

Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo

Cálculo do Fator Topográfico (LS)

Guias de apoio à delimitação da REN | Junho de 2020

Ficha técnica

Título

Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo
Cálculo do Fator Topográfico (LS)

Colecção

Guias de apoio à delimitação da Reserva Ecológica Nacional
Junho 2020

© Propriedade da DGT – Direção-Geral do Território, 2020
Reservados todos os direitos de acordo com a legislação em vigor

Entidade responsável pela edição

CNT - Comissão Nacional do Território

Autoria

Eusébio Reis - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa
Selma Pena - Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa
Direção-Geral do Território
Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

Design gráfico

DGT - Direção-Geral do Território

Edição Digital | Junho de 2020

ISBN 978-989-8785-17-6

Nota de apresentação

O Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de maio, consagrou a Comissão Nacional do Território (CNT), atribuindo-lhe várias competências em matéria de Reserva Ecológica Nacional (REN), incluindo a produção de recomendações técnicas e guias de apoio adequados ao exercício das competências pelas entidades responsáveis pela delimitação e aprovação da REN.

No âmbito das suas atividades, esta Comissão dinamizou, em 2019, a realização de um workshop dirigido à Administração Central e de ações de formação dirigidas aos municípios, que visaram apoiar estas entidades na análise e aplicação dos critérios para delimitação da tipologia *Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo* (AEREHS) da REN.

Com essa iniciativa promoveu-se a aquisição de competências por parte das entidades envolvidas no processo de delimitação da REN, designadamente ao nível da interpretação crítica dos resultados e da modelação do fator topográfico (LS).

O presente Guia sintetiza os conteúdos das ações de formação realizadas, enriquecidos pela discussão técnico-científica gerada no decorrer das mesmas.

Com este Guia, a CNT pretende difundir conteúdos técnicos fundamentais para apoio à delimitação das *Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo* e facilitar a aplicação dos critérios relativos à modelação do fator topográfico, constantes da Portaria n.º 336/2019, de 26 de setembro, que aprovou a revisão das Orientações Estratégicas Nacionais e Regionais (OENR) previstas no Regime Jurídico da REN.

Índice geral

1	O Fator Topográfico (LS)	1
1.1	Introdução	1
1.2	Questões no cálculo dos parâmetros L e S	2
1.3	A fórmula de cálculo de LS	4
2	Procedimentos para cálculo do fator LS	6
2.1	Construção do MDT e obtenção das respectivas derivadas	6
2.2	Fator “extensão das vertentes” (L)	12
2.3	Fator “inclinação das vertentes” (S)	16
2.4	Cálculo do LS	18
B	Bibliografia	19

1. O Fator LS

1.1. Introdução

O fator LS engloba duas componentes importantes que descrevem a influência da topografia na erosão hídrica do solo: o fator “extensão das vertentes” e o fator “inclinação das vertentes”. A inclinação das vertentes (declive) constitui um fator essencial, pois reflete a ação da gravidade terrestre, que se traduz na energia necessária para a desagregação e transporte das partículas do solo ao longo das encostas. Maiores inclinações propiciam maior energia cinética e, logo, maior capacidade energética do fluxo responsável pela erosão dos solos.

A extensão das vertentes, por seu lado, fornece o potencial de acumulação de água e de energia ao longo das vertentes após a ocorrência de uma chuvada. Pequenas extensões das vertentes não permitem grandes acumulações de fluxos nem o incremento da capacidade de transporte desde o topo até à base da vertente, visto que o fundo de vale (ou qualquer outro patamar intermédio, em que se verifique diminuição acentuada declive) é atingido rapidamente; pelo contrário, vertentes mais extensas, desde que permitam a manutenção do fluxo laminar, e mantendo as restantes condições estáveis, levam a um aumento progressivo, de montante para jusante, da altura (volume) da lâmina de água e da velocidade de escoamento, proporcionando maior capacidade para desagregação e transporte dos sedimentos.

A influência destes dois parâmetros na erosão hídrica do solo foi traduzida por Wischmeier & Smith (1978) no fator LS da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS, ou USLE na versão em língua inglesa). Assim, este fator topográfico pretende representar a importância relativa da relação entre o comprimento de uma vertente (*Length*) e o seu declive (*Slope*), na erosão hídrica dos solos.

O **fator L** traduz a proporção de perda potencial de solo numa vertente sem escoamento organizado, em comparação com uma vertente-modelo de 22,13 m de comprimento com o mesmo tipo de solo e o mesmo declive. Esse comprimento é medido desde o topo da vertente até cada ponto ao longo da vertente; portanto, é medido no sentido do escoamento, usando-se as curvas de nível para verificar esse sentido.

O **fator S** é o fator preponderante na variação da perda de solo e representa o efeito da gravidade no que respeita à dependência da erosão do solo em relação ao valor da inclinação relativa das vertentes, com a qual tem, dentro de certos limites, uma relação diretamente proporcional. Na USLE, o fator S corresponde à razão entre a perda de solo no local e a perda de solo (medida experimentalmente) num terreno com 9 % de inclinação e 22,13 m de comprimento, em condições idênticas.

1.2. Questões no cálculo dos parâmetros L e S

O cálculo do fator L levanta mais questões e dúvidas do que qualquer outro parâmetro da USLE. Uma razão é que a escolha da extensão de uma vertente, ao contrário de outros fatores, envolve uma decisão que nem sempre é objetiva, pelo que diferentes operadores podem escolher diferentes extensões para vertentes com dimensão similar. Ademais, a perda de solo é menos sensível à extensão das encostas do que a qualquer outro fator da USLE, pelo que nem sempre é prestada a atenção devida no cálculo deste fator. Para condições típicas de declive, um erro de 10 % no comprimento da vertente resulta em um erro de 5 % na perda do solo calculada (Renard *et al.*, 1991).

Pelo contrário, a perda de solo é muito mais sensível a alterações na inclinação das encostas do que a alterações no seu comprimento. Na USLE, um erro de 10 % no

declive gera cerca de 20 % de erro na perda do solo calculada (Renard *et al.*, 1991). Deste modo, deve ser dada atenção especial à obtenção de boas estimativas do declive.

Embora a USLE tenha sido uma ferramenta poderosa, amplamente utilizada em diferentes contextos geográficos, a investigação e a experiência obtida desde a década de 1970 forneceram melhorias significativas, que foram incorporadas na nova USLE revista (RUSLE). Embora os dois modelos utilizem a mesma estrutura, a RUSLE, para além dos conhecimentos entretanto obtidos, integra também novos algoritmos mais adequados para o cálculo automático em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Assim, a RUSLE incorpora novos algoritmos para cálculo da extensão e declive das vertentes que refletem as taxas de erosão entre sulcos e em sulcos e a capacidade de calcular valores de LS para vertentes de formas diversas. A RUSLE tem uma relação de inclinação de vertentes mais linear do que a USLE, pois dados experimentais e observações de campo, especialmente em pastagens naturais, não suportam a relação quadrática da USLE quando utilizada em vertentes muito declivosas. A aplicação do LS a vastas áreas com relevo complexo levou à conclusão de que seria necessário utilizar fórmulas de cálculo diferentes, tendo como base o valor de 9 % de declive como limiar de referência, o que se encontra traduzido na atual Portaria n.º 336/2019, de 26 de setembro. A perda do solo calculada para declives inferiores a 20 % é semelhante em ambos os modelos; no entanto, em encostas íngremes, a perda calculada do solo é reduzida quase para metade com a RUSLE (Renard *et al.*, 1991).

Refira-se que, originalmente, o fator LS foi desenvolvido para vertentes com inclinação inferior a 50 % (26,57°), e não existem ainda estudos que forneçam resultados suficientemente seguros para vertentes com inclinação superior. No

entanto, vertentes com inclinação acima deste limiar, desde que o solo esteja presente, devem sempre ser consideradas como áreas de erosão potencial muito elevada e, como tal, ser integradas na Reserva Ecológica Nacional (REN).

O desenvolvimento do LS, e a adaptação aos SIG, tem levado à utilização do conceito de fluxo hídrico acumulado (Desmet & Govers, 1996; Mitsova *et al.*, 1996; Panagos *et al.*, 2015) como método de cálculo da extensão das vertentes. O fluxo hídrico acumulado corresponde ao percurso do fluxo hídrico superficial não organizado desde o topo da vertente, orientado no sentido do declive máximo, ponderado pela resolução do modelo digital do terreno (MDT).

1.3. A fórmula de cálculo de LS

No modelo RUSLE os parâmetros L e S são obtidos de acordo com a formulação que a seguir se descreve.

Para o fator extensão das vertentes (L):

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad [\text{Eq. 1}]$$

em que λ é o comprimento do desnível, em metros, desde o início do fluxo até cada ponto da vertente; e m é o coeficiente dependente do declive.

Para o expoente m :

$$m = \frac{\beta}{\beta+1} \quad [\text{Eq. 2}]$$

$$\beta = \frac{\text{sen } \theta / 0,0896}{0,56+3(\text{sen } \theta^{0,8})} \quad [\text{Eq. 3}]$$

em que θ é o ângulo associado à inclinação do desnível¹.

Em todo o caso, a metodologia anterior para cálculo do expoente m está direcionada para trabalhos de projeto ao nível do talhão de terreno, pelo que muitos autores sugerem a utilização de uma abordagem mais geral, baseada apenas em limiares de declive, mais ajustada à avaliação da erosão hídrica do solo no contexto da REN.

Assim, m pode tomar, de acordo com os limiares de declive (s), os valores indicados no Quadro 1.

Quadro 1 - Valores do parâmetro m para as classes de declive.

Classes de Declive	m
$s > 5 \%$	0,5
$3 \% < s \leq 5 \%$	0,4
$1 \% < s \leq 3 \%$	0,3
$s \leq 1 \%$	0,2

Para o **fator declive (S)**:

$$S = 10,8 \operatorname{sen} \theta + 0,03, \text{ para declive } < 9 \% (5,14^\circ) \quad [\text{Eq. 4}]$$

$$S = 16,8 \operatorname{sen} \theta - 0,50, \text{ para declive } \geq 9 \% (5,14^\circ) \quad [\text{Eq. 5}]$$

em que θ é o ângulo associado à inclinação do desnível, em radianos¹.

¹ O ângulo é em radianos em determinados *softwares* de SIG, tais como o ArcGIS da ESRI; para outros, poderão ser utilizadas unidades distintas (nomeadamente graus), pelo que deverá ser consultada informação sobre as unidades dos ângulos das equações trigonométricas.

2. Procedimentos para cálculo do fator LS

2.1. Construção do MDT e obtenção das respectivas derivadas

Os MDT são representações simplificadas da morfologia do terreno, que podem ter consequências no cálculo do LS. Alguns dos problemas mais frequentes são:

- os fundos de vale planos apresentarem formas do tipo “escada” sobretudo se forem obtidos somente com base em curvas de nível sem o condicionamento da rede hidrográfica;
- a presença de “depressões”, principalmente nos fundos de vale, resultantes dos processos de interpolação, em que intervêm pontos cotados com cotas inferiores às das curvas de nível adjacentes;
- rede hidrográfica com erros de cota que se traduzem num desfasamento visível nas intersecções entre as linhas de água e as curvas de nível.

Para mitigar erros comuns deve-se, se possível, refazer o MDT com base nas curvas de nível (Figura 1A) e pontos cotados (Figura 1B), mas ainda na rede hidrográfica (Figura 1C) projetada no modelo inicial que vai servir como linhas de quebra no cálculo do MDT. Adicionalmente, e especificamente para o cálculo da extensão das vertentes, a rede viária (excluindo os viadutos) deve ser integrada no modelo ou numa das derivadas do modelo (Figura 1D).

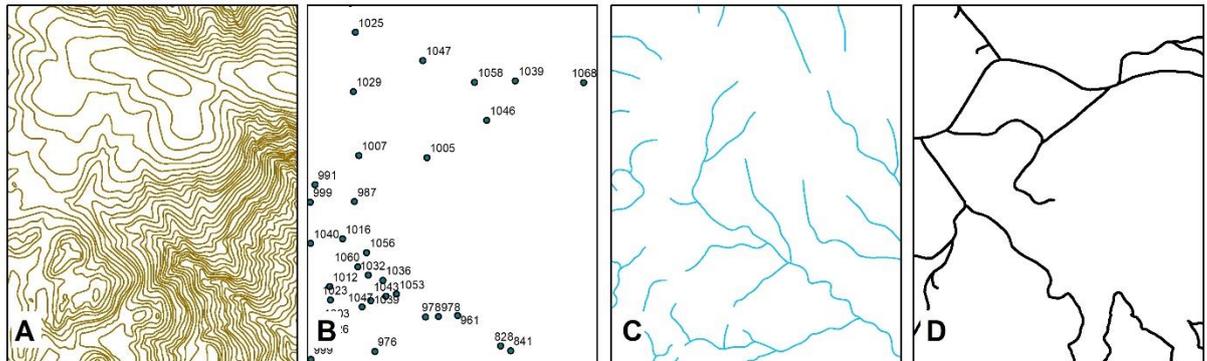


Figura 1 - Bases cartográficas para elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT): A: curvas de nível; B: Pontos cotados; C: Rede hidrográfica; D: Rede viária.

As estradas podem ser consideradas elementos permanentes e estruturais do terreno, e interferem claramente com as condições de drenagem ao longo das vertentes, interrompendo o fluxo (Figura 2) ou canalizando-o. Por este motivo, o limite interior da estrada (que contacta com a parte superior da vertente original) deve ser sempre considerado como a base da vertente (bV_s na Figura 2), enquanto o limite exterior (que contacta com a parte inferior da vertente original) deve ser sempre considerado como o início de uma nova vertente (tV_i na Figura 2), que se desenvolve para jusante até que haja nova interrupção. No entanto, a inclusão das estradas não é efetuada durante a geração do MDT, mas sim mais adiante, durante a identificação do sentido dos fluxos.

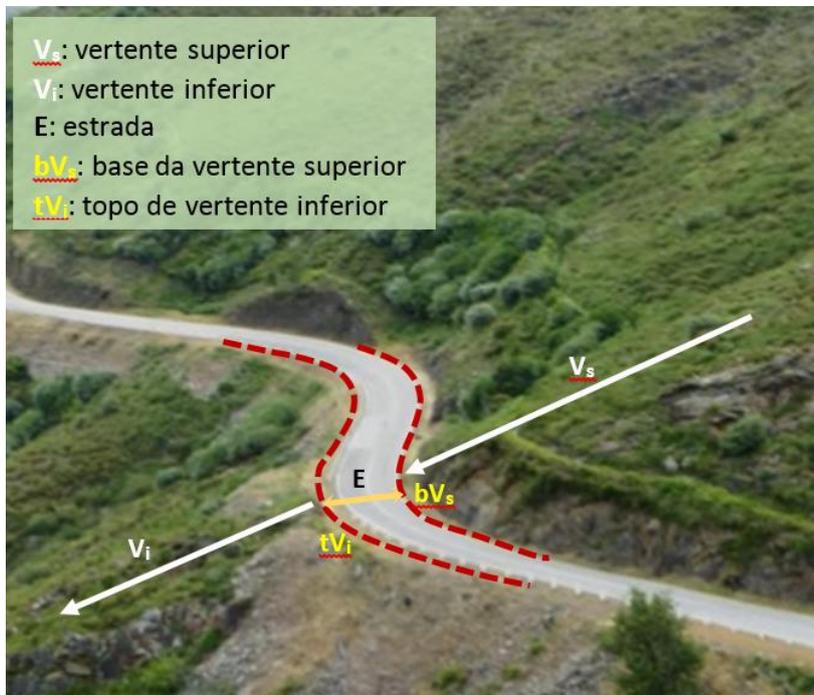


Figura 2 - Influência de uma estrada na divisão de vertente em dois setores independentes no que respeita ao escoamento superficial.

Tal como as estradas, outros elementos construídos, tais como socacos e muros, interferem de forma determinante nas condições de escoamento superficial sobre as vertentes. No entanto, a escala da cartografia utilizada não permite a inclusão destes elementos no processo de cálculo da extensão das vertentes nem na identificação dos sentidos dos fluxos, pelo que a sua influência deve ser incluída no fator P (práticas agrícolas) do modelo de avaliação da erosão potencial do solo.

A correção das depressões falsas geradas pelo processo de construção do MDT é essencial para mitigar alguns erros que se vão refletir na rede de drenagem gerada a partir daquele, de modo a reduzir discontinuidades e roturas.

Os modelos hidrológicos assentam sobre o MDT e dizem respeito ao cálculo de parâmetros que permitem simular a forma do escoamento superficial, mas,

sobretudo, o seu objetivo é a determinação dos vários trajetos e comprimentos do escoamento não organizado em cada território.

Deve-se ainda ter em conta que, no caso específico do cálculo da extensão das vertentes, este deve considerar os setores exteriores aos municípios para os quais se pretende obter aquele fator. Frequentemente, as vertentes são cortadas pelos limites municipais, em que o setor superior fica nos municípios adjacentes. A não inclusão destas áreas adjacentes implica uma subvalorização da extensão das vertentes e também dos valores do fator LS.

Após o processo de obtenção de um MDT corrigido, deve proceder-se ao cálculo dos **sentidos dos fluxos hídricos**, ou seja, dos sentidos da drenagem dentro da área de trabalho. Neste procedimento SIG, são atribuídos oito códigos, cada um dos quais a representar um sentido de fluxo (Figura 3)².

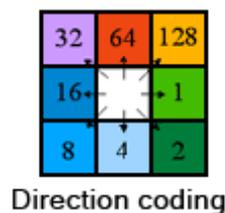


Figura 3 - Código dos Sentidos de Fluxo no *software* ArcGIS (ESRI).

Em seguida, e com base no modelo obtido, procede-se ao cálculo dos **fluxos acumulados**, os quais permitem obter o modelo da rede de drenagem segundo o MDT. A Figura 4 mostra o esquema sequencial de processos em ambiente SIG.

² Em outros *softwares* de SIG, cada um dos rumos pode ser identificado por códigos distintos dos apresentados na figura.

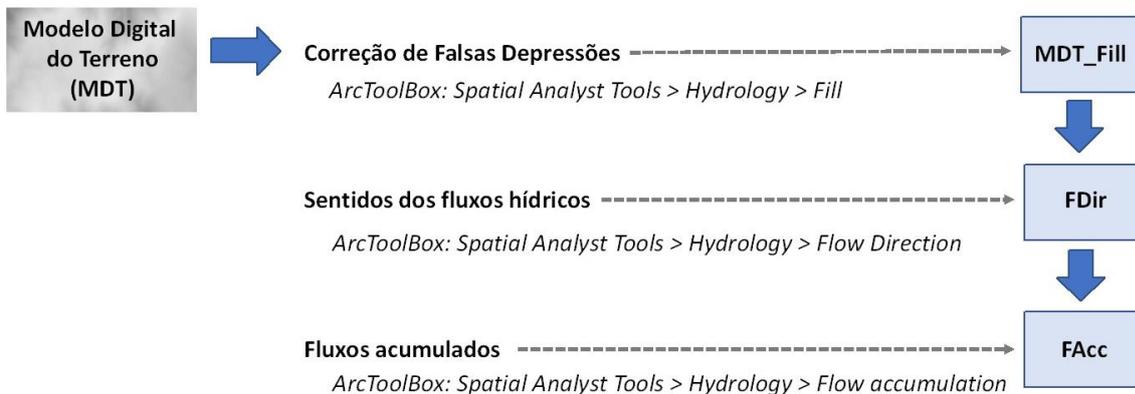


Figura 4 - Esquema para a correção do MDT e determinação dos modelos hidrológicos de apoio ao cálculo do fator L (sintaxe relativa ao ambiente ArcGIS).

Caso se considere relevante a utilização da rede viária no modelo, as estradas ou troços de estradas deverão ser incluídos antes do cálculo dos fluxos acumulados, ou seja, no próprio modelo de sentido dos fluxos. O princípio é o de considerar que nos locais com estradas se inicia um novo fluxo, ou seja, nestes locais o sentido dos fluxos hídricos deverá ser nulo. Como tal, e por forma a ter influência nos resultados do fluxo acumulado, este valor nulo correspondente às estradas deverá estar presente no modelo do sentido dos fluxos.

Para a inclusão das estradas será necessário ter em atenção os seguintes procedimentos:

- 1) identificar e selecionar os troços de estradas que sejam relevantes na modificação dos fluxos ao longo da vertente, quer pela sua estrutura (nomeadamente a largura) quer pelo seu carácter permanente (troços pavimentados, mas podendo incluir outros troços consolidados);

- 2) identificar, de acordo com o *software* de SIG utilizado, qual o valor que representa a ausência de fluxo; no caso do ArcGIS, aqui utilizado como exemplo, esse valor corresponde a zero (0);
- 3) converter a informação das estradas de estrutura vetorial para matricial;
- 4) reclassificar a informação matricial em zero (0) e um (1), onde o valor zero é atribuído às estradas;
- 5) multiplicar a camada de dados obtida no procedimento anterior pelo sentido dos fluxos obtido anteriormente (Figura 4), utilizando a calculadora *raster* existente em quase todos os *softwares* de SIG; obtém-se, assim, um novo modelo em que, para além dos 8 códigos que identificam os octantes, deverá estar presente um novo valor, que identifica as áreas onde o fluxo é interrompido;
- 6) por fim, repetir o cálculo do fluxo acumulado utilizando o novo modelo de sentido dos fluxos (procedimento 5); no modelo do fluxo acumulado resultante, a contagem das células deverá estar interrompida nos locais (células) em que o sentido dos fluxos é 0, iniciando-se uma nova contagem para jusante em direção à base da vertente.

Os modelos de declives são muito importantes na medida em que vão determinar o fator S (além de integrarem, também, o cálculo do fator L). Na bibliografia há referências a limiares em graus ou em percentagem e ainda, na maior parte dos SIG, é preciso converter ou estabelecer a correspondência em radianos com esses limiares quando estão envolvidos cálculos com funções trigonométricas. Por exemplo, considerando-se o declive em graus, por exemplo $\theta = 30^\circ$, em cálculos trigonométricos o sistema interpretaria o valor não em graus, mas em radianos, isto é, para o sistema seria $\theta = 30$ radianos. O valor correspondente a 30° em radianos

é 0,5236. Por isso, por exemplo, ao calcular-se o seno de 30°, ter-se-ia de usar o valor convertido em radianos (0,5236). Neste contexto, é conveniente obter os declives em três unidades diferentes, conforme a Figura 5.

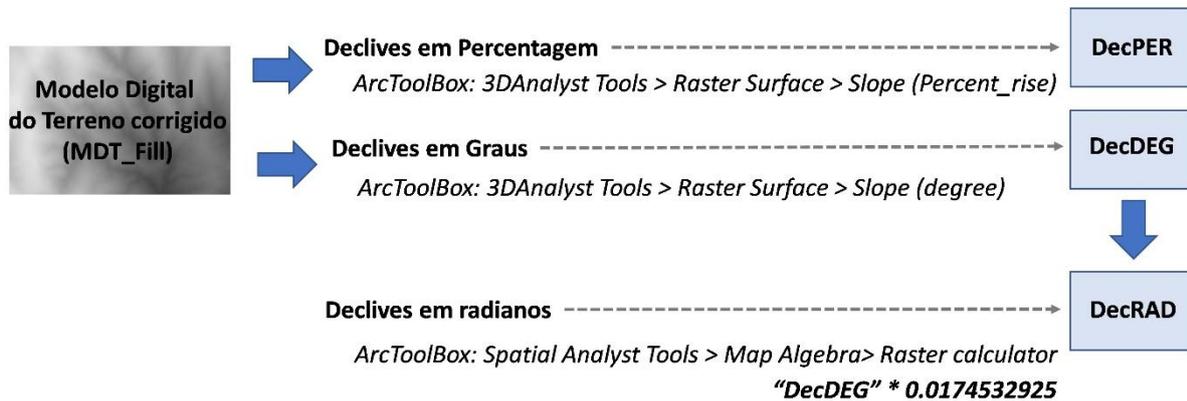


Figura 5 - Esquema de obtenção dos modelos de declives para o cálculo do LS (sintaxe relativa ao ambiente ArcGIS).

2.2. Fator "extensão das vertentes" (L)

Para além do declive, o comprimento da vertente de referência é fundamental no resultado do LS, mas a sua obtenção é bastante mais complexa. De acordo com diversos autores (e.g. Renard *et al.*, 1997), o comprimento máximo que o fluxo hídrico pode percorrer antes de iniciar um processo de concentração é 1000 pés, que corresponde a 305 m (arredondamento de 304,8 m).

Em primeiro lugar, deve converter-se os valores do fluxo acumulado, originalmente obtido em número de células, para unidades de comprimento. Para o efeito, multiplica-se o mapa de fluxos acumulados pelo tamanho das células, tal que:

$$\lambda = FAcc_m = FAcc \times P_x \quad [\text{Eq. 5}]$$

em que $FAcc_m$ é o mapa de fluxos acumulados em metros; $FAcc$ é o mapa de fluxos acumulados e P_x é o tamanho das células do modelo em metros.

Às células que iniciam o processo de acumulação deve ser atribuído o valor 1 (contabiliza a célula como área de acumulação). No caso dos *softwares* atribuírem o valor 0 (como no caso do *software* ArcGIS) é aconselhável a correção desses valores nulos (acumulação 0), somando o valor de um (1) ao resultado anterior, uma vez que a presença deste valor leva à obtenção de células com resultados indefinidos em alguns processos de cálculo posteriores.

Por fim, considerando λ o comprimento máximo da vertente adotado (em metros) efetua-se uma operação condicional para que todas as células com fluxos acumulados superiores a λ fiquem com o valor máximo da vertente³.

As restantes células ficam com o valor original, correspondente à extensão do escoamento laminar. Assim, $FAccCC$ corresponde ao mapa de fluxos acumulados em escoamento laminar, em que o valor corresponde à extensão percorrida pela água desde o local mais afastado no topo da vertente até cada uma das células.

O processo encontra-se ilustrado na Figura 6.

³ Não obstante a solução proposta, é de referir que os fundos de vale planos ficarão com o valor máximo de extensão das vertentes, quando, na verdade, esse valor deveria ser 0, visto que não correspondem a vertentes; em todo o caso, como o seu declive é 0 ou muito próximo deste valor, esta situação irá refletir-se no fator S, pelo que os valores de erosão potencial do solo nestes fundos de vale serão também nulos ou muito próximos de 0.

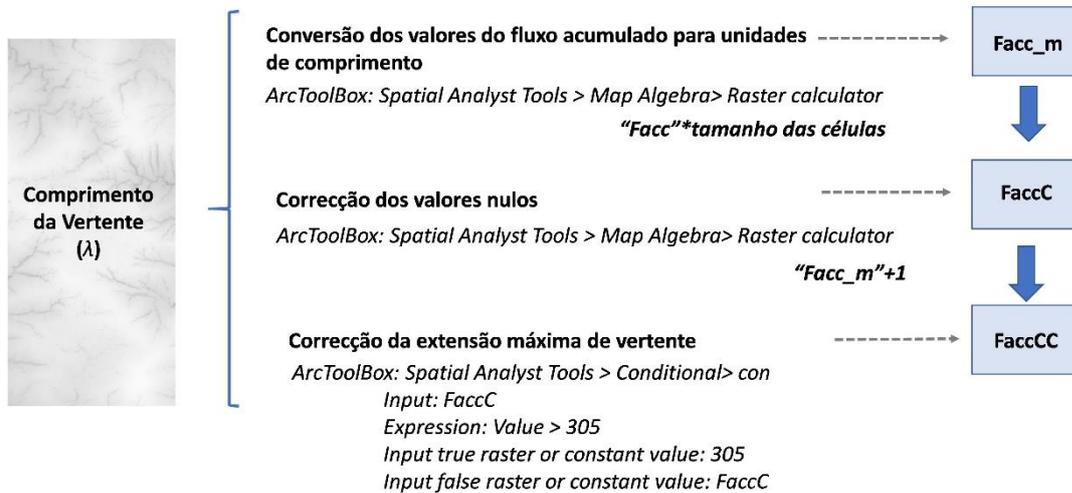


Figura 6 - Processo de obtenção do comprimento da vertente
(sintaxe relativa ao ambiente ArcGIS).

Deve ter-se em conta que o valor de 305 m referido na Figura 6 constitui um limite máximo de referência sempre que forem obtidas extensões superiores a esse valor; em determinados contextos morfológicos o valor máximo pode ser substancialmente inferior. Ter também em atenção que a determinação visual da extensão das vertentes está bastante dependente da escala e da equidistância entre as curvas de nível. Mesmo a grandes escalas (1/10.000 ou maior), o traçado dessas isolinhas não consegue representar adequadamente todas as variações da topografia que interrompem os fluxos laminares, pelo que as vertentes são sempre mais pequenas do que é possível identificar através da cartografia por curvas de nível, e este desfasamento entre a realidade e a cartografia é tanto maior quanto menor for a escala desta.

O expoente *m* relaciona-se com o declive associado à forma de erosão laminar (ou tipo de escorrência) que se pode processar de dois modos: em toalha (escorrência difusa), isto é, sem qualquer tipo de canalização (associada a declives menores na

fase inicial do escoamento), ou em sulcagem ou ravinamento (escorrência concentrada), não previsto pelo atual modelo, em que há um esboço de canalização desorganizada e efémera (para declives mais fortes).

Este expoente m , é calculado de acordo com as equações [Eq. 2] e [Eq. 3]. De preferência, e no contexto da REN, como foi referido, pode ser obtido a partir dos limiares de declives previamente identificados (1, 3 e 5 %) (Quadro 1).

A variável θ é o **declive** que, na fórmula original, é indicado em graus, mas em ambiente SIG, como foi referido, é usual calcular-se as funções trigonométricas em radianos. Para esta operação usa-se o mapa de declives em radianos convertido a partir do mapa de declives em graus (Figura 7).

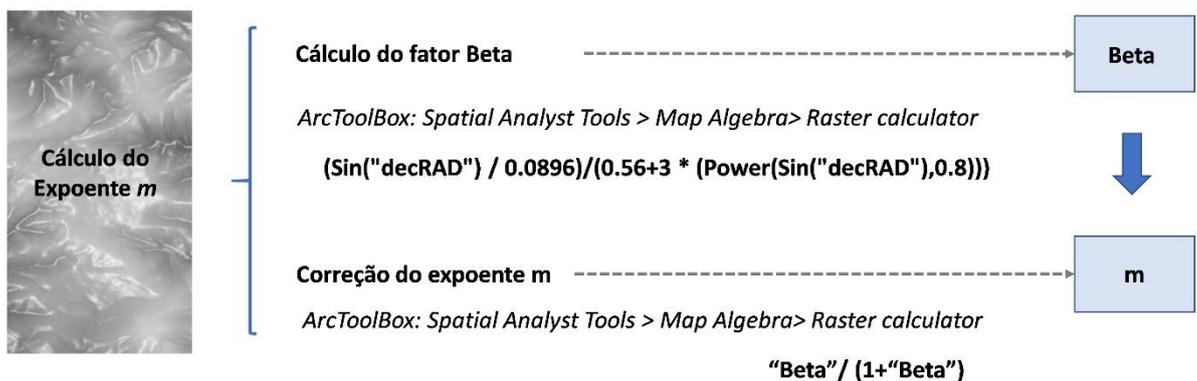


Figura 7 - Esquema de cálculo do expoente m da fórmula do fator LS da EUPS (sintaxe relativa ao ambiente ArcGIS).

No caso de se utilizar o processo alternativo (e aconselhado) para obtenção do mapa do expoente m , devem ser seguidos os dois passos seguintes:

- 1) classificação do mapa de declives em percentagem (s), com base nas 4 classes definidas pelos limiares do Quadro 1;

2) reclassificação das classes anteriores nos 4 valores correspondentes (Quadro 1).

Após a obtenção do comprimento da vertente e do expoente m é possível calcular a fator extensão de vertentes (Figura 8).

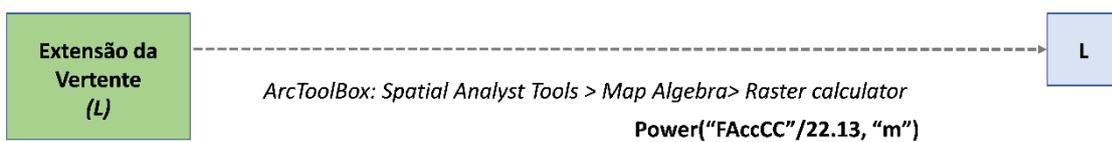


Figura 8 - Esquema de cálculo da extensão da vertente (L) (sintaxe relativa ao ambiente ArcGIS).

2.3. Fator "inclinação das vertentes" (S)

O cálculo do fator S não pressupõe problemas relevantes: é calculado o declive em graus (ou percentagem) e efetuada a sua conversão para radianos, procedendo-se então à sua inclusão nas duas expressões representativas das duas gamas de declives de acordo com as equações 4 e 5.

O procedimento em SIG passa pelo cálculo do S1 que corresponde ao fator S em declives inferiores a 9 % e pelo cálculo de S2, para valores de declive iguais ou superiores a esse limiar. Por fim, os resultados do S1 e S2 são condicionados em função do declive inferior ou maior ou igual a 9 % (Figura 9).

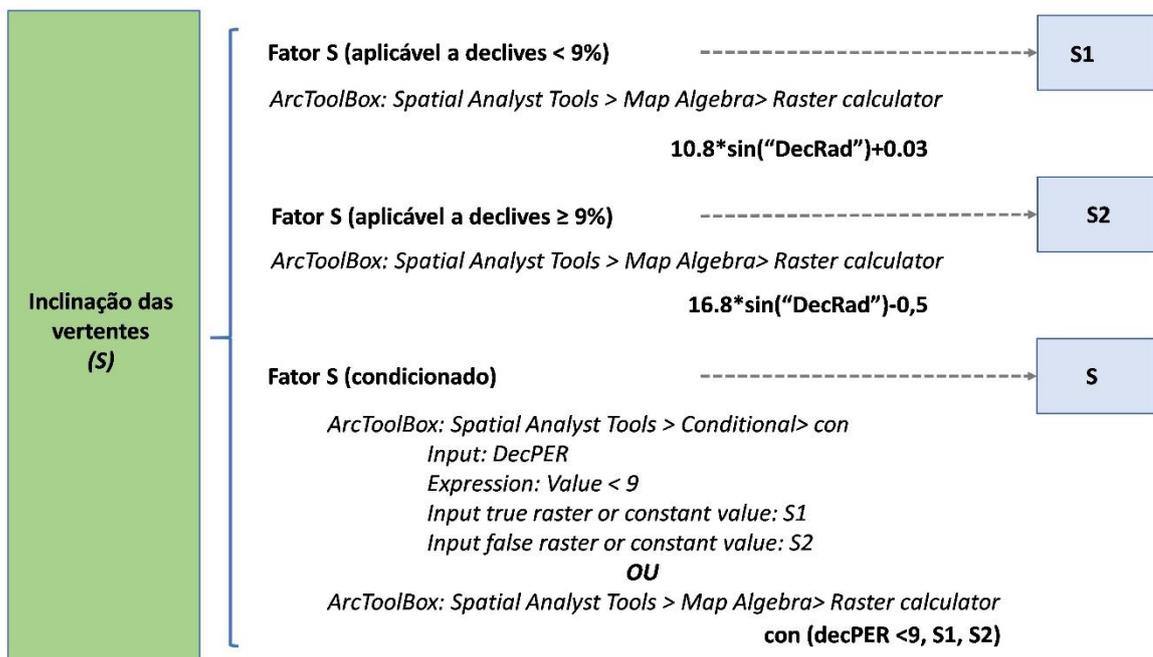


Figura 9 - Esquema de cálculo do fator inclinação das vertentes (S) (sintaxe relativa ao ambiente ArcGIS).

Refira-se que as condições anteriores podem ser integradas numa única expressão, tomando a seguinte forma geral:

SE (Declive < 9%, então aplica-se a fórmula de S1, senão aplique-se a fórmula de S2).

Utilizando, como exemplo, a sintaxe relativa ao ambiente ArcGIS, teremos:

CON ("DecPER" < 9, 10.8 * sin("DecRad") + 0.03, 16.8 * sin("DecRad") - 0,5)

em que "DecPER" e "DecRad" são os mapas de declives, respetivamente em percentagem e em radianos.

2.4. Cálculo do LS

Uma vez obtidos todos os parâmetros necessários, efetua-se a multiplicação dos fatores L e S, utilizando a calculadora *raster* presente nos *softwares* de SIG (Figura 10).

$$LS = L \times S$$

ArcToolBox: Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster calculator
"L"*S"

Figura 10 - Esquema de cálculo do LS segundo a RUSLE (sintaxe relativa ao ambiente ArcGIS).

Bibliografia

Desmet, P. & 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.

<http://www.jswconline.org/content/51/5/427.short>.

Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., Iverson, R. (1996) Modelling Topographic Potential for Erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(5), 629 -641.

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., (2015) A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modelling Soil Erosion by Water. *Geosciences*, 5(2), 117-126. doi:10.3390/geosciences5020117.

Renard K., Foster G., Weesies A., Porter, J. (1991) RUSLE Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation. Soil and Water Conservation Society*, 46(1): 30-33.

Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., Yoder, D. (1997) Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *USDA Agriculture Handbook 703*, Agricultural Research Service, Washington, DC, USA.

Wischmeier, W. & Smith D. (1978) Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture Handbook 537*, U. S. Dept. Agr., Washington, D



Rua Artilharia Um, 107, 1099-052 Lisboa, Portugal
Telefone: (+351) 21 381 96 00 | Fax: (+351) 21 381 96 99
www.dgterritorio.gov.pt | dgterritorio@dgterritorio.pt