

# PCS – 502 CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

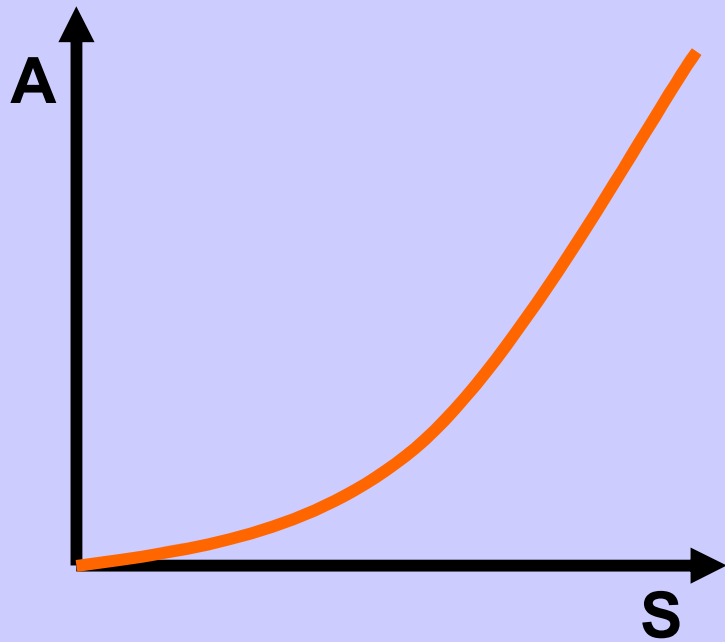
## Aula 4:

FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO.  
TOPOGRAFIA.  
COBERTURA VEGETAL.  
PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS.  
TOLERÂNCIA DE PERDAS DE SOLO.

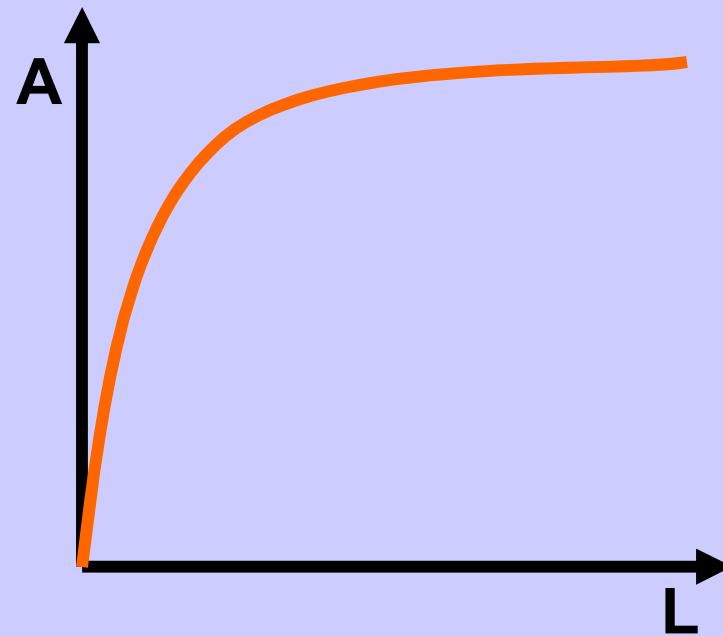
*Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva*

A = R . K . LS . C . P

# FATOR TOPOGRÁFICO E EROSÃO HÍDRICA



$$A = 0,145 S^{1,18}$$



$$A = 0,018 S^{1,18} L^{1,63}$$

$$A = 0,166 L^{1,63}$$

# FATOR TOPOGRÁFICO

## Conceito

**Fator LS** - distância do ponto de origem do fluxo superficial até o ponto onde cada gradiente de declive diminui o suficiente para o início da deposição ou o fluxo passa a se concentrar num canal definido. As perdas de solo aumentam com o aumento do comprimento do declive e da declividade, condições onde o fluxo superficial atinge maiores velocidades (Wischmeier & Smith, 1978).

Modelagem do parâmetro topográfico:

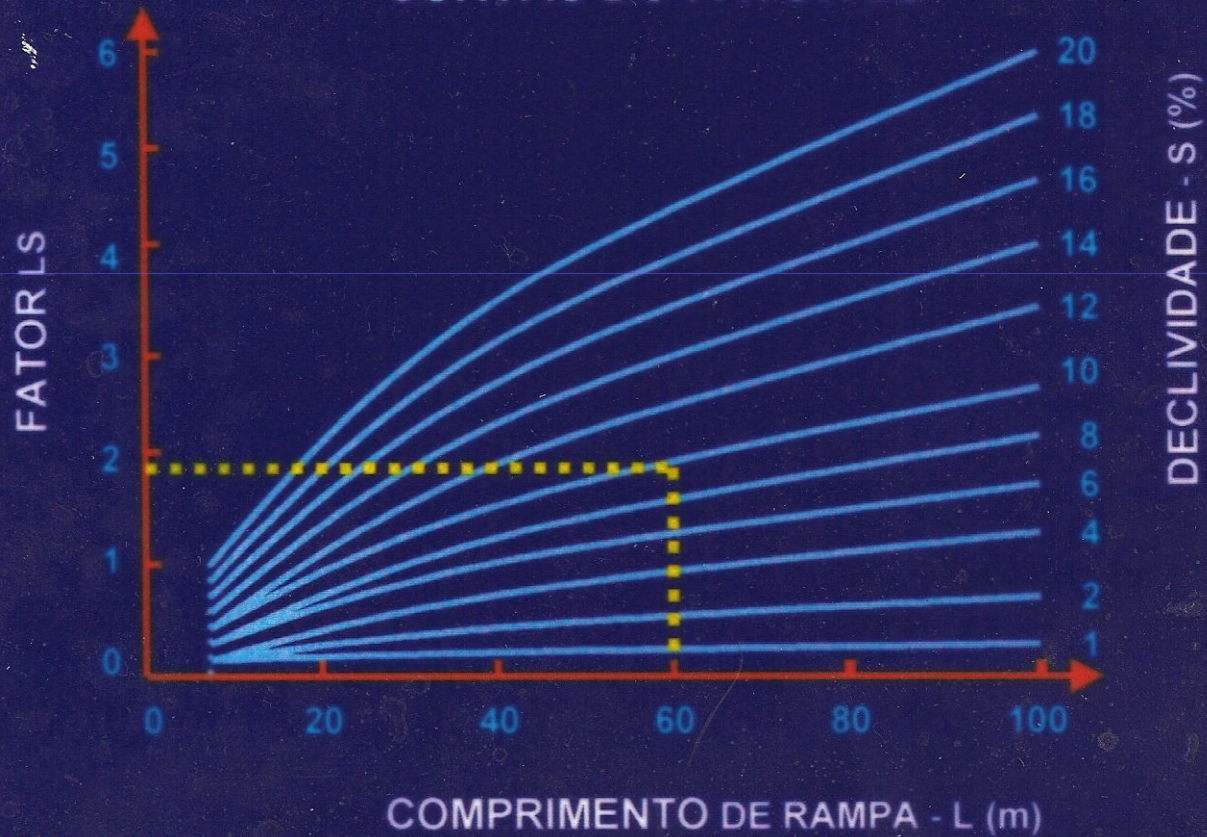
EMPÍRICA: Manual em campo; sobre base cartográfica analógica ou digital.

CONCEITUAL: Automatizada através de SIG.

## USLE - UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION

$$LS = 0,01.L^{0,5} \cdot (1,36 + 0,97.S + 0,1385.S^2)$$

CURVAS DO FATOR LS



## WEPP - WATER EROSION PREDICT PROJECT

**EQUAÇÃO DE LIEBENOW et al. (1990):**

$$S_f = 1,05 - 0,85 \cdot e^{-4\text{sen}\Omega}$$

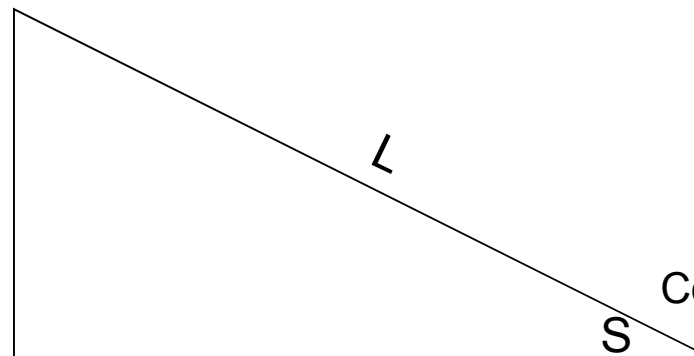
**Onde:**

**$S_f$  é o fator declividade do solo;**

**$\Omega$  é o ângulo de declividade em graus.**



Cota superior



Cota inferior

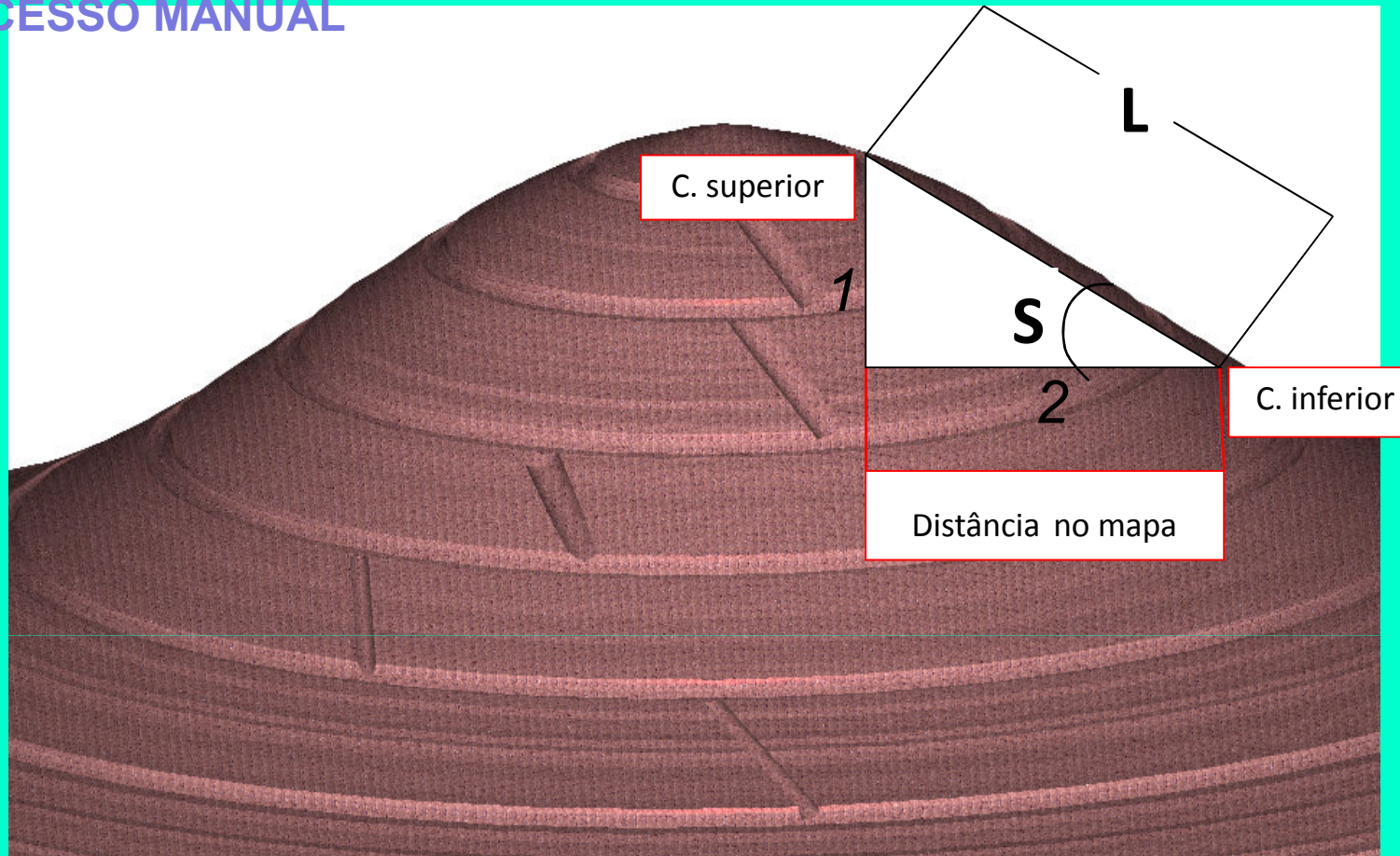
Distância medida no mapa

$$L = \sqrt{cat.op.^2 + cat.adj.^2}$$

$$tg(S) = \frac{cat.op.}{cat.adj.}$$



## PROCESSO MANUAL



*Pitágoras*

*Cateto 1: diferença de cota*

*Cateto 2: distância mapa*

*Hipotenusa: = L*

$$L = \sqrt{cat.op.^2 + cat.adj.^2}$$

$$S = \text{arc tg} (cat.op. / cat.adj.)$$



- Padronização do fator LS

- USLE e RUSLE;

- Parcela unitária = Encostas uniformes; Comprimento: 22,1 m; Declive: 9%

- Equações:

- USLE:

$$L = (\lambda/22,13)^m$$

$$S = 65,4 \text{ sen}^2 \vartheta + 4,56 \text{ sen } \vartheta + 0,0654$$

L = efeito do compr. do declive nas perdas de solo padronizada para o compr. de 22,13 m

$\lambda$  = comprimento do declive (m)

m = coeficiente empírico, 0,2 a 0,5 para gradientes de declive < 1%, 1-3%, 3,5-4,5%, e 5%

$\theta$  = ângulo do declive

- RUSLE:

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

$$\beta = (\text{sen } \vartheta / 0,0896) / [3 (\text{sen } \vartheta) 0,8 + 0,56]$$

$\beta$  = relação da erosão em sulcos e entressulcos

$\theta$  = ângulo do declive

$$S = 10,8 \text{ sen } \vartheta + 0,03 \text{ (quando } \vartheta < 9\%)$$

$$S = 16,8 \text{ sen } \vartheta - 0,50 \text{ (quando } \vartheta \geq 9\%)$$

## Características dos modelos empíricos sob processo manual



## Desvantagens

(Bertoni & Lombardi Neto, 2005; Warren et al., 2005; Gertner et al., 2002; Van Remortel, 2001)

Bases cartográficas  
Leis trigonométricas e interpolação;  
Adoção de valores médios  
Subjetividade do operador;  
Dificuldade de análise;  
Morosidade;

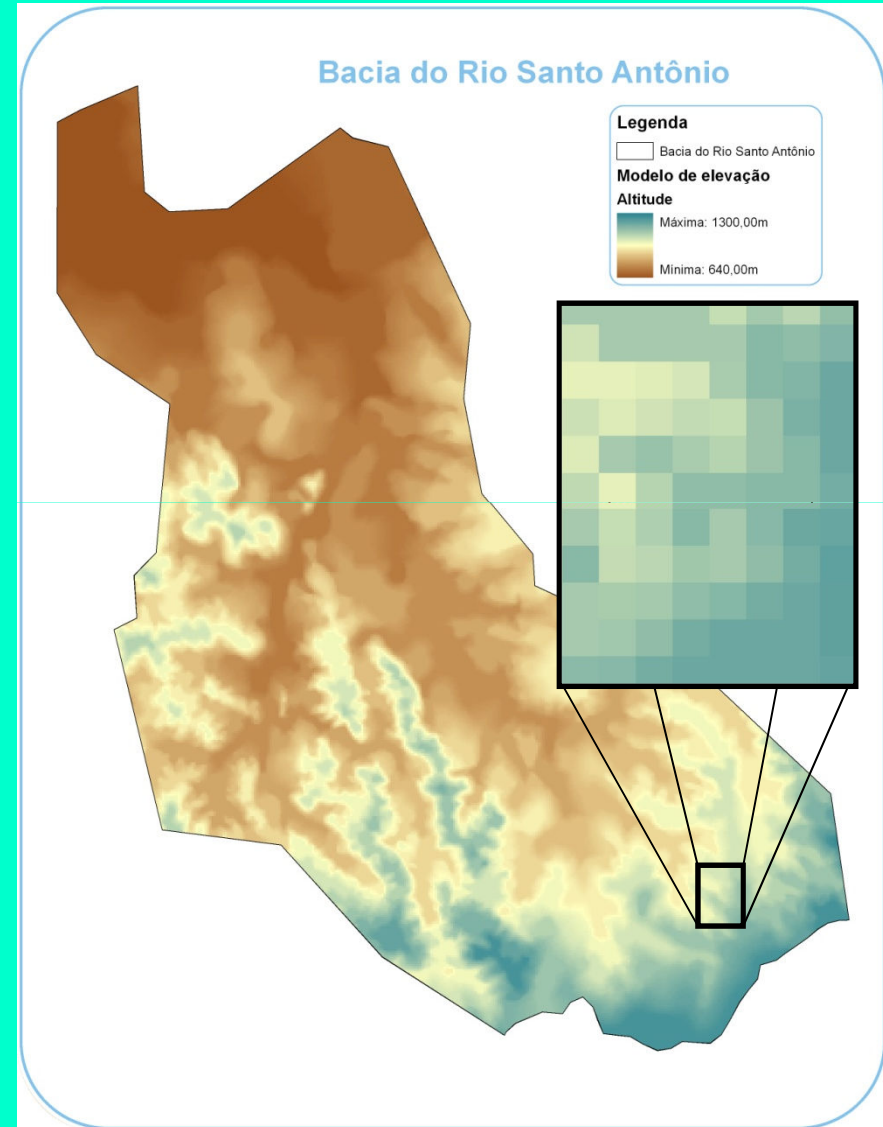
Não fornece fontes e sumidouros de sedimentos;  
Limitações na análise do relevo;  
Não considera o impacto dos fluxos divergente e convergente;  
Sub e superestimativa da erosão;  
Inviabilidade para grandes escalas;  
Avaliação bidimensional.

- Sistemas de Informação Geográfica (SIG)
  - Posição associada a informações;
  - Análises da espacialização destas informações;
  - Interpolação de valores;
  - Álgebra de mapas;
- Geoprocessamento
  - Conjunto de procedimentos computacionais;
  - Pixel: unidade básica de processamento;
  - Técnicas de análise espaço-temporais;
  - Modelos de perda de solo com valores distribuídos (pixel a pixel);
  - Análises tridimensionais em topografias complexas.

- Base vetorial
  - Curvas de nível



- Base raster
  - Pixel



# Modelos empíricos sob processo automatizado

- SIG:

*Fator topográfico obtido pixel a pixel ao longo de vertentes complexas:*

## *DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FATOR LS*

### – USLE/RUSLE:

$$L = (\lambda/22,13)^m$$

L = efeito do compr. do declive nas perdas de solo padronizada para o compr. de 22,13 m

$\lambda$  = comprimento do declive = tamanho do pixel (m)

m = coeficiente empírico, 0,2 a 0,5 para gradientes de declive < 1%, 1-3%, 3,5-4,5%, e 5%



# Modelagem conceitual

Empírico (USLE/RUSLE): perdas de solo na parcela padrão

Físico: Considera fluxos da água, transporte e deposição

Fator L



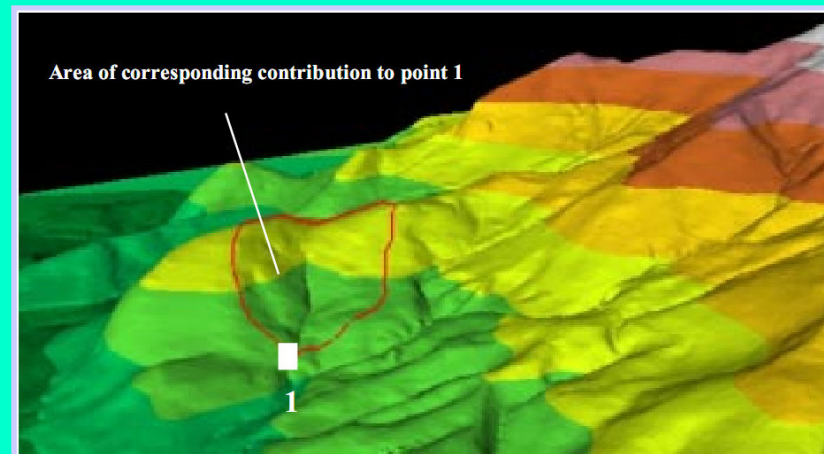
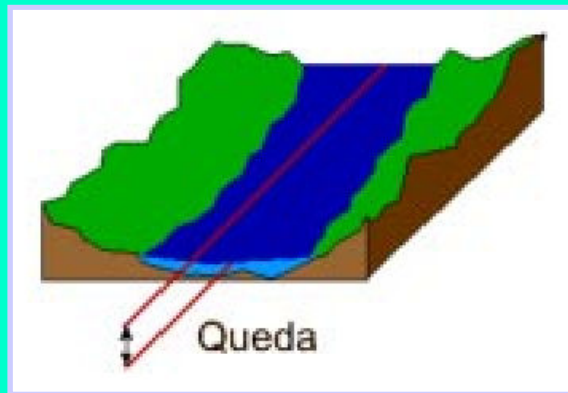
Área de  
contribuição ( $A$ )

$$A = \chi\eta$$

$\chi$  = fluxo acumulado;  
 $\eta$  = tamanho do pixel.

# Área de contribuição

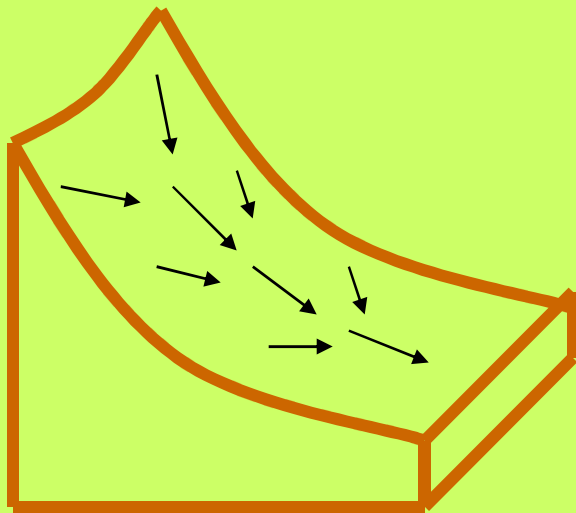
- É uma medida do fluxo superficial: representa áreas de maior concentração do fluxo de água em um grid de células;
- Descreve a erosão associada ao fluxo laminar e sulcos em encostas íngremes e irregulares;



## Forma do relevo - Pedoformas

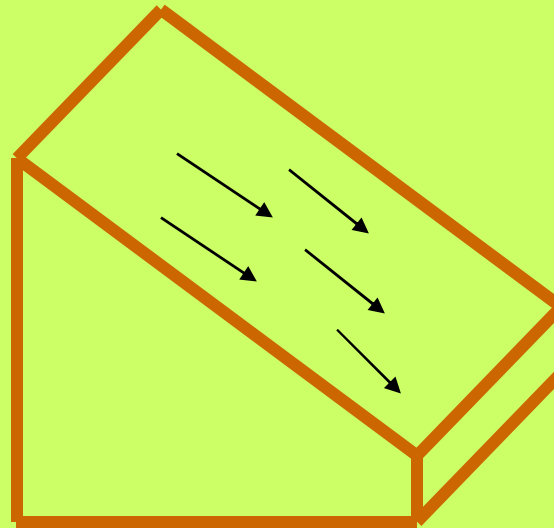
### Côncava

Convergência das águas  
Erosão mais localizada - sulcos  
Espessura do Solum Desigual  
Erosão e deposição  
Acúmulo de sementes e nutrientes



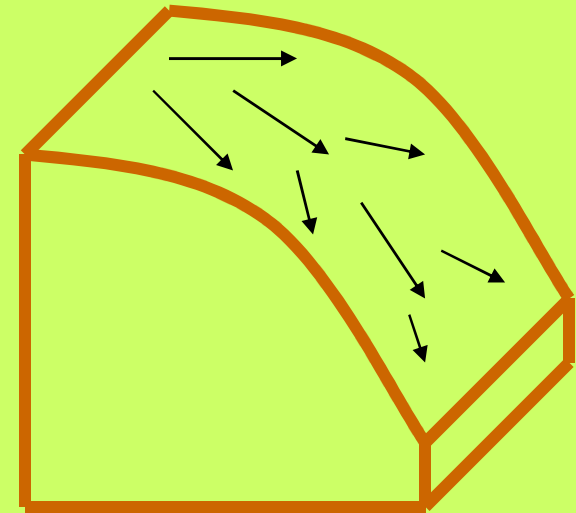
### Plana

Divergência das águas  
Erosão mais uniforme - Laminar  
Espessura do "Solum" uniforme  
Erosão  
Dispersão de sementes e nutrientes

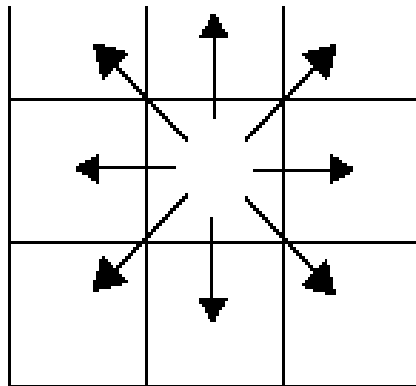


### Convexa

**EROSÃO NATURAL MAIOR**



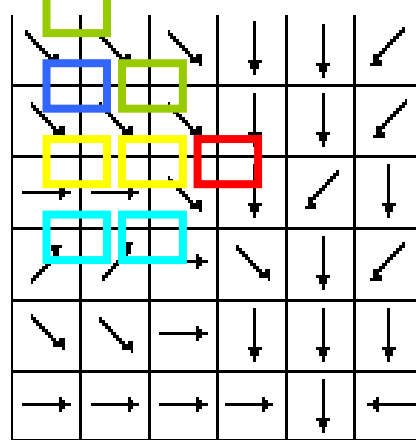
Modelo de 8 direções



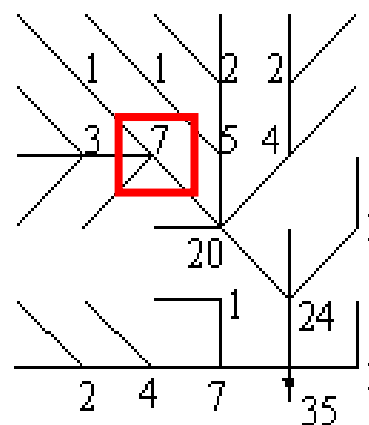
Grid de elevação do terreno

78	72	69	71	58	49
74	67	56	49	46	50
69	53	44	37	38	48
64	58	55	22	31	24
68	61	47	21	16	19
74	53	34	12	11	12

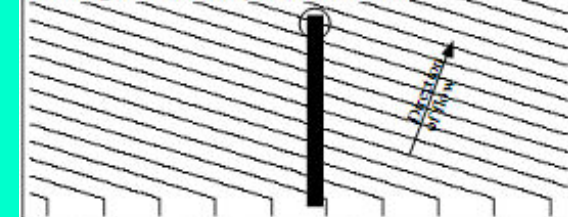
Grid de direção de fluxo



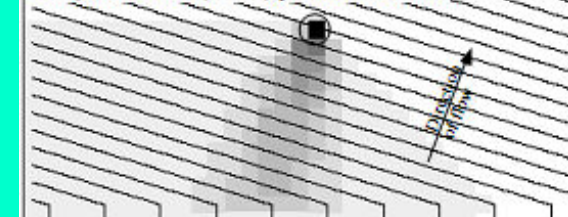
Rede de drenagem (fluxo acumulado)



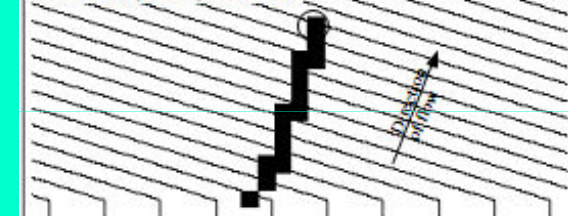
A. Single direction procedure, D8.



B. Quinn et al. (1991) procedure, MS.



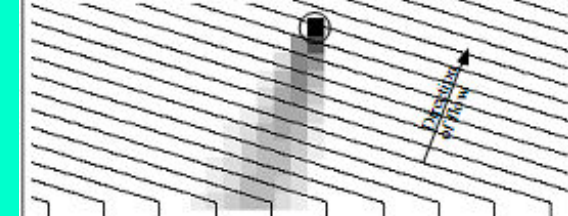
C. Lea's (1992) method.

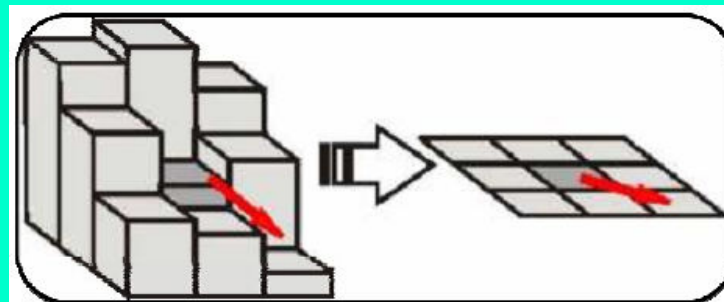
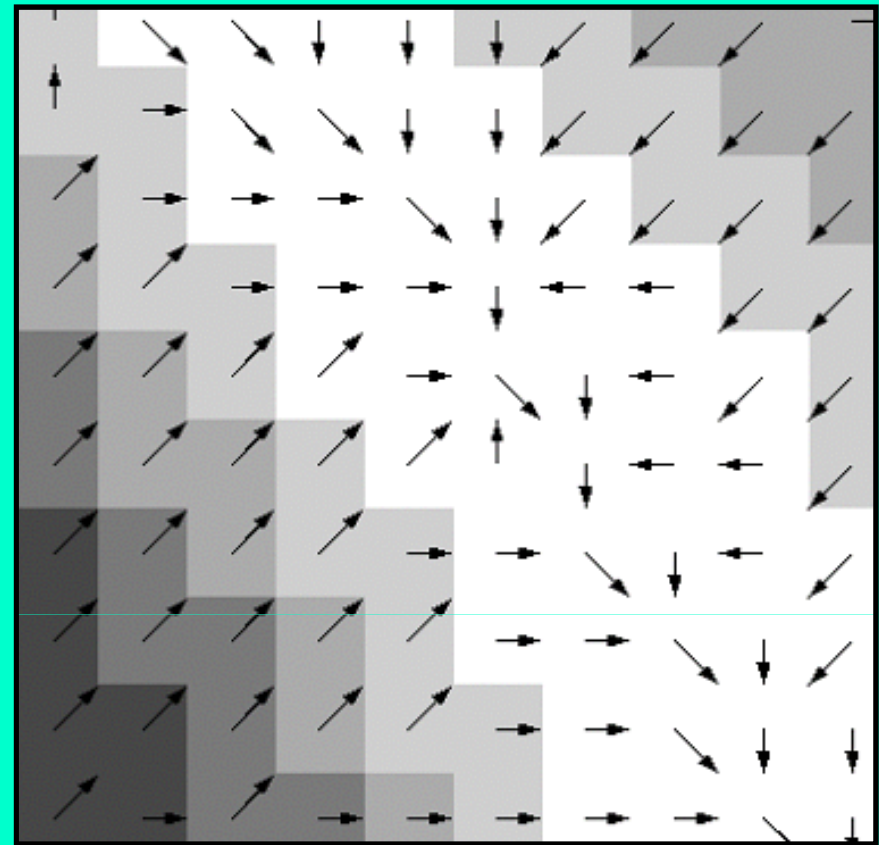
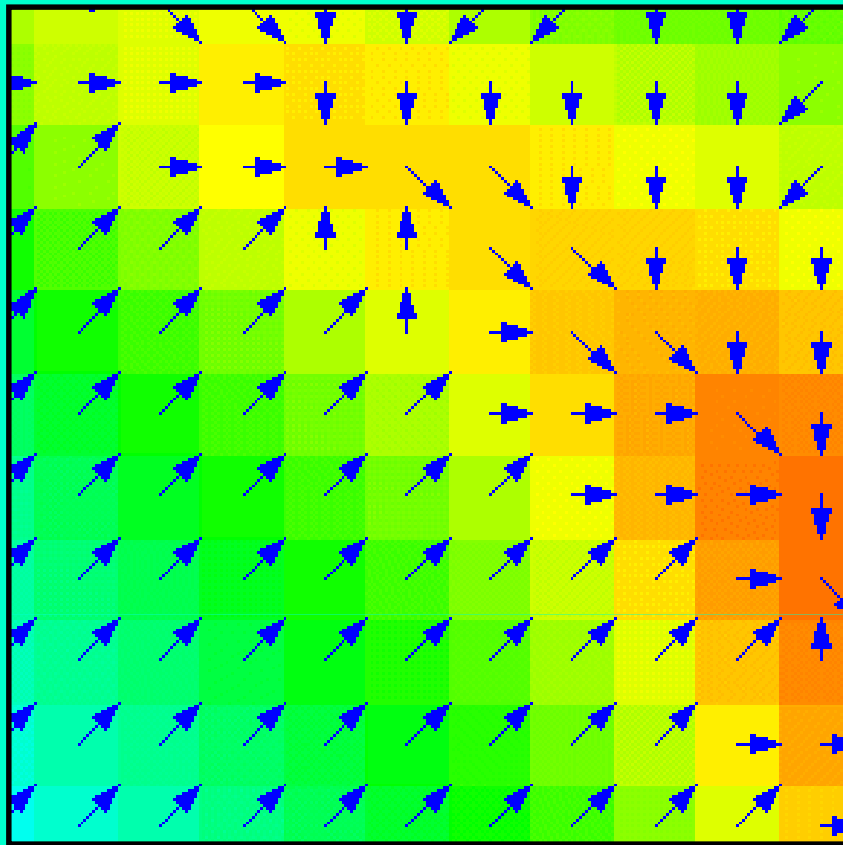


D. DEMON



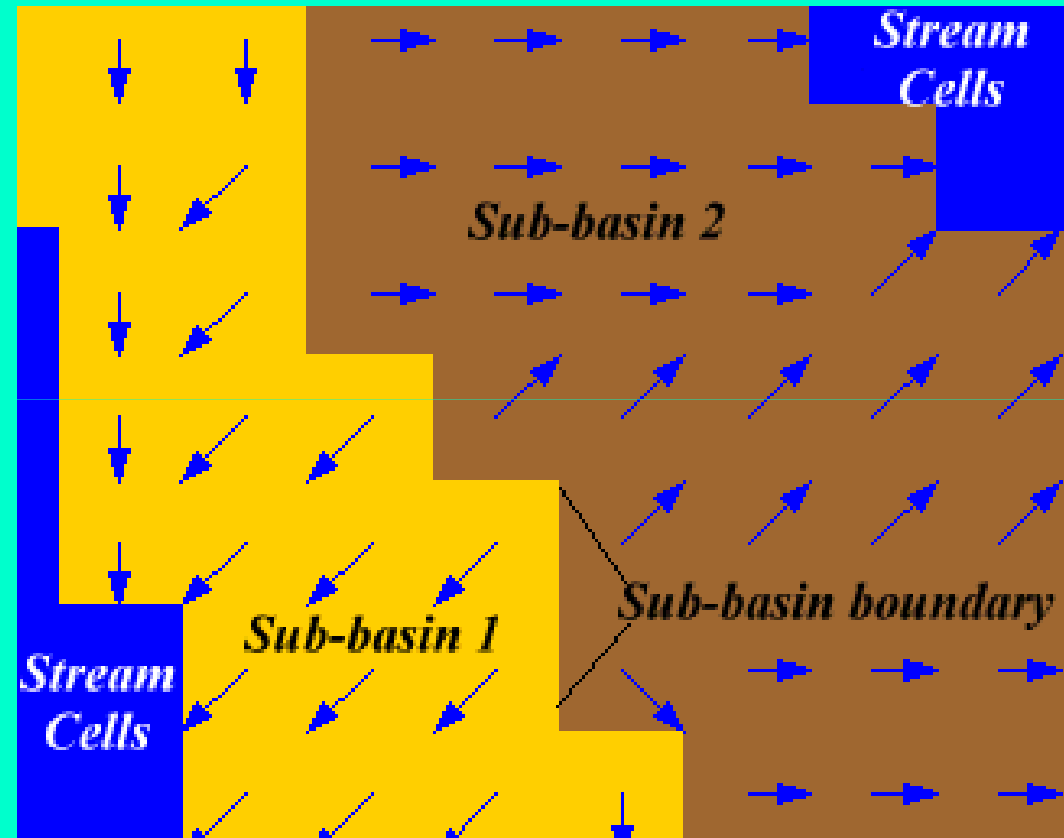
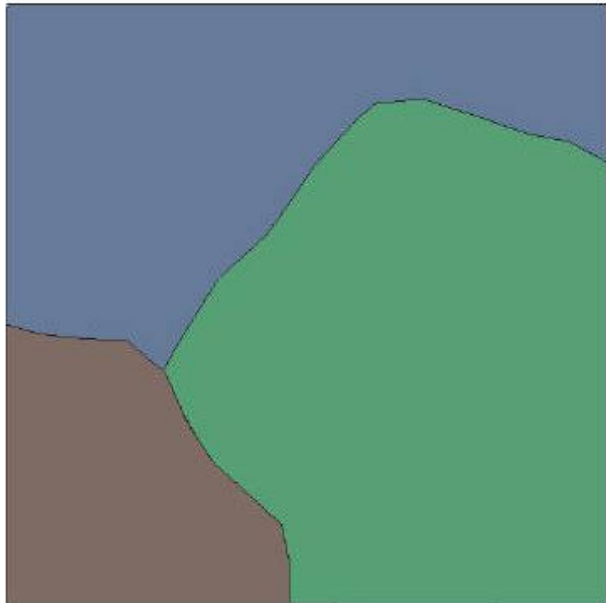
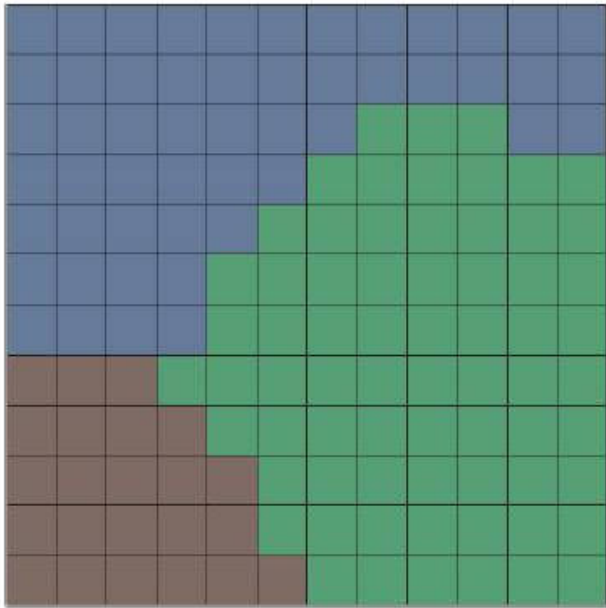
E. New Procedure, D<sub>∞</sub>.



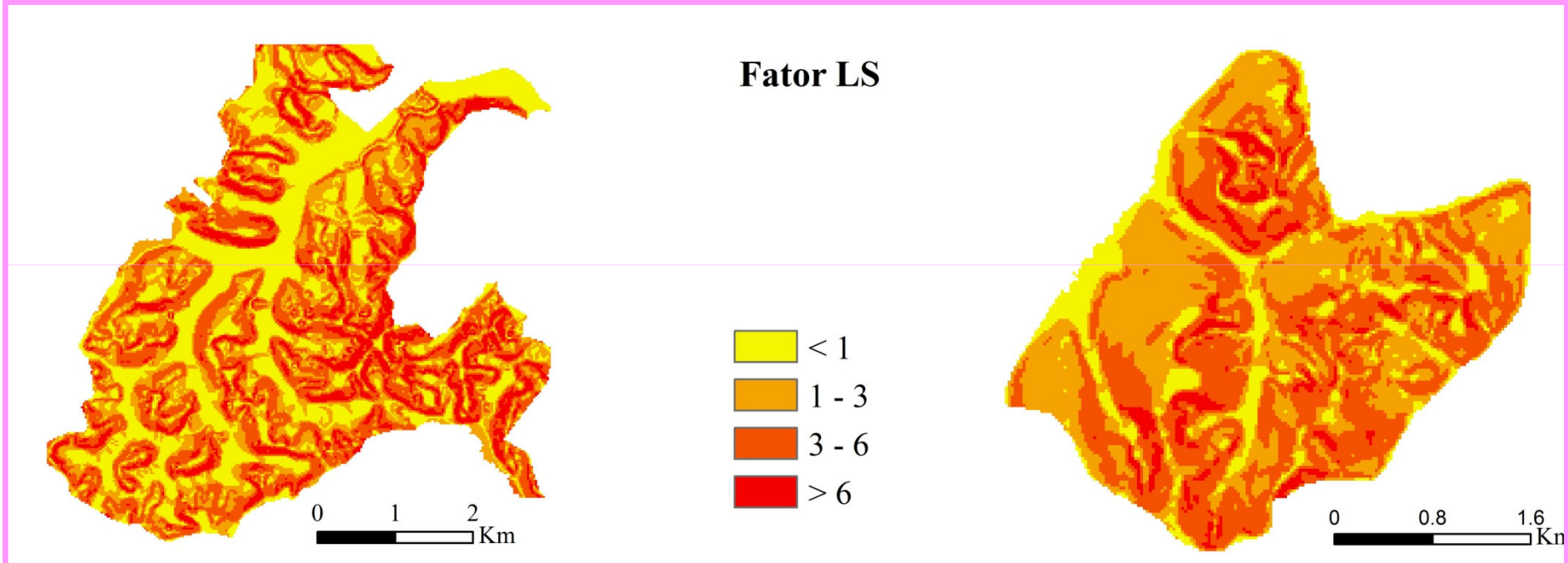


Adaptado de Oliveira 2011

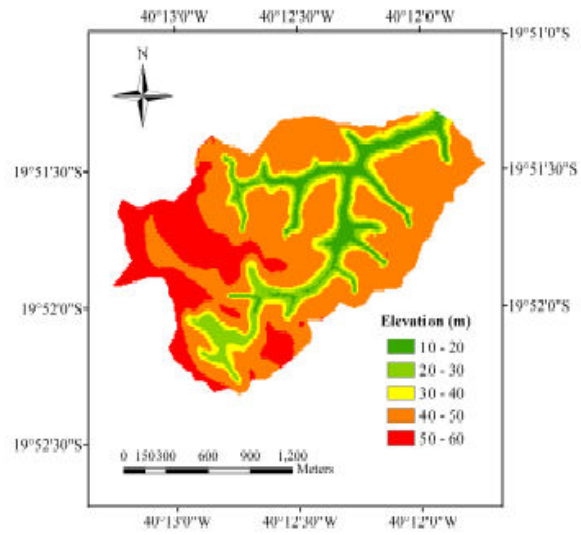




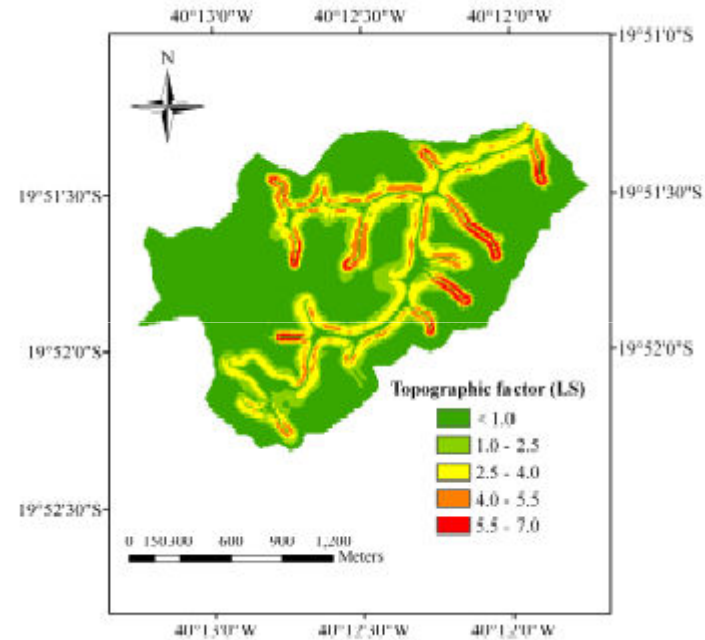
# FATOR TOPOGRÁFICO - LS



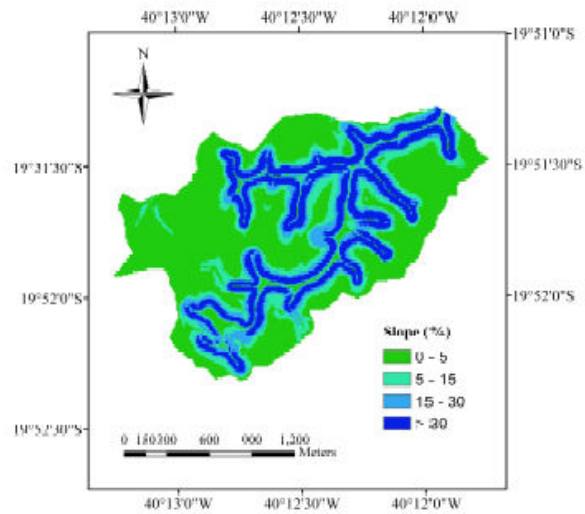
**Silva (2009)**



**Modelo de elevação de paisagem da área de estudo.**



**Fator topográfico da área de estudo.**



**Declividade da área de estudo**

## **RUSLE 3D (Mitasova *et al.*, 1996)**

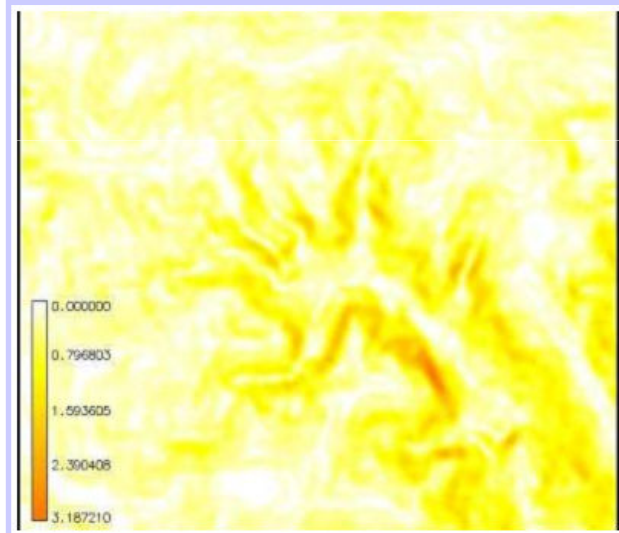
- Incorpora a área de contribuição à montante na equação LS da RUSLE;
- Coeficientes empíricos dependentes do tipo de fluxo.

$$LS(r) = (m+1) [A(r) / 22,13]^m [\text{sen } \beta(r) / 0,09]^n$$

$A(r)$  = área de contribuição à montante ( $m^2$ );  
 $\beta(r)$  = ângulo de inclinação do declive (graus);  
 $m$  e  $n$  = parâmetros dependentes do tipo de fluxo.

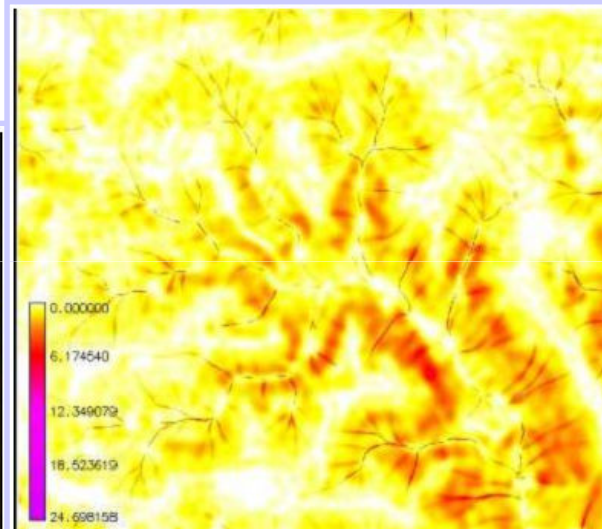
# RUSLE 3D (Mitasova *et al.*, 1996)

Fator *LS* da RUSLE-3D com  $m=0,1$



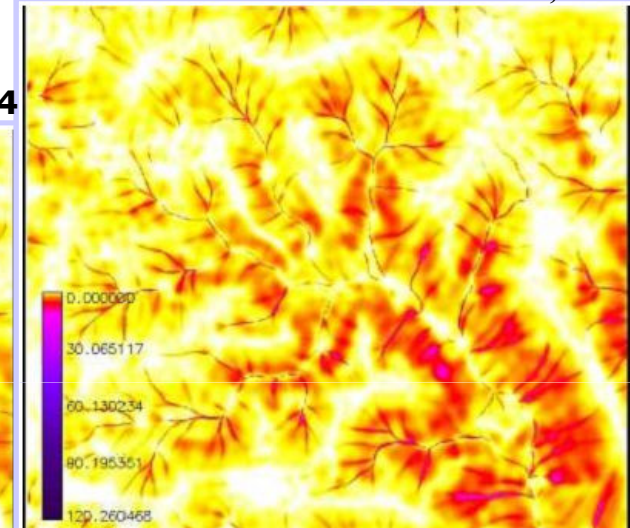
- Fluxo laminar, pouca influência do fluxo da água na erosão, boa cobertura vegetal, solos severamente compactados.

Fator *LS* da RUSLE-3D com  $m=0,4$



- Fluxo laminar e concentrado, variabilidade espacial de uso e propriedades do solo.

Fator *LS* da RUSLE-3D com  $m=0,6$



- Fluxo de alto impacto com elevada turbulência, erosão em sulcos e voçorocas, solos degradados.

Adaptado de Oliveira 2011



## **USPED – Unit Stream Power Erosion and Deposition (Moore & Burch, 1986; Moore & Wilson, 1992)**

- Fator LS: teoria da unidade de força do escoamento
  - Representa a mudança na capacidade de transporte da direção de fluxo, prevê a distribuição da erosão e deposição:
    - *LS (+): potencial topográfico para deposição*
    - *LS (-): potencial topográfico para erosão*

$$LS = (A / 22,13)^m (\text{sen } \theta / 0,0896)^n$$

A = área de contribuição à montante por unidade de comprimento da célula (m<sup>2</sup> m<sup>-1</sup>);

$\theta$  = ângulo do declive;

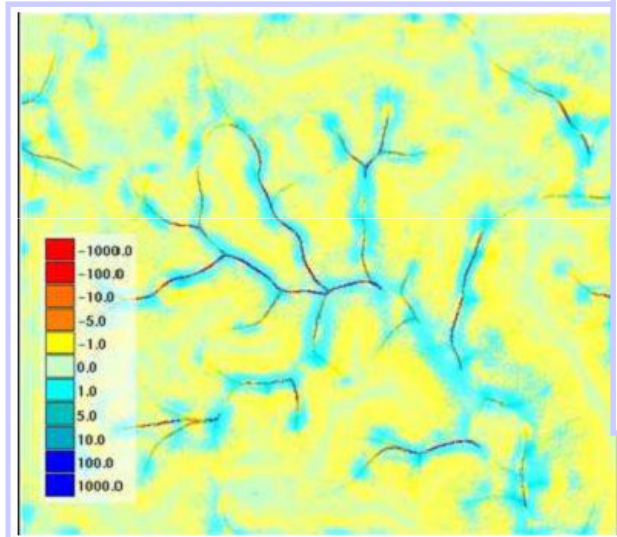
m e n = constantes que dependem do tipo de fluxo e propriedades do solo.

**Adaptado de Oliveira 2011**

# USPED

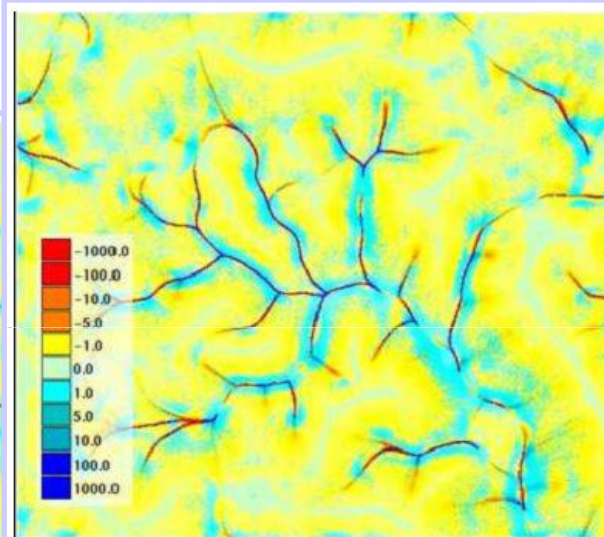
(Moore & Burch, 1986; Moore & Wilson, 1992)

Fator LS da USPED com  $m=1,0$



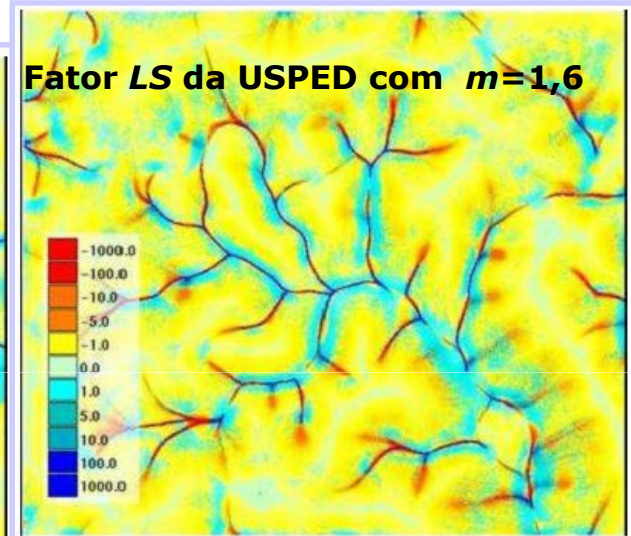
- fluxo laminar disperso.  
Deposição ao longo da encosta.

Fator LS da USPED com  $m=1,4$



-fluxos laminar e em sulcos, influenciando a erosão e deposição. A deposição começa baixa na encosta, início de voçorocas nas áreas de cabeceira.

Fator LS da USPED com  $m=1,6$



-sulcos e fluxos concentrados. A extensão de deposição é ainda mais reduzida e o potencial para voçorocamento inicia-se com grande força nas áreas de cabeceira, tornando a erosão ainda mais longa e ampla.