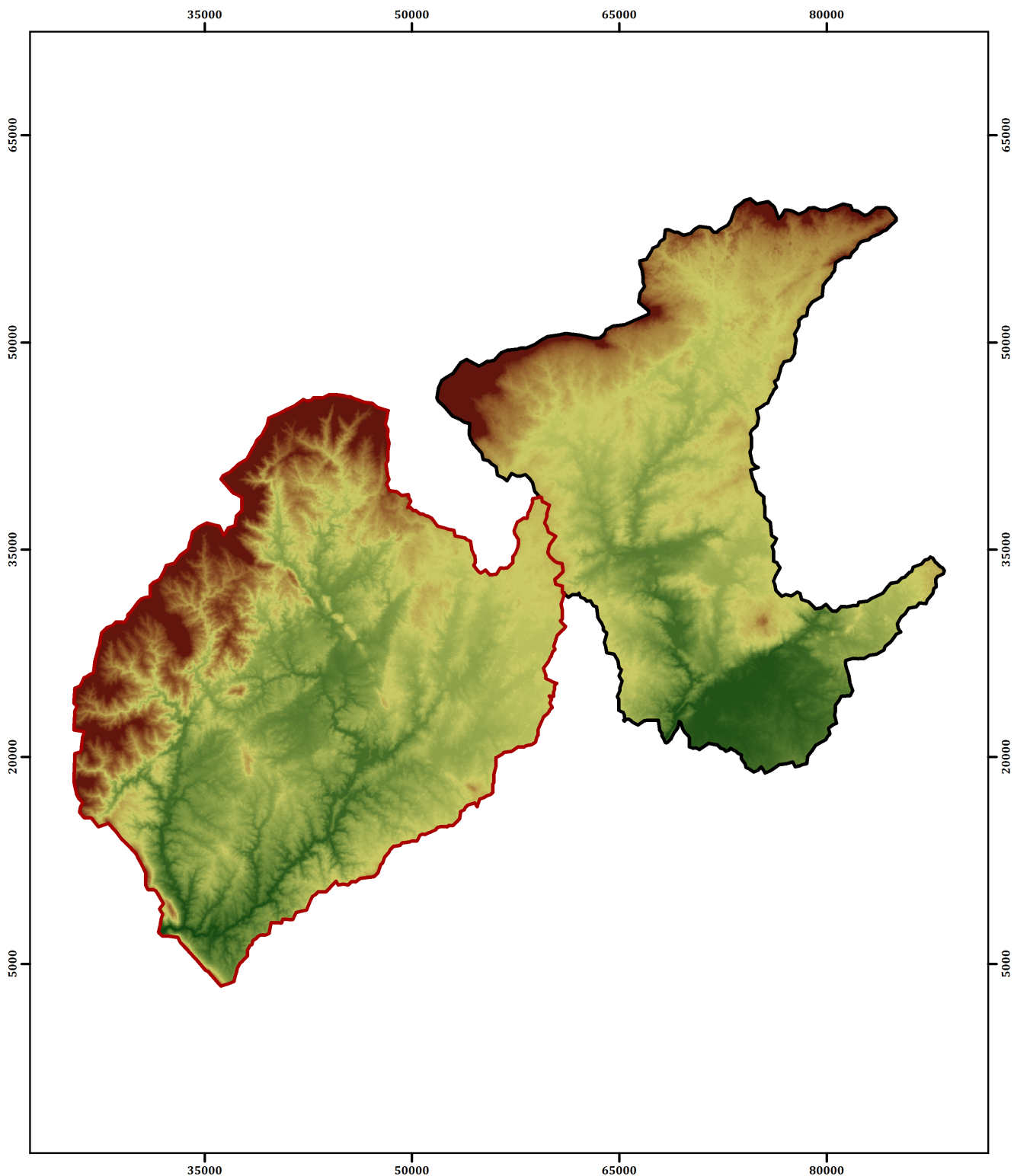


Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013

Legenda

- Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza MDT Ponsul 12,5 m
- Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul



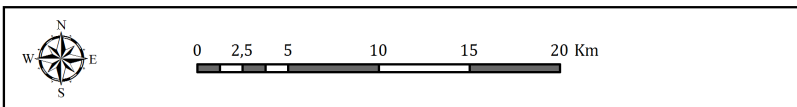


Mapa dos MDT  
Resolução Espacial 30 m

Anexo II - Figura 7

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

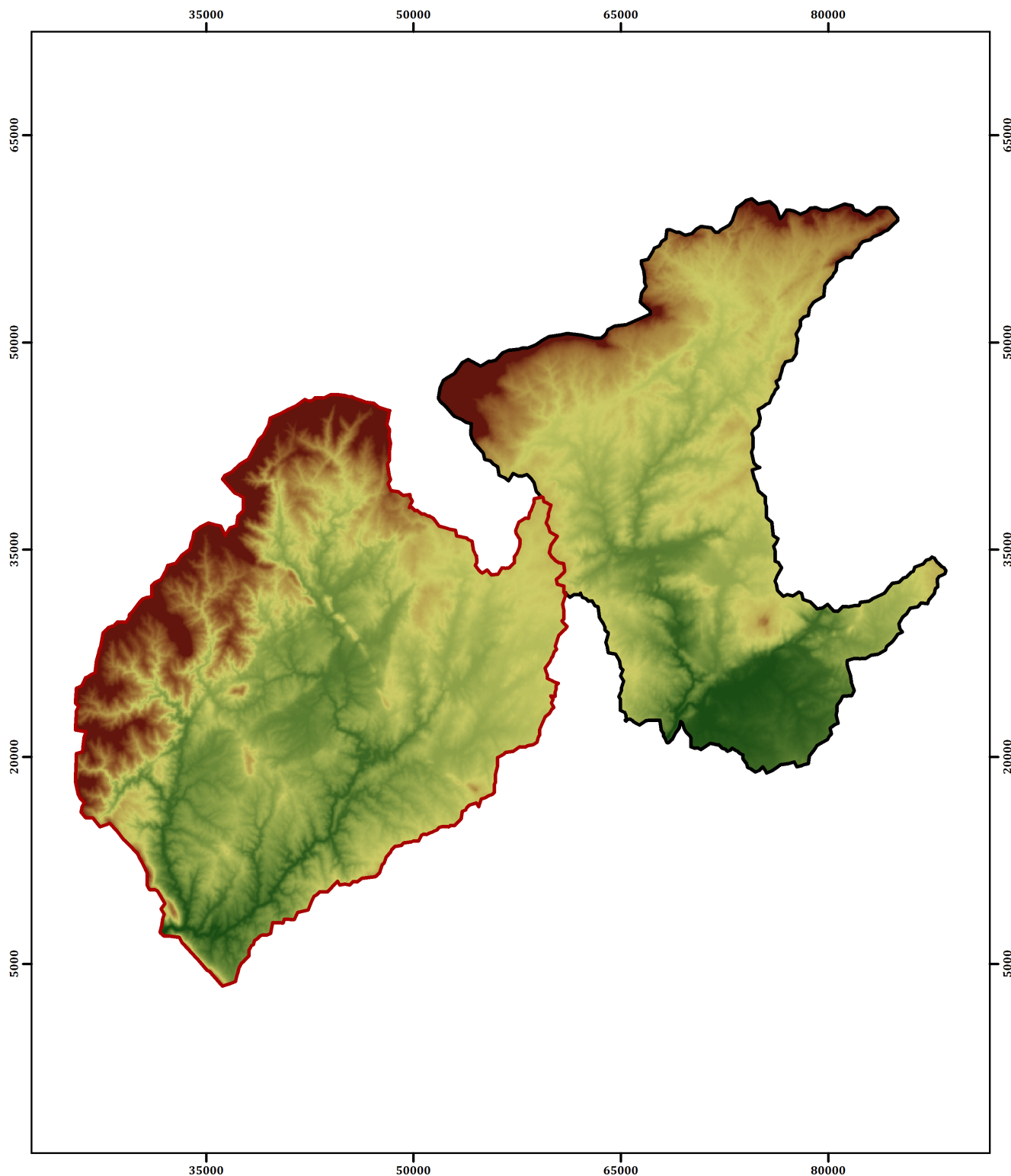
Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



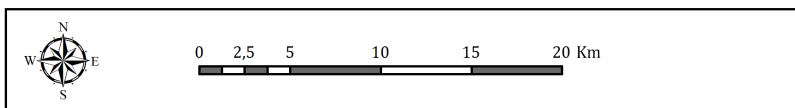
Legenda

- Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza
- Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul

	MDT Ponsul 30 m	MDT Ocreza30 m
	1221 m      151 m	1094 m      129 m



**Mapa dos MDT**  
Resolução Espacial 80 m

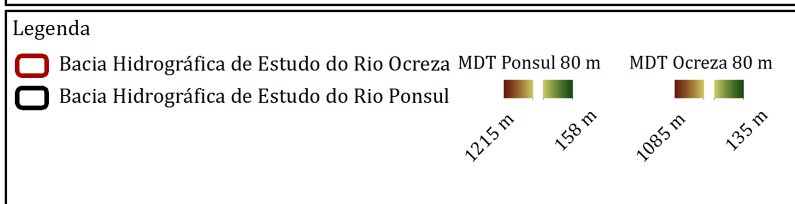


Anexo II - Figura 8

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06



Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



## **ANEXO III - Layout do Interface da Ferramenta Desenvolvida para o Modelo Mitsova.**

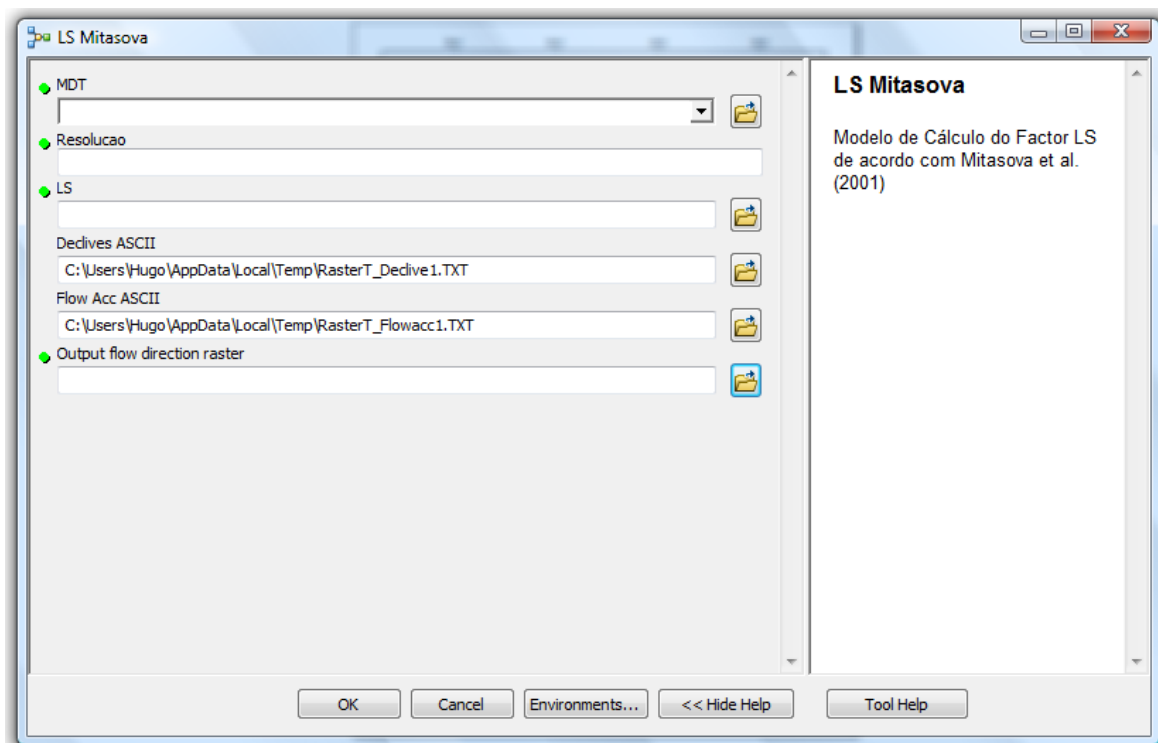


Figura 9 - Layout do interface da ferramenta desenvolvida com base no modelo de Mitasova.

## **ANEXO IV - Integração do Fator R em SIG e Métodos de Interpolação**

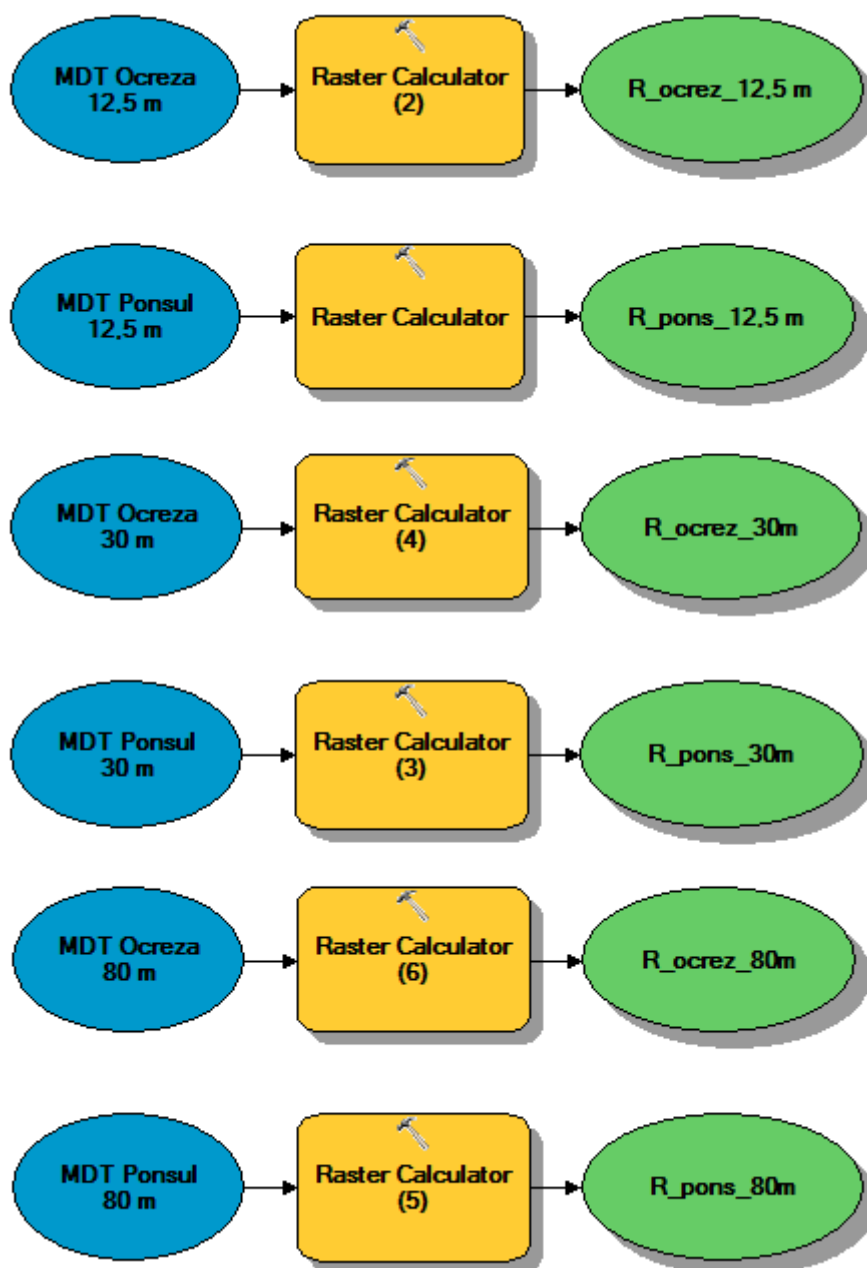
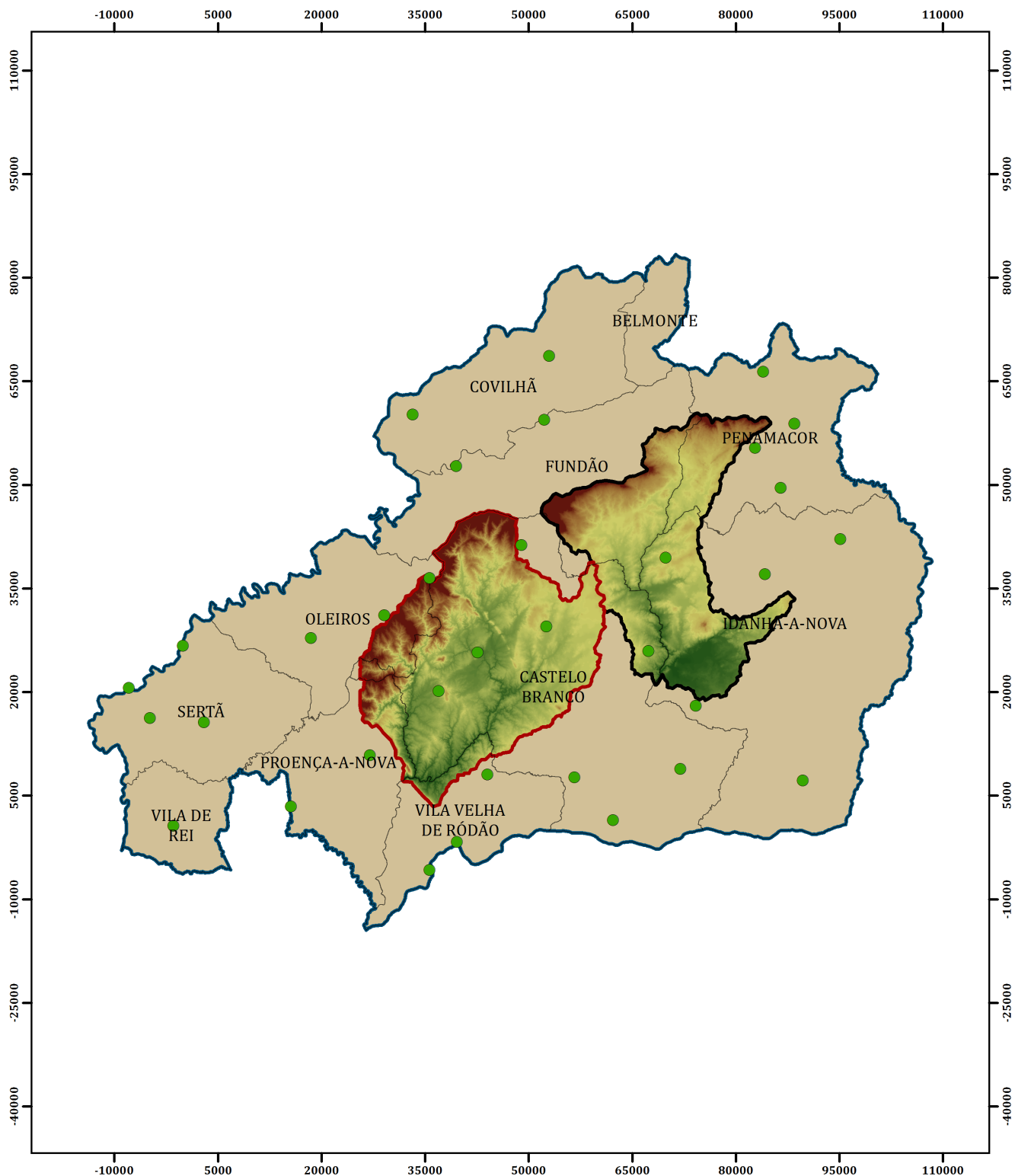


Figura 10 - Modelo de integração em SIG da equação de regressão linear estimada para o cálculo da distribuição do fator R, desenvolvido em *Model Builder*.

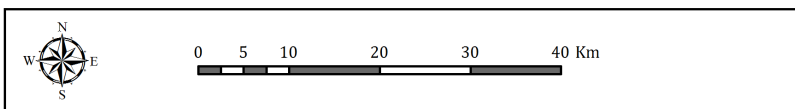


Mapa das Estações Meteorológicas

Anexo IV - Figura 11

Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013

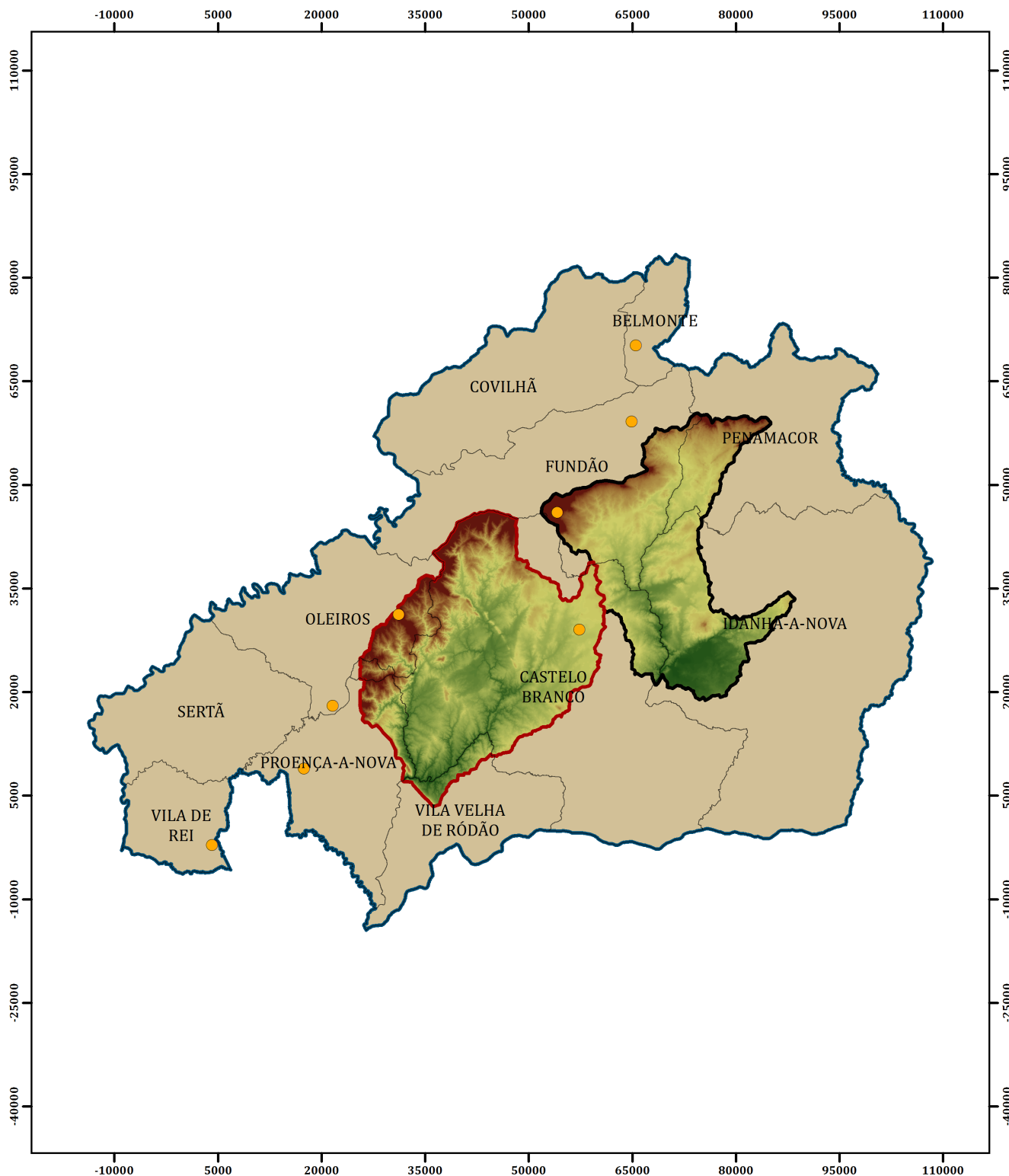


**Legenda**

- Estações Meteorológicas - Interpolação
- ▭ Distrito de Castelo Branco
- ▭ Concelhos
- ▭ Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza
- ▭ Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul

MDT Ponsul 12,5 m    MDT Ocreza 12,5m

1220 m    151 m    1090 m    130 m

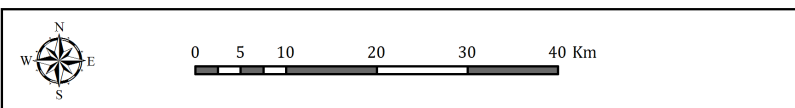


Mapa das Estações Meteorológicas

Anexo IV - Figura 12

Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013

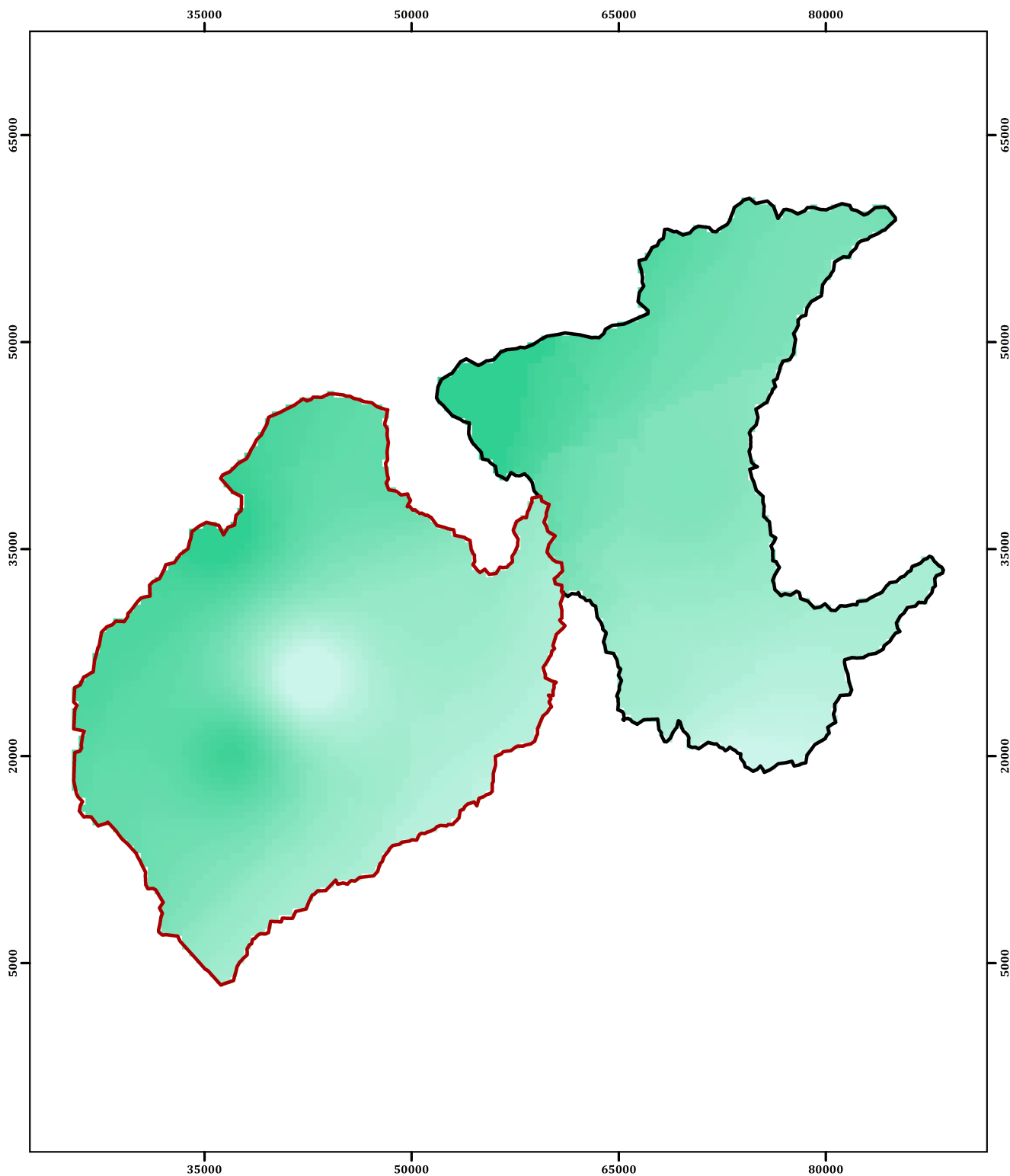


**Legenda**

- Estações Meteorológicas - Validação
- ▭ Distrito de Castelo Branco
- ▭ Concelhos
- ▭ Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza
- ▭ Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul

MDT Ponsul 12,5 m    MDT Ocreza 12,5m

1220 m    151 m    1090 m    130 m



**Mapa de Distribuição do Fator R IDW - Resolução Espacial 500 m**

Anexo IV - Figura 13

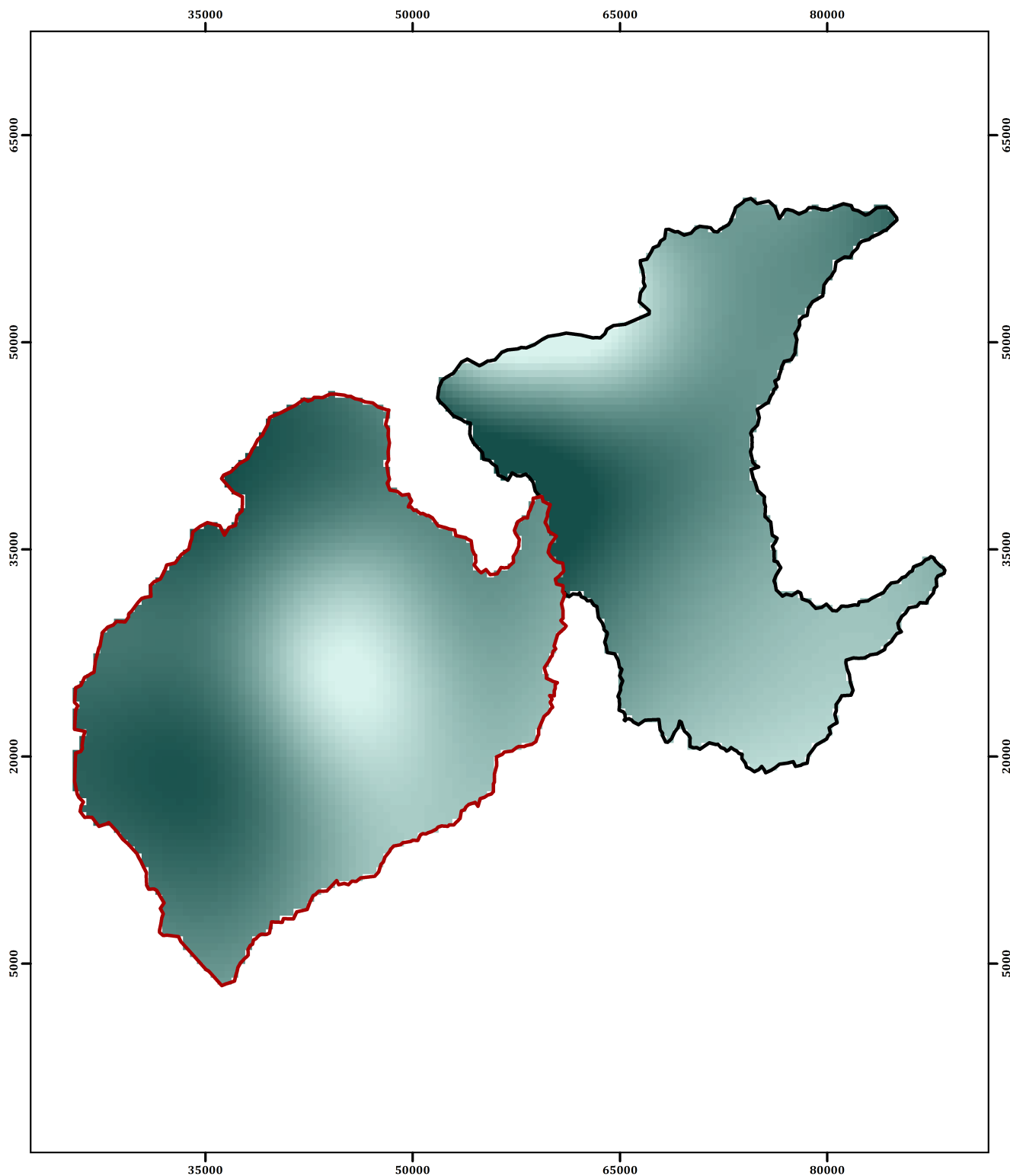
Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013

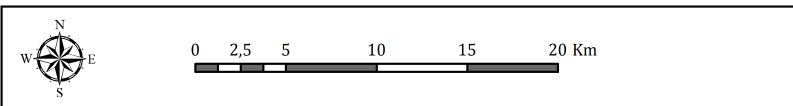
0 2,5 5 10 15 20 Km

**Legenda**

	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza	Fator R Ponsul	Fator R Ocreza
	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul	(ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	(ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
		234,376	292,182
		127,201	128,514



Mapa de Distribuição do Fator R Spline - Resolução Espacial 500 m









Anexo IV - Figura 14

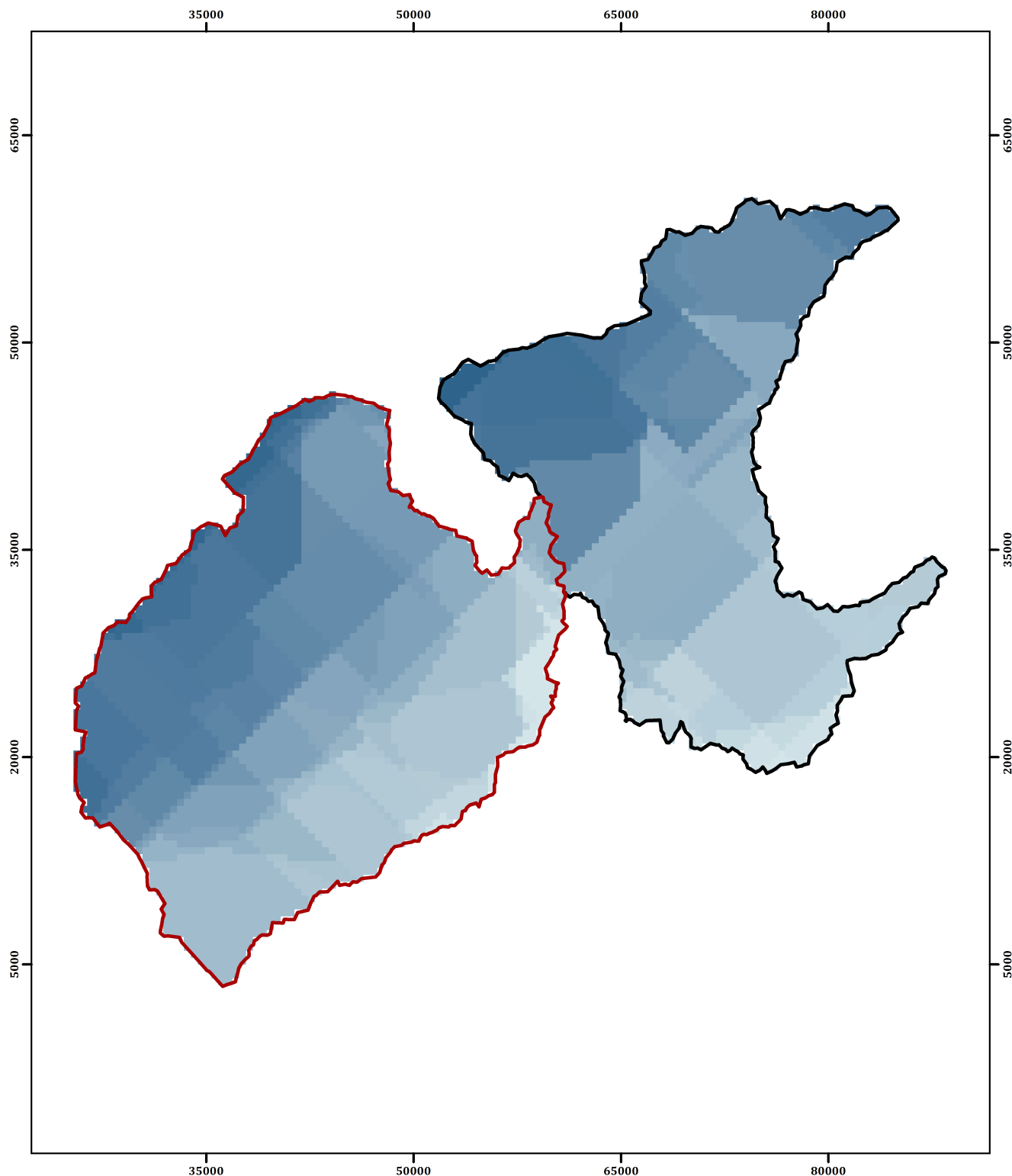
Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06



Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013

Legenda

	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza	Fator R Ponsul	Fator R Ocreza
	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul	(ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	(ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
			
		223,204	306,671
			
		108,164	109,871

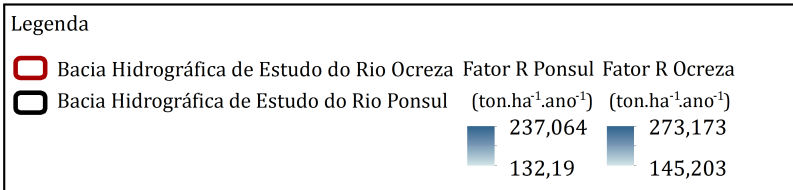
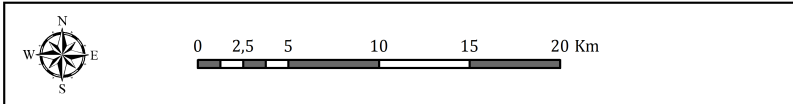


Mapa de Distribuição do Fator R  
 Ordinary Kriging  
 Resolução Espacial 500 m

Anexo IV - Figura 15

Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013





## **ANEXO V - Tabelas e Modelo de Cálculo do Fator K**

Tabela 1 - Valores de K: relação entre as Classificações do S.R.O.A e da FAO (Pimenta 1998b).

Classificação F.A.O. Escala 1:1 000 000		Classificação S.R.O.A. Escala 1:25 000		VALOR DE ERODIBILIDADE
Nome	Código	Nome	Código	
	RO	Afloramentos rochosos		0.00
Fluvissois	Je	Aluviossolos Antigos Calcários	Atl, Atc, Atac	0.41
	Je	Aluviossolos Antigos Não Calcários	Atl, At, Ata	0.19
	Je	Aluviossolos Modernos Calcários	Alc, Ac, Aac	0.44
	Id, Je	Aluviossolos Modernos Não Calcários	Al, A, Aa	0.26
Luvissois	Lo	Argiluvitados Pouco Insaturados (Atlânticos)	Med.Pard, Verm, Am	0.30
Vertissolos	Vc	Barros Castanho-Avermelhados	Cb, Bvc, Cpv, Cbc	0.34
	Vp	Barros Pretos	Bp, Bpc, Cp, Cpc	0.32
Cambissolos	Bkv	Calcários Pardos Para-Barros	Pc'	0.30
	Bk	Calcários Pardos, Normais	Pc, Peg, Per, Pcs, Pex, Ptc, Pct, Rc	0.32
	Bcc	Calcários Vermelhos, Normais	Vac, Vc, Vcr, Vcs, Vct, Vcx	0.36
	Bcv	Calcários Vermelhos Para-Barros	Vc'	0.33
Luvissois	Lg	Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados	Pb, Sag	0.36
Cambissolos	Bh	Litólicos Húmicos	Mns, Mnx	0.32
	Bhc	Litólicos Húmicos Vermelhos		0.32
	Bd, Be	Litólicos Não Húmicos	Par, Pg, Pga, Pgm, Ppg Psn, Pt, Vf, Vts, Vt	0.31
	Bc	Litólicos Não Húmicos (Vermelhos)		0.31
Litossolos	Id, Ie	Litossolos	Eb, Ec, Ed, Eg, Egn, Ep Eq, Ets, Etc, Et, Ex	0.39
	Ie	Litossolos de Climas Sub-húmidos e Semiáridos	Idem	0.39
	Ie	Litossolos de Climas Sub-húmidos e Semiáridos (de rochas ultrabásicas)	Idem	0.39
Luvissois	Lo	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários, Normais	Pgn, Ppx, Pmg, Px	0.29
	Lv	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Barros	Pm	0.23
	Lga, Lg	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários, Para Solos Hidromórficos	Pag, Pagx, Pdg, Pmh, Ppm	0.26
	Lo	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Normais		0.34
	Lkv	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Para-Barros	Pac, Pbc	0.31
	Lkg	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Para-Hidromórficos	Pdc	0.32
	Lrk, Lcr, Lf	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Não Calcários, Normais	Vgn, Pv, Vx, Pvx, Vtc, Sr	0.32
	Lp	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Não Calcários, Com Materiais Lateríticos	Sr*	0.31
	Lrk	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Calcários, Normais	Vcc, Vcd, Pvc, Vev, Scv	0.38
Lrv	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Calcários, Para-Barros	Vcm	0.19	
Planossolos	We	Planossolos	Ps	0.25
Podzóis	Po	Podzóis Com e Sem Surraipa	Pz, Ppt, Ppr, Ap	0.28
	Pg	Podzóis Hidromórficos Sem Surraipa	Aph	0.51
	U	Rankers		
Regossolos	Rc	Regossolos Psamíticos	Rg	0.06
	Rd	Regossolos Psamíticos	Idem	0.06
	Re	Regossolos Psamíticos	Idem	0.06
Solonchaks	Zg	Salinos de Salinidade Moderada ou Elevada	Asl, Aslc, As, Asc, Asa, Asac - Assl, Asslc, Ass, Assc, Assa, Assac	0.18

Tabela 2 - Valores de K: Classificação S.R.O.A. (Pimenta 1998b).

**Litossolos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Eb	15.6	37.9	46.5	1.8	2	3	3196.45	0.029	0.28
Ep	12.1	66.2	21.7	0.96	2	3	5816.99	0.061	0.60
Ex-140	25.6	39.2	35.2	1.39	3	3	2918.55	0.030	0.30
Ex-144	6.1	38.1	55.8	0.58	1	3	3579.47	0.033	0.33
Et	6.2	41.9	51.9	3.14	1	3	3928.02	0.028	0.28
Ec	21.7	64.0	14.3	1.72	4	3	5007.86	0.055	0.53
Ets	10.5	52.3	37.2	2.24	2	3	4683.77	0.042	0.41

**Regossolos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Rg	1.1	5.9	93.0	1.37	1	3	580.78	0.002	0.06
Rgc	0.7	12.7	86.6	2.65	1	3	1257.30	0.007	0.06

**Aluviossolos Modernos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Al	4.8	28.9	66.3	1.59	1	2	2749.79	0.017	0.17
A	14.5	63.8	21.7	4.27	3	2	5456.65	0.039	0.38
Aa	35.2	39.4	25.4	1.94	4	2	2556.24	0.025	0.24
Aac	24.7	59.4	15.9	1.52	4	2	4471.41	0.045	0.44

**Aluviossolos Antigos e de Solos de Baixas**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Atl	6.1	15.7	78.2	1.64	1	2	1472.88	0.005	0.05
At	18.0	53.1	28.9	2.6	2	2	4353.95	0.033	0.33
Atac	20.0	53.8	26.2	1.14	3	2	4306.41	0.042	0.41
Sblc	10.1	48.1	41.8		2	2	4322.17	0.043	0.42
Sb	15.7	52.5	31.8	2.9	3	2	4428.65	0.036	0.35

**Solos Litólicos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Mns	12.2	40.9	46.9	0.6	2	2	3590.77	0.032	0.32
Par	10.9	42.5	46.6	0.68	2	1	3785.17	0.030	0.29
Pg	9.2	25.3	65.5	0.85	1	1	2298.70	0.010	0.10
Pgm	3.1	41.0	55.9	0.9	1	1	3975.08	0.028	0.28
Ppg	12.1	31.9	56.0	0.84	2	1.5	2804.21	0.021	0.20
Psn	15.2	37.3	47.5	3.62	2	2	3164.32	0.019	0.19
Pt	10.1	64.4	25.5	0.72	2	1.5	5789.99	0.055	0.54
Vf	9.4	57.0	33.6	3.79	3	1.5	5162.56	0.037	0.36
Vt-61	5.5	45.8	48.7	0.86	1	1.5	4332.78	0.034	0.34
Vt-284	8.0	42.7	49.3	0.59	1	1.5	3928.50	0.031	0.30
Vts	6.9	61.9	31.2	1.72	1	1.5	5761.21	0.046	0.45

**Solos Calcários Pardos**

Unidade e Perfil	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)	
Pc-81	17.1	57.5	25.4	1.41	2	2	4763.23	0.042	0.42
Pc-487	24.8	53.1	22.1	2.62	4	2	3994.18	0.036	0.36
Pc'-181	40.6	35.5	23.9	1.28	5	2.5	2110.02	0.027	0.26
Pc'-265	26.2	49.7	24.1	2.19	3	2.5	3666.78	0.034	0.33
Pcd	31.6	47.5	20.9	1.33	3	2	3246.46	0.030	0.29
Pcg	29.7	24.9	45.4	0.83	3	2	1749.99	0.015	0.15
Pcs	22.0	53.5	24.5	1.93	3	2	4174.35	0.037	0.37
Pcx	35.3	37.8	26.9	0.34	4	2.5	2446.07	0.029	0.28
Ptc	16.4	65.1	18.5	0.78	2	2	5445.47	0.053	0.52
Rc	11.2	25.0	63.8	1.44	2	2	2215.77	0.016	0.15

**Solos Calcários Vermelhos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Vac	37.7	42.0	20.3	1.41	4	2.5	2615.02	0.028	0.28
Vc-390	23.0	48.6	28.4	1.72	3	2.5	3741.00	0.036	0.35
Vc-232	28.1	42.7	29.2	1.72	3	2.5	3066.84	0.029	0.28
Vcs	10.6	60.2	29.2	0.97	2	1.5	5383.99	0.049	0.48
Vct	2.3	52.9	44.8	0.6	1	2.5	5172.02	0.050	0.49
Vcx	49.0	40.6	10.4	2	5	2.5	2069.11	0.025	0.25

**Barros Pretos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Bp-41	45.6	39.1	15.3	0.65	5	4	2125.64	0.035	0.34
Bp-57	35.7	37.9	26.4	1.24	4	4	2435.25	0.033	0.33
Bpc-153	51.0	34.5	14.5	1.34	5	4	1689.29	0.029	0.29
Bpc-155	42.8	41.8	15.4	0.98	5	4	2391.35	0.037	0.36
Cp	49.6	36.1	14.3	1.6	5	4	1819.92	0.030	0.30

**Barros Castanho-Avermelhados**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Cb-10	20.7	35.4	43.9	0.935	2	4	2804.28	0.031	0.31
Cb-334	28.6	37.7	33.7	1.4	3	4	2694.12	0.032	0.32
Bvc-202	53.9	33.7	12.4	1.19	5	4	1551.87	0.028	0.28
Bvc-204	60.7	30.9	8.4	0.95	5	4	1214.35	0.025	0.25
Cpv	35.7	58.4	5.9	1.02	5	4	3754.82	0.051	0.50
Cbc	29.4	53.2	17.4	2.93	4	4	3755.14	0.042	0.41

**Solos Mediterrâneos Pardos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Pac - 298	24.8	38.8	36.4	0.7	3	3	2914.09	0.032	0.31
Pgn	7.6	33.5	58.9	0.51	1	2	3094.56	0.024	0.23
Ppx	8.4	52.7	38.9	4.62	2	2.5	4823.32	0.031	0.31
Pmg-372	4.3	48.9	46.8	0.44	1	2	4678.65	0.042	0.41
Pmg-374	5.1	37.2	57.7	1.04	1	2	3533.30	0.027	0.27
Px-455	16.3	40.3	43.4	0.98	2	2	3376.72	0.029	0.28
Px-457	16.7	54.7	28.6	6.37	3	2	4559.21	0.023	0.23
Pm-83	18.5	38.5	43.0	1.17	2	1.5	3134.73	0.024	0.23
Pm-90	18.8	38.7	42.5	1.22	2	1.5	3140.63	0.023	0.23
Pag-289	14.0	31.2	54.8	0.64	2	2	2681.94	0.022	0.22
Pag-293	13.6	29.2	57.2	0.76	2	2	2525.29	0.020	0.20
Pagx	9.2	51.2	39.6	2.58	2	2.5	4652.76	0.038	0.38
Pmh	12.6	32.7	54.8	0.665	2	1.5	2859.28	0.022	0.21
Ppm	7.4	44.2	48.4	3.05	2	2.5	4093.46	0.031	0.31

**Solos Mediterrâneos Vermelhos e Amarelos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Vcc-238	22.1	54.0	23.9	1.32	3	2	4209.99	0.040	0.39
Vcc-287	25.7	57.9	16.4	2.07	4	2	4300.93	0.041	0.41
Vcd-29	41.0	44.3	14.7	3.57	5	3	2614.08	0.029	0.29
Vcd-241	42.4	47.5	10.1	0.9	5	3	2734.34	0.036	0.36
Pvc	14.2	60.0	25.9	1.745	2	2	5149.61	0.045	0.44
Vcm	26.7	28.6	44.7	1.6	3	2.5	2098.72	0.020	0.19
Pv	31.8	46.0	22.2	1.64	4	2.5	3140.45	0.033	0.33
Vx-459	27.1	52.1	20.8	0.9	4	2	3794.54	0.040	0.39
Vx-460	30.3	50.6	19.1	0.9	4	2	3530.01	0.037	0.37
Vtc	34.9	28.7	36.4	1.33	3	3	1865.57	0.020	0.20
Sr*-299	21.0	43.4	35.6	0.625	3	2	3425.00	0.034	0.33
Sr*-4	9.2	49.2	41.6	3.2	1	2	4464.35	0.029	0.28

**Podzóis**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Ap	6.4	8.1	85.5	0.33	1	1	761.86	0.000	0.00
Pz-303	8.4	50.9	40.7	0.455	1	1	4665.40	0.038	0.37
Pz-314	3.5	4.3	92.3	0.47	1	1	414.08	0.000	0.00
Ppt	7.2	35.6	57.2	1.06	1	1	3304.54	0.020	0.20
Aph	2.1	61.4	36.5	1.555	1	2	6006.54	0.052	0.51
Pzh	6.4	26.3	67.3	1.045	1	1	2463.81	0.011	0.11

**Solos Halomórficos (Solos salinos)**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Asc	21.5	49.9	28.6	1.49	3	0	3914.99	0.028	0.27
Asac	70.0	26.7	3.3	2.49	6	0	800.46	0.007	0.07
Ass	33.0	59.8	7.2	5.44	4	0	4003.78	0.018	0.18
Assa	36.0	50.8	13.2	2.76	4	0	3248.01	0.020	0.20

**Solos Hidromórficos**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Ca	28.6	56.6	14.8	2.52	4	2.5	4041.18	0.039	0.39
Sg	10.9	49.7	39.4	1.655	1	1	4432.45	0.030	0.30
Pb	33.5	50.3	16.2	1.86	4	4	3341.95	0.041	0.40
Sag	12.0	38.7	49.3	1.52	2	3	3409.73	0.032	0.31
Cd	17.6	34.7	47.7	0.86	2	4	2860.27	0.032	0.31
Pcz	18.1	38.0	43.9	1.44	2	2.5	3109.58	0.027	0.26
Ps	14.4	36.7	48.9	1.32	2	2	3143.79	0.025	0.25

**Solos Turfosos com "Muck"**

Unidade e Perfil	argila	limo+areiafina	areia grossa	%matéria orgânica	permeabilidade	estrutura	M	K (SI)	K (métricas)
Sp	11.7	62.1	26.2	20.77	3	3	5483.72	0.000	0.00
Spg	20.8	32.3	46.9	26.92	2	4	2554.34	0.000	0.00

Tabela 3 - Classificação K: Classificação S.R.O.A a sul do Tejo (Pimenta 1998a).

FAMÍLIA	TIPO	SOLO SEMELHANTE	VALOR ADOPTADO	OBSERVAÇÕES
LITOSSOLOS	Ed Eg Egn	Egn		
ALUVIOSSOLOS	Ac Alc Ata Atc			
SOLOS DE BAIXAS	Sba Sbac Sbc Sbl	Sb Sb Sb Sb	0,35 0,35 0,35 0,35	
LITÓLICOS HÚMICOS	Mng Mnx	Pg Pgm	0,07 0,22	+ 2,5 de m.o. + 2,5 de m.o.
LITÓLICOS NÃO HÚMICOS	Pga Ppn Ppq	Pgm Ppm Ppm	0,30 0,31 0,26	+ areia fina + grosseiros
CÁLCÁRIOS PARDOS	Pcr Pct	Pcg Pcx	0,10 0,33	+ pedregosidade - pedregosidade
CALCÁRIOS VERMELHOS	Vc* Vcr	Vc Vc	0,28 0,315	
BARROS CASTANHO AVERMELHADO	Cpc	Cp	0,27	comportamento semelhante entre Bp e Bpc
MEDITERRÂNEOS PARDOS	Pbc Pdc Pdg Pmc Pmn Pqx Pxr	Pcx Pgn Pgn Pm Ppg Ppx Px	0,23 0,23 0,18 0,20 0,20 0,36 0,23	+ areia + calcário, + agregação + areia fina
MEDITERRÂNEOS VERMELHOS AMARELADOS	Pvx Sev Sr Svqx Va Vag Vev Vgn Vm Vme Vqx Vxr	Vx Vev Sr * Vqx Vac Vtc Vag Vtc Sr Sr Vx Vx	0,38 0,18 0,255 0,33 0,23 0,20 0,18 0,20 0,255 0,255 0,33 0,33	- 0,05 - 0,05 - 0,05
HIDROMÓRFICOS	Caa Caac Cac Cal Calc	Ca Ca Ca Ca Ca	0,39 0,39 0,39 0,39 0,39	
PODZÓIS	Ppr	Ppt	0,20	

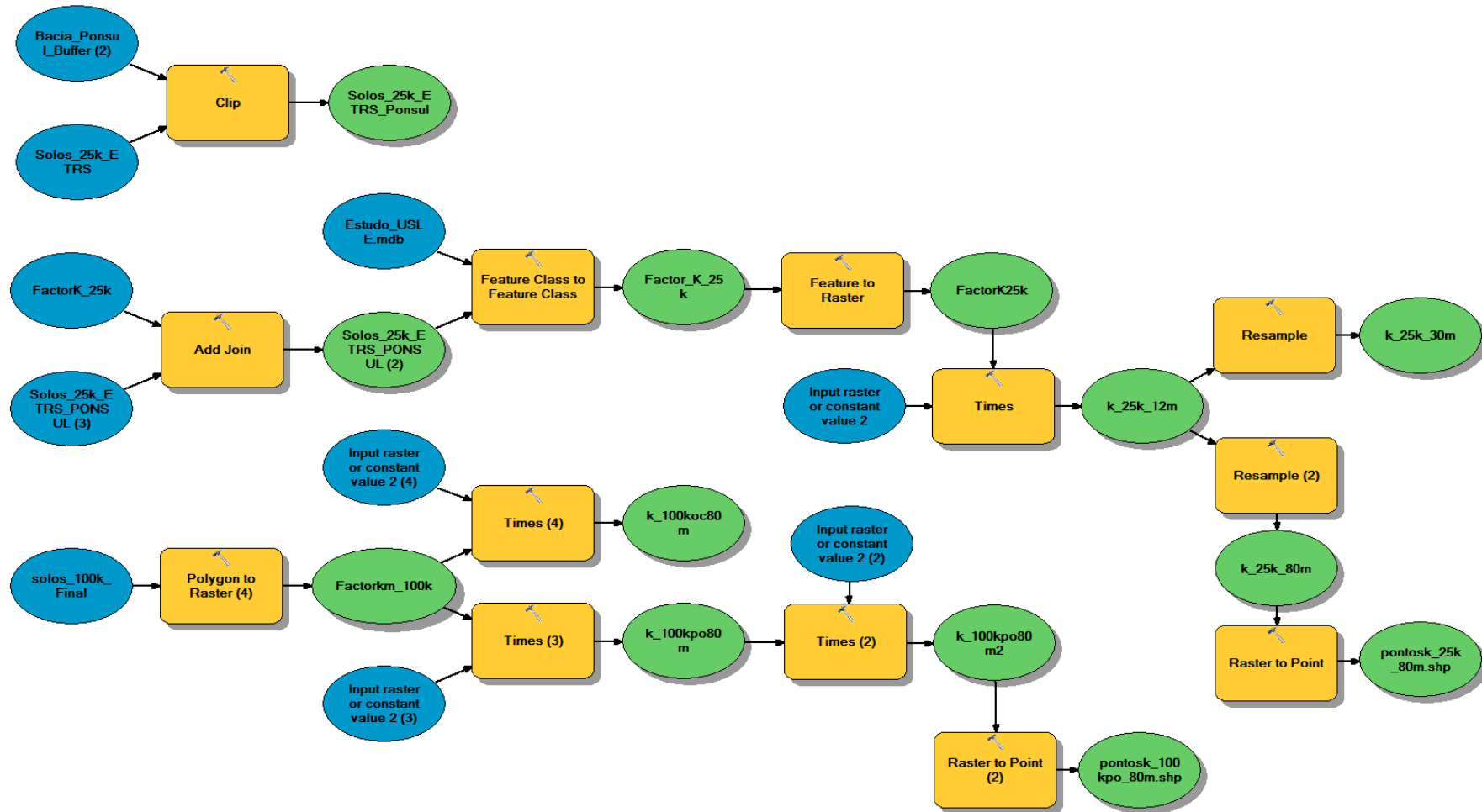


Figura 16 - Modelo para cálculo da distribuição espacial do Fator K, desenvolvido em *Model Builder*.



## **ANEXO VI - Tabela e Modelo de Cálculo do Fator CP**

**Tabela 4** - Valores do fator CP de acordo com a classificação da COS2007.

Código COS	Abreviatura	Designação	C	P	CP
111	1 UU ct	Tecido urbano contínuo	0,005	1	0,005
112	1 UU ds	Tecido urbano descontínuo	0,01	1	0,01
121	1 IC eg	Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,01	1	0,01
122	1 IC rv	Rede viária e ferroviárias e espaços associados	0,01	1	0,01
131	1 AE ei	Áreas de extracção de inertes	0,5	1	0,5
132	1 AE dr	Áreas de deposição de resíduos	0,1	1	0,1
133	1 AE ac	Áreas em construção	0,01	1	0,01
141	1 VU ev	Espaços verdes urbanos	0,02	1	0,02
142	1 VU es	Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas	0,02	1	0,02
211	2 CC sq	Culturas temporárias de sequeiro	0,4	0,5	0,2
212	2 CC rg	Culturas temporárias de regadio	0,2	0,3	0,06
221	2 CP vi	Vinhas	0,2	0,5	0,1
222	2 CP po	Pomares	0,05	0,3	0,015
223	2 CP ol	Olivais	0,1	0,5	0,05
231	2 PP	Pastagens permanentes	0,02	0,5	0,01
241	2 AA ca	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0,4	0,5	0,2
242	2 AA sc	Sistemas culturais e parcelares complexos	0,2	0,5	0,1
243	2 AA na	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	0,3	0,5	0,15
244	2 AA sf	Sistemas agro-florestais (SAF)	0,3	0,5	0,15
311	3 FL ff	Florestas de folhosas	0,1	0,5	0,05
312	3 FL fr	Florestas de resinosas	0,05	1	0,05
313	3 FL fm	Florestas mistas	0,05	0,5	0,025
321	3 FA vh	Vegetação herbácea natural	0,05	0,5	0,025
322	3 FA mt	Matos	0,1	1	0,1
323	3 FA ve	Vegetação esclerófita	0,02	1	0,02
324	3 FA fa	Florestas abertas, cortes e novas plantações	0,1	0,5	0,05
332	3 IP ir	Rocha nua	0,01	1	0,01
333	3 IP vp	Vegetação esparsa	0,4	1	0,4
334	3 IP fg	Áreas ardidas	0,5	1	0,5
511	5 AI ri	Cursos de água	0	1	0
512	5 AI pa	Planos de Água	0	1	0

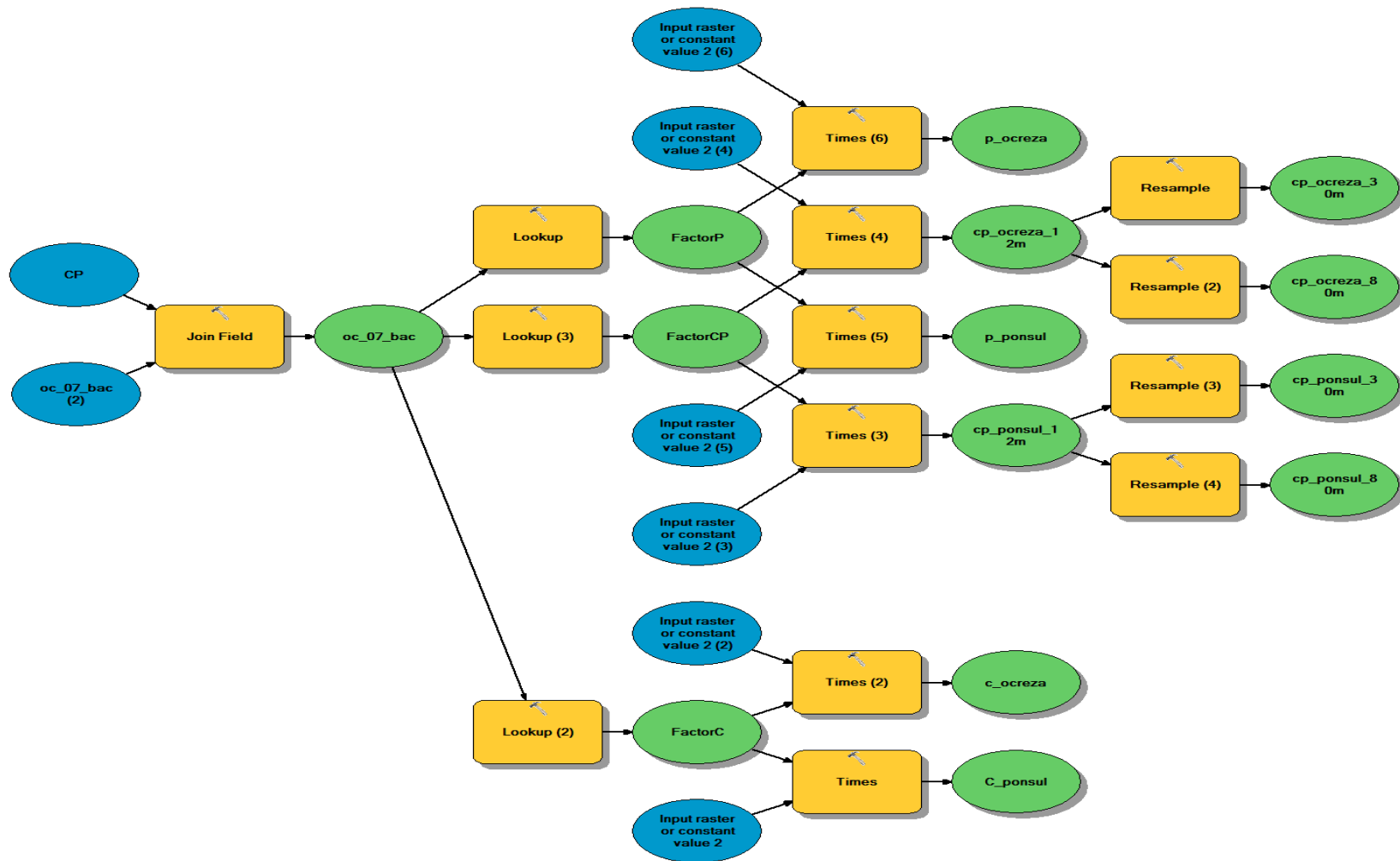


Figura 17 - Modelo para o cálculo da distribuição espacial do Fator CP, desenvolvido em *Model Builder*.



## **ANEXO VII -Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo.**

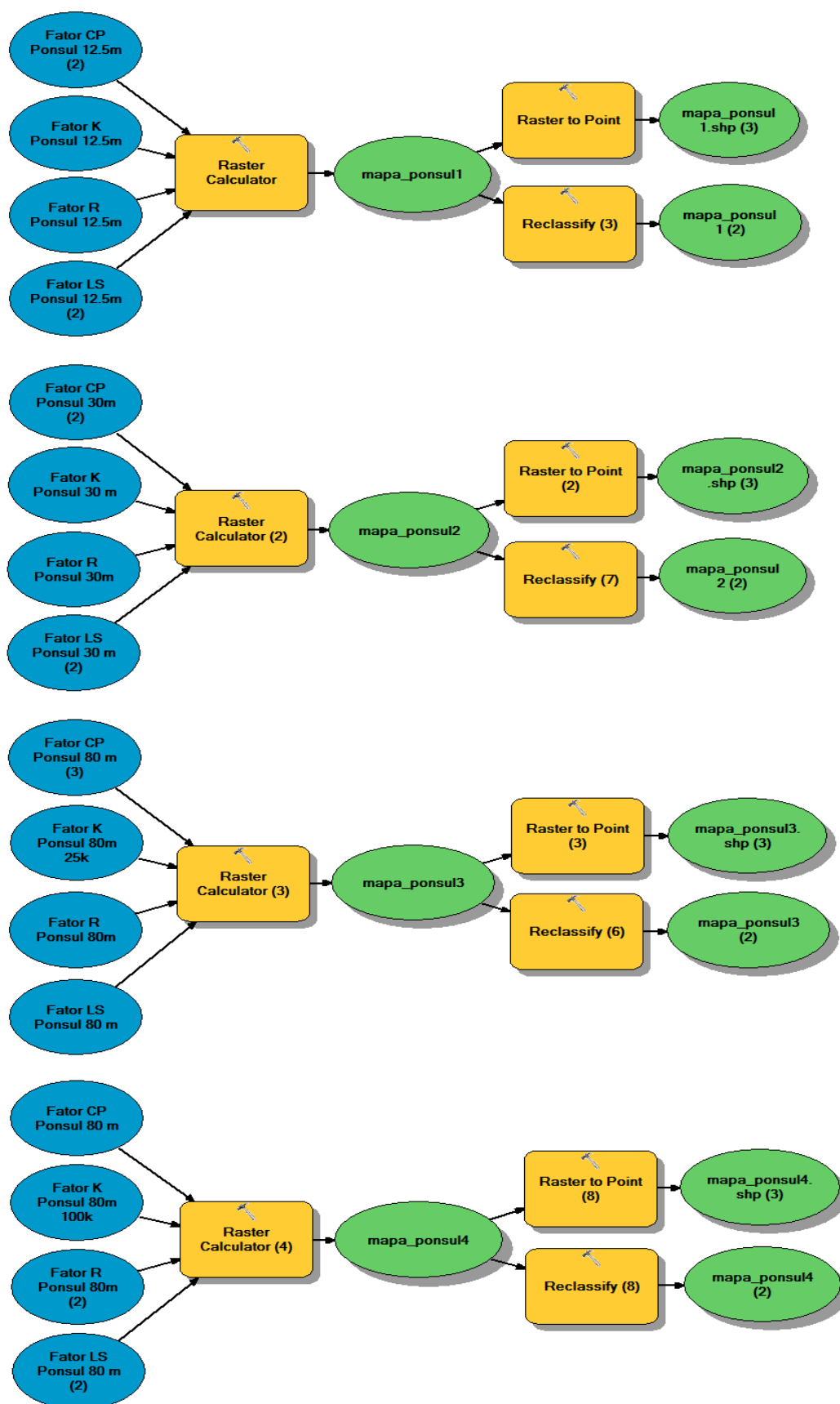


Figura 18 - Modelo usado para determinar os mapas de erosão para a bacia hidrográfica do rio Ponsul através da aplicação da EUPS, desenvolvido em *Model Builder*.

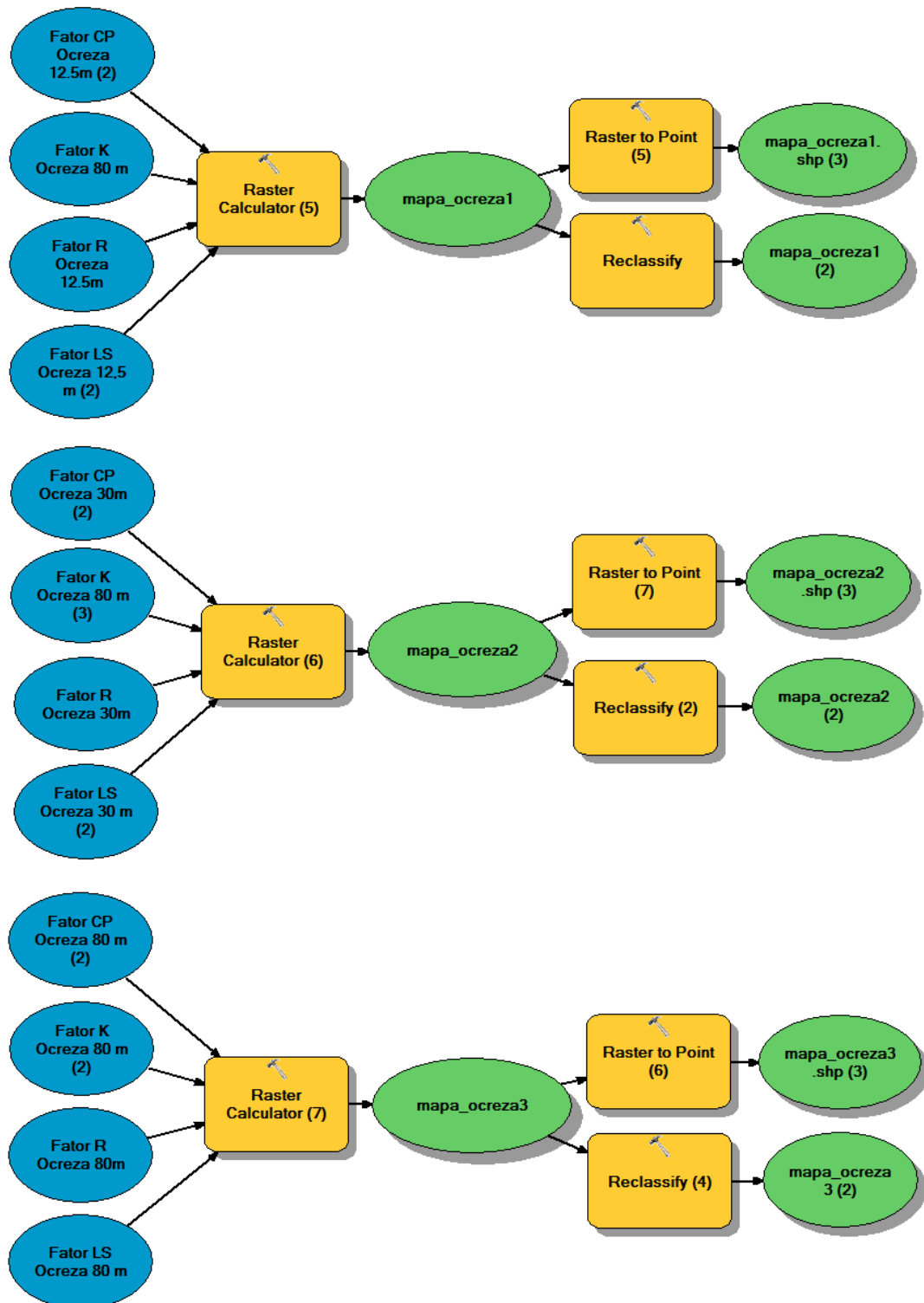


Figura 19 - Modelo usado para determinar os mapas de erosão para a bacia hidrográfica do rio Ocreza através da aplicação da EUPS, desenvolvido em *Model Builder*.

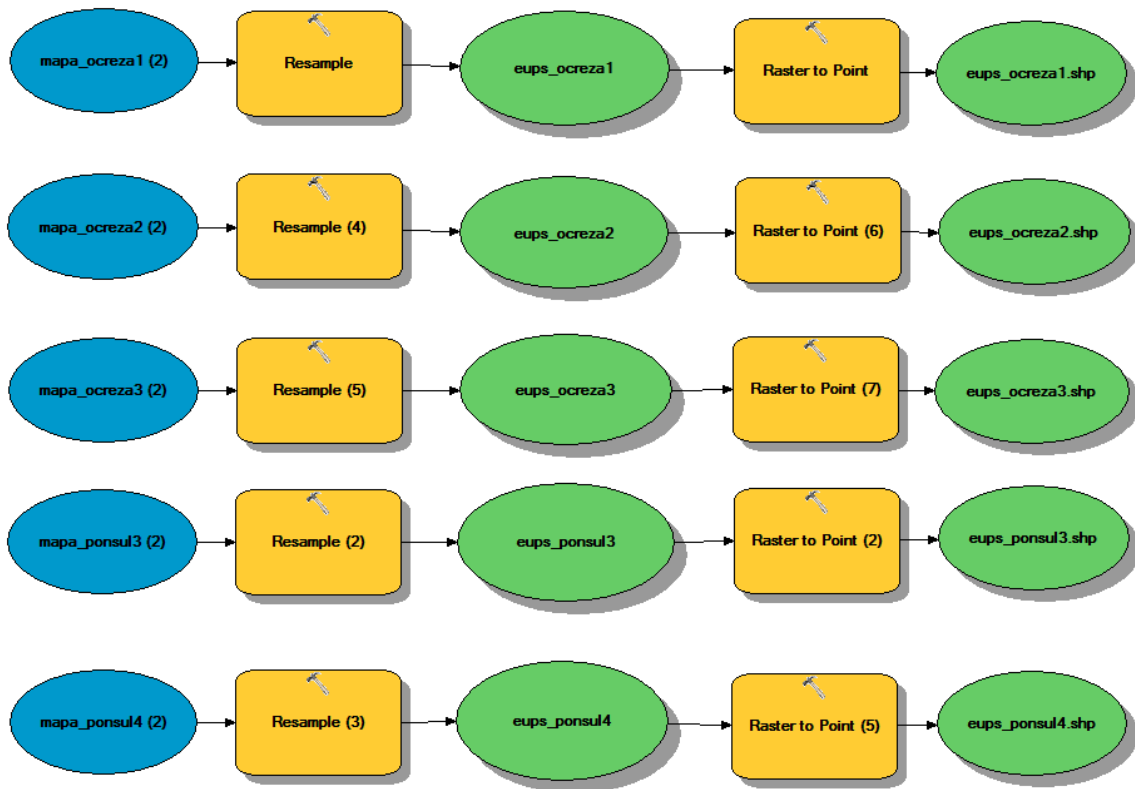


Figura 20 - Modelo usado para a reamostragem dos mapas de erosão, obtidos pela EUPS, para uma resolução espacial de 1000 m, desenvolvido em *Model Builder*.

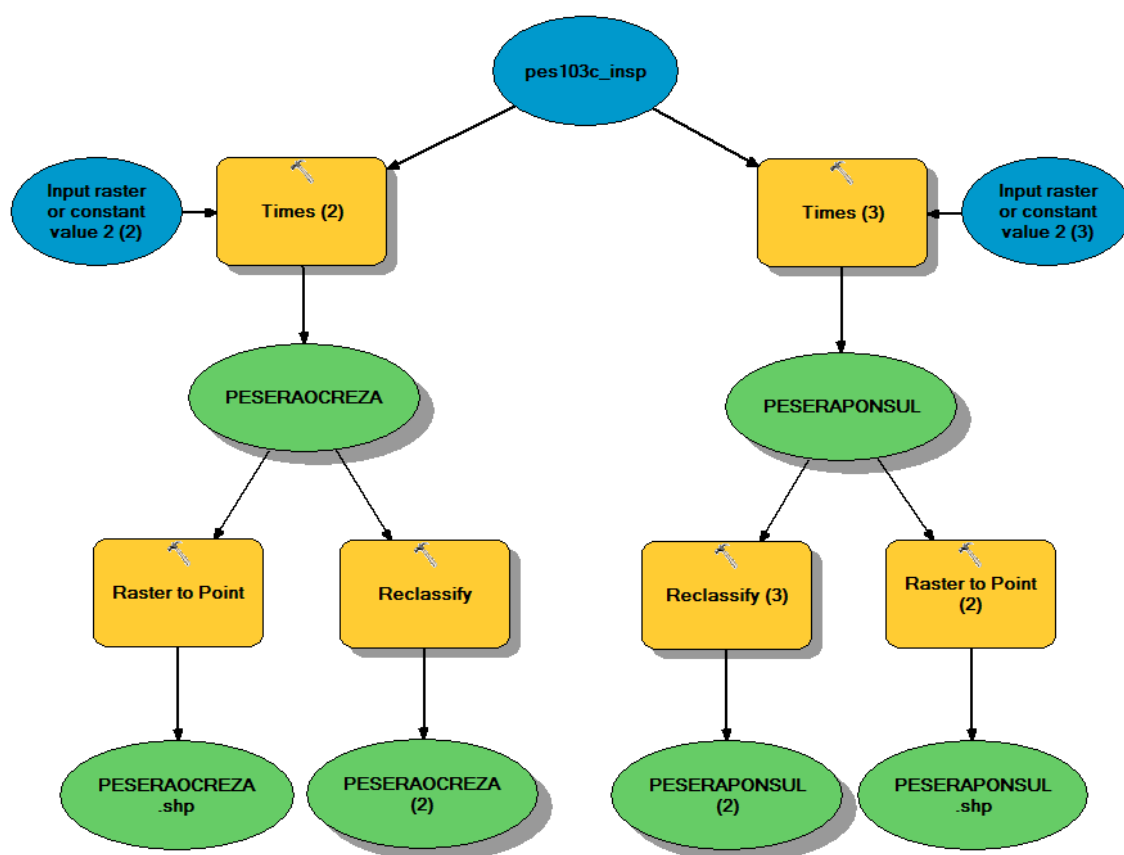
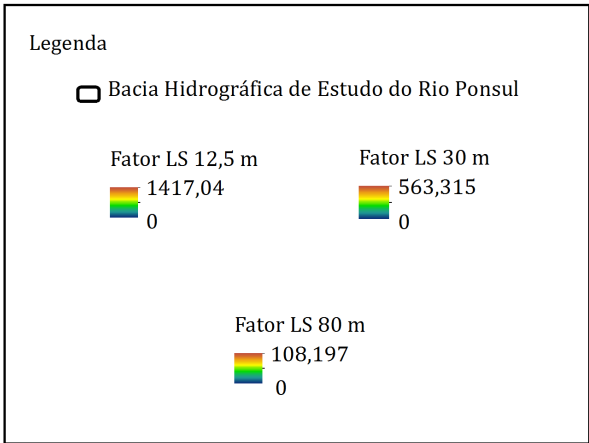
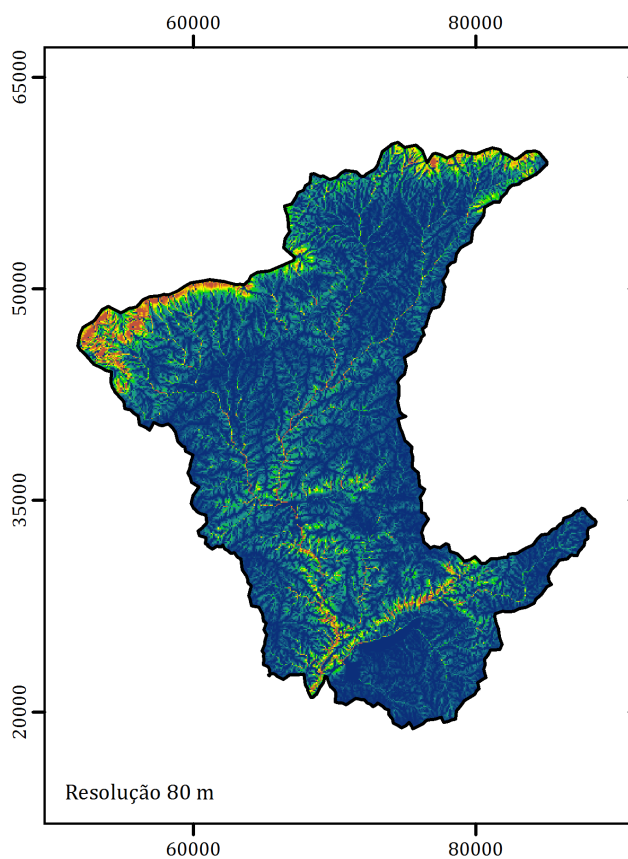
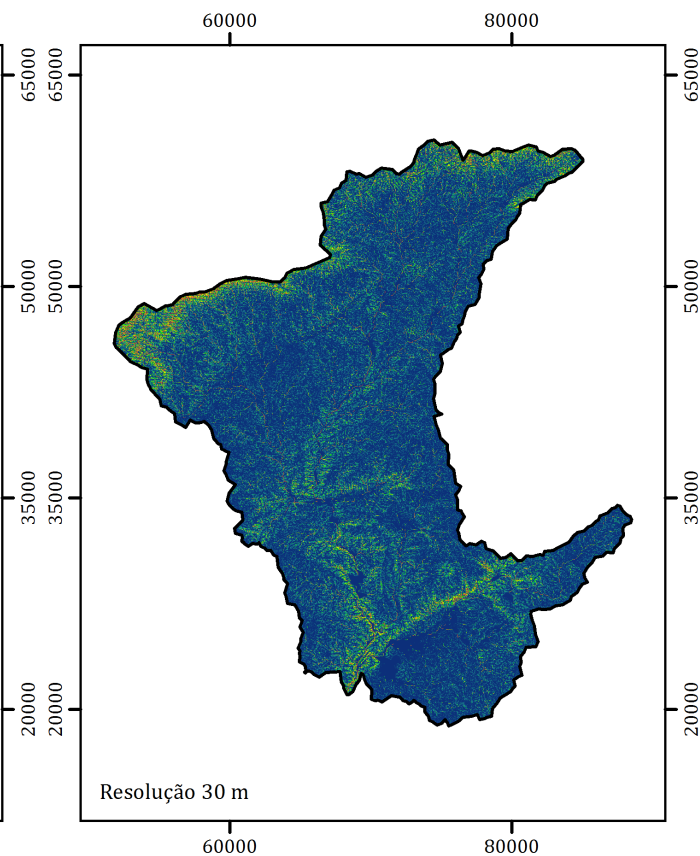
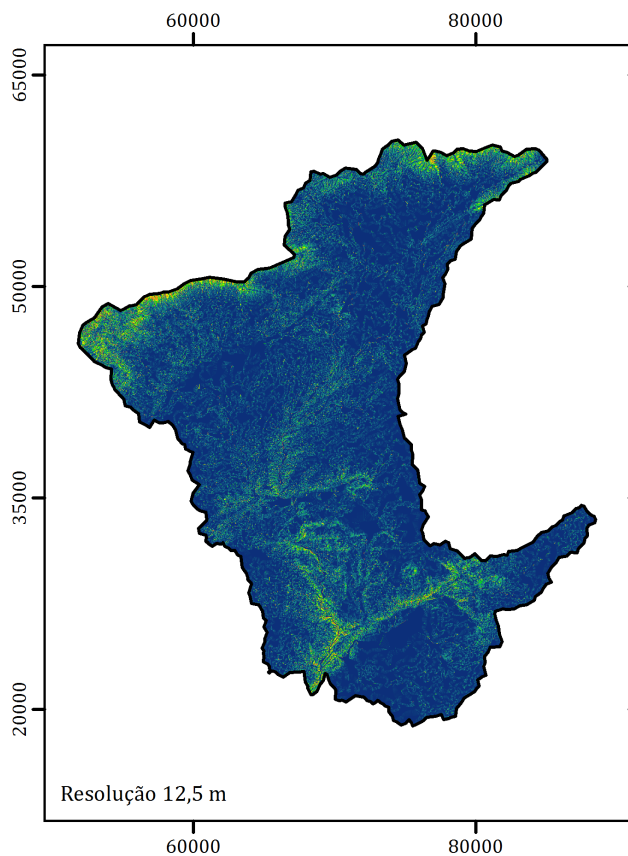


Figura 21 - Modelo usado para determinar os mapas de erosão do PESERA para as bacias hidrográficas do rio Ocreza e rio Ponsul, desenvolvido em *Model Builder*



## **ANEXO VIII - Mapas de Distribuição Espacial do Fator LS**

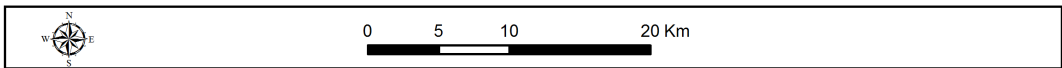


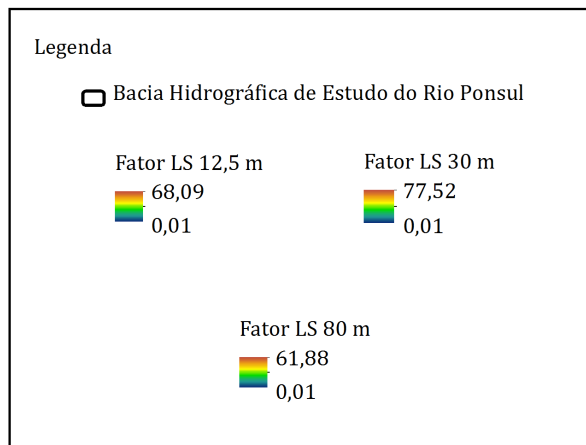
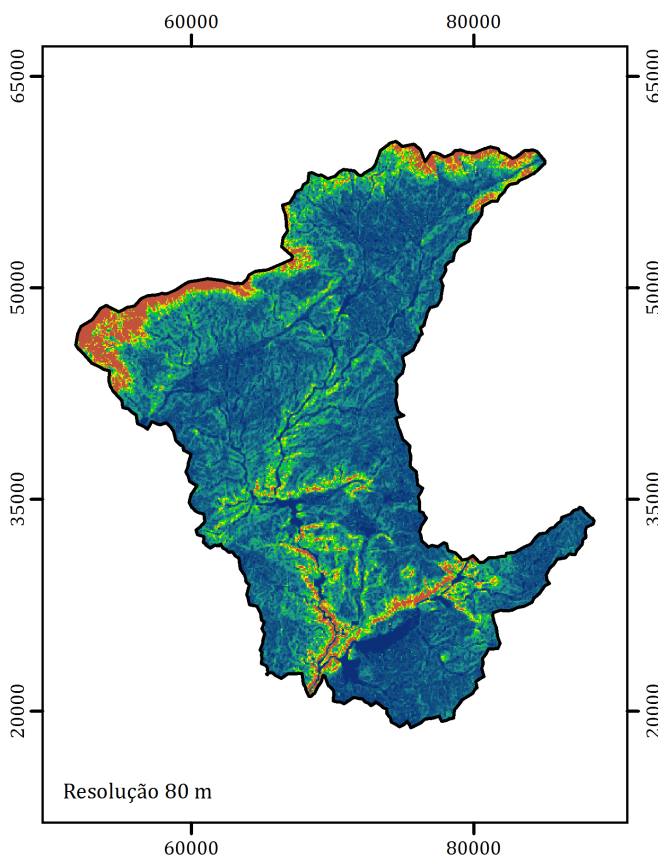
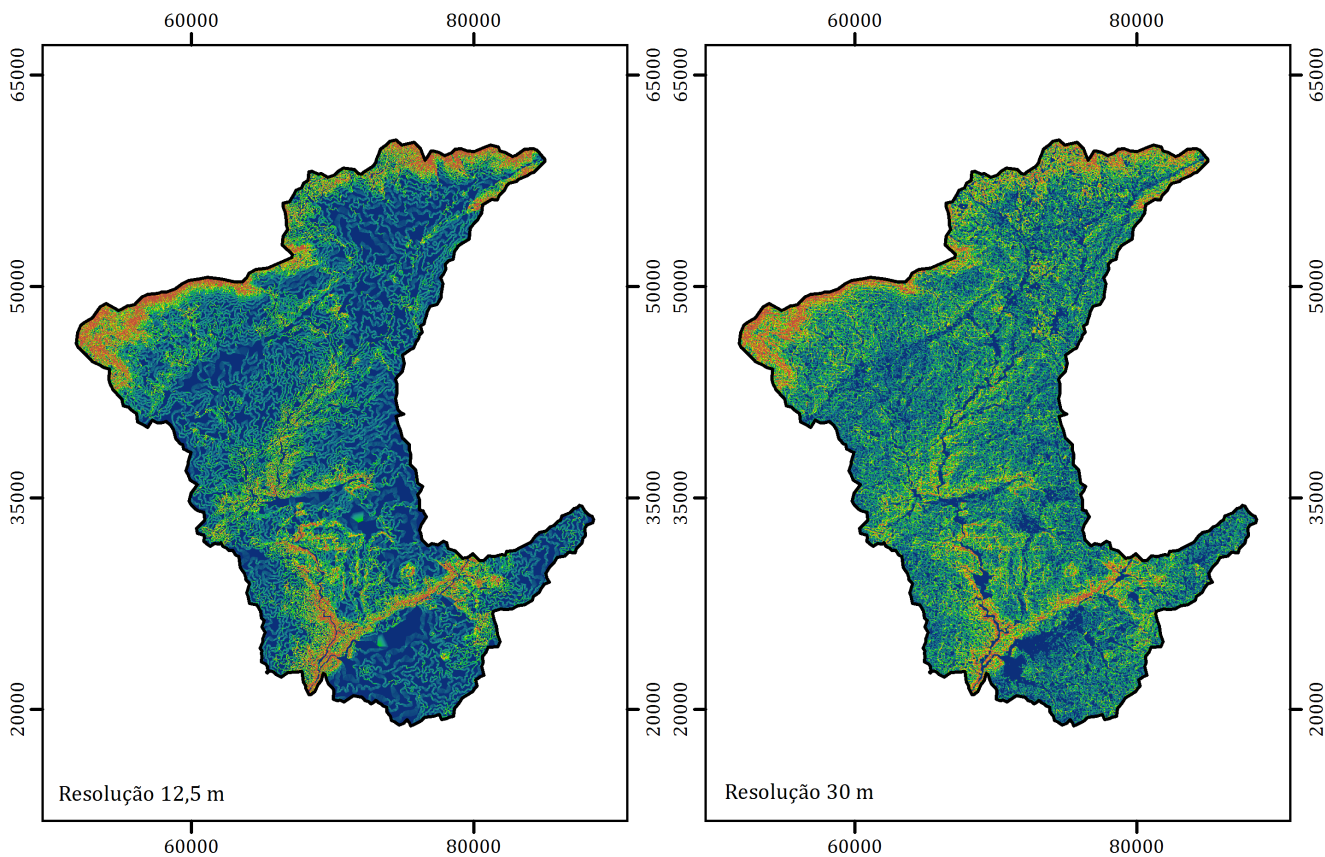
Mapa do Fator LS  
Topocrop Terrain Indices  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 22

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



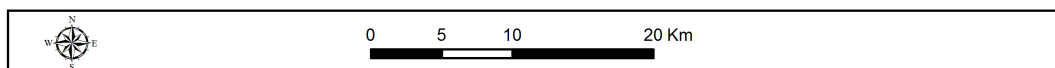


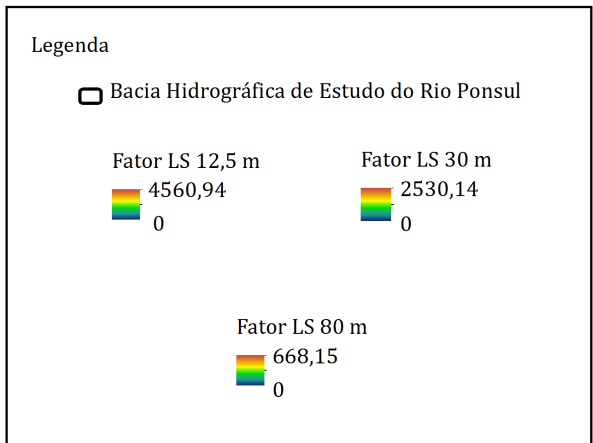
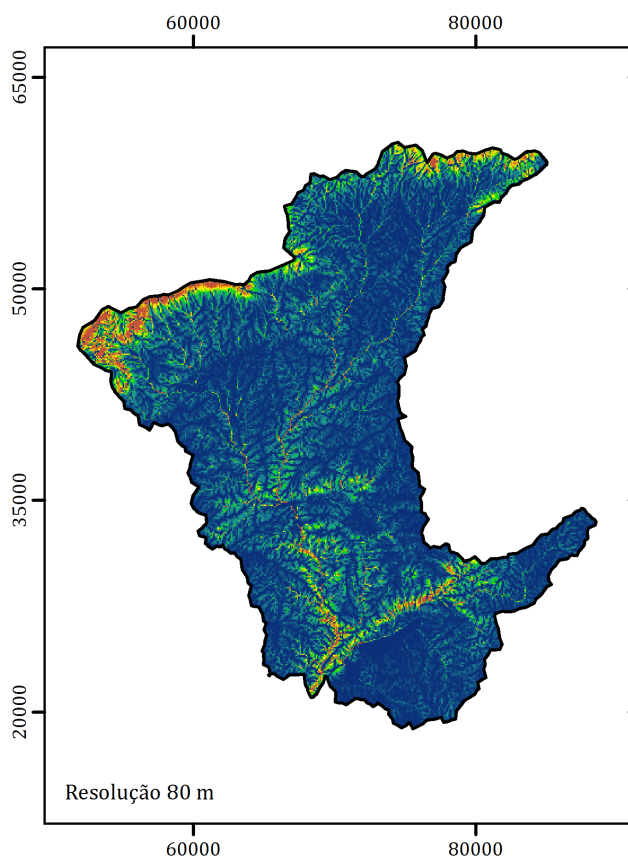
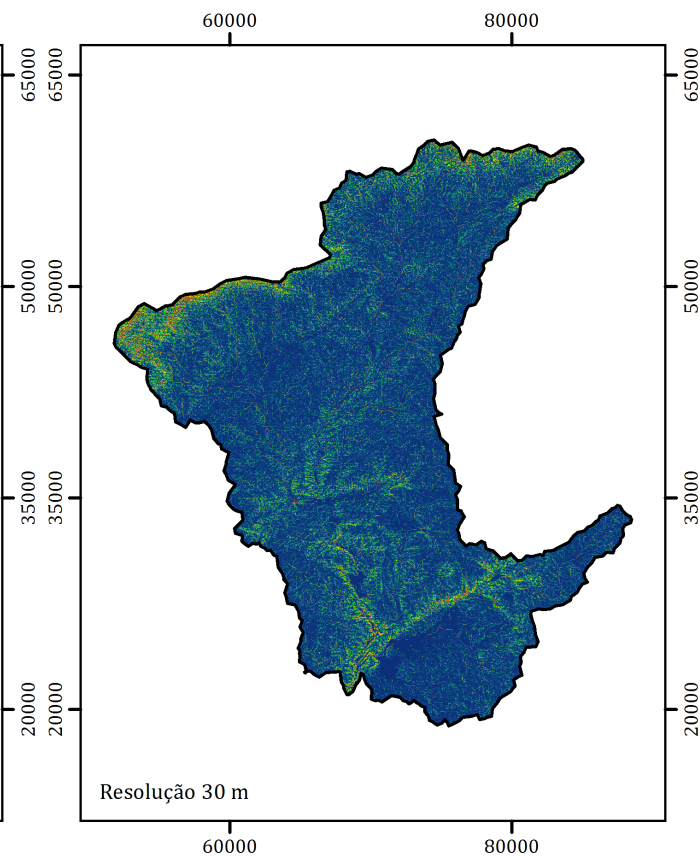
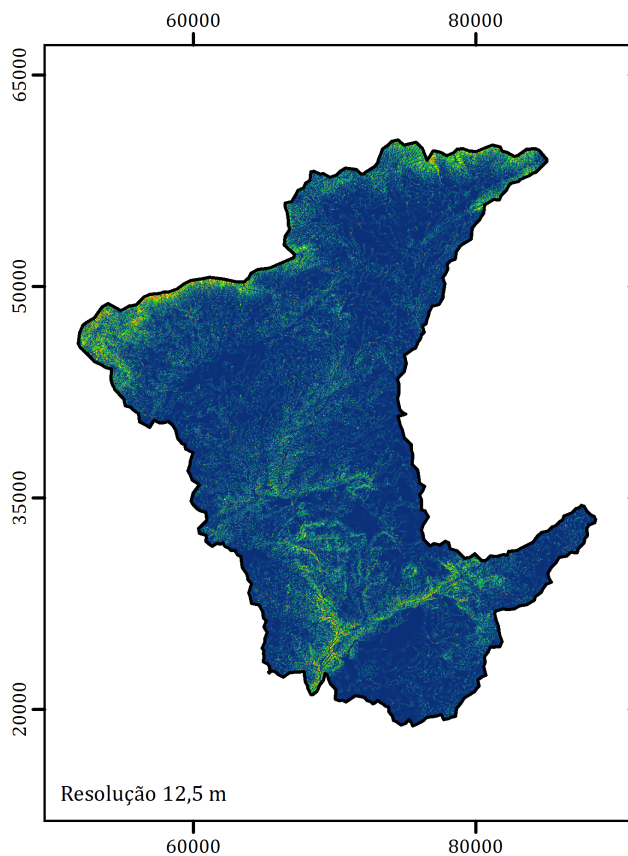
Mapa do Fator LS  
Programa C++  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 23

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



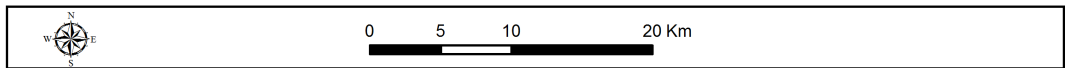


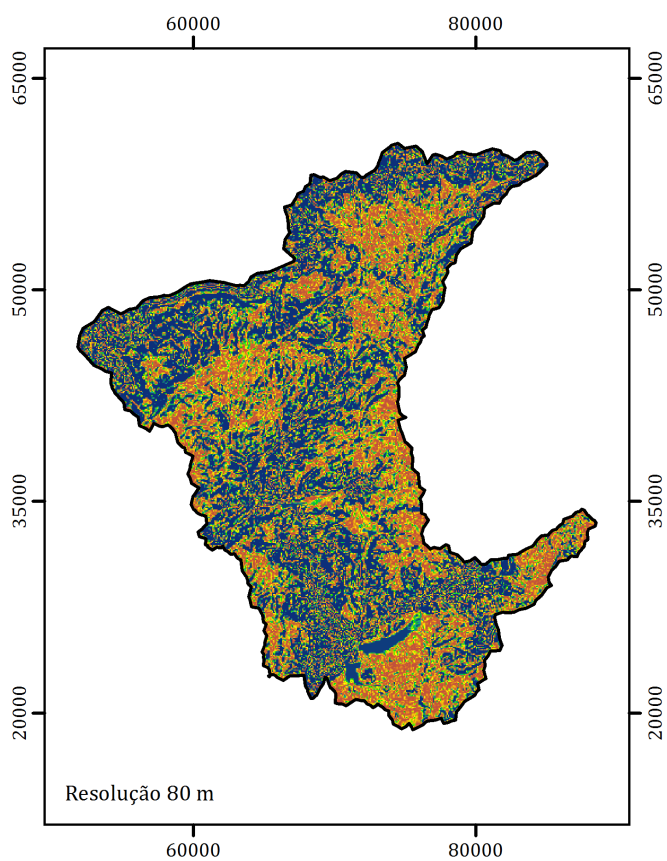
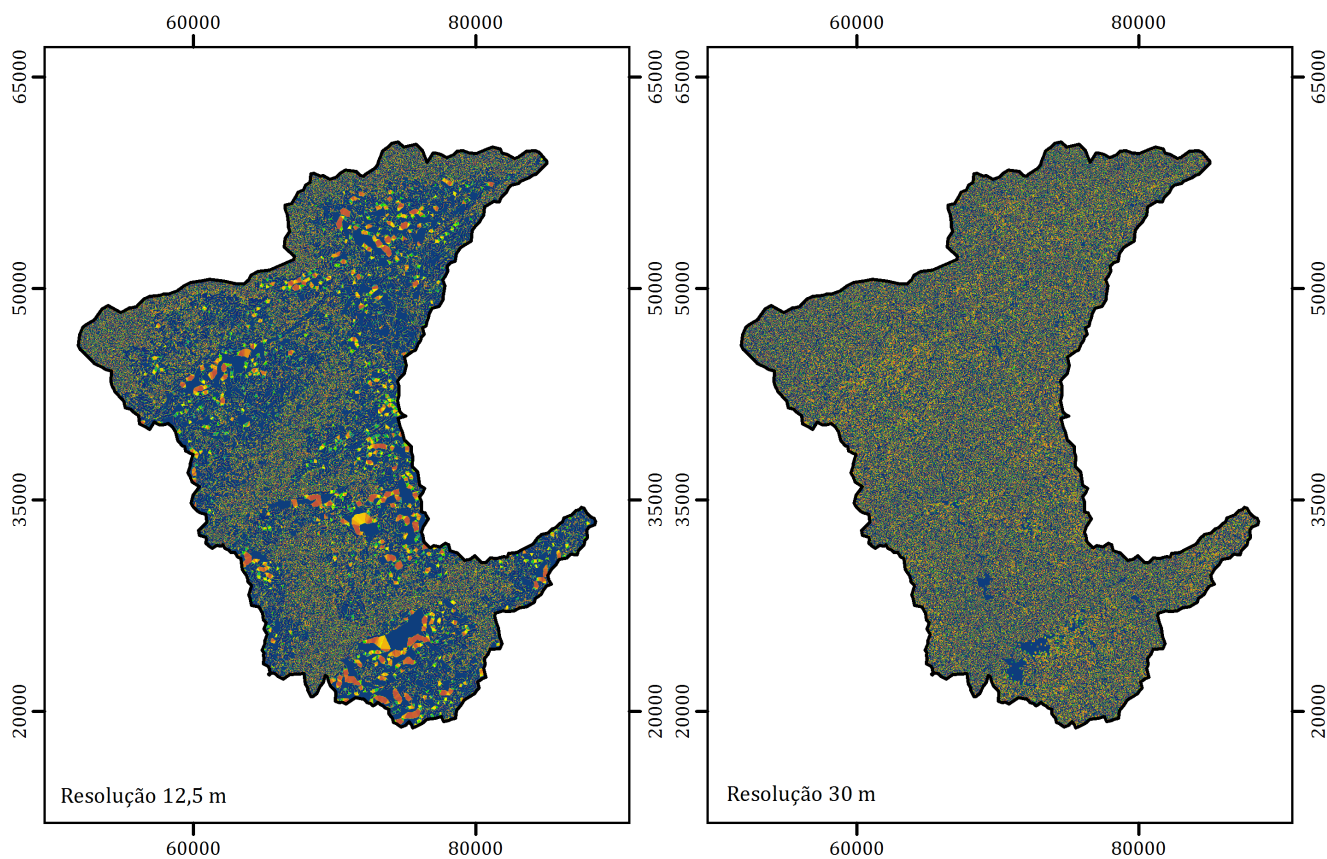
Mapa do Fator LS  
Mitasova  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 24

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013





**Legenda**

□ Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul

Fator LS 12,5 m	Fator LS 30 m
16,3	16,3
-0,4999	-0,4833

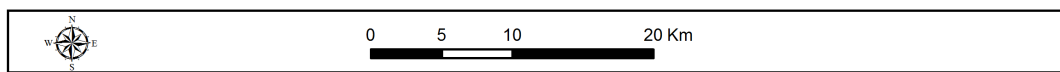
Fator LS 80 m
16,3
-0,4931

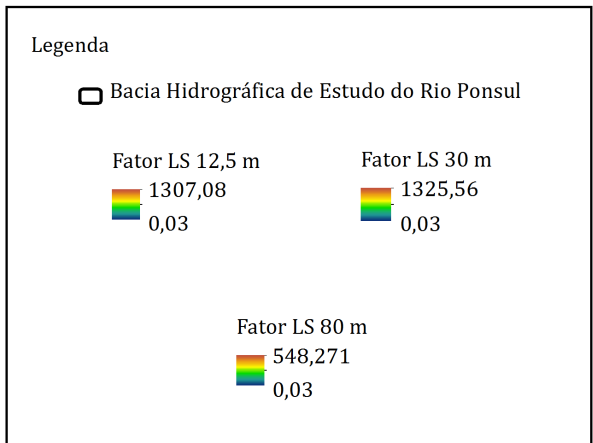
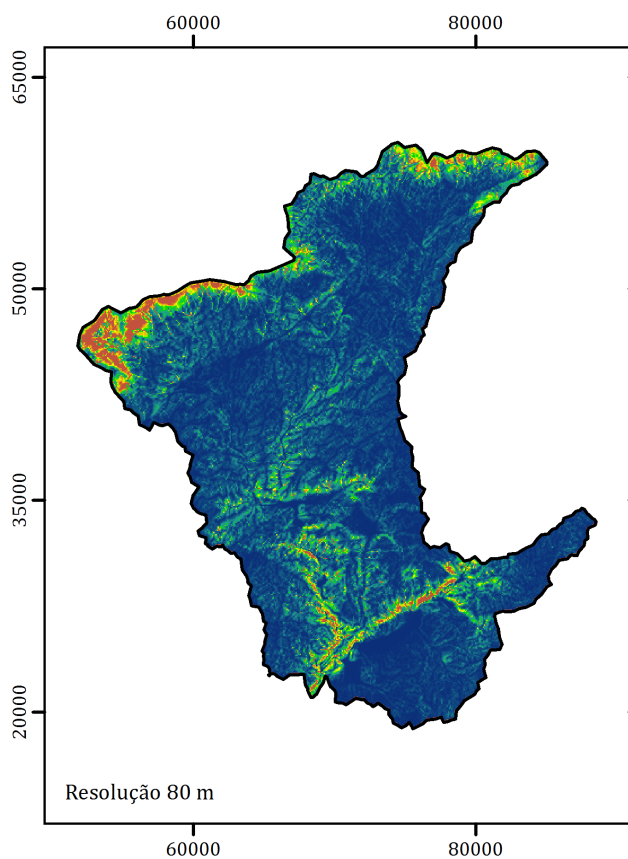
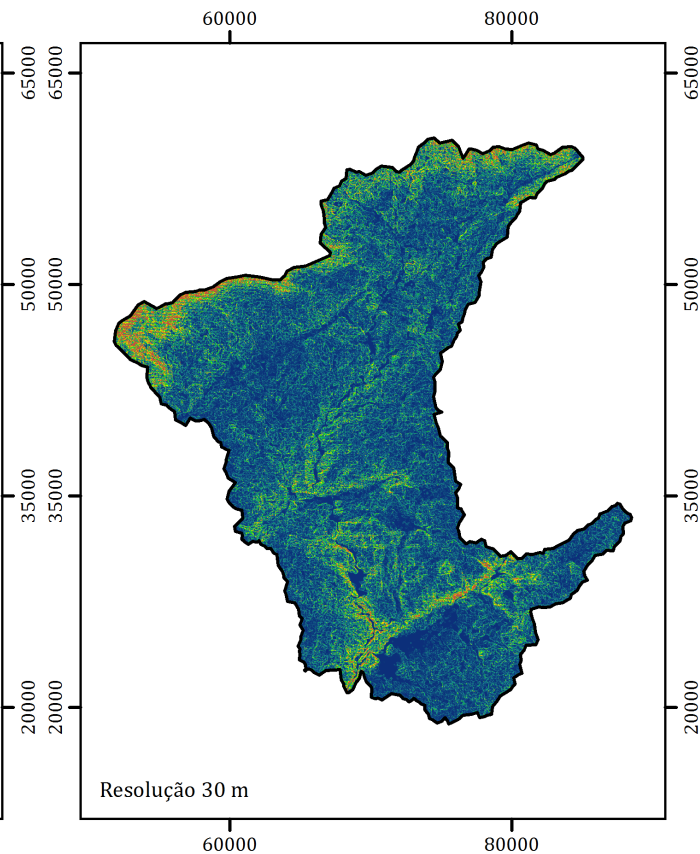
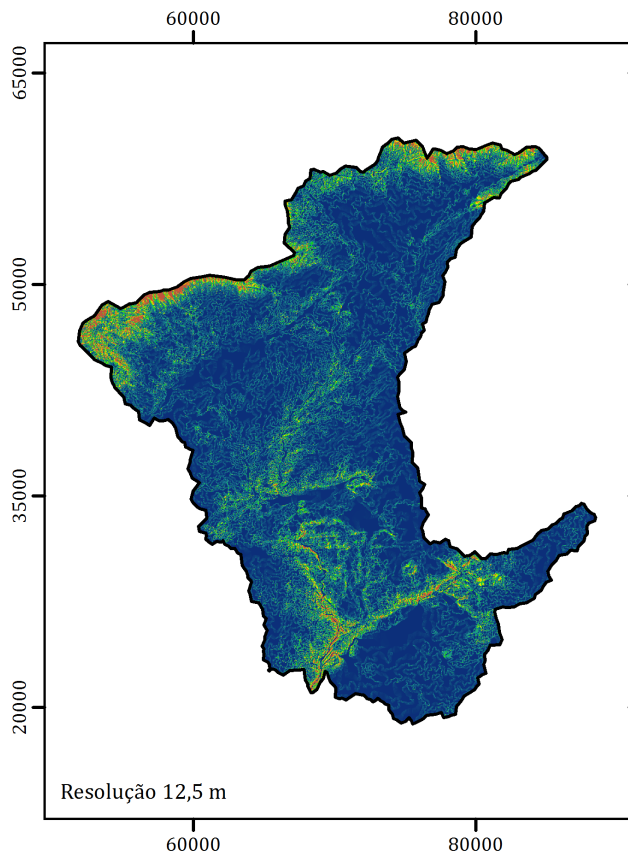
Mapa do Fator LS  
SEXTANTE, SAGA GIS - QuantumGIS  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 25

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



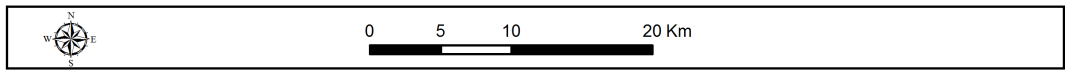


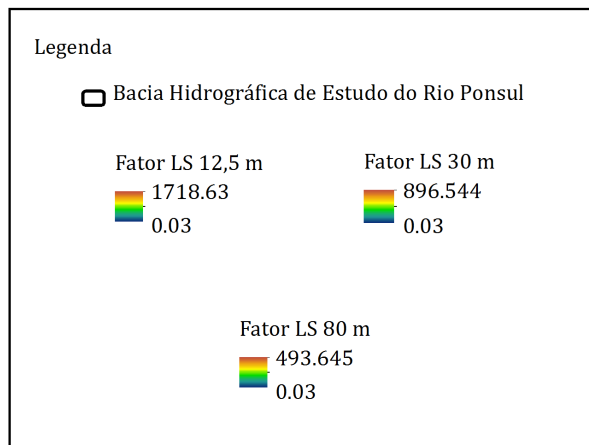
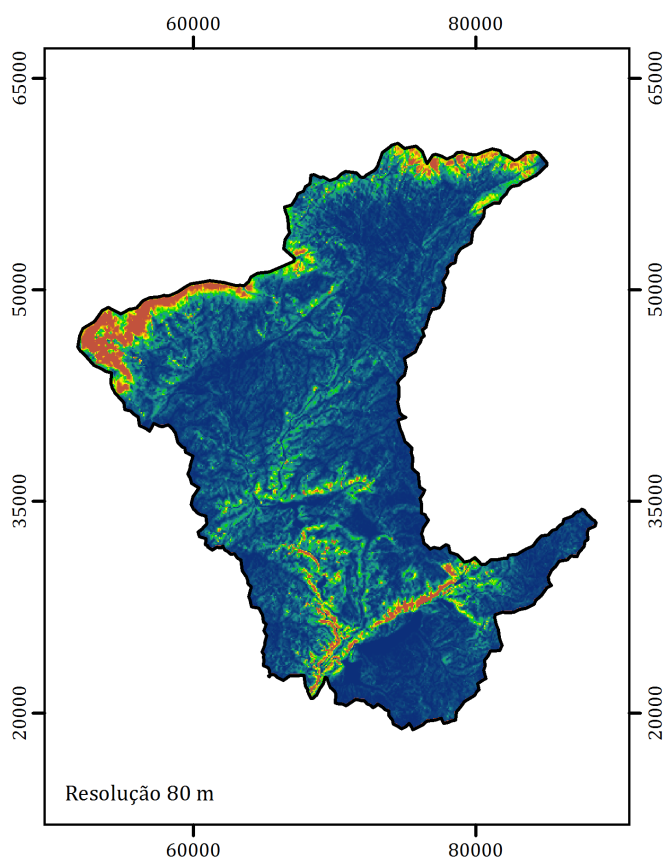
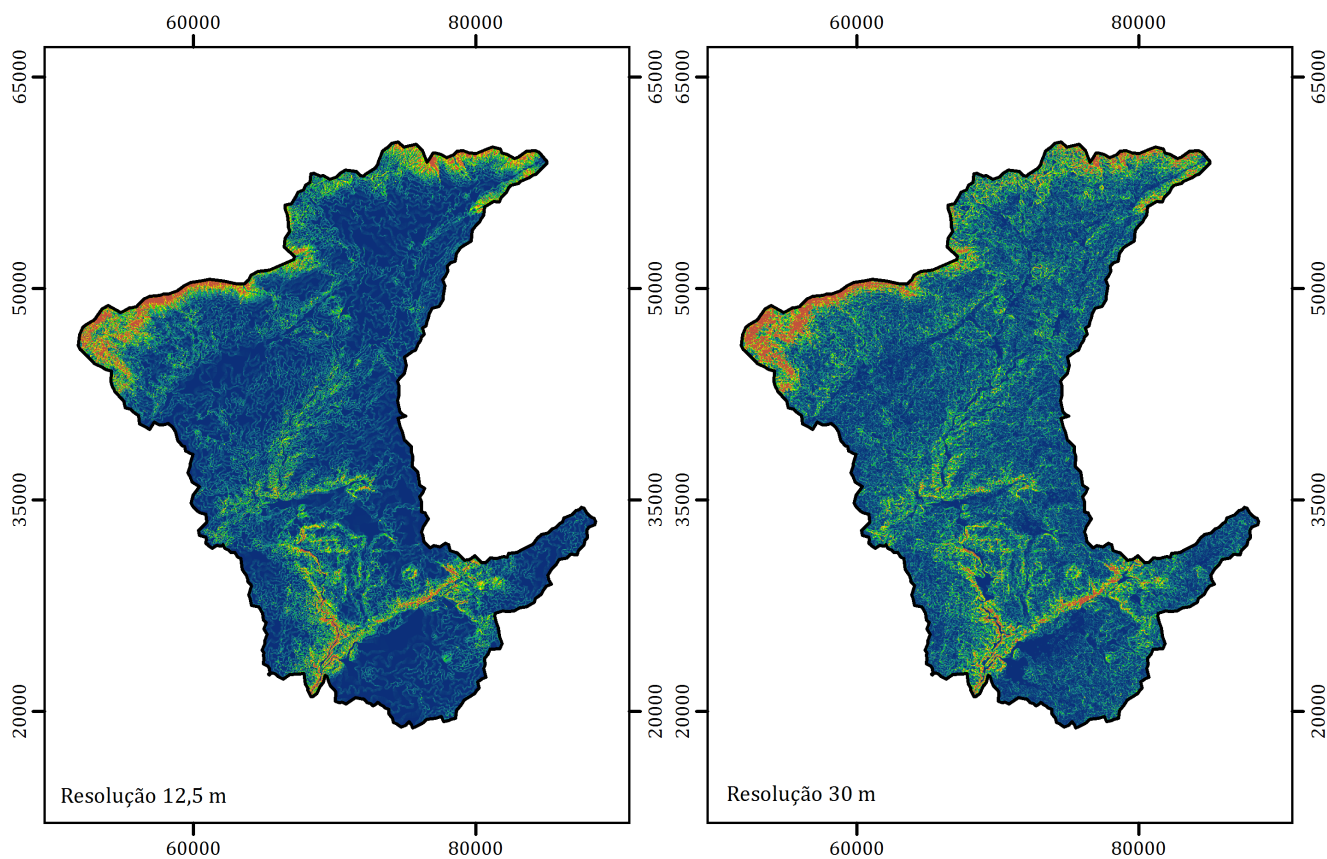
Mapa do Fator LS  
Usle2D - McCool Steepest Descent  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 26

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



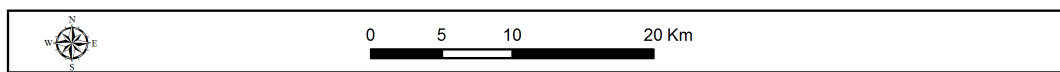


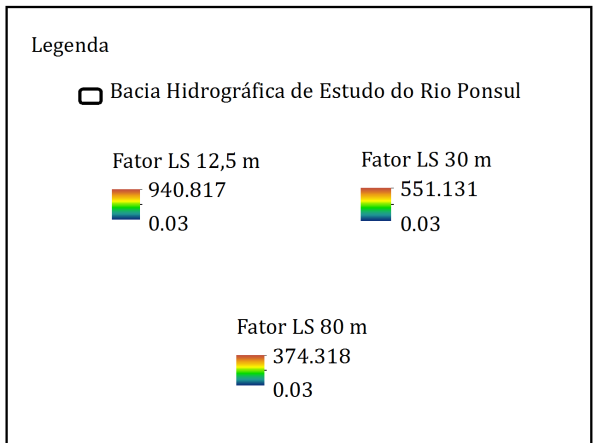
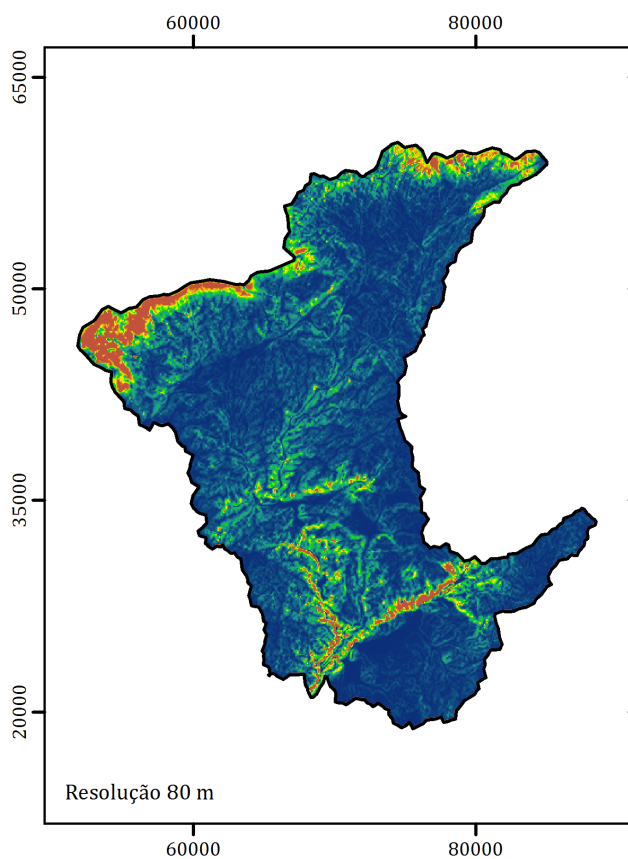
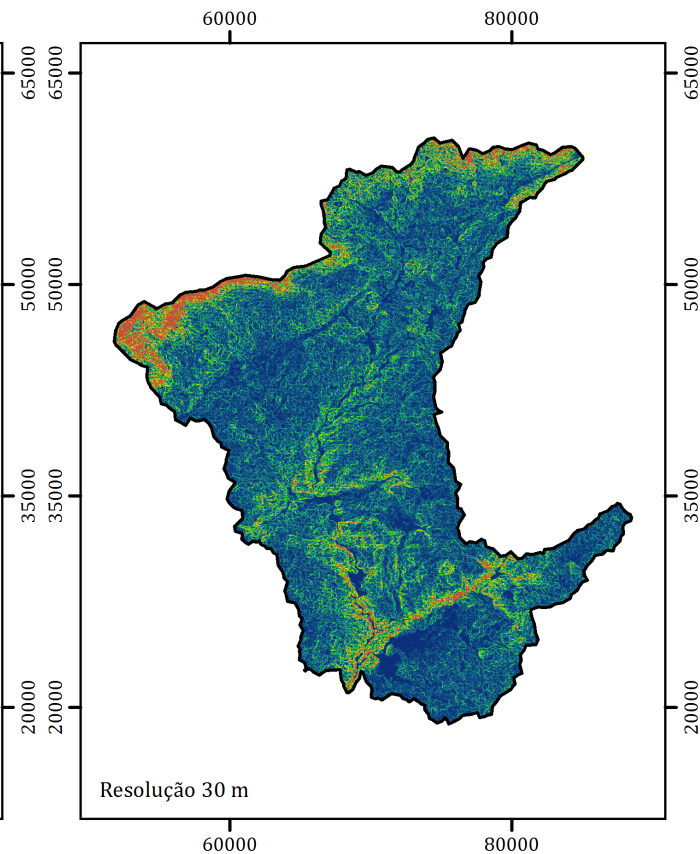
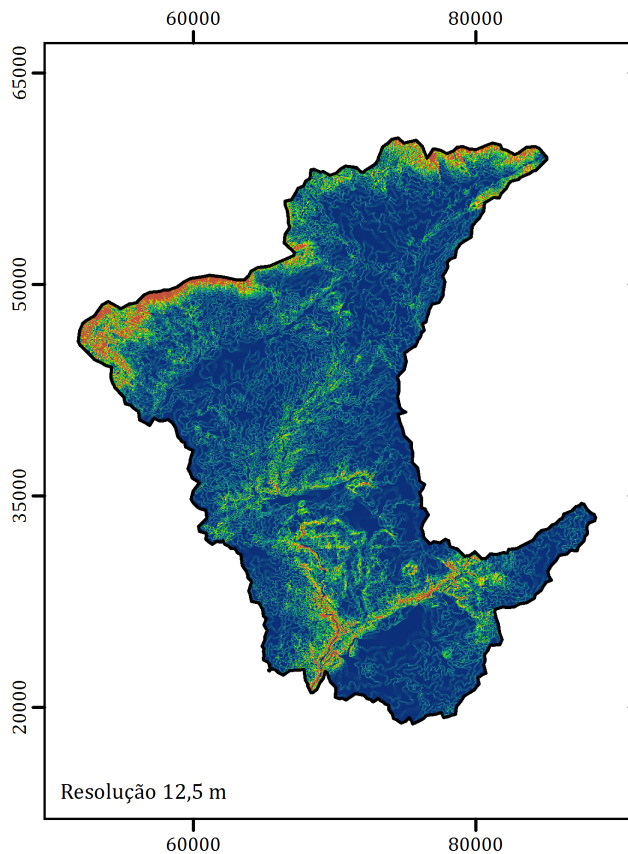
Mapa do Fator LS  
Usle2D - McCool Flux Decomposition  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 27

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



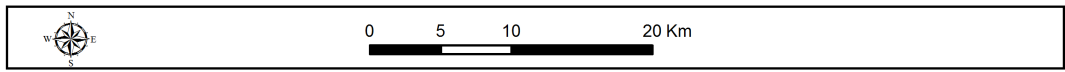


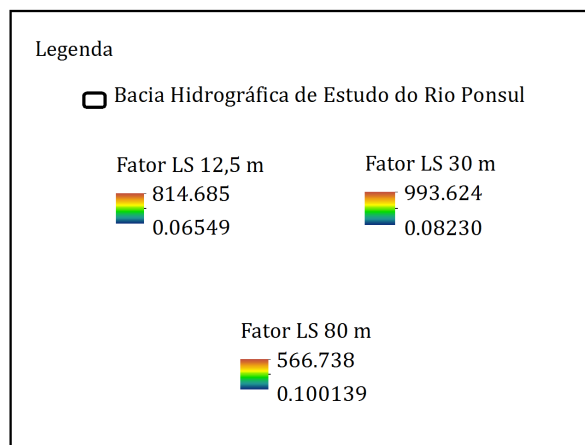
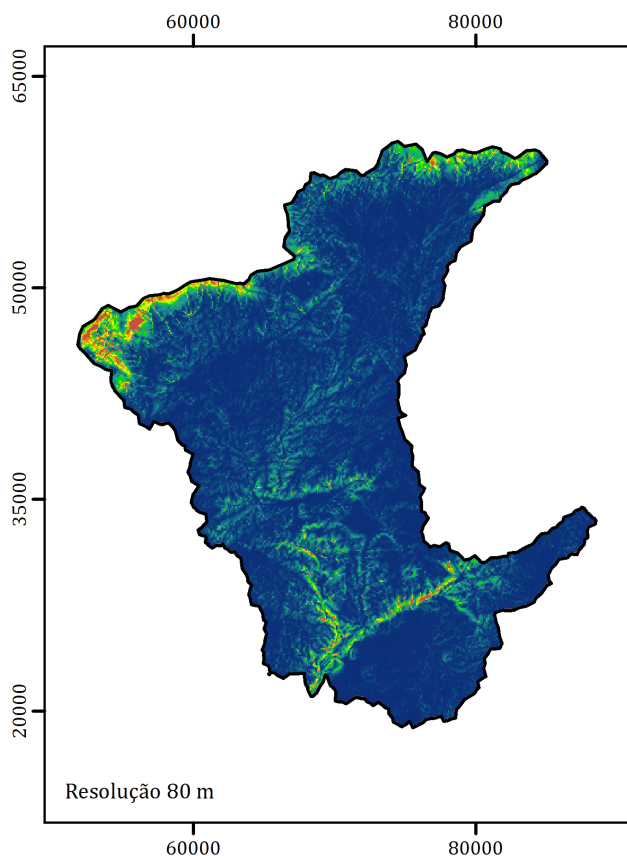
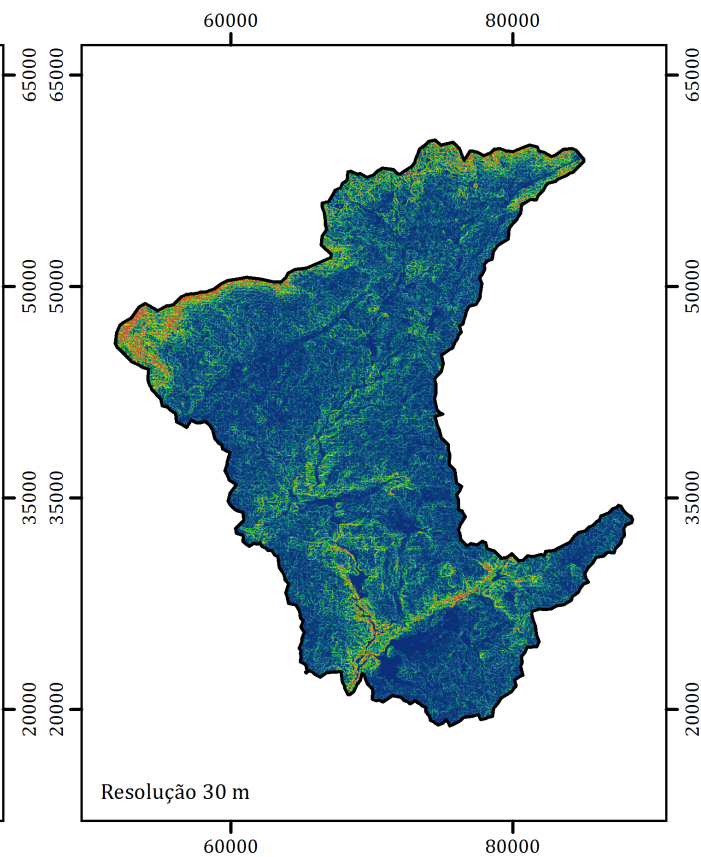
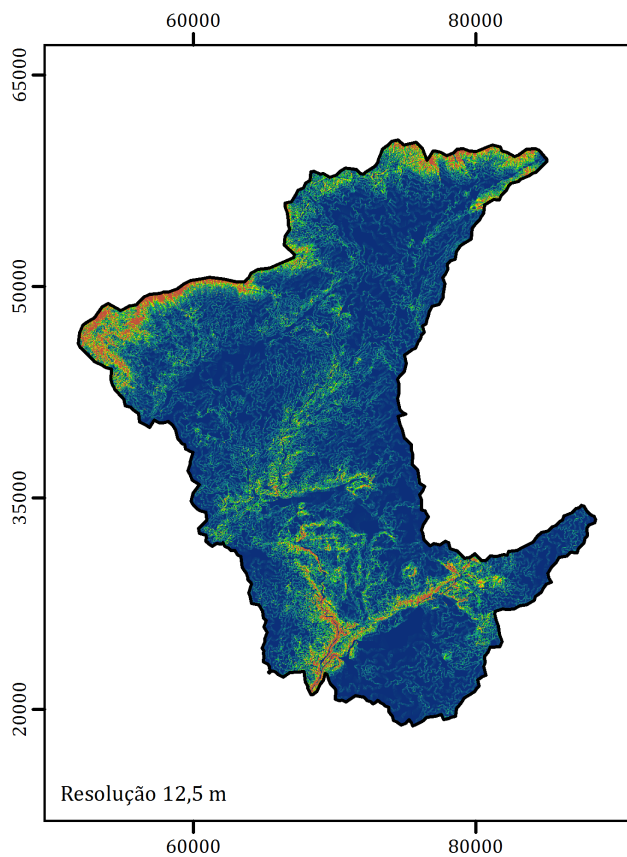
Mapa do Fator LS  
Usle2D - McCool Multiple Flow  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 28

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



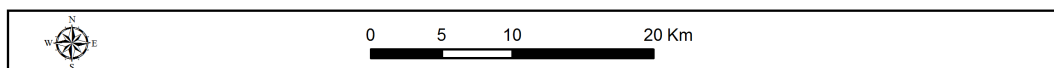


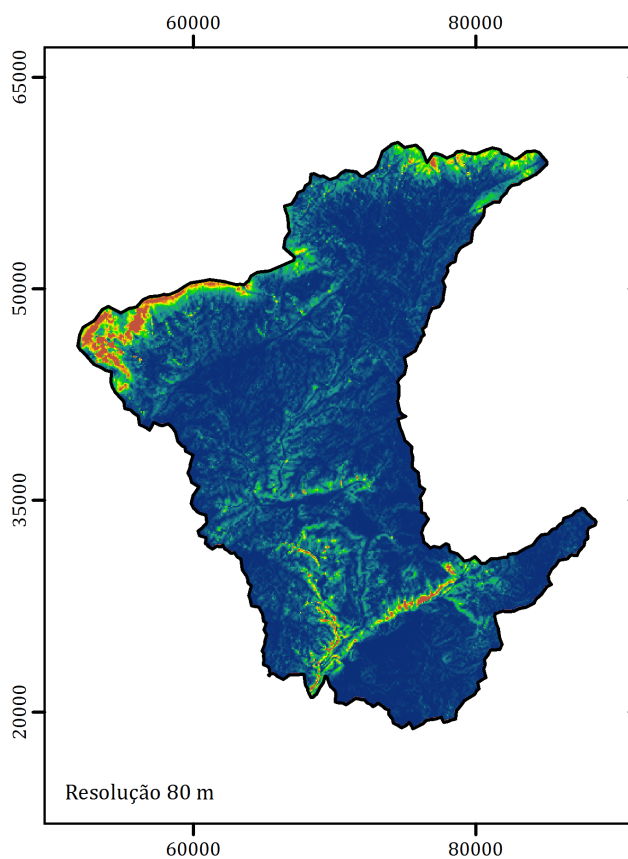
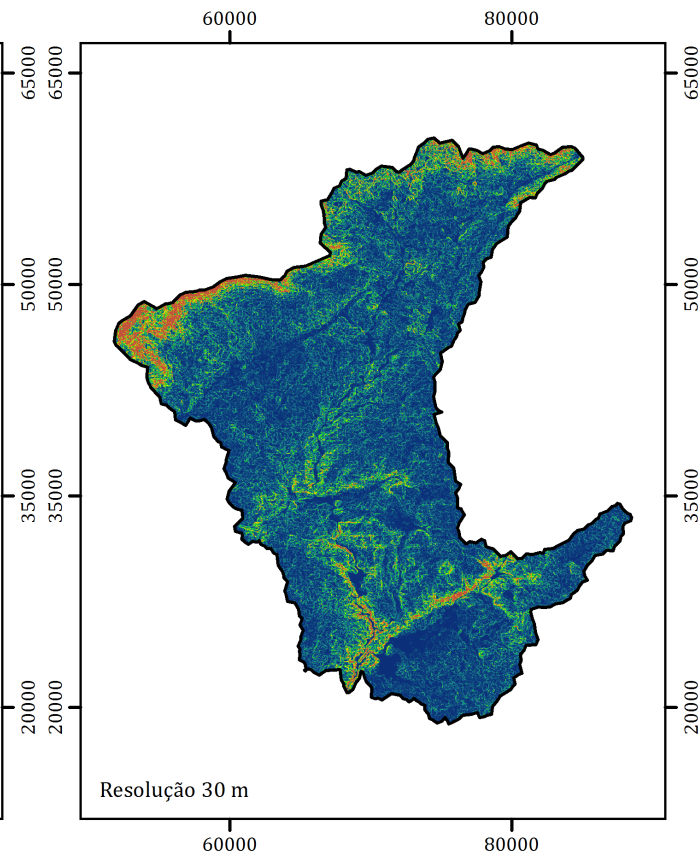
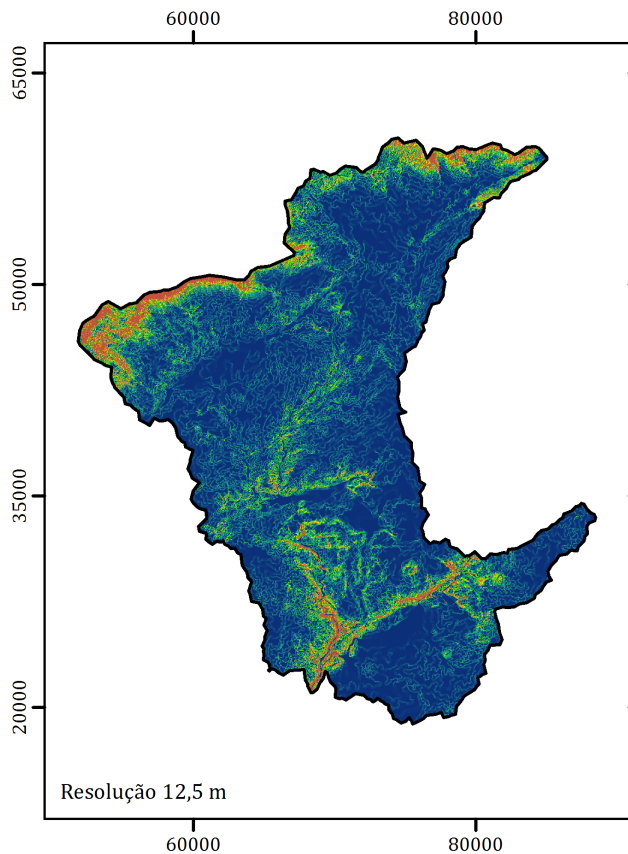
Mapa do Fator LS  
Usle2D - Wischmeier and Smith Steepest Descent  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 29

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013





**Legenda**

- Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul

Fator LS 12,5 m	Fator LS 30 m
1040.33	764.395
0.06600	0.08230

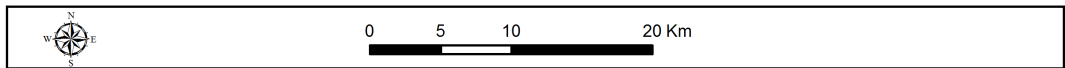
Fator LS 80 m
604.875
0.100139

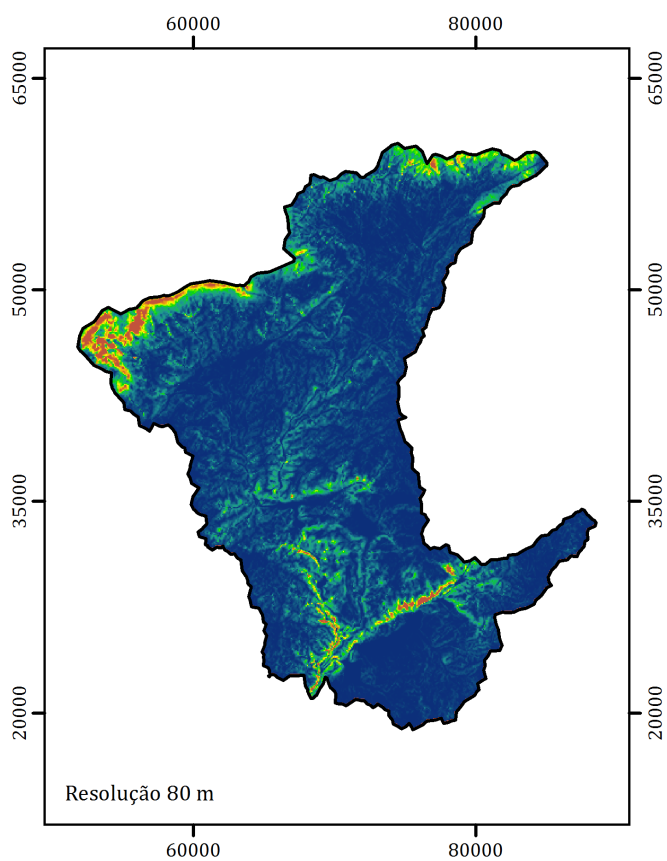
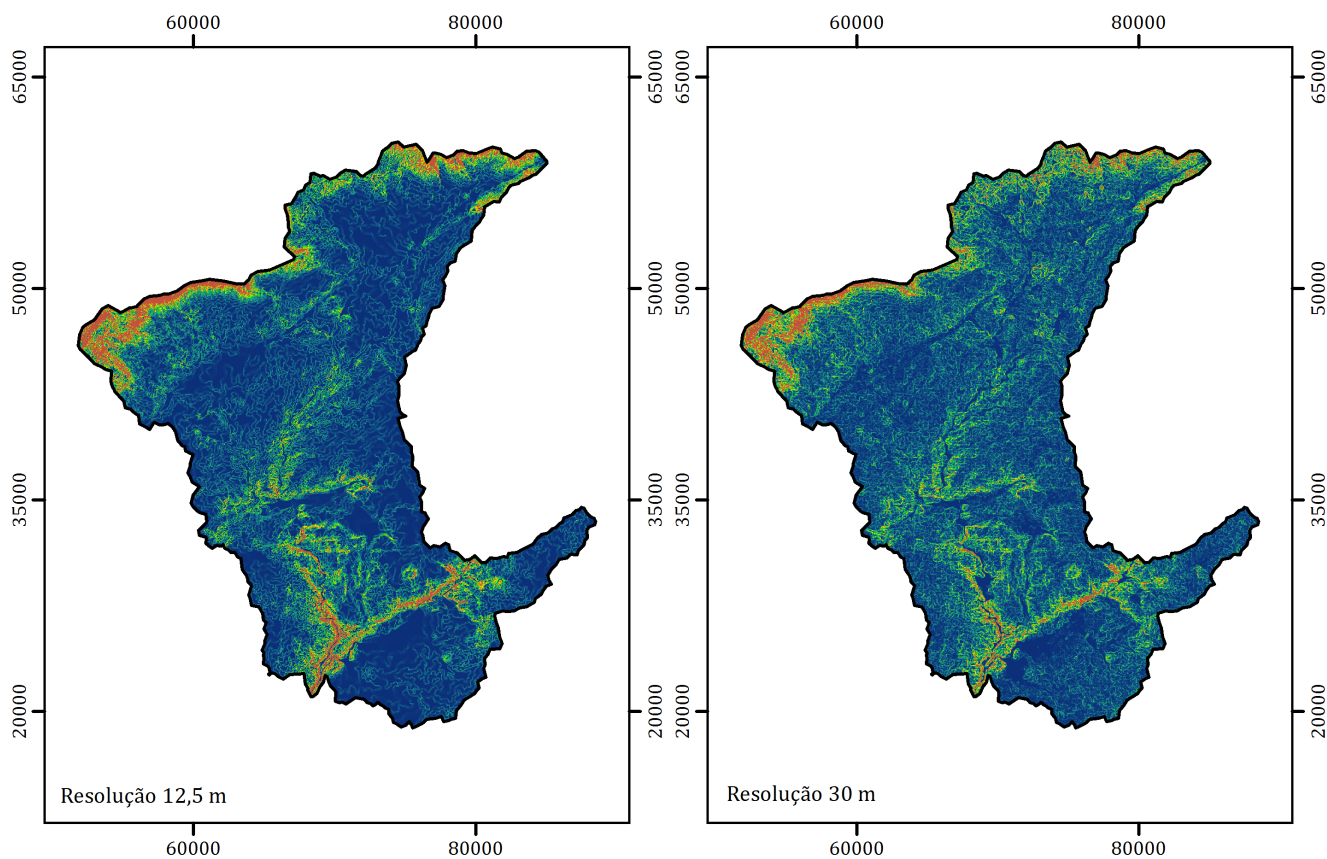
Mapa do Fator LS - Usle2D  
Wischmeier and Smith Flux Decomposition  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 30

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013





**Legenda**

- Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul

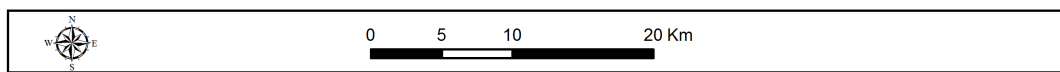
<p>Fator LS 12,5 m</p> <p>575.901</p> <p>0.06549</p>	<p>Fator LS 30 m</p> <p>633.502</p> <p>0.08230</p>
<p>Fator LS 80 m</p> <p>381.121</p> <p>0.100139</p>	

Mapa do Fator LS  
Usle2D - Wischmeier and Smith Multiple Flow  
Resoluções 12,5 m, 30 m e 80 m

Anexo VIII - Figura 31

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Projeto elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013





## **ANEXO IX - Resultados da Comparação dos Algoritmos do Fator LS**

**Tabela 5** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias para os valores de LS obtidos por diferentes algoritmos através do MDT de 12,5 m.

MDT 12,5 m	
C++	Teste de Lilliefors = 0,28248, com valor p ≈ 0
Mitasova	Teste de Lilliefors = 0,435871, com valor p ≈ 0
SEXTANTE	Teste de Lilliefors = 0,332584, com valor p ≈ 0
Topocrop	Teste de Lilliefors = 0,433167, com valor p ≈ 0
USLE2DMCFD	Teste de Lilliefors = 0,369724, com valor p ≈ 0
USLE2DMCMF	Teste de Lilliefors = 0,354765, com valor p ≈ 0
USLE2DMCSD	Teste de Lilliefors = 0,389624, com valor p ≈ 0
USLE2DWSFD	Teste de Lilliefors = 0,351431, com valor p ≈ 0
USLE2DWSMF	Teste de Lilliefors = 0,345788, com valor p ≈ 0
USLE2DWSSD	Teste de Lilliefors = 0,364428, com valor p ≈ 0

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
LS Ponsul MDT 12,5 m	Based on Mean	26993,246	9	10615801	,000
	Based on Median	14530,319	9	10615801	,000
	Based on Median and with adjusted df	14530,319	9	6692019,237	,000
	Based on trimmed mean	18614,708	9	10615801	,000

**Tabela 6** - Teste *Kruskal-Wallis* dos valores de LS obtidos por diferentes algoritmos através do MDT de 12,5 m.

LS Ponsul MDT 12,5 m	
Chi-Square	912943,466
df	9
Asymp. Sig.	,000

**Tabela 7** - Comparação múltipla do Fator LS obtido por diferentes algoritmos através do MDT de 12,5 m.

## Rank of LS Ponsul MDT 12,5 m - LSD

(I) MDT 12,5 m	(J) MDT 12,5 m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
C 12,5	Mitasova 12,5	285707,001	7936,498	0,000	270153,689	301260,313
	Sextante 12,5	1969255,397	7936,498	0,000	1953702,085	1984808,710
	Topocrop 12,5	3990843,400	7936,498	0,000	3975290,088	4006396,713
	Usle2DMC12,5FD	-5260355,057	7936,498	0,000	-5275908,369	-5244801,744
	Usle2DMC12,5MF	-4869140,394	7936,498	0,000	-4884693,707	-4853587,082
	Usle2DMC12,5SD	-3723411,021	7936,498	0,000	-3738964,333	-3707857,709
	Usle2DWS12,5FD	-6701173,362	7936,498	0,000	-6716726,674	-6685620,050
	Usle2DWS12,5MF	-6004052,976	7936,498	0,000	-6019606,289	-5988499,664
	Usle2DWS12,5SD	-4982752,830	8533,843	0,000	-4999476,773	-4966028,888
Mitasova 12,5	C 12,5	-285707,001	7936,498	0,000	-301260,313	-270153,689
	Sextante 12,5	1683548,396	7936,498	0,000	1667995,084	1699101,708
	Topocrop 12,5	3705136,399	7936,498	0,000	3689583,087	3720689,711
	Usle2DMC12,5FD	-5546062,058	7936,498	0,000	-5561615,370	-5530508,746
	Usle2DMC12,5MF	-5154847,396	7936,498	0,000	-5170400,708	-5139294,083

Rank of LS Ponsul MDT 12,5 m - LSD

(I) MDT 12,5 m	(J) MDT 12,5 m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
	Usle2DMC12,5SD	-4009118,022	7936,498	0,000	-4024671,334	-3993564,710
	Usle2DWS12,5FD	-6986880,363	7936,498	0,000	-7002433,675	-6971327,051
	Usle2DWS12,5MF	-6289759,978	7936,498	0,000	-6305313,290	-6274206,665
	Usle2DWS12,5SD	-5268459,832	8533,843	0,000	-5285183,774	-5251735,889
Sextante 12,5	C 12,5	-1969255,397	7936,498	0,000	-1984808,710	-1953702,085
	Mitasova 12,5	-1683548,396	7936,498	0,000	-1699101,708	-1667995,084
	Topocrop 12,5	2021588,003	7936,498	0,000	2006034,691	2037141,315
	Usle2DMC12,5FD	-7229610,454	7936,498	0,000	-7245163,766	-7214057,142
	Usle2DMC12,5MF	-6838395,792	7936,498	0,000	-6853949,104	-6822842,479
	Usle2DMC12,5SD	-5692666,418	7936,498	0,000	-5708219,730	-5677113,106
	Usle2DWS12,5FD	-8670428,759	7936,498	0,000	-8685982,071	-8654875,447
	Usle2DWS12,5MF	-7973308,374	7936,498	0,000	-7988861,686	-7957755,062
	Usle2DWS12,5SD	-6952008,228	8533,843	0,000	-6968732,170	-6935284,285
Topocrop 12,5	C 12,5	-3990843,400	7936,498	0,000	-4006396,713	-3975290,088
	Mitasova 12,5	-3705136,399	7936,498	0,000	-3720689,711	-3689583,087
	Sextante 12,5	-2021588,003	7936,498	0,000	-2037141,315	-2006034,691
	Usle2DMC12,5FD	-9251198,457	7936,498	0,000	-9266751,769	-9235645,145
	Usle2DMC12,5MF	-8859983,795	7936,498	0,000	-8875537,107	-8844430,483
	Usle2DMC12,5SD	-7714254,421	7936,498	0,000	-7729807,733	-7698701,109
	Usle2DWS12,5FD	-10692016,762	7936,498	0,000	-10707570,074	-10676463,450
	Usle2DWS12,5MF	-9994896,377	7936,498	0,000	-10010449,689	-9979343,065
	Usle2DWS12,5SD	-8973596,231	8533,843	0,000	-8990320,173	-8956872,289
Usle2DMC12,5FD	C 12,5	5260355,057	7936,498	0,000	5244801,744	5275908,369
	Mitasova 12,5	5546062,058	7936,498	0,000	5530508,746	5561615,370
	Sextante 12,5	7229610,454	7936,498	0,000	7214057,142	7245163,766
	Topocrop 12,5	9251198,457	7936,498	0,000	9235645,145	9266751,769
	Usle2DMC12,5MF	391214,662	7936,498	0,000	375661,350	406767,974
	Usle2DMC12,5SD	1536944,036	7936,498	0,000	1521390,724	1552497,348
	Usle2DWS12,5FD	-1440818,305	7936,498	0,000	-1456371,617	-1425264,993
	Usle2DWS12,5MF	-743697,920	7936,498	0,000	-759251,232	-728144,608
	Usle2DWS12,5SD	277602,226	8533,843	0,000	260878,284	294326,168
Usle2DMC12,5MF	C 12,5	4869140,394	7936,498	0,000	4853587,082	4884693,707
	Mitasova 12,5	5154847,396	7936,498	0,000	5139294,083	5170400,708
	Sextante 12,5	6838395,792	7936,498	0,000	6822842,479	6853949,104
	Topocrop 12,5	8859983,795	7936,498	0,000	8844430,483	8875537,107
	Usle2DMC12,5FD	-391214,662	7936,498	0,000	-406767,974	-375661,350
	Usle2DMC12,5SD	1145729,374	7936,498	0,000	1130176,061	1161282,686
	Usle2DWS12,5FD	-1832032,967	7936,498	0,000	-1847586,280	-1816479,655
	Usle2DWS12,5MF	-1134912,582	7936,498	0,000	-1150465,894	-1119359,270
	Usle2DWS12,5SD	-113612,436	8533,843	0,000	-130336,378	-96888,494
Usle2DMC12,5SD	C 12,5	3723411,021	7936,498	0,000	3707857,709	3738964,333
	Mitasova 12,5	4009118,022	7936,498	0,000	3993564,710	4024671,334
	Sextante 12,5	5692666,418	7936,498	0,000	5677113,106	5708219,730

## Rank of LS Ponsul MDT 12,5 m - LSD

(I) MDT 12,5 m	(J) MDT 12,5 m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
	Topocrop 12,5	7714254,421	7936,498	0,000	7698701,109	7729807,733
	Usle2DMC12,5FD	-1536944,036	7936,498	0,000	-1552497,348	-1521390,724
	Usle2DMC12,5MF	-1145729,374	7936,498	0,000	-1161282,686	-1130176,061
	Usle2DWS12,5FD	-2977762,341	7936,498	0,000	-2993315,653	-2962209,029
	Usle2DWS12,5MF	-2280641,956	7936,498	0,000	-2296195,268	-2265088,643
	Usle2DWS12,5SD	-1259341,810	8533,843	0,000	-1276065,752	-1242617,867
Usle2DWS12,5FD	C 12,5	6701173,362	7936,498	0,000	6685620,050	6716726,674
	Mitasova 12,5	6986880,363	7936,498	0,000	6971327,051	7002433,675
	Sextante 12,5	8670428,759	7936,498	0,000	8654875,447	8685982,071
	Topocrop 12,5	10692016,762	7936,498	0,000	10676463,450	10707570,074
	Usle2DMC12,5FD	1440818,305	7936,498	0,000	1425264,993	1456371,617
	Usle2DMC12,5MF	1832032,967	7936,498	0,000	1816479,655	1847586,280
	Usle2DMC12,5SD	2977762,341	7936,498	0,000	2962209,029	2993315,653
	Usle2DWS12,5MF	697120,385	7936,498	0,000	681567,073	712673,698
	Usle2DWS12,5SD	1718420,531	8533,843	0,000	1701696,589	1735144,474
Usle2DWS12,5MF	C 12,5	6004052,976	7936,498	0,000	5988499,664	6019606,289
	Mitasova 12,5	6289759,978	7936,498	0,000	6274206,665	6305313,290
	Sextante 12,5	7973308,374	7936,498	0,000	7957755,062	7988861,686
	Topocrop 12,5	9994896,377	7936,498	0,000	9979343,065	10010449,689
	Usle2DMC12,5FD	743697,920	7936,498	0,000	728144,608	759251,232
	Usle2DMC12,5MF	1134912,582	7936,498	0,000	1119359,270	1150465,894
	Usle2DMC12,5SD	2280641,956	7936,498	0,000	2265088,643	2296195,268
	Usle2DWS12,5FD	-697120,385	7936,498	0,000	-712673,698	-681567,073
	Usle2DWS12,5SD	1021300,146	8533,843	0,000	1004576,204	1038024,088
Usle2DWS12,5SD	C 12,5	4982752,830	8533,843	0,000	4966028,888	4999476,773
	Mitasova 12,5	5268459,832	8533,843	0,000	5251735,889	5285183,774
	Sextante 12,5	6952008,228	8533,843	0,000	6935284,285	6968732,170
	Topocrop 12,5	8973596,231	8533,843	0,000	8956872,289	8990320,173
	Usle2DMC12,5FD	-277602,226	8533,843	0,000	-294326,168	-260878,284
	Usle2DMC12,5MF	113612,436	8533,843	0,000	96888,494	130336,378
	Usle2DMC12,5SD	1259341,810	8533,843	0,000	1242617,867	1276065,752
	Usle2DWS12,5FD	-1718420,531	8533,843	0,000	-1735144,474	-1701696,589
	Usle2DWS12,5MF	-1021300,146	8533,843	0,000	-1038024,088	-1004576,204

**Tabela 8** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias para os valores de LS obtidos por diferentes algoritmos através do MDT de 30 m.

MDT 30 m	
C++	Teste de Lilliefors = 0,232014, com valor p ≈ 0
Mitasova	Teste de Lilliefors = 0,410957, com valor p ≈ 0
SEXTANTE	Teste de Lilliefors = 0,26197, com valor p ≈ 0
Topocrop	Teste de Lilliefors = 0,408135, com valor p ≈ 0
USLE2DMCFD	Teste de Lilliefors = 0,319802, com valor p ≈ 0
USLE2DMCMF	Teste de Lilliefors = 0,304829, com valor p ≈ 0
USLE2DMCSD	Teste de Lilliefors = 0,341, com valor p ≈ 0
USLE2DWSFD	Teste de Lilliefors = 0,332924, com valor p ≈ 0
USLE2DWSMF	Teste de Lilliefors = 0,329741, com valor p ≈ 0
USLE2DWSSD	Teste de Lilliefors = 0,345411, com valor p ≈ 0

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
LS Ponsul MDT 30 m	Based on Mean	31142,393	9	7550920	,000
	Based on Median	17805,192	9	7550920	,000
	Based on Median and with adjusted df	17805,192	9	5310189,071	,000
	Based on trimmed mean	21293,151	9	7550920	,000

**Tabela 9** - Teste *Kruskal-Wallis* dos valores de LS obtidos por diferentes algoritmos através do MDT de 30 m.

LS Ponsul MDT 30 m	
Chi-Square	1160050,044
df	9
Asymp. Sig.	,000

**Tabela 10** - Comparação múltipla do Fator LS obtido por diferentes algoritmos através do MDT de 30 m.

Rank of LS Ponsul MDT 30 m - LSD

(I) MDT30m	(J) MDT30m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
C 30	Mitasova 30	328193,527	3262,193	0,000	321799,747	334587,307
	Sextante 30	-98144,938	3262,193	0,000	-104538,718	-91751,158
	Topocrop 30	1309324,307	3262,193	0,000	1302930,527	1315718,087
	Usle2DMC30FD	-1359129,002	3262,193	0,000	-1365522,781	-1352735,222
	Usle2DMC30MF	-1248419,053	3262,193	0,000	-1254812,833	-1242025,273
	Usle2DMC30SD	-1021643,366	3262,193	0,000	-1028037,146	-1015249,586
	Usle2DWS30FD	-1310063,018	3262,193	0,000	-1316456,798	-1303669,238
	Usle2DWS30MF	-1198396,831	3262,193	0,000	-1204790,611	-1192003,051
Mitasova 30	Usle2DWS30SD	-992475,004	3262,193	0,000	-998868,783	-986081,224
	C 30	-328193,527	3262,193	0,000	-334587,307	-321799,747
	Sextante 30	-426338,465	3262,193	0,000	-432732,245	-419944,685
	Topocrop 30	981130,780	3262,193	0,000	974737,000	987524,560
	Usle2DMC30FD	-1687322,528	3262,193	0,000	-1693716,308	-1680928,749
	Usle2DMC30MF	-1576612,580	3262,193	0,000	-1583006,360	-1570218,800

## Rank of LS Ponsul MDT 30 m - LSD

(I) MDT30m	(J) MDT30m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Usle2DMC30SD	Usle2DMC30SD	-1349836,893	3262,193	0,000	-1356230,673	-1343443,113
	Usle2DWS30FD	-1638256,545	3262,193	0,000	-1644650,325	-1631862,765
	Usle2DWS30MF	-1526590,358	3262,193	0,000	-1532984,138	-1520196,578
	Usle2DWS30SD	-1320668,531	3262,193	0,000	-1327062,310	-1314274,751
Sextante 30	C 30	98144,938	3262,193	0,000	91751,158	104538,718
	Mitasova 30	426338,465	3262,193	0,000	419944,685	432732,245
	Topocrop 30	1407469,245	3262,193	0,000	1401075,465	1413863,025
	Usle2DMC30FD	-1260984,063	3262,193	0,000	-1267377,843	-1254590,284
	Usle2DMC30MF	-1150274,115	3262,193	0,000	-1156667,895	-1143880,335
	Usle2DMC30SD	-923498,428	3262,193	0,000	-929892,208	-917104,648
	Usle2DWS30FD	-1211918,080	3262,193	0,000	-1218311,860	-1205524,300
	Usle2DWS30MF	-1100251,893	3262,193	0,000	-1106645,673	-1093858,113
	Usle2DWS30SD	-894330,066	3262,193	0,000	-900723,845	-887936,286
Topocrop 30	C 30	-1309324,307	3262,193	0,000	-1315718,087	-1302930,527
	Mitasova 30	-981130,780	3262,193	0,000	-987524,560	-974737,000
	Sextante 30	-1407469,245	3262,193	0,000	-1413863,025	-1401075,465
	Usle2DMC30FD	-2668453,308	3262,193	0,000	-2674847,088	-2662059,528
	Usle2DMC30MF	-2557743,360	3262,193	0,000	-2564137,140	-2551349,580
	Usle2DMC30SD	-2330967,673	3262,193	0,000	-2337361,453	-2324573,893
	Usle2DWS30FD	-2619387,325	3262,193	0,000	-2625781,105	-2612993,545
	Usle2DWS30MF	-2507721,138	3262,193	0,000	-2514114,918	-2501327,358
	Usle2DWS30SD	-2301799,310	3262,193	0,000	-2308193,090	-2295405,531
Usle2DMC30FD	C 30	1359129,002	3262,193	0,000	1352735,222	1365522,781
	Mitasova 30	1687322,528	3262,193	0,000	1680928,749	1693716,308
	Sextante 30	1260984,063	3262,193	0,000	1254590,284	1267377,843
	Topocrop 30	2668453,308	3262,193	0,000	2662059,528	2674847,088
	Usle2DMC30MF	110709,948	3262,193	0,000	104316,168	117103,728
	Usle2DMC30SD	337485,635	3262,193	0,000	331091,856	343879,415
	Usle2DWS30FD	49065,983	3262,193	0,000	42672,203	55459,763
	Usle2DWS30MF	160732,170	3262,193	0,000	154338,391	167125,950
	Usle2DWS30SD	366653,998	3262,193	0,000	360260,218	373047,778
Usle2DMC30MF	C 30	1248419,053	3262,193	0,000	1242025,273	1254812,833
	Mitasova 30	1576612,580	3262,193	0,000	1570218,800	1583006,360
	Sextante 30	1150274,115	3262,193	0,000	1143880,335	1156667,895
	Topocrop 30	2557743,360	3262,193	0,000	2551349,580	2564137,140
	Usle2DMC30FD	-110709,948	3262,193	0,000	-117103,728	-104316,168
	Usle2DMC30SD	226775,687	3262,193	0,000	220381,907	233169,467
	Usle2DWS30FD	-61643,965	3262,193	0,000	-68037,745	-55250,185
	Usle2DWS30MF	50022,222	3262,193	0,000	43628,442	56416,002
	Usle2DWS30SD	255944,050	3262,193	0,000	249550,270	262337,829
Usle2DMC30SD	C 30	1021643,366	3262,193	0,000	1015249,586	1028037,146
	Mitasova 30	1349836,893	3262,193	0,000	1343443,113	1356230,673

## Rank of LS Ponsul MDT 30 m - LSD

(I) MDT30m	(J) MDT30m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
	Sextante 30	923498,428	3262,193	0,000	917104,648	929892,208
	Topocrop 30	2330967,673	3262,193	0,000	2324573,893	2337361,453
	Usle2DMC30FD	-337485,635	3262,193	0,000	-343879,415	-331091,856
	Usle2DMC30MF	-226775,687	3262,193	0,000	-233169,467	-220381,907
	Usle2DWS30FD	-288419,652	3262,193	0,000	-294813,432	-282025,872
	Usle2DWS30MF	-176753,465	3262,193	0,000	-183147,245	-170359,685
	Usle2DWS30SD	29168,363	3262,193	0,000	22774,583	35562,142
Usle2DWS30FD	C 30	1310063,018	3262,193	0,000	1303669,238	1316456,798
	Mitasova 30	1638256,545	3262,193	0,000	1631862,765	1644650,325
	Sextante 30	1211918,080	3262,193	0,000	1205524,300	1218311,860
	Topocrop 30	2619387,325	3262,193	0,000	2612993,545	2625781,105
	Usle2DMC30FD	-49065,983	3262,193	0,000	-55459,763	-42672,203
	Usle2DMC30MF	61643,965	3262,193	0,000	55250,185	68037,745
	Usle2DMC30SD	288419,652	3262,193	0,000	282025,872	294813,432
	Usle2DWS30MF	111666,187	3262,193	0,000	105272,407	118059,967
	Usle2DWS30SD	317588,015	3262,193	0,000	311194,235	323981,794
Usle2DWS30MF	C 30	1198396,831	3262,193	0,000	1192003,051	1204790,611
	Mitasova 30	1526590,358	3262,193	0,000	1520196,578	1532984,138
	Sextante 30	1100251,893	3262,193	0,000	1093858,113	1106645,673
	Topocrop 30	2507721,138	3262,193	0,000	2501327,358	2514114,918
	Usle2DMC30FD	-160732,170	3262,193	0,000	-167125,950	-154338,391
	Usle2DMC30MF	-50022,222	3262,193	0,000	-56416,002	-43628,442
	Usle2DMC30SD	176753,465	3262,193	0,000	170359,685	183147,245
	Usle2DWS30FD	-111666,187	3262,193	0,000	-118059,967	-105272,407
	Usle2DWS30SD	205921,827	3262,193	0,000	199528,048	212315,607
Usle2DWS30SD	C 30	992475,004	3262,193	0,000	986081,224	998868,783
	Mitasova 30	1320668,531	3262,193	0,000	1314274,751	1327062,310
	Sextante 30	894330,066	3262,193	0,000	887936,286	900723,845
	Topocrop 30	2301799,310	3262,193	0,000	2295405,531	2308193,090
	Usle2DMC30FD	-366653,998	3262,193	0,000	-373047,778	-360260,218
	Usle2DMC30MF	-255944,050	3262,193	0,000	-262337,829	-249550,270
	Usle2DMC30SD	-29168,363	3262,193	0,000	-35562,142	-22774,583
	Usle2DWS30FD	-317588,015	3262,193	0,000	-323981,794	-311194,235
	Usle2DWS30MF	-205921,827	3262,193	0,000	-212315,607	-199528,048

**Tabela 11** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias para os valores de LS obtidos por diferentes algoritmos através do MDT de 80 m.

MDT 80 m	
C++	Teste de Lilliefors = 0,280794, com valor $p \approx 0$
Mitasova	Teste de Lilliefors = 0,389833, com valor $p \approx 0$
SEXTANTE	Teste de Lilliefors = 0,213732, com valor $p \approx 0$
Topocrop	Teste de Lilliefors = 0,386752, com valor $p \approx 0$
USLE2DMCFD	Teste de Lilliefors = 0,330316, com valor $p \approx 0$
USLE2DMCMF	Teste de Lilliefors = 0,323122, com valor $p \approx 0$
USLE2DMCSD	Teste de Lilliefors = 0,344961, com valor $p \approx 0$
USLE2DWSFD	Teste de Lilliefors = 0,369876, com valor $p \approx 0$
USLE2DWSMF	Teste de Lilliefors = 0,371391, com valor $p \approx 0$
USLE2DWSSD	Teste de Lilliefors = 0,383798, com valor $p \approx 0$

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
LS Ponsul MDT 80 m	Based on Mean	5901,266	9	1061930	,000
	Based on Median	2610,916	9	1061930	,000
	Based on Median and with adjusted df	2610,916	9	565064,740	,000
	Based on trimmed mean	3055,047	9	1061930	,000

**Tabela 12** - Teste *Kruskal-Wallis* dos valores de LS obtidos por diferentes algoritmos através do MDT de 80 m.

LS Ponsul MDT 80 m	
Chi-Square	194701,592
df	9
Asymp. Sig.	,000

**Tabela 13** - Comparação múltipla do Fator LS obtido por diferentes algoritmos através do MDT de 80 m.

Rank of LS Ponsul MDT 80 m - LSD						
		95% Confidence Interval				
(I) MDT80m	(J) MDT80m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
C 80	Mitasova 80	20259,227	1201,981	0,000	17903,386	22615,068
	Sextante 80	-148582,181	1201,981	0,000	-150938,023	-146226,340
	Topocrop 80	227703,622	1201,981	0,000	225347,781	230059,463
	Usle2DMC80FD	-205489,006	1201,981	0,000	-207844,848	-203133,165
	Usle2DMC80MF	-195452,637	1201,981	0,000	-197808,479	-193096,796
	Usle2DMC80SD	-155127,898	1201,981	0,000	-157483,739	-152772,057
	Usle2DWS80FD	-188010,094	1201,981	0,000	-190365,936	-185654,253
	Usle2DWS80MF	-177034,644	1201,981	0,000	-179390,485	-174678,803
	Usle2DWS80SD	-135193,269	1201,981	0,000	-137549,110	-132837,428
Mitasova 80	C 80	-20259,227	1201,981	0,000	-22615,068	-17903,386
	Sextante 80	-168841,409	1201,981	0,000	-171197,250	-166485,567
	Topocrop 80	207444,395	1201,981	0,000	205088,554	209800,236
	Usle2DMC80FD	-225748,234	1201,981	0,000	-228104,075	-223392,392

## Rank of LS Ponsul MDT 80 m - LSD

(I) MDT80m	(J) MDT80m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
	Usle2DMC80MF	-215711,865	1201,981	0,000	-218067,706	-213356,023
	Usle2DMC80SD	-175387,125	1201,981	0,000	-177742,966	-173031,284
	Usle2DWS80FD	-208269,322	1201,981	0,000	-210625,163	-205913,480
	Usle2DWS80MF	-197293,871	1201,981	0,000	-199649,712	-194938,030
	Usle2DWS80SD	-155452,496	1201,981	0,000	-157808,337	-153096,655
Sextante 80	C 80	148582,181	1201,981	0,000	146226,340	150938,023
	Mitasova 80	168841,409	1201,981	0,000	166485,567	171197,250
	Topocrop 80	376285,804	1201,981	0,000	373929,962	378641,645
	Usle2DMC80FD	-56906,825	1201,981	0,000	-59262,666	-54550,984
	Usle2DMC80MF	-46870,456	1201,981	0,000	-49226,297	-44514,615
	Usle2DMC80SD	-6545,716	1201,981	0,000	-8901,558	-4189,875
	Usle2DWS80FD	-39427,913	1201,981	0,000	-41783,754	-37072,072
	Usle2DWS80MF	-28452,462	1201,981	0,000	-30808,304	-26096,621
Topocrop 80	Usle2DWS80SD	13388,913	1201,981	0,000	11033,071	15744,754
	C 80	-227703,622	1201,981	0,000	-230059,463	-225347,781
	Mitasova 80	-207444,395	1201,981	0,000	-209800,236	-205088,554
	Sextante 80	-376285,804	1201,981	0,000	-378641,645	-373929,962
	Usle2DMC80FD	-433192,629	1201,981	0,000	-435548,470	-430836,788
	Usle2DMC80MF	-423156,260	1201,981	0,000	-425512,101	-420800,419
	Usle2DMC80SD	-382831,520	1201,981	0,000	-385187,361	-380475,679
	Usle2DWS80FD	-415713,717	1201,981	0,000	-418069,558	-413357,876
	Usle2DWS80MF	-404738,266	1201,981	0,000	-407094,107	-402382,425
	Usle2DWS80SD	-362896,891	1201,981	0,000	-365252,732	-360541,050
Usle2DMC80FD	C 80	205489,006	1201,981	0,000	203133,165	207844,848
	Mitasova 80	225748,234	1201,981	0,000	223392,392	228104,075
	Sextante 80	56906,825	1201,981	0,000	54550,984	59262,666
	Topocrop 80	433192,629	1201,981	0,000	430836,788	435548,470
	Usle2DMC80MF	10036,369	1201,981	0,000	7680,528	12392,210
	Usle2DMC80SD	50361,109	1201,981	0,000	48005,268	52716,950
	Usle2DWS80FD	17478,912	1201,981	0,000	15123,071	19834,753
	Usle2DWS80MF	28454,363	1201,981	0,000	26098,522	30810,204
	Usle2DWS80SD	70295,738	1201,981	0,000	67939,896	72651,579
Usle2DMC80MF	C 80	195452,637	1201,981	0,000	193096,796	197808,479
	Mitasova 80	215711,865	1201,981	0,000	213356,023	218067,706
	Sextante 80	46870,456	1201,981	0,000	44514,615	49226,297
	Topocrop 80	423156,260	1201,981	0,000	420800,419	425512,101
	Usle2DMC80FD	-10036,369	1201,981	0,000	-12392,210	-7680,528
	Usle2DMC80SD	40324,740	1201,981	0,000	37968,898	42680,581
	Usle2DWS80FD	7442.542973 <sup>*</sup>	1201,981	0,000	5086,702	9798,384
	Usle2DWS80MF	18417,994	1201,981	0,000	16062,152	20773,835
	Usle2DWS80SD	60259,369	1201,981	0,000	57903,527	62615,210
Usle2DMC80SD	C 80	155127,898	1201,981	0,000	152772,057	157483,739

## Rank of LS Ponsul MDT 80 m - LSD

(I) MDT80m	(J) MDT80m	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
	Mitasova 80	175387,125	1201,981	0,000	173031,284	177742,966
	Sextante 80	6545.716345 <sup>z</sup>	1201,981	0,000	4189,875	8901,558
	Topocrop 80	382831,520	1201,981	0,000	380475,679	385187,361
	Usle2DMC80FD	-50361,109	1201,981	0,000	-52716,950	-48005,268
	Usle2DMC80MF	-40324,740	1201,981	0,000	-42680,581	-37968,898
	Usle2DWS80FD	-32882,197	1201,981	0,000	-35238,038	-30526,356
	Usle2DWS80MF	-21906,746	1201,981	0,000	-24262,587	-19550,905
	Usle2DWS80SD	19934,629	1201,981	0,000	17578,788	22290,470
Usle2DWS80FD	C 80	188010,094	1201,981	0,000	185654,253	190365,936
	Mitasova 80	208269,322	1201,981	0,000	205913,480	210625,163
	Sextante 80	39427,913	1201,981	0,000	37072,072	41783,754
	Topocrop 80	415713,717	1201,981	0,000	413357,876	418069,558
	Usle2DMC80FD	-17478,912	1201,981	0,000	-19834,753	-15123,071
	Usle2DMC80MF	-7442,543	1201,981	0,000	-9798,384	-5086,702
	Usle2DMC80SD	32882,197	1201,981	0,000	30526,356	35238,038
	Usle2DWS80MF	10975,451	1201,981	0,000	8619,610	13331,292
	Usle2DWS80SD	52816,826	1201,981	0,000	50460,984	55172,667
Usle2DWS80MF	C 80	177034,644	1201,981	0,000	174678,803	179390,485
	Mitasova 80	197293,871	1201,981	0,000	194938,030	199649,712
	Sextante 80	28452,462	1201,981	0,000	26096,621	30808,304
	Topocrop 80	404738,266	1201,981	0,000	402382,425	407094,107
	Usle2DMC80FD	-28454,363	1201,981	0,000	-30810,204	-26098,522
	Usle2DMC80MF	-18417,994	1201,981	0,000	-20773,835	-16062,152
	Usle2DMC80SD	21906,746	1201,981	0,000	19550,905	24262,587
	Usle2DWS80FD	-10975,451	1201,981	0,000	-13331,292	-8619,610
	Usle2DWS80SD	41841,375	1201,981	0,000	39485,534	44197,216
Usle2DWS80SD	C 80	135193,269	1201,981	0,000	132837,428	137549,110
	Mitasova 80	155452,496	1201,981	0,000	153096,655	157808,337
	Sextante 80	-13388,913	1201,981	0,000	-15744,754	-11033,071
	Topocrop 80	362896,891	1201,981	0,000	360541,050	365252,732
	Usle2DMC80FD	-70295,738	1201,981	0,000	-72651,579	-67939,896
	Usle2DMC80MF	-60259,369	1201,981	0,000	-62615,210	-57903,527
	Usle2DMC80SD	-19934,629	1201,981	0,000	-22290,470	-17578,788
	Usle2DWS80FD	-52816,826	1201,981	0,000	-55172,667	-50460,984
	Usle2DWS80MF	-41841,375	1201,981	0,000	-44197,216	-39485,534

**Tabela 14** - Teste da normalidade para os valores de LS obtidos através de MDT de resoluções espaciais diferentes.

MDT	C++
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,28248, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,232014, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,280794, com valor $p \approx 0$
MITASOVA	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,435871, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,410957, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,389833, com valor $p \approx 0$
SEXTANTE	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,332584, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,26197, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,213732, com valor $p \approx 0$
TOPOCROP	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,433167, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,408135, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,386752, com valor $p \approx 0$
USLE2DMCFD	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,369724, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,319802, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,330316, com valor $p \approx 0$
USLE2DMCMF	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,354765, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,304829, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,323122, com valor $p \approx 0$
USLE2DMCSD	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,389624, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,341, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,344961, com valor $p \approx 0$
USLE2DWSFD	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,351431, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,332924, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,369876, com valor $p \approx 0$
USLE2DWSMF	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,345788, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,329741, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,371391, com valor $p \approx 0$
USLE2DWSSD	
MDT 12,5 m	Teste de Lilliefors = 0,364428, com valor $p \approx 0$
MDT 30 m	Teste de Lilliefors = 0,345411, com valor $p \approx 0$
MDT 80 m	Teste de Lilliefors = 0,383798, com valor $p \approx 0$

**Tabela 15** - Teste de homogeneidade de variâncias para os valores de LS obtidos através de MDT de resoluções espaciais diferentes.

		Based on Mean	Based on Median	Based on Median and with adjusted df	Based on trimmed mean
LSPonsul C++	Levene Statistic	1866,803	2375,179	2375,179	2397,916
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul Mitasova	Levene Statistic	698,253	480,304	480,304	610,049
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul Sextante	Levene Statistic	41970,006	36572,502	36572,502	44655,158
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul Topocrop	Levene Statistic	835,046	520,746	520,746	554,427
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul USLE2DMCFD	Levene Statistic	5222,630	3062,951	3062,951	3804,419
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul USLE2DMCMF	Levene Statistic	8081,901	4527,180	4527,180	5752,624
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul USLE2DMCSD	Levene Statistic	6120,333	3697,791	3697,791	4439,808
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul USLE2DWSFD	Levene Statistic	12002,853	5695,078	5695,078	6451,521
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul USLE2DWSMF	Levene Statistic	15210,034	7041,743	7041,743	8058,480
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000
LSPonsul USLE2DWSSD	Levene Statistic	17316,178	8091,714	8091,714	9201,298
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000

**Tabela 16** - Teste *Kruskal-Wallis* dos valores de LS obtidos através de MDT de resoluções espaciais diferentes.

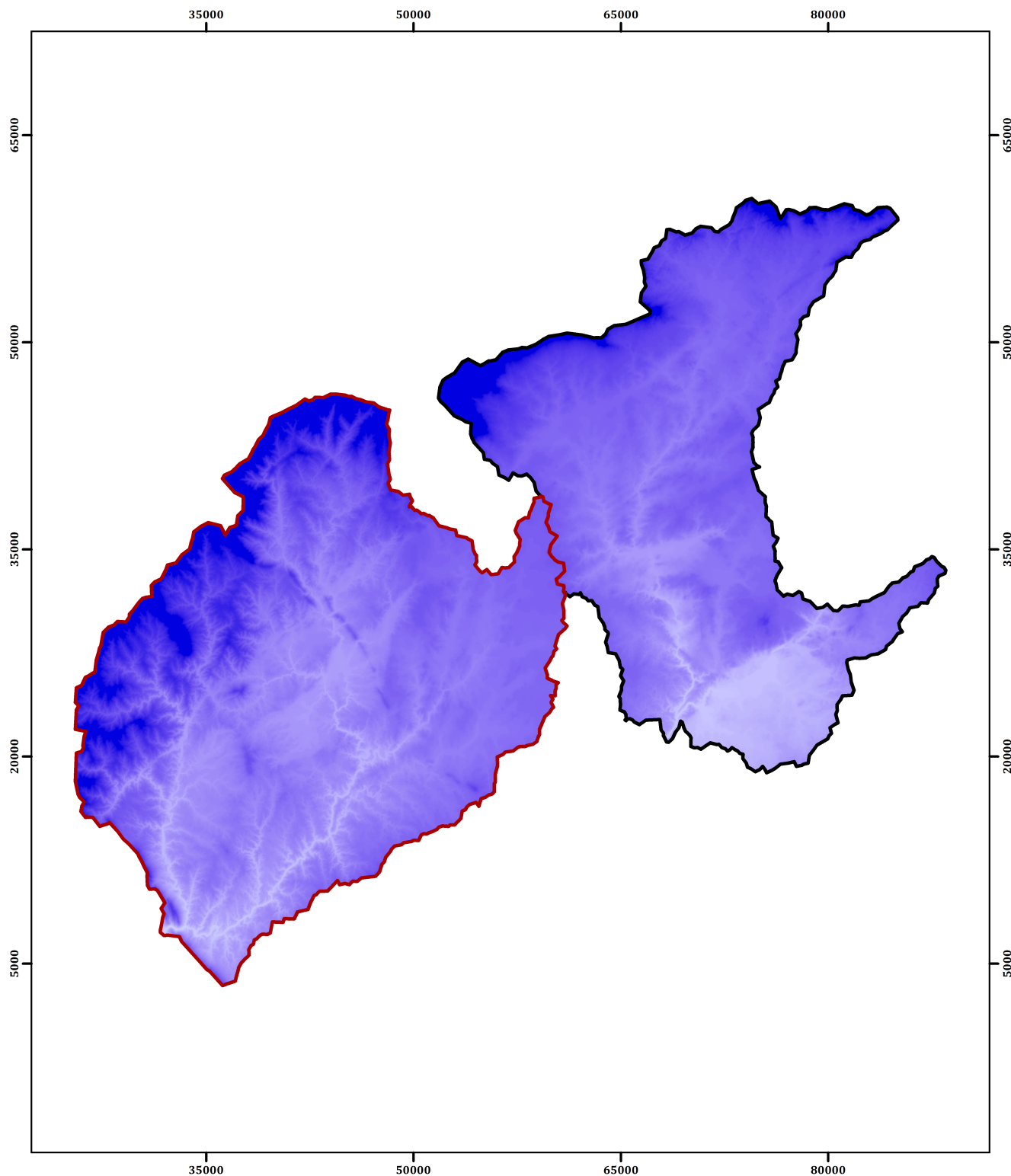
Kruskal Wallis	Chi-Square	df	Asymp. Sig.
C ++	84091,72	2	0,000
Mitasova	256,222	2	0,000
Sextante	14415,805	2	0,000
Topocrop	10417,232	2	0,000
USLE2DMCFD	157433,575	2	0,000
USLE2DMCMF	161828,745	2	0,000
USLE2DMCSD	196873,089	2	0,000
USLE2DWSFD	163032,134	2	0,000
USLE2DWSMF	173791,778	2	0,000
USLE2DWSSD	190614,511	2	0,000

**Tabela 17** - Comparação múltipla do Fator LS obtido através de MDT de resoluções espaciais diferentes.

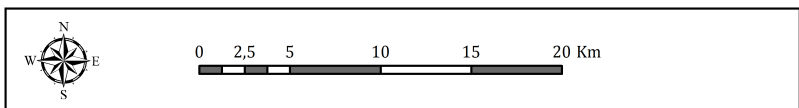
(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
C12.5	C30	-510800,100	1833,240	0,000	-514393,000	-507207,000
	C80	-479113,800	4567,159	0,000	-488065,000	-470162,000
C30	C12.5	510800,100	1833,240	0,000	507207,000	514393,000
	C80	31686,330	4819,275	0,000	22240,720	41131,931
C80	C12.5	479113,800	4567,159	0,000	470162,000	488065,000
	C30	-31686,330	4819,275	0,000	-41131,931	-22240,720
MITASOVA12.5	MITASOVA30	10455,980	1812,370	0,000	6903,796	14008,154
	MITASOVA80	-65752,680	4515,164	0,000	-74602,243	-56903,127
MITASOVA30	MITASOVA12.5	-10455,980	1812,370	0,000	-14008,154	-6903,796
	MITASOVA80	-76208,660	4764,410	0,000	-85546,731	-66870,589
MITASOVA80	MITASOVA12.5	65752,680	4515,164	0,000	56903,127	74602,243
	MITASOVA30	76208,660	4764,410	0,000	66870,589	85546,731
SEXTANTE12.5	SEXTANTE30	-80336,550	1819,049	0,000	-83901,823	-76771,283
	SEXTANTE80	-517768,900	4531,804	0,000	-526651,000	-508887,000
SEXTANTE30	SEXTANTE12.5	80336,550	1819,049	0,000	76771,283	83901,823
	SEXTANTE80	-437432,400	4781,969	0,000	-446805,000	-428060,000
SEXTANTE80	SEXTANTE12.5	517768,900	4531,804	0,000	508887,000	526651,000
	SEXTANTE30	437432,400	4781,969	0,000	428060,000	446805,000
TOPOCROP12.5	TOPOCROP30	153461,000	1810,609	0,000	149912,000	157010,000
	TOPOCROP80	279575,600	4510,777	0,000	270735,000	288417,000
TOPOCROP30	TOPOCROP12.5	-153461,000	1810,609	0,000	-157010,000	-149912,000
	TOPOCROP80	126114,600	4759,780	0,000	116786,000	135444,000
TOPOCROP80	TOPOCROP12.5	-279575,600	4510,777	0,000	-288417,000	-270735,000
	TOPOCROP30	-126114,600	4759,780	0,000	-135444,000	-116786,000
USLE2DMC12.5FD	USLE2DMC30FD	-705189,900	1830,255	0,000	-708777,000	-701603,000
	USLE2DMC80FD	-640669,400	4559,722	0,000	-649606,000	-631732,000
USLE2DMC30FD	USLE2DMC12.5FD	705189,900	1830,255	0,000	701603,000	708777,000
	USLE2DMC80FD	64520,490	4811,427	0,000	55090,268	73950,716
USLE2DMC80FD	USLE2DMC12.5FD	640669,400	4559,722	0,000	631732,000	649606,000
	USLE2DMC30FD	-64520,490	4811,427	0,000	-73950,716	-55090,268
USLE2DMC12.5MF	USLE2DMC30MF	-711654,200	1829,459	0,000	-715240,000	-708069,000
	USLE2DMC80MF	-675293,600	4557,739	0,000	-684227,000	-666361,000
USLE2DMC30MF	USLE2DMC12.5MF	711654,200	1829,459	0,000	708069,000	715240,000
	USLE2DMC80MF	36360,650	4809,335	0,000	26934,531	45786,775
USLE2DMC80MF	USLE2DMC12.5MF	675293,600	4557,739	0,000	666361,000	684227,000
	USLE2DMC30MF	-36360,650	4809,335	0,000	-45786,775	-26934,531
USLE2DMC12.5SD	USLE2DMC30SD	-788644,700	1823,099	0,000	-792218,000	-785071,000
	USLE2DMC80SD	-715990,000	4541,893	0,000	-724892,000	-707088,000
USLE2DMC30SD	USLE2DMC12.5SD	788644,700	1823,099	0,000	785071,000	792218,000
	USLE2DMC80SD	72654,730	4792,614	0,000	63261,382	82048,083

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
USLE2DMC80SD	USLE2DMC12.5SD	715990,000	4541,893	0,000	707088,000	724892,000
	USLE2DMC30SD	-72654,730	4792,614	0,000	-82048,083	-63261,382
USLE2DWS12.5FD	USLE2DWS30FD	-726964,900	1844,395	0,000	-730580,000	-723350,000
	USLE2DWS80FD	-629412,800	4594,950	0,000	-638419,000	-620407,000
USLE2DWS30FD	USLE2DWS12.5FD	726964,900	1844,395	0,000	723350,000	730580,000
	USLE2DWS80FD	97552,110	4848,600	0,000	88049,032	107055,000
USLE2DWS80FD	USLE2DWS12.5FD	629412,800	4594,950	0,000	620407,000	638419,000
	USLE2DWS30FD	-97552,110	4848,600	0,000	-107055,000	-88049,032
USLE2DWS12.5MF	USLE2DWS30MF	-744117,400	1831,323	0,000	-747707,000	-740528,000
	USLE2DWS80MF	-661992,800	4562,381	0,000	-670935,000	-653051,000
USLE2DWS30MF	USLE2DWS12.5MF	744117,400	1831,323	0,000	740528,000	747707,000
	USLE2DWS80MF	82124,630	4814,234	0,000	72688,908	91560,356
USLE2DWS80MF	USLE2DWS12.5MF	661992,800	4562,381	0,000	653051,000	670935,000
	USLE2DWS30MF	-82124,630	4814,234	0,000	-91560,356	-72688,908
USLE2DWS12.5SD	USLE2DWS30SD	-644553,900	1491,914	0,000	-647478,000	-641630,000
	USLE2DWS80SD	-535559,900	3647,302	0,000	-542708,000	-528411,000
USLE2DWS30SD	USLE2DWS12.5SD	644553,900	1491,914	0,000	641630,000	647478,000
	USLE2DWS80SD	108994,000	3834,392	0,000	101479,000	116509,000
USLE2DWS80SD	USLE2DWS12.5SD	535559,900	3647,302	0,000	528411,000	542708,000
	USLE2DWS30SD	-108994,000	3834,392	0,000	-116509,000	-101479,000

## **ANEXO X - Mapas de Distribuição Espacial do Fator R**



Mapa de Distribuição do Fator R  
Regressão Linear  
Resolução Espacial 12,5 m



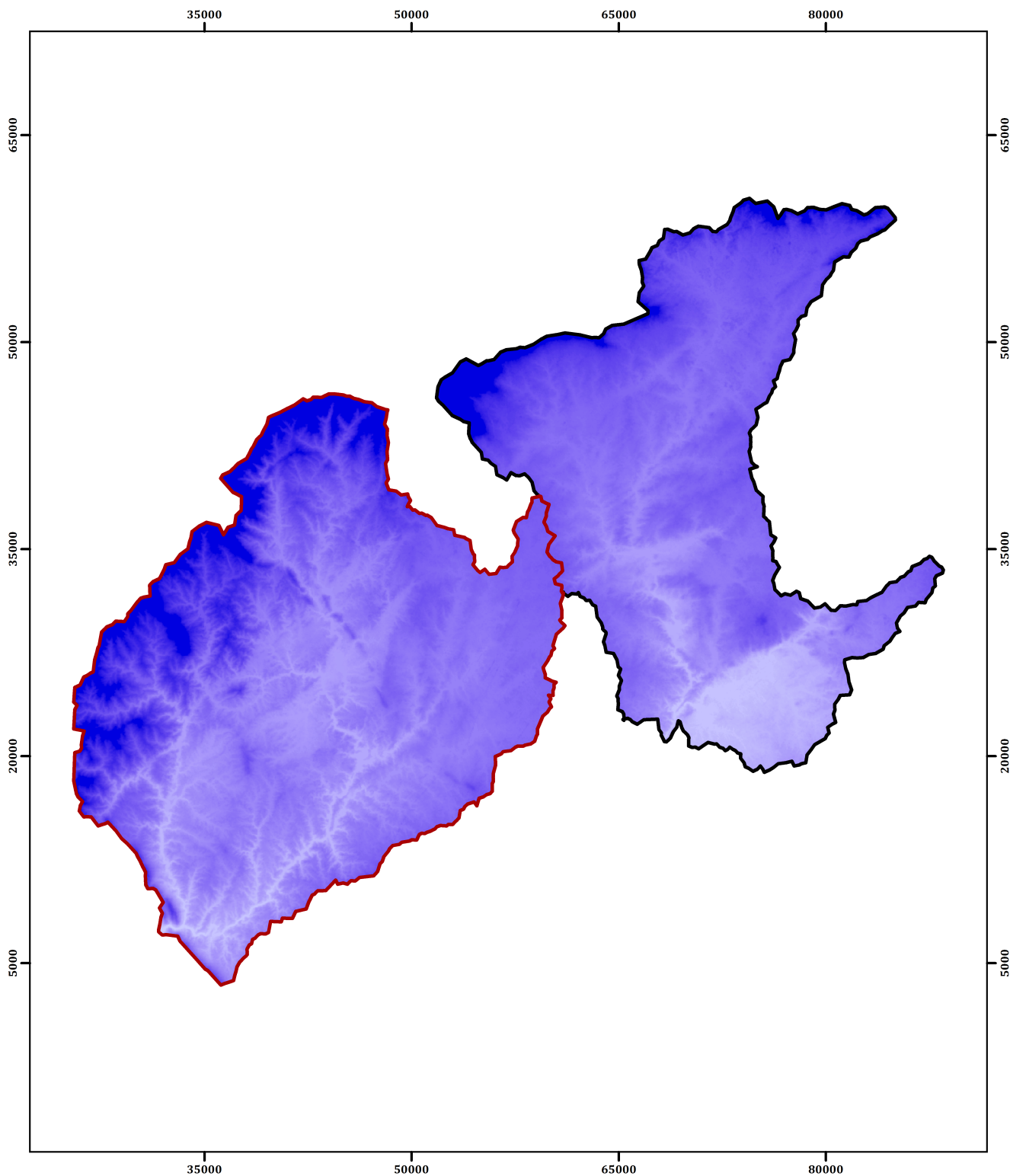
Anexo X - Figura 32

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06



Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013

Legenda		Fator R Ponsul (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Fator R Ocreza (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza		
	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul		
		502.166	451.336
		84.1854	75.976

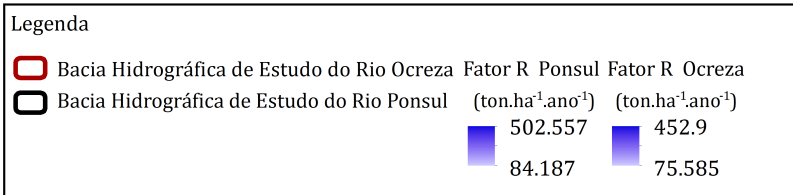
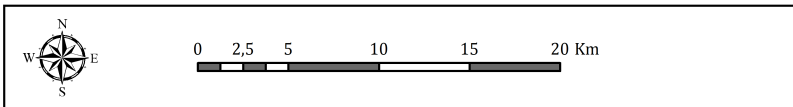


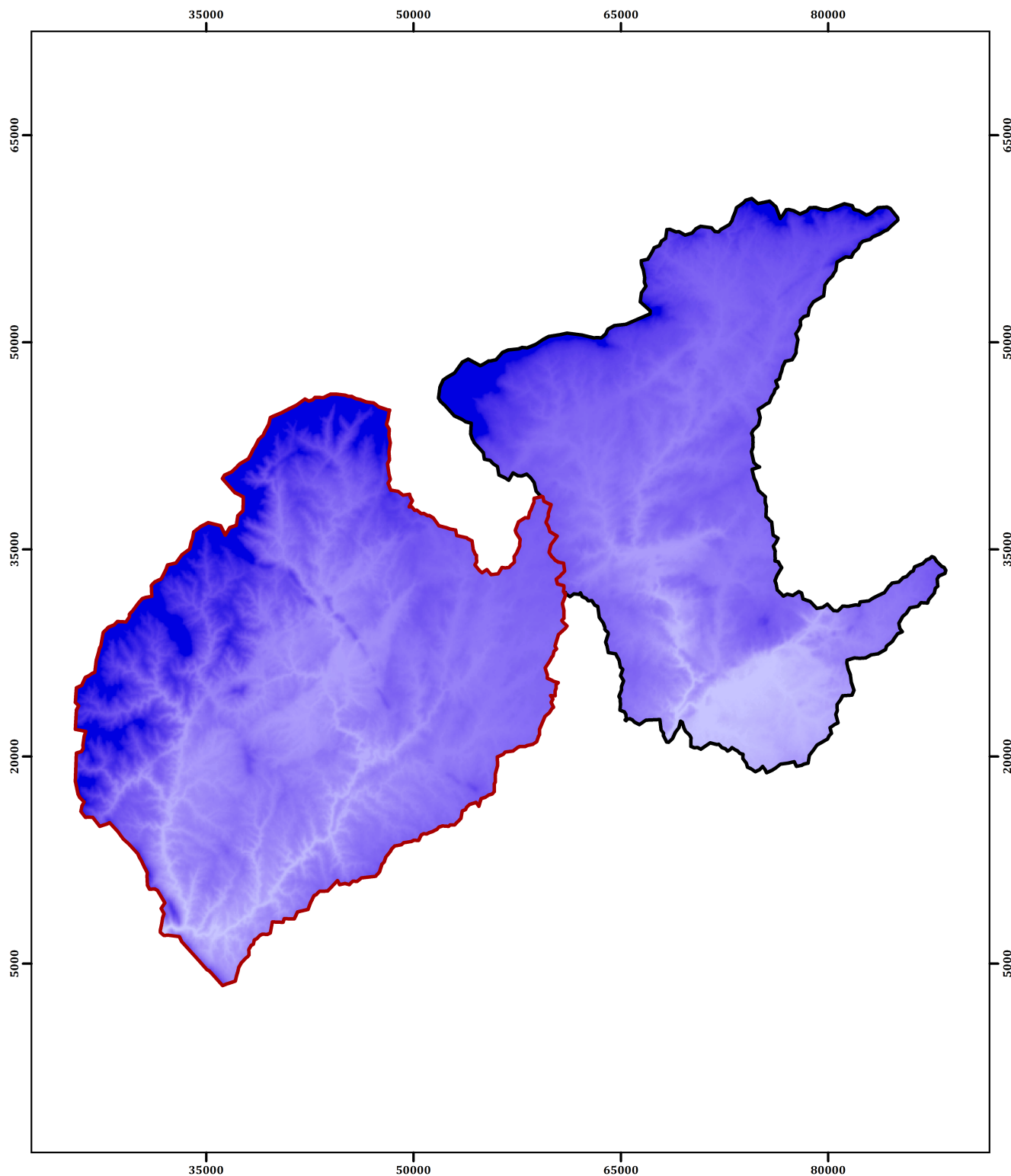
Mapa de Distribuição do Fator R  
Regressão Linear  
Resolução Espacial 30 m

Anexo X - Figura 33

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013





Mapa de Distribuição do Fator R  
Regressão Linear  
Resolução Espacial 80 m

Anexo X - Figura 34

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013

0 2,5 5 10 15 20 Km

Legenda

	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza	Fator R Ponsul	Fator R Ocreza
	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul	(ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	(ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
		500.211	449.381
		86.924	77.931

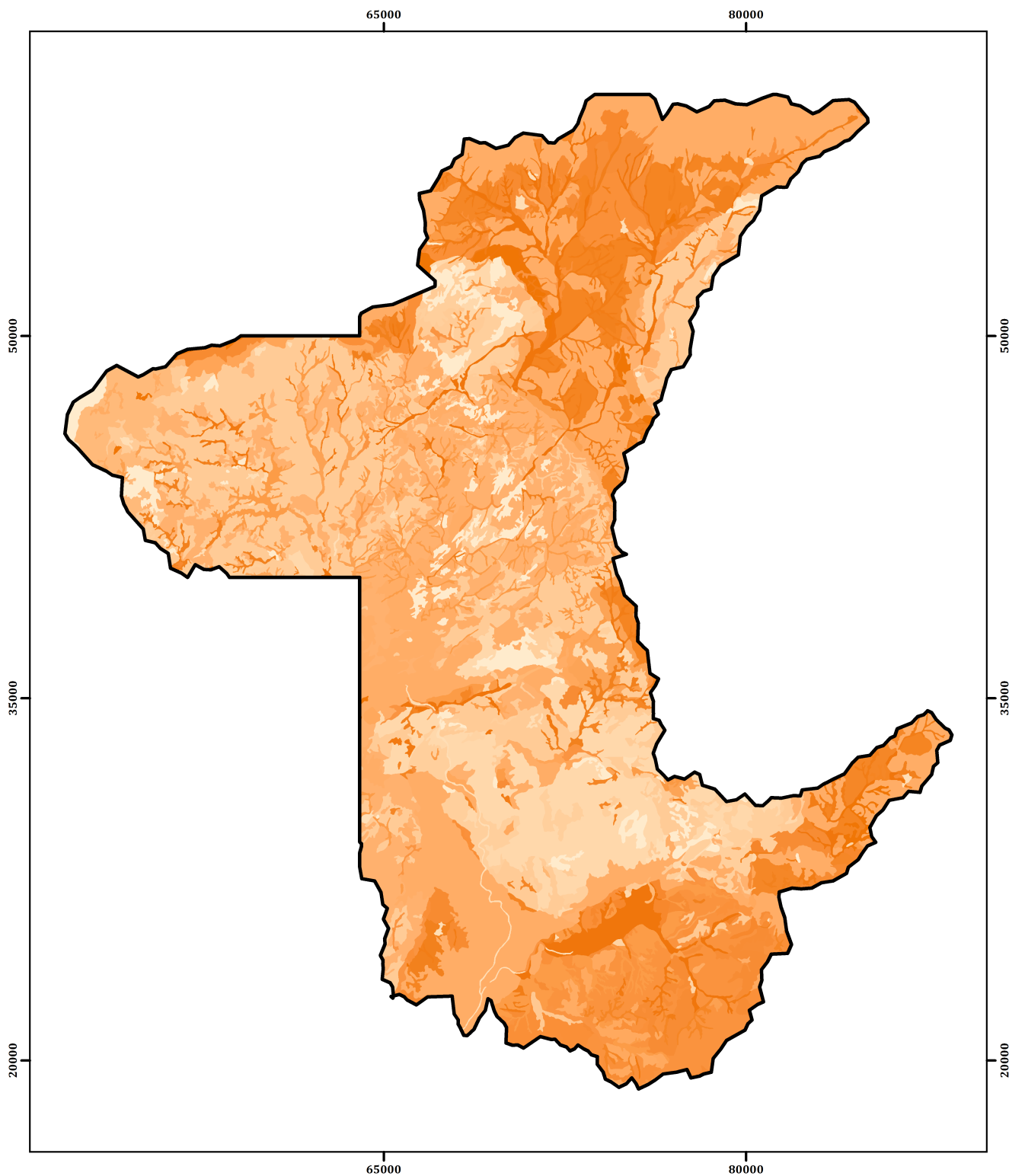
## **ANEXO XI - Comparação de Resultados e Mapas de Distribuição Espacial do Fator K**

**Tabela 18** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias para os valores de K obtidos por cartografias de solos diferentes.

Fator K - solos 25 k		Teste de Lilliefors = 0,128449, com valor $p \approx 0$			
Fator K - solos 100 k		Teste de Lilliefors = 0,184189, com valor $p \approx 0$			
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Fator K	Based on Mean	3592,200	1	200601	,000
	Based on Median	1883,386	1	200601	,000
	Based on Median and with adjusted df	1883,386	1	196221,862	,000
	Based on trimmed mean	3133,964	1	200601	,000

**Tabela 19** - Teste de *Mann-Whitney-Wilcoxon* para valores de K obtidos por duas cartografias de solos diferentes.

Fator K	
Mann-Whitney U	452600000000,000
Wilcoxon W	955200000000
Z	-39020,000
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

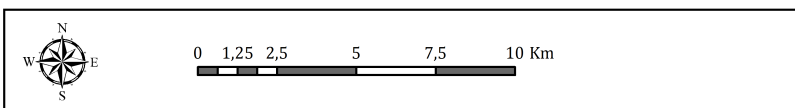


Mapa do Fator K  
 Origem: Cartografia 1:25 000  
 Resolução Espacial 12,5 m



Anexo XI - Figura 35

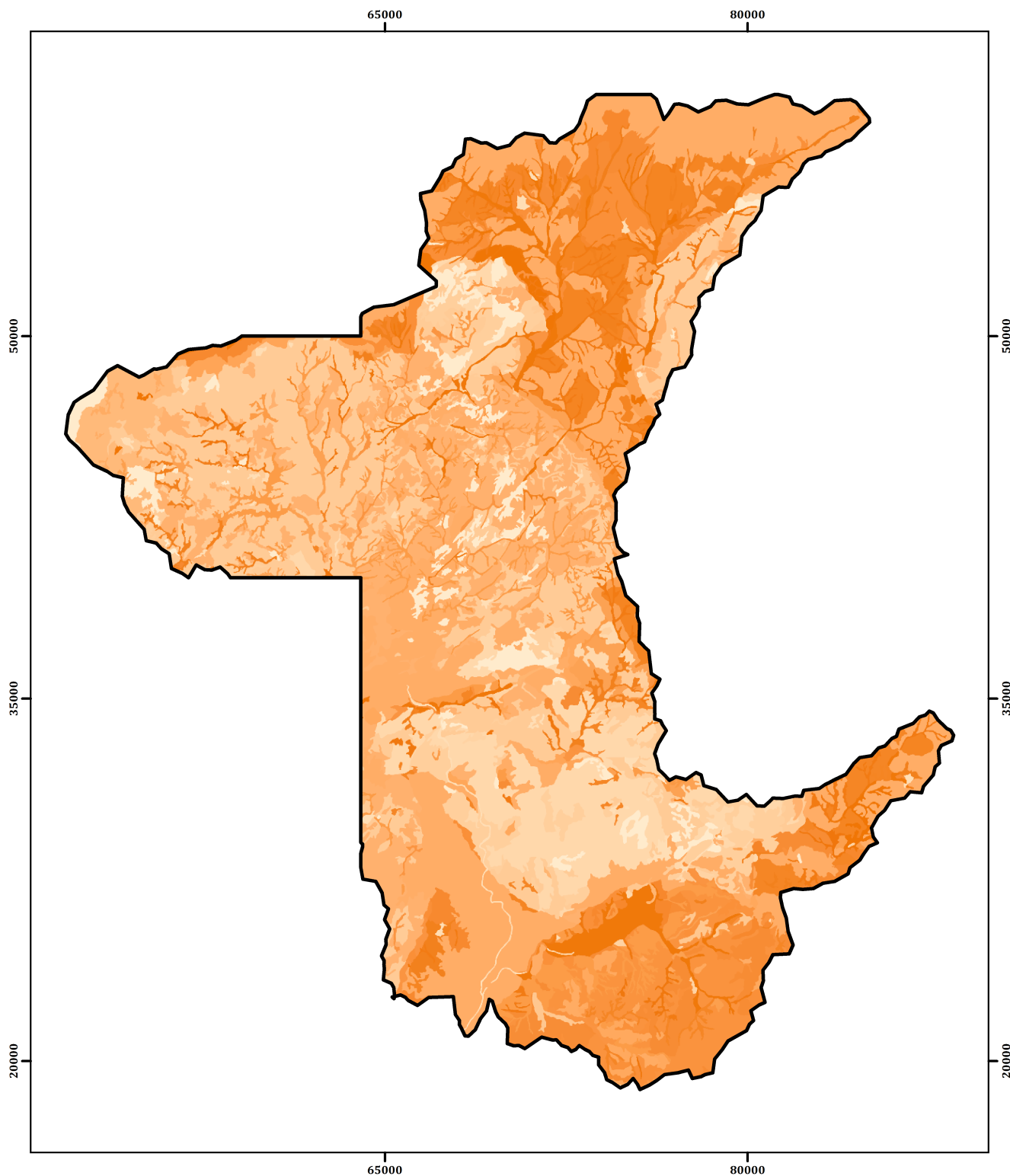
Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013

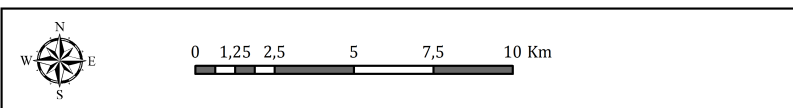


Legenda


 Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul Fator K Ponsul 12,5m  
 (unidades métricas)  

 0.459  
 0



Mapa do Fator K  
 Origem: Cartografia 1:25 000  
 Resolução Espacial 30 m




Anexo XI - Figura 36

Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06





Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013

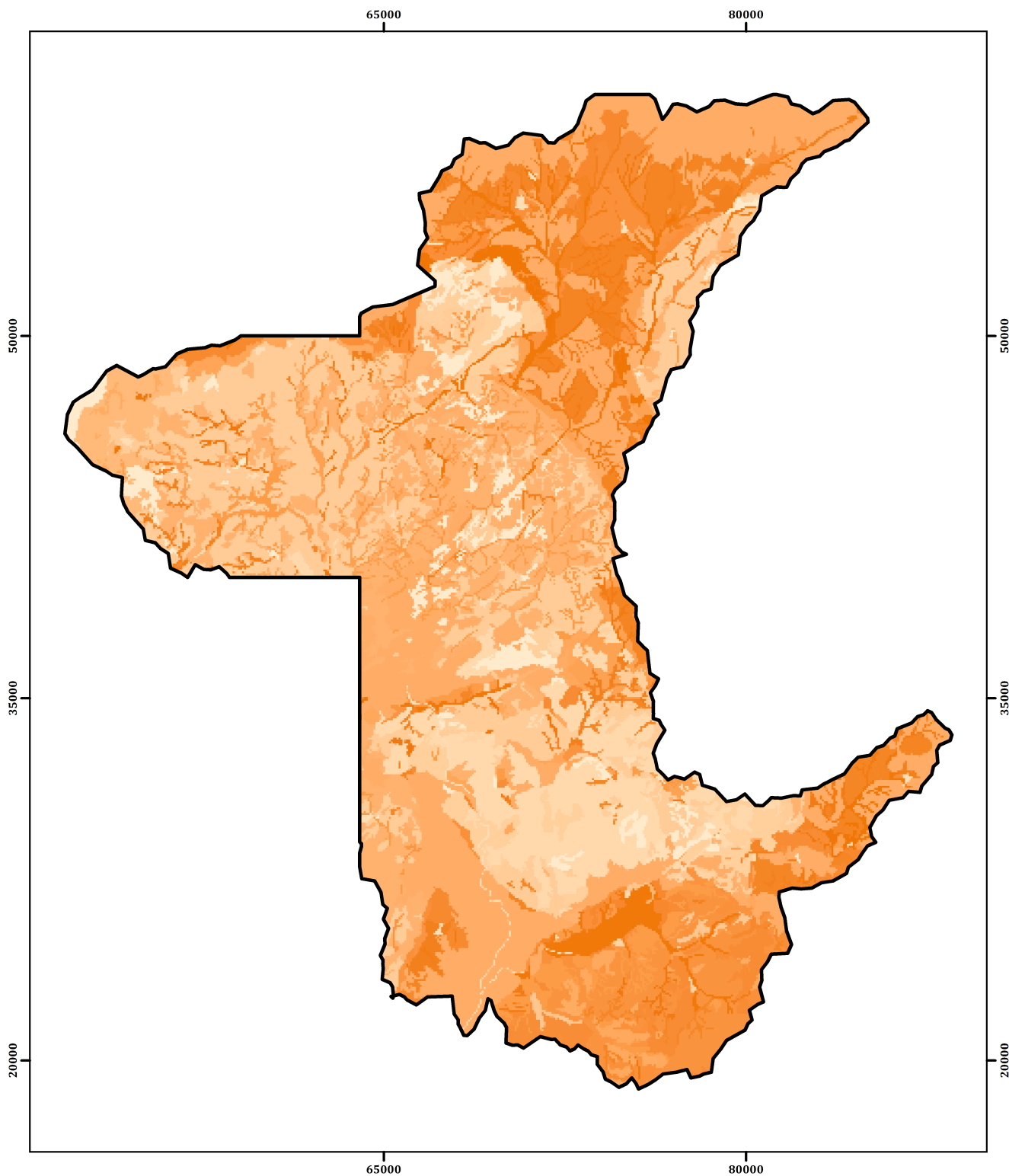
Legenda

 Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul Fator K Ponsul 30 m

(unidades métricas)

 0,459

 0

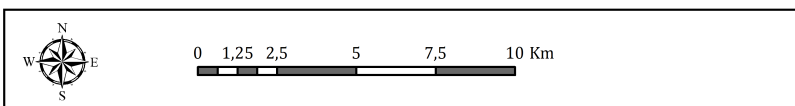


Mapa do Fator K  
 Origem: Cartografia 1:25 000  
 Resolução Espacial 80 m

Anexo XI - Figura 37

Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

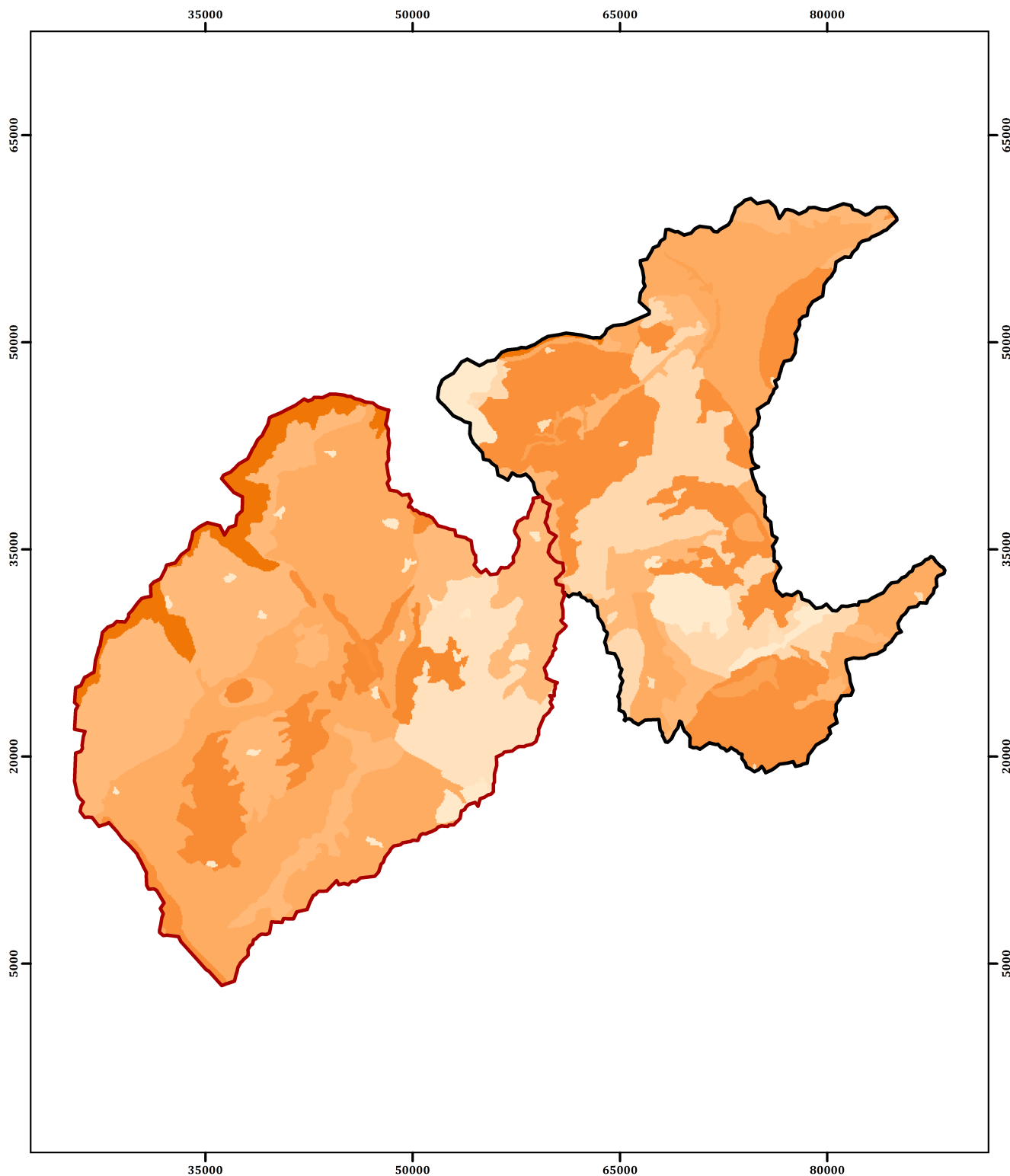
Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013



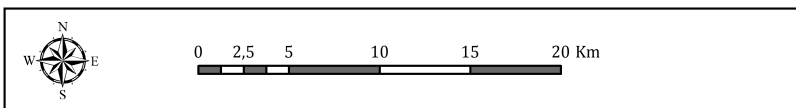
Legenda

Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul Fator K Ponsul 80 m  
 (unidades métricas)  

 0,459  
 0



**Mapa do Fator K**  
 Origem: Cartografia 1:100 000  
 Resolução Espacial 80 m



Anexo XI - Figura 38

Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

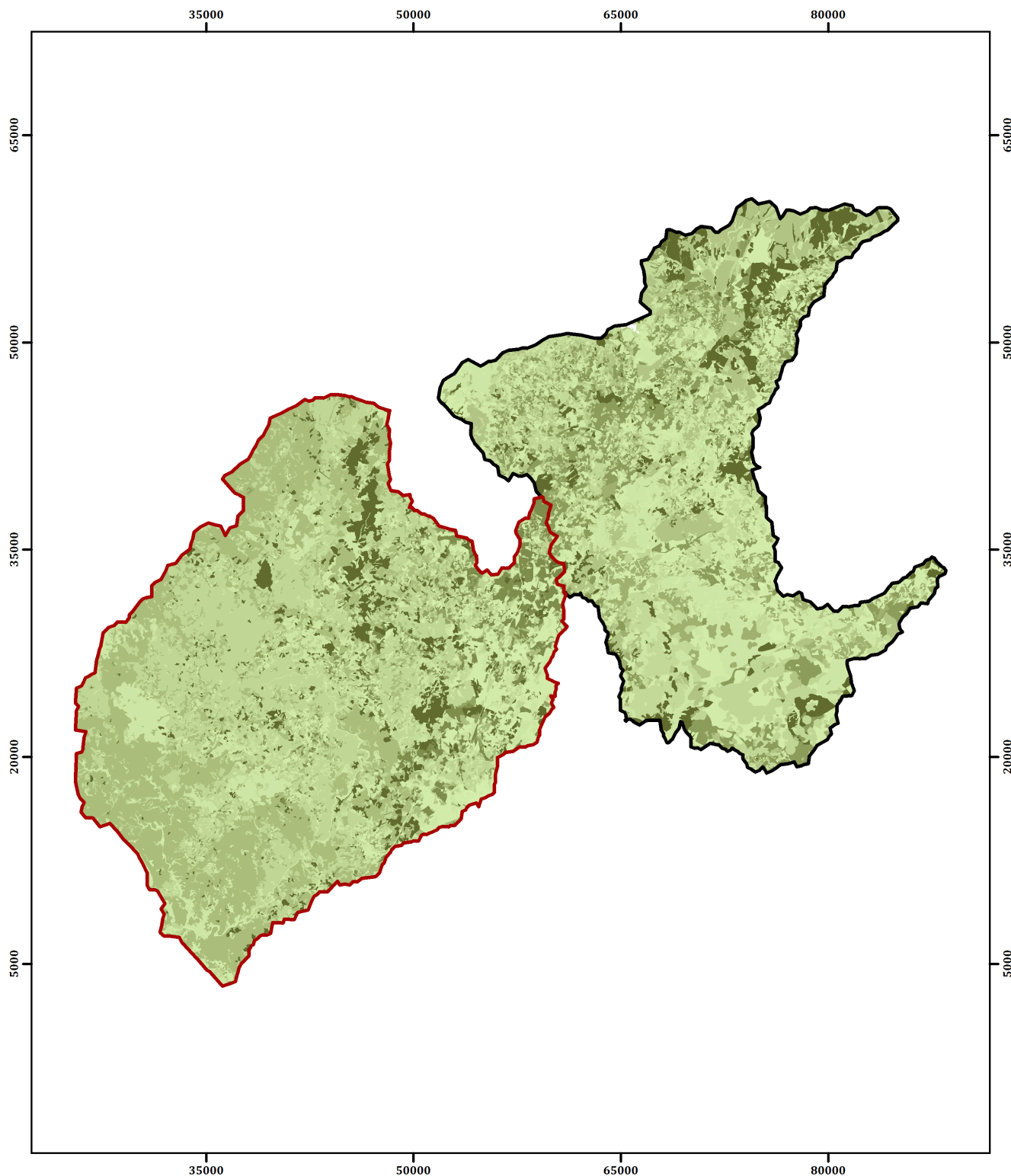


Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013

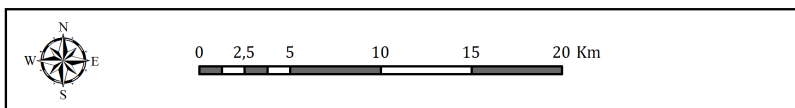
**Legenda**

	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza	Fator K Ponsul	Fator K Ocreza
	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul	(unid. métricas)	(unid. métricas)
		0.51	0.51
		0	0

## **ANEXO XII - Mapas de Distribuição Espacial do Fator CP**



Mapa do Fator CP  
Resolução Espacial 12,5 m



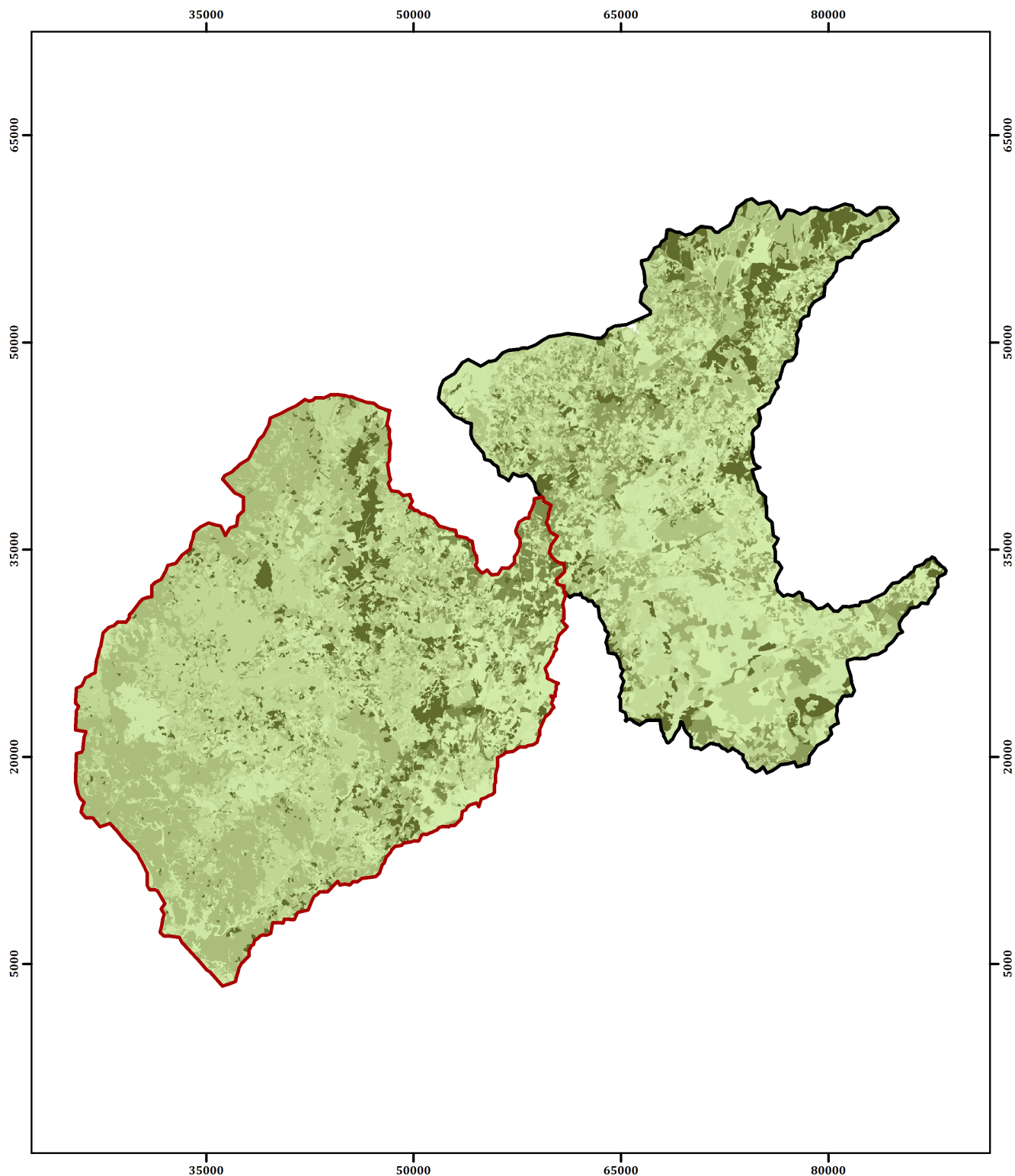
Anexo XII - Figura 39

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013

**Legenda**

Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza	Fator CP Ponsul 0.5	Fator CP Ocreza 0.5
Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul	0	0

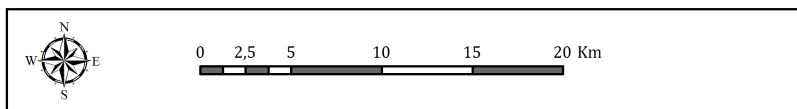


Mapa do Fator CP  
Resolução Espacial 30 m









Anexo XII - Figura 40

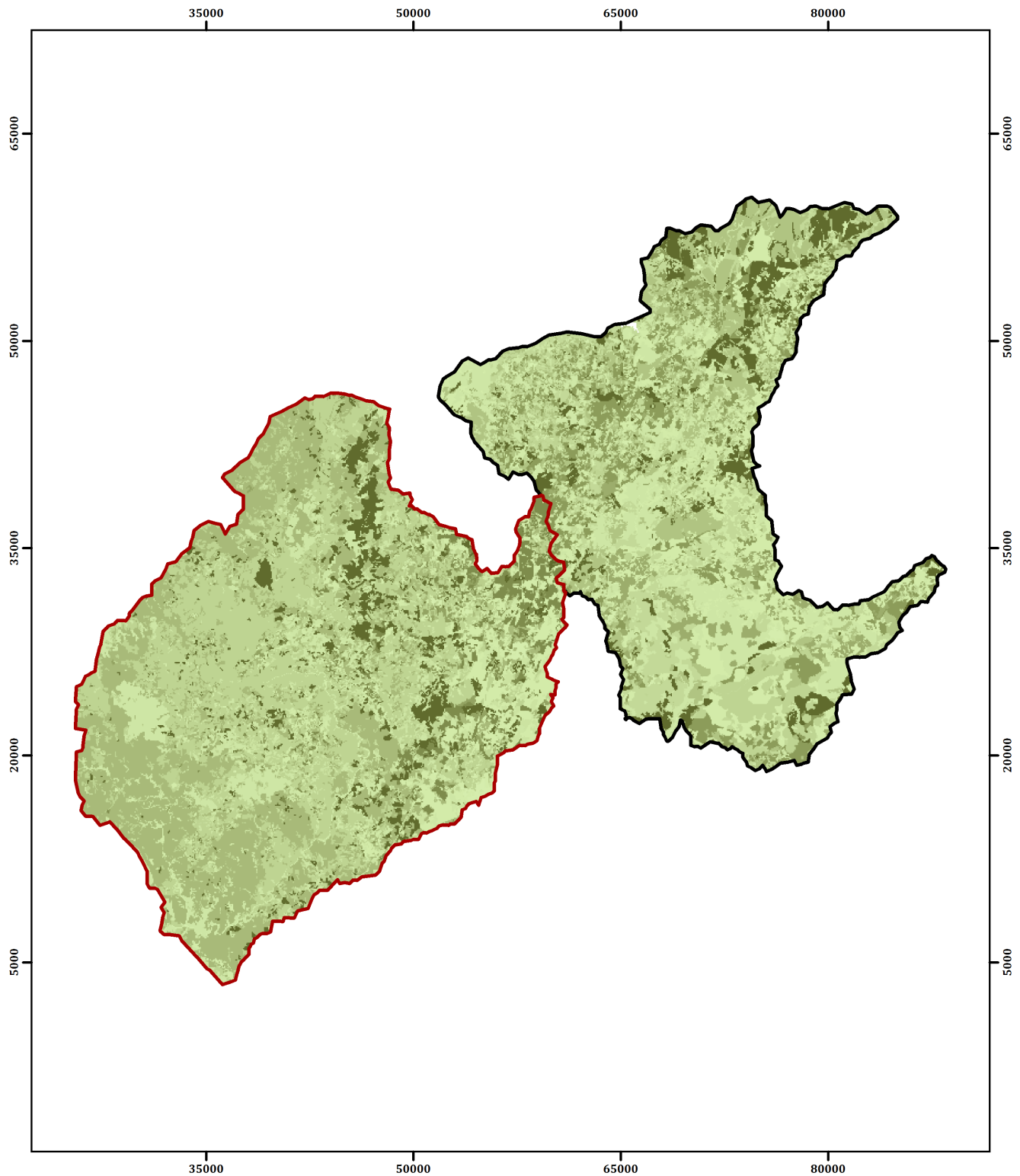
Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06

Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013

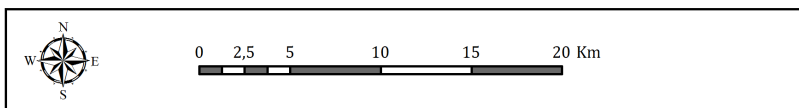


Legenda

	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza		Fator CP Ponsul		Fator CP Ocreza
	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul		0.5		0.5
			0		0



Mapa do Fator CP  
Resolução Espacial 80 m











Anexo XII - Figura 41

Projeção: Transverse Mercator  
 Elipsóide: GRS80  
 Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06



Elaborado por: Hugo Simões  
 Data da elaboração: Maio de 2013

**Legenda**

	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ocreza		Fator CP Ponsul		Fator CP Ocreza
	Bacia Hidrográfica de Estudo do Rio Ponsul		0.5		0.5
			0		0

## **ANEXO XIII - Resultados da Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo através da EUPS**

**Tabela 20** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias dos mapas de erosão obtidos através da EUPS para a bacia hidrográfica do rio Ponsul.

Mapa Ponsul 1	Teste de Lilliefors = 0,415278, com valor $p \approx 0$
Mapa Ponsul 2	Teste de Lilliefors = 0,409738, com valor $p \approx 0$
Mapa Ponsul 3	Teste de Lilliefors = 0,381134, com valor $p \approx 0$
Mapa Ponsul 4	Teste de Lilliefors = 0,376155, com valor $p \approx 0$

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Based on Mean	2170,046	3	5015384	,000
Based on Median	920,563	3	5015384	,000
Based on Median and with adjusted df	920,563	3	4819038,477	,000
Based on trimmed mean	1132,564	3	5015384	,000

**Tabela 21** - Teste *Kruskal-Wallis* dos mapas de erosão obtidos através da EUPS para a bacia hidrográfica do rio Ponsul.

Mapas Erosão Ponsul	
Chi-Square	6699,118
df	3
Asymp. Sig.	,000

**Tabela 22** - Comparação múltipla dos mapas de erosão obtidos através EUPS para a bacia hidrográfica do rio Ponsul.

## Rank of Erosão Ponsul - LSD

(I) Mapa	(J) Mapa	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Mapa Ponsul 1 12,5m	Mapa Ponsul 2 30m	135747,498	1783,040	0,000	132252,804	139242,193
	Mapa Ponsul 3 80m	86398,234	4456,209	0,000	77664,226	95132,242
	Mapa Ponsul 4 80m	138193,873	4456,209	0,000	129459,865	146927,881
Mapa Ponsul 2 30m	Mapa Ponsul 1 12,5m	-135747,498	1783,040	0,000	-139242,193	-132252,804
	Mapa Ponsul 3 80m	-49349,265	4700,766	0,000	-58562,596	-40135,933
	Mapa Ponsul 4 80m	2446,375	4700,766	0,603	-6766,957	11659,707
Mapa Ponsul 3 80m	Mapa Ponsul 1 12,5m	-86398,234	4456,209	0,000	-95132,242	-77664,226
	Mapa Ponsul 2 30m	49349,265	4700,766	0,000	40135,933	58562,596
	Mapa Ponsul 4 80m	51795,639	6227,019	0,000	39590,907	64000,372
Mapa Ponsul 4 80m	Mapa Ponsul 1 12,5m	-138193,873	4456,209	0,000	-146927,881	-129459,865
	Mapa Ponsul 2 30m	-2446,375	4700,766	0,603	-11659,707	6766,957
	Mapa Ponsul 3 80m	-51795,639	6227,019	0,000	-64000,372	-39590,907

**Tabela 23** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias dos mapas de erosão obtidos através da EUPS para a bacia hidrográfica do rio Ocreza.

Mapa Ocreza 1	Teste de Lilliefors = 0,384032, com valor p ≈ 0
Mapa Ocreza 2	Teste de Lilliefors = 0,388153, com valor p ≈ 0
Mapa Ocreza 3	Teste de Lilliefors = 0,371929, com valor p ≈ 0

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Mapas Erosão Ocreza	Based on Mean	4000,067	2	413255	,000
	Based on Median	1975,752	2	413255	,000
	Based on Median and with adjusted df	1975,752	2	290105,216	,000
	Based on trimmed mean	2400,792	2	413255	,000

**Tabela 24** - Teste *Kruskal-Wallis* dos mapas de erosão obtidos através da EUPS para a bacia hidrográfica do rio Ocreza.

Mapas Erosão Ocreza	
Chi-Square	5515,479
df	2
Asymp. Sig.	,000

**Tabela 25** - Comparação múltipla dos mapas de erosão obtidos através EUPS para a bacia hidrográfica do rio Ocreza.

Rank of Erosão Ocreza - LSD

(I) Mapa	(J) Mapa	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Mapa Ocreza 1 80m	Mapa Ocreza 2 80m	23116,709	438,644	0,000	22256,981	23976,437
	Mapa Ocreza 3 80m	31713,400	438,797	0,000	30853,371	32573,429
Mapa Ocreza 2 80m	Mapa Ocreza 1 80m	-23116,709	438,644	0,000	-23976,437	-22256,981
	Mapa Ocreza 3 80m	8596.691103*	438,850	0,000	7736,559	9456,823
Mapa Ocreza 3 80m	Mapa Ocreza 1 80m	-31713,400	438,797	0,000	-32573,429	-30853,371
	Mapa Ocreza 2 80m	-8596,691	438,850	0,000	-9456,823	-7736,559

**Tabela 26** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias dos mapas de erosão Ocreza 3, Ponsul 3 e Ponsul 4.

Mapa Ocreza 3	Teste de Lilliefors = 0,371929, com valor p ≈ 0
Mapa Ponsul 3	Teste de Lilliefors = 0,381134, com valor p ≈ 0
Mapa Ponsul 4	Teste de Lilliefors = 0,376155, com valor p ≈ 0

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Erosão nas Duas Bacias	Based on Mean	5915,981	2	336565	,000
	Based on Median	2877,329	2	336565	,000
	Based on Median and with adjusted df	2877,329	2	212951,939	,000
	Based on trimmed mean	3549,057	2	336565	,000

**Tabela 27** - Teste *Kruskal-Wallis* dos mapas de erosão Ocreza 3, Ponsul 3 e Ponsul 4.

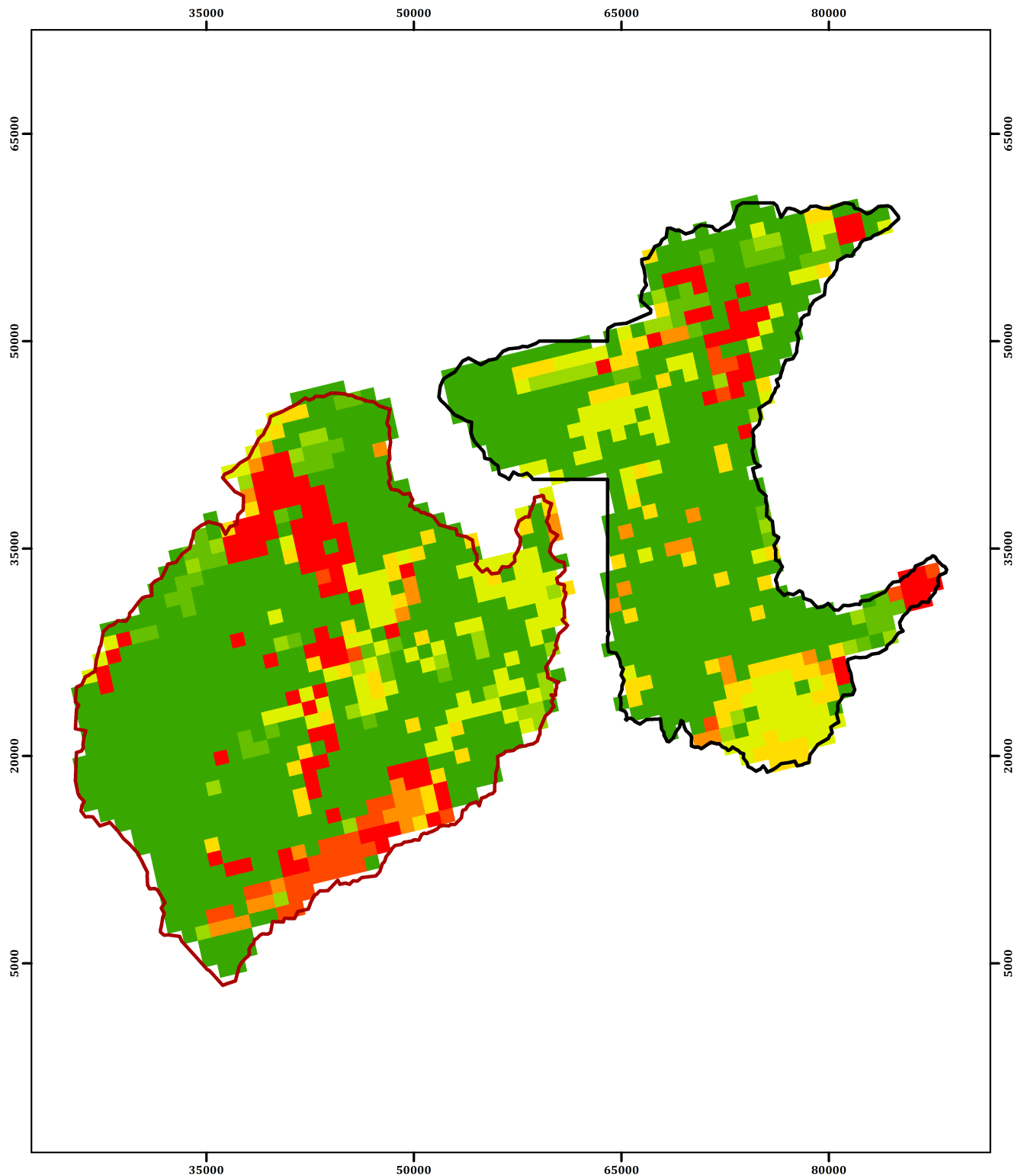
Erosão Duas Bacias	
Chi-Square	4125,275
df	2
Asymp. Sig.	,000

**Tabela 28** - Comparação múltipla dos mapas de erosão Ocreza 3, Ponsul 3 e Ponsul 4.

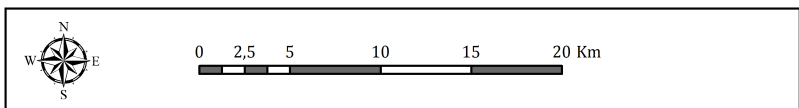
## Rank of Erosão Duas Bacias - LSD

(I) Mapa	(J) Mapa	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Mapa Ponsul 3 80m	Mapa Ponsul 4 80m	3515,976408*	419,202	0,000	2694,352	4337,600
	Mapa Ocreza 3 80m	-19247,465	389,088	0,000	-20010,067	-18484,863
Mapa Ponsul 4 80m	Mapa Ponsul 3 80m	-3515,976	419,202	0,000	-4337,600	-2694,352
	Mapa Ocreza 3 80m	-22763,441	389,088	0,000	-23526,043	-22000,840
Mapa Ocreza 3 - 80m	Mapa Ponsul 3 80m	19247,465	389,088	0,000	18484,863	20010,067
	Mapa Ponsul 4 80m	22763,441	389,088	0,000	22000,840	23526,043

## **ANEXO XIV - Mapas do Projeto PESERA e Resultados da Comparação entre a EUPS e o PESERA**



**Mapa PESERA**  
Resolução Espacial 1000 m

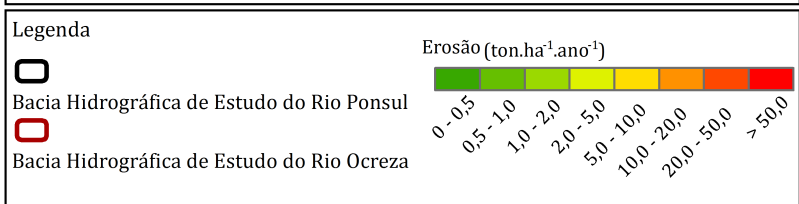


Anexo XIV - Figura 42

Projeção: Transverse Mercator  
Elipsóide: GRS80  
Coordenadas: ETRS89 Portugal TM06



Elaborado por: Hugo Simões  
Data da elaboração: Maio de 2013



**Tabela 29** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias dos mapas de erosão da EUPS e do projeto PESERA para a bacia hidrográfica do rio Ocreza.

Mapa Ocreza 1 (1000m)	Teste de Lilliefors = 0,405822, com valor $p \approx 0$
Mapa Ocreza 2 (1000m)	Teste de Lilliefors = 0,35221, com valor $p \approx 0$
Mapa Ocreza 3 (1000m)	Teste de Lilliefors = 0,33911, com valor $p \approx 0$
PESERA Ocreza	Teste de Lilliefors = 0,38635, com valor $p \approx 0$

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
EUPS Ocreza vs PESERA	Based on Mean	53,105	3	3530	,000
	Based on Median	15,538	3	3530	,000
	Based on Median and with adjusted df	15,538	3	2144,877	,000
	Based on trimmed mean	25,579	3	3530	,000

**Tabela 30** - Teste *Kruskal-Wallis* dos mapas de erosão da EUPS e do projeto PESERA para a bacia hidrográfica do rio Ocreza.

EUPS vs PESERA Ocreza	
Chi-Square	283,212
df	3
Asymp. Sig.	,000

**Tabela 31** - Comparação múltipla entre os mapas de erosão da EUPS e o mapa do projeto PESERA para a bacia hidrográfica do rio Ocreza.

Rank of Erosão EUPS vs PESERA Ocreza - LSD

(I) Modelos	(J) Modelos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Mapa Ocreza 1	Mapa Ocreza 2	59,173840	46,674241	,205	-32,33737	150,68505
	Mapa Ocreza 3	410.512092*	46,674241	,000	319,00088	502,02330
	PESERA Ocreza	714.495740*	46,491775	,000	623,34228	805,64920
Mapa Ocreza 2	Mapa Ocreza 1	-59,173840	46,674241	,205	-150,68505	32,33737
	Mapa Ocreza 3	351.338252*	46,621112	,000	259,93121	442,74529
	PESERA Ocreza	655.321901*	46,438437	,000	564,27302	746,37078
Mapa Ocreza 3	Mapa Ocreza 1	-410.512092*	46,674241	,000	-502,02330	-319,00088
	Mapa Ocreza 2	-351.338252*	46,621112	,000	-442,74529	-259,93121
	PESERA Ocreza	303.983649*	46,438437	,000	212,93477	395,03253
PESERA Ocreza	Mapa Ocreza 1	-714.495740*	46,491775	,000	-805,64920	-623,34228
	Mapa Ocreza 2	-655.321901*	46,438437	,000	-746,37078	-564,27302
	Mapa Ocreza 3	-303.983649*	46,438437	,000	-395,03253	-212,93477

**Tabela 32** - Teste de distribuição normal e homogeneidade de variâncias dos mapas de erosão da EUPS e do projeto PESERA para a bacia hidrográfica do rio Ponsul.

Mapa Ponsul 3 (1000m)	Teste de Lilliefors = 0,364985, com valor $p \approx 0$
Mapa Ponsul 4 (1000m)	Teste de Lilliefors = 0,393618, com valor $p \approx 0$
PESERA Ponsul	Teste de Lilliefors = 0,373825, com valor $p \approx 0$

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
EUPS Ponsul vs PESERA	Based on Mean	102,352	2	1919	,000
	Based on Median	33,234	2	1919	,000
	Based on Median and with adjusted df	33,234	2	820,485	,000
	Based on trimmed mean	47,556	2	1919	,000

**Tabela 33** - Teste *Kruskal-Wallis* dos mapas de erosão da EUPS e do projeto PESERA para a bacia hidrográfica do rio Ponsul.

EUPS vs PESERA Ponsul	
Chi-Square	7,550
df	2
Asymp. Sig.	,023

**Tabela 34** - Comparação múltipla entre os mapas de erosão da EUPS e o mapa do projeto PESERA para a bacia hidrográfica do rio Ponsul.

## Rank of Erosão EUPS vs PESERA Ponsul - LSD

(I) Modelos	(J) Modelos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Mapa Ponsul 3	Mapa Ponsul 4	34,765	30,901	0,261	-25,838	95,368
	PESERA Ponsul	-50,051	30,950	0,106	-110,750	10,647
Mapa Ponsul 4	Mapa Ponsul 3	-34,765	30,901	0,261	-95,368	25,838
	PESERA Ponsul	-84.816270*	30,986	0,006	-145,585	-24,047
PESERA Ponsul	Mapa Ponsul 3	50,051	30,950	0,106	-10,647	110,750
	Mapa Ponsul 4	84.816270*	30,986	0,006	24,047	145,585