



Toolbox EHE – Erosão Hídrica Estrutural

A Toolbox EHE é uma ferramenta desenvolvida em ambiente “Model Builder - ArcGIS 9.3” integrando os pressupostos metodológicos do Modelo EHE, desenvolvido por uma equipa da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, visando a implementação de critérios de delimitação das Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo no âmbito da Reserva Ecológica Nacional.

A equipa responsável pela criação da Toolbox EHE teve a seguinte constituição:

Concepção, implementação e desenvolvimento:

Nuno de Sousa Neves

Enquadramento Teórico:

Alfredo Gonçalves Ferreira
Nuno de Sousa Neves
Alexandre Cancela d'Abreu
Cristina Gonçalves
Isabel Ramos

Análise espacial e estudos de caso:

Marco Freire
Nuno Guiomar
Luís Madeira

Junho de 2011

Enquadramento - Erosão hídrica estrutural

Sendo o fenómeno erosivo resultante de variados factores em contextos de complexidade, decorrente da sua natureza inter-relacionada, considera-se pertinente uma aproximação visando a definição de uma metodologia simples, eficaz e facilmente aplicável na definição de políticas de ordenamento do território.

Podendo o trabalho da força gravítica ser considerado o factor primordial em processos de erosão decorrentes do escoamento superficial, a metodologia desenvolvida integrou primeiramente esta dimensão.

Considera-se o estudo dos processos erosivos numa perspectiva global ou de contexto, integrando nos procedimentos metodológicos não a erosão específica local decorrente da inclinação do terreno em cada local ou célula, mas a erosão potencial global cumulativa, em que a erosão em cada célula é influenciada por um conjunto de células a montante e influencia outro conjunto de células a jusante.

Outros modelos de previsão de perda de solo recorrem a este princípio, como o WEPP, Water Erosion Prediction Project (Flanagan *et al.*, 1994), e têm demonstrado bastante conformidade com a realidade, de acordo com os trabalhos desenvolvidos com base nos dados da Estação Experimental de Erosão de Vale Formoso (Tomás, 1997), sendo limitado pela quantidade de informação de base necessária à sua utilização. Em 2001 foi adaptado ao modelo WEPP a metodologia MIR (*Minimum Information Requirement*) que se baseia fundamentalmente em informação topográfica, de solo e de ocupação do solo, associada a um simulador, usando um conjunto mínimo de informação para estimar a perda de solo (Brazier, 2001).

A abordagem desenvolvida distingue-se de abordagens mais usualmente aplicadas no nosso país, que assentam na integração de classes de declive com classes de avaliação de erodibilidade do solo definidas pericialmente e de

acordo com valores de referência provenientes de diversos autores.

A utilização de classes de declive na definição de áreas de risco elevado de erosão a incluir na Reserva Ecológica Nacional incorre em dois tipos fundamentais de limitação metodológica:

1- Limitações relativas ao uso de classes de declive

- Qualquer classificação por classes constitui uma simplificação, com propagação de erro resultante da discrepância de valores ou significado para situações similares. A tradicional representação do declive em classes é normalmente compensada com a generalização (agregação) das representações resultantes, numa tentativa marcadamente pericial e subjectiva de conferir alguma continuidade e compacidade às delimitações resultantes;
- O cálculo do declive é uma função focal de análise espacial, resultando os seus valores dos valores de cota de cada célula e das oito células vizinhas, numa aproximação de modelação em quadrícula. O uso de uma função focal como o cálculo de declive não inclui a dimensão de contexto, fundamental num processo físico como a erosão, traduzido pela acumulação conservativa da força gravítica.

2 – Limitações relativas ao uso das classes de erodibilidade dos solos

- A delimitação das manchas referente às unidades de solo cartografadas resulta de um processo pericial afectado pela escala da carta topográfica tomada como base e que corresponde a uma observação por unidade de área gráfica de representação independente da escala (cm² de carta);
- Para a escala 1:25000, em que a representação do solo é efectuada na unidade taxonómica "família", a definição de uma unidade na carta significa apenas a sua presença em 60% da área classificada;
- Os processos de erosão estão sempre relacionados com os processos de transporte de materiais, não ocorrendo (mesmo em áreas de solos com elevada erodibilidade) quanto esse transporte não se verifica ou é pouco significativo.

Tendo em conta estes conceitos, e adaptando a metodologia aos dados disponíveis, desenvolveu-se um modelo de cálculo do índice topográfico de Erosão Hídrica Estrutural (EHE) que constitui uma métrica da acção do relevo no processo de erosão hídrica, integrando diversas variáveis topográficas, segundo os princípios da mecânica clássica, adaptados às características do ambiente (software) de modelação.

O modelo desenvolvido utiliza como fonte primária de informação apenas uma cobertura altimétrica vectorial, a partir da qual são desenvolvidos processos de análise espacial na geração de informação derivada necessária à aplicação do modelo, pelo que será facilitada a sua operacionalidade.

São de seguida descritos sumariamente os principais componentes do modelo desenvolvido, cuja fundamentação decorre dos princípios da lei do movimento uniformemente acelerado num plano inclinado.

Modelo digital de elevações

A construção de um modelo digital de elevações (MDE) deverá considerar a representação do terreno da forma mais fidedigna possível considerando a frequência das observações altimétricas disponíveis e o objectivo de modelação a que se destina.

Num contexto de análise de processos em que o escoamento constitui um factor primordial é fundamental que o modelo digital de elevações represente o mais correctamente possível o sistema de drenagem, representando adequadamente os processos hidrológicos em que a erosão hídrica se insere.

O procedimento de interpolação e geração do modelo digital de elevações escolhido teve em linha de conta a mais adequada adaptação ao processo de modelação que se pretende desenvolver, bem como os dados altimétricos disponíveis.

O método escolhido utiliza uma aproximação baseada numa técnica interpolativa iterativa (*iterative finite difference interpolation technique*) (Wahba, 1990), que permite a estimativa de valores numa perspectiva contextual decorrente e um processo multi-resolução adaptativo. A partir de bases informativas com frequências de observação altimétrica relativamente baixas é possível estimar de forma mais adequada o comportamento “funcional” do relevo em processos de escoamento.

Sendo definido como parâmetro do modelo a opção “*drainage enforcement*” a aproximação interpolativa identifica e remove as depressões do terreno susceptíveis de afectar a modelação do processo de escoamento, criando o que normalmente se designa por um modelo digital de elevações “hidrologicamente correcto”. A drenagem forçada é aplicada iterativamente em resoluções matriciais incrementalmente maiores no processo de criação do MDE.

O processo de interpolação “*topo_to_raster*” com drenagem forçada pode considerar a integração de diversas fontes de observação altimétrica (e.g. isolinhas, pontos cotados) bem como outro tipo de entidades destinadas a especificar as condições de interpolação e os resultados finais, tais como “Stream”, “Sink”, “Boundary” e “Lake”.

Num contexto de aplicação em que é fundamental a concordância entre diferentes fontes de informação poderá ser (concomitantemente com a informação altimétrica) utilizada uma base informativa da rede hidrográfica, devidamente orientada e estruturada tabularmente, de forma a condicionar a definição do MDE às linhas de água assumidas como correctamente definidas espacialmente.

O método escolhido é aplicado através do algoritmo de análise “*topo to raster*” (ArcGIS) integrada no *script* do modelo EHE, utilizando os seguintes parâmetros:

Função combinada de escoamento difuso e concentrado

As limitações decorrentes da utilização isolada do modelo de escoamento baseado no algoritmo D8 proposto por Jenson e Domingue (1988) centram-se na exagerada simplificação resultante da escolha de uma direcção preferencial de escoamento considerando as 8 células da vizinhança rectangular 3x3 de cada célula.

Vários autores como Quinn *et al.* (1991) ou Schäuble *et al.* (2008) tentaram resolver esta limitação propondo modelos alternativos que consideram a variação do escoamento segundo uma medida de proporcionalidade directa ou ponderada do declive das diferentes alternativas de escoamento (células).

No modelo EHE foi desenvolvida uma aproximação centrada na combinação de duas medidas da intensidade de escoamento decorrente da acumulação de valores de declive segundo duas possibilidades ou modelos alternativos:

Acumulação concentrada máxima – Resultante da aplicação de uma função de acumulação de escoamento segundo o modelo clássico D8 dos valores do declive;

Acumulação difusa máxima – Resultante da aplicação de uma função de comprimento de encosta (*downstream*) sobre um modelo digital de elevações invertido. A função de comprimento de encosta calcula o máximo comprimento de encosta drenante, que, no caso de um relevo invertido com a opção "*downstream*", corresponde à máxima acumulação possível segundo um modelo divergente de escoamento. Foi igualmente calculada a contribuição cumulativa dos valores de declive segundo esta aproximação.

A utilização combinada das duas aproximações, calculando uma média ponderada pelo valor total de células drenantes permite uma caracterização do processo de escoamento que se considera reflectir de forma mais adequada o potencial máximo de escoamento.

A utilização combinada das duas aproximações de escoamento foi utilizada no cálculo de dois dos parâmetros fundamentais da fórmula geral, descrevendo-se de seguida mais alguns aspectos desses processos:

1 - Soma ponderada dos valores de altitude drenante para cada ponto (**hp**), exprimindo a contribuição cumulativa dos valores de altitude relativa de todas as células drenantes para cada local. O cálculo de **hp** é efectuado através de operações de álgebra de mapas que permitem a obtenção de um valor de altitude drenante a partir da expressão:

$$hp = \left(\frac{hdt}{ntc} - hl \right) * 2$$

em que *hdt* é a acumulação total dos valores de altitude, *ntc* o número total de células drenantes para cada célula e *hl* o valor de altitude local.

A parcela $\left(\frac{hdt}{ntc} - hl \right)$ representa o ponto médio do valor de altitude de um vector escoamento integrado. Assim o valor final ou **hp** resulta da sua multiplicação por 2.

2 - Soma ponderada dos ângulos de inclinação (**ap**), exprimindo em cada local a contribuição cumulativa dos declives de todas as células drenantes para cada local. O cálculo de **ap** é efectuado através de operações de álgebra de mapas e de uma função combinada de escoamento difuso e concentrado.

3 - Declive Força (**DF**). O trabalho da força gravítica num plano inclinado pode ser descrito pelas expressões:

$$Wfg = mgh \text{ ou } Wfg = mg \cdot r \cdot \sin\alpha$$

sendo α o ângulo com o plano horizontal.

Num contexto de erosão hídrica do solo, sendo **g** constante e **m** e **Δr** (comprimento da encosta) passíveis de representação proporcional através de uma relação entre **hp** e **ap**, a expressão

$$DF = \tan^{-1} \frac{hp}{(\sin(90^\circ - \alpha p)).100}$$

constitui uma métrica adimensional proporcional ao trabalho da força gravítica.

Os valores da métrica criada, condicionados ao intervalo (0° - 90°) pela função \tan^{-1} permitem a obtenção de valores similares aos valores resultantes do cálculo normal do declive em graus.

4 - Erosão Hídrica Estrutural (EHE). Sendo o Declive Força uma métrica independente do atrito e sendo a erosão resultante da dissipação de energia provocada pela interacção da força gravítica, da força de atrito, do impacto hidráulico (decorrente da variação de declive e orientação de encosta) e da erodibilidade do solo, foi concebida uma formulação integradora, expressa pela métrica **EHE** - Erosão Hídrica Estrutural.

A métrica **EHE** associa ao **DF** dois parâmetros multiplicativos resultantes de operações focais ou de vizinhança. A integração dos parâmetros que de seguida se apresentam é efectuada por processos simples de álgebra de mapas.

TC - Indicador de potencial de profundidade de solo, resultante da avaliação da curvatura do terreno associada a uma métrica de estabilidade desenvolvida a partir do método TREM - Terrain Ruggedness Evaluation Method (Neves et al., 2010).

Este indicador estabelece uma relação entre a concavidade e a estabilidade em termos de favorecimento ao movimento ou deslocação de materiais (inerente à inclinação do terreno), permitindo a introdução de uma componente de

estimação da erodibilidade associada ao potencial de profundidade do solo. A estabilidade do terreno, no contexto do indicador **TC**, é expressa sob a forma de uma função do co-seno do declive no local.

A curvatura do terreno assenta numa medida de concavidade cujos valores variam entre 0 (convexo) e 1 (côncavo), sendo o terreno plano representado pelo valor 0,5. Foi desenvolvida uma nova métrica baseada na avaliação focal de vizinhanças circulares, das orientações de encosta associadas ao declive.

Considerando uma vizinhança circular e tendo como referência um terreno perfeitamente côncavo, todas as orientações das células vizinhas deverão confluir para o centro ou célula central em processamento.

A avaliação da confluência da orientação das células vizinhas, medida através do cálculo da média de uma componente escalar, neste caso uma função transformada de seno e co-seno permite aferir a conformidade com o modelo de referência côncavo, traduzida em valores positivos.

As funções transformadas de seno (Tsin) e co-seno (Tcos) são:

$$Tsin = \frac{\sin\alpha}{|\sin\alpha| + |\cos\alpha|} \quad Tcos = \frac{\cos\alpha}{|\sin\alpha| + |\cos\alpha|}$$

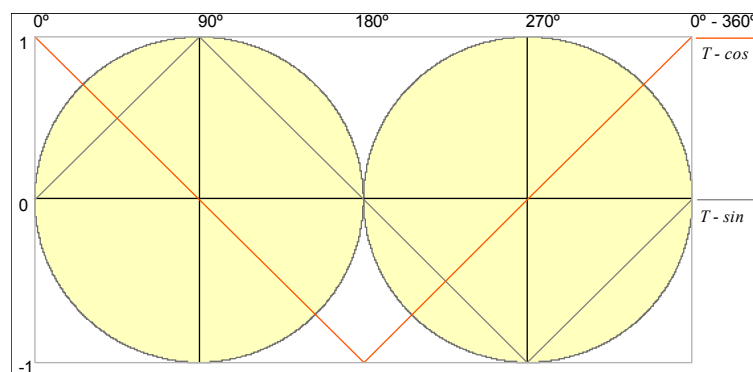


Figura 1 – Gráficos das funções transformadas Tsin e Tcos

A utilização de uma função transformada de seno e co-seno permite que se

verifique uma igualdade $|T_{\sin}| + |T_{\cos}| = 1$ mantendo o sinal das funções seno e co-seno e possibilitando a avaliação da confluência das orientações.

A avaliação da confluência das orientações é combinada com os valores de declive permitindo integrar numa única métrica as componentes do plano de curvatura e do perfil de curvatura.

Os valores do cálculo inicial podem variar entre -45 (máxima convexidade) e 45 (máxima concavidade), sendo posteriormente normalizados para permitir a sua variação entre 0 e 1 e a sua integração como factor multiplicativo na fórmula geral.

O desenvolvimento desta métrica parcelar, neste contexto de modelação, permitiu uma padronização dos resultados e os testes efectuados demonstraram uma melhor aderência e fiabilidade comparativamente com as medidas de curvatura mais usualmente utilizadas.

R_p – Indicador de atrito resultante da reacção ao peso, expresso como $\cos \alpha$. O estabelecimento do indicador de atrito decorre da aplicação directa das leis do movimento, considerando a deslocação de materiais líquidos num processo de escoamento superficial.

A métrica EHE assume a seguinte formulação:

$$EHE = \tan^{-1} \frac{hp}{(\sin(90^\circ - \alpha p)) \cdot 100} \cdot TC \cdot Rp$$

Esta aproximação integra assim, para toda a área de drenagem, os factores comprimento de encosta, declive e práticas de conservação da Equação Universal de Perda de Solo (Wishmeier e Smith, 1978), a partir dos factores **ap**, **hp**, e **R_p** e, indirectamente, a erodibilidade do solo através do indicador de potencial de profundidade de solo, **TC**.

Esta metodologia tem a vantagem de aproximar a definição de um potencial de erosão decorrente do comportamento de toda a bacia drenante para cada célula expressando claramente as áreas – células produtoras de sedimentos numa expressão proporcional ao trabalho da força gravítica.

A fórmula desenvolvida permite o cálculo de uma métrica expressa em valores que variam entre 0 e 90° independentemente do comprimento de encosta, embora este esteja integrado no cálculo e na relação entre a altura ponderada (h_p) e o declive ponderado (α_p).

O valor absoluto do comprimento de encosta poderá ainda ser inserido na aplicação da fórmula do índice adimensional EHE como um aproximador efectivo da massa drenante, podendo ser associado a uma ou mais variáveis de transporte (ex. precipitação). O comprimento de encosta (Δr) considerado é o comprimento total da área drenante a montante do ponto considerado, integrando toda a área drenante para cada célula, diferentemente dos métodos em que o seu cálculo é o maior comprimento de encosta drenante.

A Toolbox EHE

A Toolbox EHE foi desenvolvida em ambiente “Model Builder – ArcGIS 9.3” integrando uma sequência de ferramentas de base e a definição de parâmetros de utilização destinados a permitir a implementação do Modelo EHE.

Requisitos:

ArcGIS 9.3 ou superior com extensão Spatial Analyst.

Instalação:

A Toolbox EHE é constituída por um único “Modelo” (EHE) sendo instalada pelo processo clássico em ArcGIS 9.3 ou superior.

> ArcToolbox > Add Toolbox...>...>EHE.tbx

Utilização:

A utilização da Toolbox EHE é relativamente intuitiva, se considerarmos o conhecimento dos pressupostos de base atrás descritos. É de seguida apresentada a interface de utilização e informação complementar de funcionamento.

A Figura 2 ilustra o aspecto da interface de utilização da Toolbox EHE antes de definidos os dados de entrada e os parâmetros de utilização.

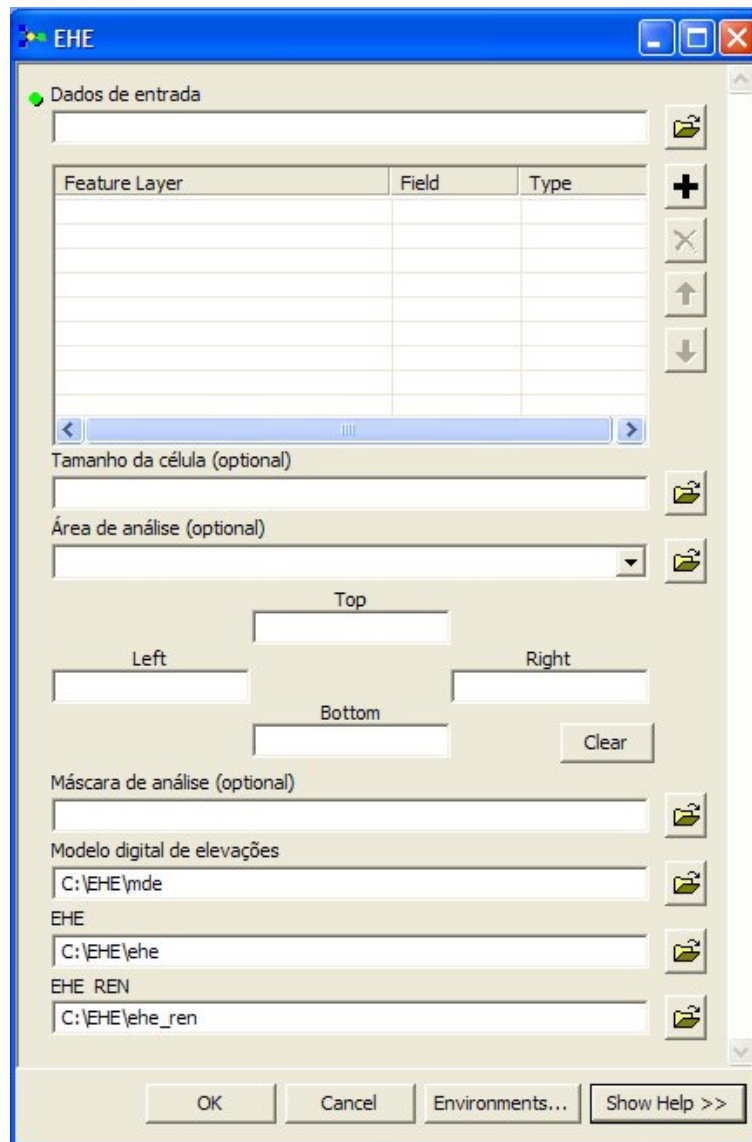


Figura 2 – Interface da Toolbox EHE

Dados de entrada

As entidades de entrada que contêm os valores altimétricos ou de condicionamento (ex: dados hidrográficos) a serem interpolados para construir a superfície matricial do modelo digital de elevações:

- *Feature layer* – o conjunto de dados de entrada;
- *Field* – o nome do campo que armazena os atributos, onde apropriado;
- *Type* - o tipo do conjunto de dados com as entidades de entrada;

Cada entidade de entrada pode ter um campo especificado que contém os *z-values*, e um de seis tipos específicos.

Existem seis tipos de *inputs* válidos:

- . *PointElevation* – Um conjunto de dados contendo pontos que representam cotas altimétricas. O campo indicado em "*Field*" armazena a cota dos pontos;
- . *Contour* - Um conjunto de dados contendo linhas que representam curvas de nível. O campo indicado em "*Field*" armazena a cota das curvas de nível;
- . *Stream* - Um conjunto de dados contendo linhas que representam cursos de água. Todos os segmentos devem estar orientados no sentido descendente do escoamento. As entidades contidas no conjunto de dados devem ser apenas do tipo simples ("*single arc*"). Não existe indicação de campo em "*Field*";
- . *Sink* - Um conjunto de dados contendo pontos que representam depressões topográficas conhecidas. O algoritmo não tentará remover da análise quaisquer pontos identificados explicitamente como *sinks*. O campo indicado em "*Field*" deve armazenar a cota da depressão identificada. Se for seleccionada a opção "*NONE*", apenas a localização da depressão é utilizada;
- . *Boundary* - Um conjunto de dados contendo um único polígono que representa a fronteira da superfície resultante. As células da superfície resultante que fiquem fora desta fronteira serão classificadas como "*NoData*". Esta opção pode ser usada para cortar áreas de Oceano ao longo da linha de

costa previamente à execução da superfície final. Não existe indicação de campo em "Field";

. *Lake* - Um conjunto de dados contendo polígonos que representam a localização de lagos. A todas as células da superfície resultante localizadas num lago será atribuído o valor mínimo de cota de todas as células localizadas na sua margem. Não existe indicação de campo em "Field".

Tamanho da célula (opcional)

O tamanho da célula que terá a superfície matricial resultante.

Este será o valor definido no "Environment" se tal for especificado; caso contrário, será o valor mais baixo da largura ou da altura da extensão geográfica dos conjuntos de dados de entrada, na referência espacial de entrada, dividido por 250.

Área de análise (opcional)

A extensão da superfície resultante.

A interpolação ocorrerá até aos limites definidos por x e y, e as células fora desta área terão o valor de "NoData". Para obter melhores resultados de interpolação ao longo das margens da superfície de saída, os limites x e y devem ser menores que a extensão dos dados de entrada, pelo menos 10 células de cada lado.

- *Left* - O valor predefinido é a menor coordenada x de todos os dados de entrada;

- *Bottom* - O valor predefinido é a menor coordenada y de todos os dados de entrada;

- *Rigth* - O valor predefinido é a maior coordenada x de todos os dados de entrada;

- *Top* - O valor predefinido é a maior coordenada y de todos os dados de entrada.

A área de análise predefinida é a menor área de entre a de todos os dados de entrada.

Máscara de análise (opcional)

Conjunto de dados que estabelece uma máscara de análise.

Os dados a utilizar podem ser matriciais ou vectoriais. Quando a máscara utilizada está em formato matricial, as células com o valor "NoData" na máscara terão igualmente o valor "NoData" na superfície resultante.

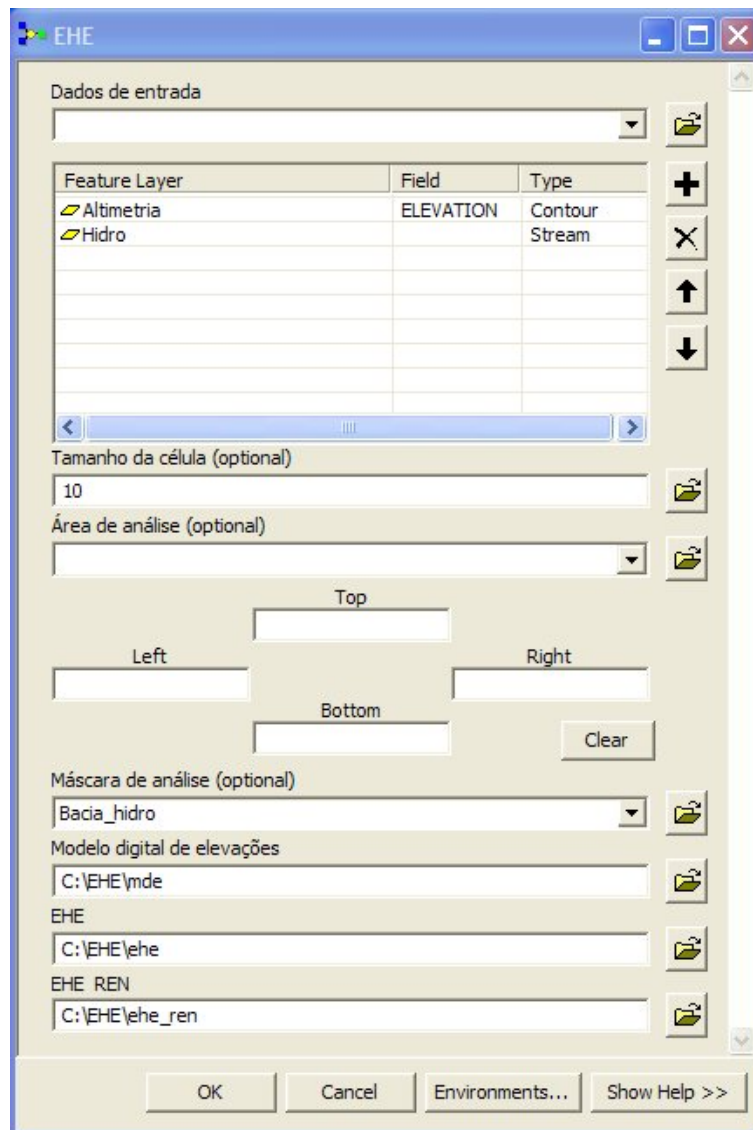


Figura 3 – Interface da Toolbox EHE com dados de entrada e parâmetros definidos

As figuras 4 a 7, referentes a uma área de estudo seleccionada, ilustram a

aplicação da Toolbox EHE, apresentando a interface de utilização e os resultados do processamento.

Resultados do processamento

Modelo digital de elevações

Apresenta o resultado do cálculo do modelo digital de elevação - Raster Dataset (Float) resultante do processo descrito anteriormente.

EHE

Apresenta o resultado do cálculo da métrica EHE - Raster Dataset (Float) com valores entre 0 e 90 (conforme descrito anteriormente).

EHE_REN

Apresenta os valores da reclassificação da métrica EHE segundo os critérios de inclusão na Reserva Ecológica Nacional (conforme descrito anteriormente) - Raster Dataset (Integer) com valores de 1 - "Excluir" e 2 - "Incluir".

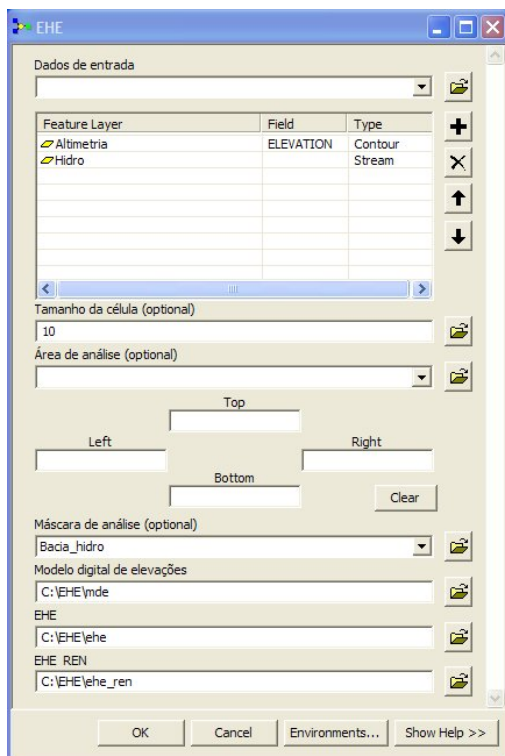


Figura 4 - Interface da Toolbox EHE

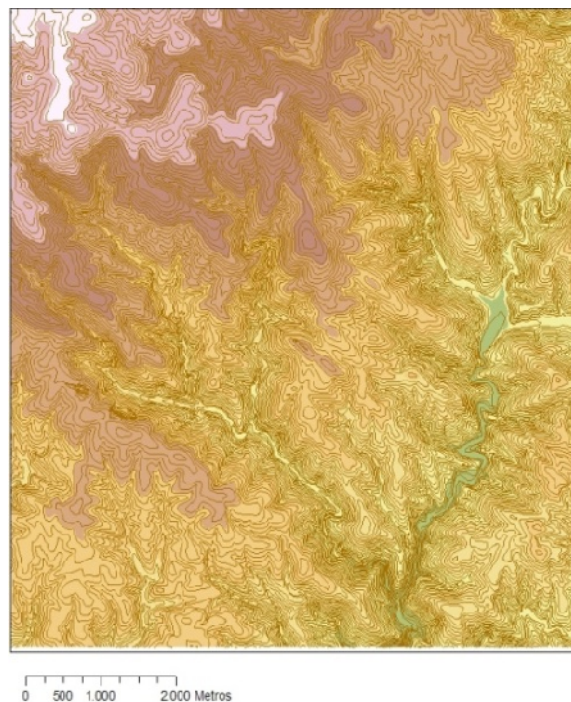


Figura 5 - Modelo digital de elevações (com altimetria sobreposta)

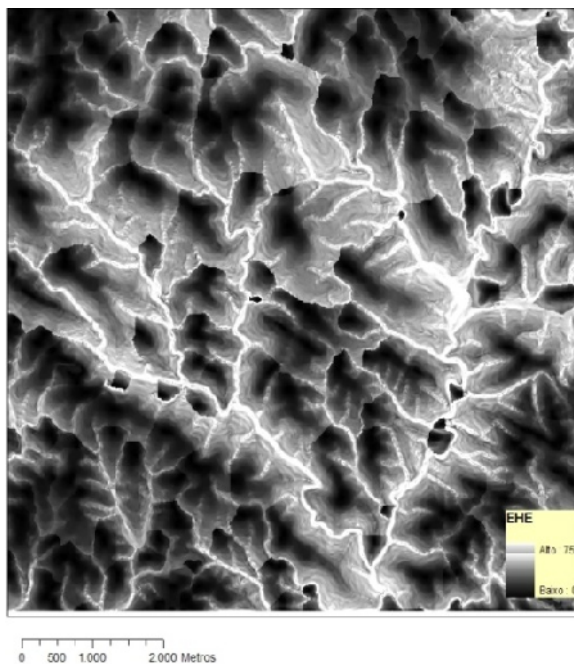


Figura 6 – Cálculo de Erosão Hídrica Estrutural

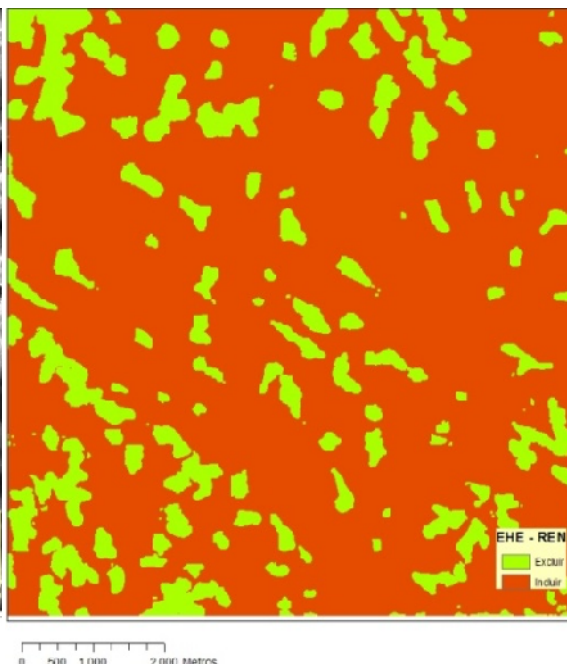


Figura 7 – Reclassificação de Erosão Hídrica Estrutural

Notas finais

A aplicação da metodologia desenvolvida em contextos de ordenamento do território deve considerar a possibilidade de refinamentos, decorrentes de diversos factores considerados pertinentes pelos autores deste estudo:

- A validade do cálculo do índice EHE implica que a informação utilizada inclua a totalidade da área drenante para cada célula considerada;
- A informação de base deve ser uniforme para todo o território em análise pois a variação de detalhe na representação do terreno pode implicar a obtenção de valores distintos em função da redefinição dos modelos de escoamento;
- A presença de estruturas que interfiram na continuidade da encosta ou no seu ângulo vão, como é evidente, alterar as condições iniciais e por conseguinte os resultados.

A metodologia desenvolvida tem larga aplicabilidade em processos de ordenamento do território podendo ser enunciadas algumas das suas principais vantagens metodológicas e operacionais:

- O potencial de erosão ou erosão hídrica estrutural passa a resultar do cálculo de um índice assente em funções globais de análise espacial e não de funções focais (declive) e locais de classificação;
- A utilização de modelos digitais de elevações matriciais gerados a partir de processos interpolativos de resolução adaptativa gerando representações hidrologicamente correctas promove uma muito mais elevada qualidade no cálculo de funções locais (ex: declives) e globais (ex: escoamento) diminuindo significativamente os erros resultantes de uma menor frequência da amostragem altimétrica;
- Como todo o método se baseia em variáveis topográficas, são apenas utilizados valores resultantes de processos de cálculo analítico, diminuindo a componente pericial de classificação e inerente subjectividade da aproximação metodológica;
- Os resultados alcançados apresentam uma elevada compacidade nas delimitações, gerando definições espaciais de maior continuidade, contribuindo este facto para uma maior aplicabilidade em processos de ordenamento do território;
- A definição espacial e área de manchas classificadas, podem ser objecto de ajustamentos, nomeadamente através de processos de generalização, visando adequar os resultados a critérios de operacionalidade em termos de gestão territorial.

Bibliografia

- Alexandre, C.; Marques da Silva, J. R. 2009. Influência da morfologia do terreno nas características do solo em terrenos agrícolas do Alentejo – aplicação de classificações geomorfométricas. *Revista de Ciências Agrárias* Vol. 32, 1: 407-422.
- Brazier R.E.; Rowan, J.S.; Anthony, S.G.; Quinn P.F.; 2001. "MIRSED" towards an MIR approach to modelling hillslope soil erosion at the national scale. *Catena*, 42. 59-79 pp.
- Cardoso, J.; 1965. *Os solos de Portugal sua classificação e génese. 1-Sul do rio Tejo*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- ESRI; 2007; ArcGIS 9.3 Reference manual, ESRI, Redlands, USA.
- Flanagan, D. C., ed.; 1994. Water Erosion Prediction Project, Erosion Prediction Model. NSERL, report n^o9, USDA-ARS, National Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana, USA.
- Foxa, D.; Bryanb, R.; 2000. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient; *CATENA*, Vol. 38, Issue 3, Pages 211-222.
- Julião, R.P.; F. Nery; J.L.Ribeiro; M.C. Branco; J.L. Zézere. 2009. *Guia metodológico para*

produção de cartografia municipal de risco e para criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil.

Mitasova, H.,J., Hofierka, M., Zlocha, Iverson, R., L., 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition in GIS; *International Journal of Geographical Information Science*, 10(5); pp 629-641.

Neves, N.; Freire, M.; Guiomar, N.; Duarte, L.; 2010. Avaliação do Acidentado do Terreno: Desenvolvimento de uma nova métrica focal. *In Proceedings from the Conference, MyESIG 2010.* Oeiras 10-12 February 2010.

Pimenta, M.T.; 1998. *Caracterização da erodibilidade dos solos.* INAG/DSHR. Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., Planchon, O., 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes* 5: 59-79.

Schäuble, H., Marinoni, O., Hinderer, M., 2008. A GIS-based method to calculate flow accumulation by considering dams and their specific operation time. *Computers & Geosciences* 34: 635-646.

Seibert, J.; Stendahl, J.; Sørensen, R.; 2007. Topographical influences on soil properties in boreal forests; *Geoderma* 141, 139-148.

Smidth, F.; 2002. *topocrop.Zip.* Language, Avenue. Public Domain.

Tomás, P.M.P.P.; 1997. Modelos de Previsão da Erosão Hídrica em Solos Agrícolas. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Tomlin, D.; 1991. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling,* Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J..

Wishmeier, W. H.;Smith, D. D.; 1978. Predicting rainfall erosion losses. USDA Agr. Res. Serv. Handbook.

Zhang, K.L.; Hosoyamada, K. ; 1996. Influence of slope gradient on interrill erosion of shirasu soil; *Soil Phys Cond. Plant Growth, Jpn*, n. 73 pp 37-44.