



# Avaliação da Predição Espacial e Incerteza do Fator Topográfico para a Equação Universal de Perda de Solo Revisada Utilizando Modelos Digitais de Elevação

Análise Espacial de Dados Geográficos (SER 301) –  
**Estudo de Caso**

Aluno: Gustavo Felipe Balué Arcoverde  
3/2009

# ROTEIRO

1. Contextualização
2. Objetivo
3. Material e Métodos
  - 3.1 Área de Estudo
  - 3.2 Preparo do Material
  - 3.3 Análise
4. Resultados
5. Conclusão e Discussão
6. Referências Bibliográficas

## Spatial prediction and uncertainty assessment of topographic factor for revised universal soil loss equation using digital elevation models

Guangxing Wang<sup>a,\*</sup>, George Gertner<sup>a</sup>, Pablo Parysow<sup>b</sup>, Alan Anderson<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Natural Resources and Environmental Sciences, NRES, University of Illinois at Urbana-Champaign, W303 Turner Hall, 1102 S. Goodwin Avenue, Urbana, IL 61801, USA

<sup>b</sup> School of Forestry, Northern Arizona University, Flagstaff, AZ, USA

<sup>c</sup> USACERL, P.O. Box 9005, Champaign, IL, USA

Received 9 November 1999; accepted 15 May 2001

### Abstract

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) is a model to predict longtime average annual soil loss, related to rainfall-runoff, soil erodibility, slope length and steepness, cover management, and support practice. The product of slope length  $L$  and steepness  $S$  is called topographic factor  $LS$ , implying the topographic effect on soil loss. This study focuses on (a) spatially predicting the topographic factor  $LS$  for RUSLE using a Digital Elevation Model (DEM), (b) selecting the appropriate DEM spacing for predicting the  $LS$  factor, and (c) modeling the loss of spatial variability of the predicted  $LS$  factor due to DEM resampling. The results show that using the physically based topographical factor  $LS$  equation and DEMs led to a higher correlation of predicted  $LS$  values with topographical features, compared to a spatial simulation method based on  $LS$  empirical models and sample data. The appropriate DEM spacing required to achieve prediction precision and detailed spatial variability of the  $LS$  factor was not identical for both requirements and a compromise may be made depending on the application aims. By modeling the spatial variability of predicted  $LS$  values for different DEM spacing, a new method to directly measure loss of spatial variability due to data resampling was developed. Compared to measures of entropy and global variance, the new method can reveal the different losses of spatial variability in different directions when the spatial variability is anisotropic. Published by Elsevier Science B.V.

**Keywords:** DEM spacing; Digital elevation model; Geostatistics; Soil loss; Spatial variability; Topographic factor; Uncertainty

### 1. Introduction

Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), the longtime average annual soil loss can be predicted as a product of rainfall-runoff erosivity

factor  $R$ , soil erodibility factor  $K$ , slope length factor  $L$ , slope steepness factor  $S$ , cover management factor  $C$ , and support practice factor  $P$  (Renard et al., 1997). The slope steepness factor ( $S$ ) is a function of slope angles measured in degrees and reflects the influence of slope gradient on erosion. The slope length factor ( $L$ ) is a function of slope length mea-

\* Corresponding author. Tel.: +1-217-244-4603; fax: +1-217-

# 1. Contextualização

- EUPS (Eq. Universal de Perda de Solo Revisada – anual)

$$PS = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

PS = perda de solo média anual,  $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$  ;

R = fator de erosividade da chuva,  $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$  ;

K = fator de erodibilidade do solo,  $t \cdot ha \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$  ;

L = fator de comprimento de rampa, adimensional;

S = fator de declividade do terreno, adimensional;

C = fator de uso e manejo do solo, adimensional;

P = fator de práticas conservacionistas, adimensional.

*Renard et al., 1997*

*Maeda, 2008*

# 1. Contextualização

- Fator Topográfico: LS
  - Este Fator é o mais crítico para estimativa de perda de solo (Renard e Ferreira, 1993; Risse et al., 1993);
  - Representa o efeito topográfico que influi na perda de solo: **comprimento de rampa e declividade**;
  - Comprimento mínimo de rampa: 22,13 metros;
  - Declividade mínima: 9 %;
  - É gerado por modelos empíricos, sendo que Moore e Burch (1986), e Moore e Wilson (1992) adaptaram tais modelos para Modelos Digitais de Elevação (MDE).

# 1. Contextualização

- Qual a melhor resolução de um MDE para gerar Fator LS ?
  - Mitsova et al. (1996) avaliaram que MDE a partir de 30 metros (USGS) são insuficientes para gerar Fator LS;
  - **Precisão** tem relação com a **variabilidade espacial** com medições de erro associadas;
  - Woodcock e Strahler (1987) basearam-se na **variância local** para a definição do tamanho de célula mais apropriado (outros fins);
  - Atkinson e Curran (1995) determinaram o tamanho de célula baseando-se na relação entre a **dependência espacial de variáveis** e os respectivos lags de tamanho de célula em um **semivariograma**. (outros fins)
  - A resolução espacial mais apropriada dependerá do compromisso da **variabilidade espacial x erros associados x tamanho do dado** .

# 1. Contextualização

- Como medir a variabilidade espacial do Fator LS?
  - O **semivariograma** é comumente utilizado para medir a variabilidade espacial de um dado espacial;
  - O **efeito pepita** de um semivariograma indica **ruído** da variabilidade espacial (Curran; Dungan, 1989);
  - O uso de semivariogramas, no entanto, deve considerar a **anisotropia** da variação espacial do dado, devendo, para tanto, ser gerada para varias direções;
  - Vieux (1995) utilizou a **entropia** para medir a **perda** da informação **espacial**.

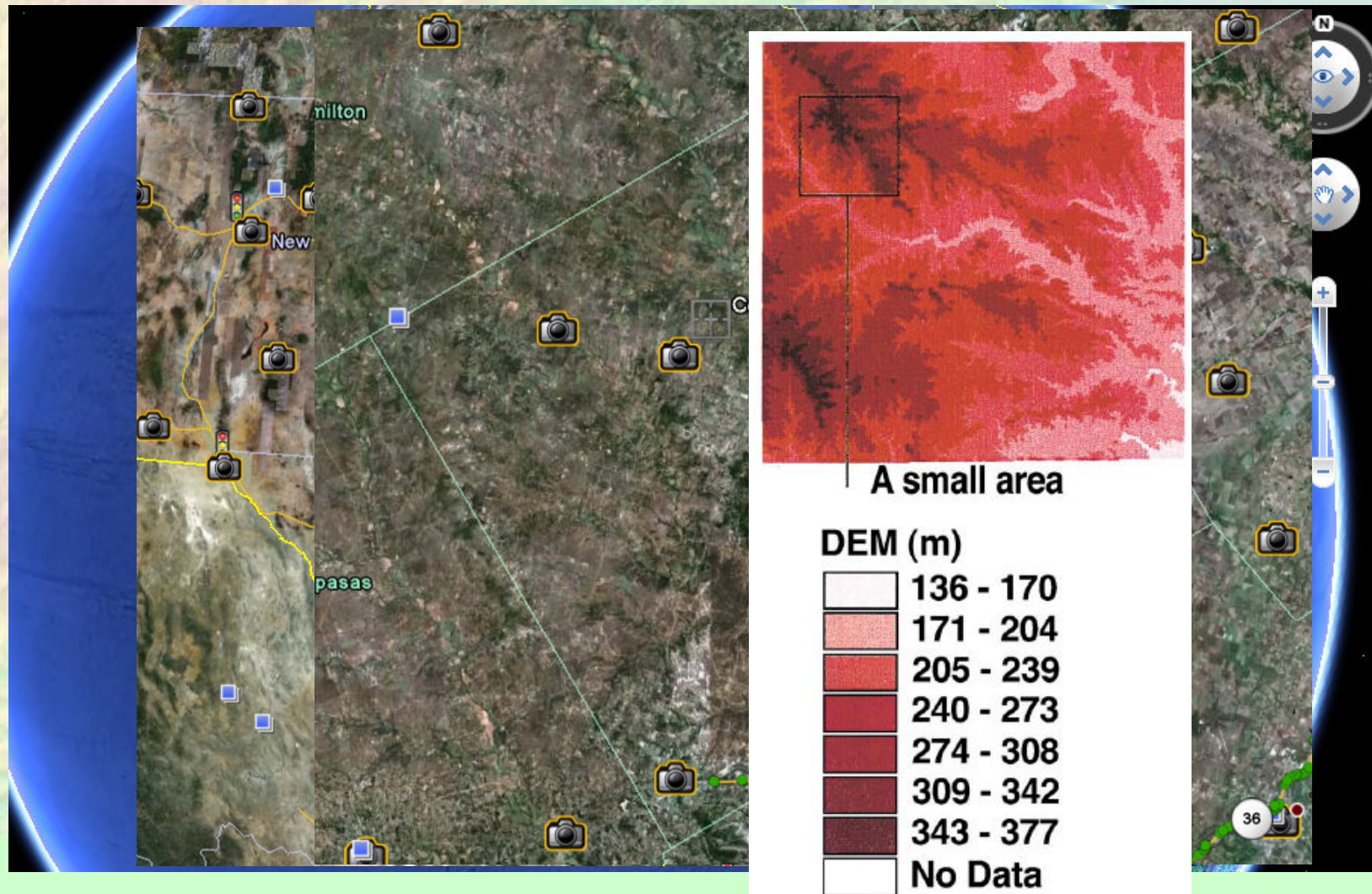
## 2. Objetivo

Desenvolver uma abordagem para a avaliação da performance da variável espacial Fator LS, considerando resolução espacial e variabilidade espacial.



# 3. Material e Métodos

## 3.1 Área de Estudo



# 3. Material e Métodos

## 3.1 Preparo do Material

- MDE com res. espacial 30m (horizontal) e 1m (vertical) adquirido pela US Geological Survey;
- MDE reamostrado para 50m, 100m, 200m e 400m por vizinho mais próximo para toda área;
- MDE reamostrado para 20m, 10m e 5m a área menor, recorte (Mitasova; Mitas, 1993);
- O recorte de área (10x10km) possui maior gradiente de relevo e visa a predição empírica do Fator LS por amostras de campo.

# 3. Material e Métodos

## 3.1 Preparo do Material

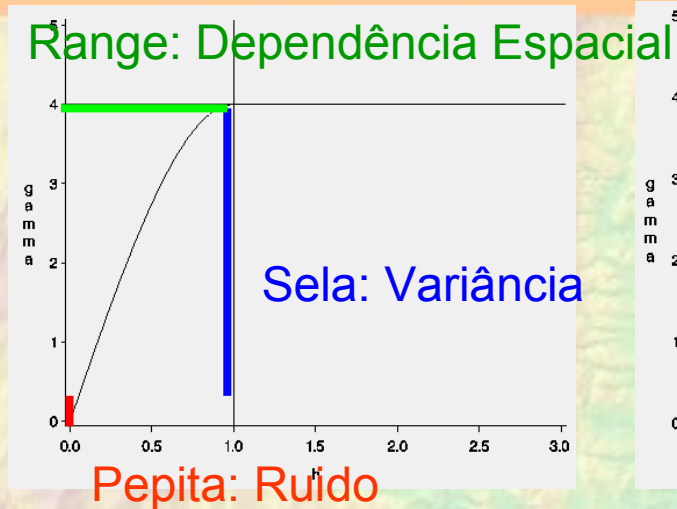
- Foram **gerados**: declividade, aspecto (direção de fluxo), comprimento de linha de fluxo, densidade de linha fluxo e área de contribuição (programa GRASS);
- Fator LS foi calculado segundo Moore e Burch (1986), e Moore e Wilson (1992);

$$LS = \left[ \frac{A}{22.13} \right]^m \left[ \frac{\sin \beta}{0.0896} \right]^n$$

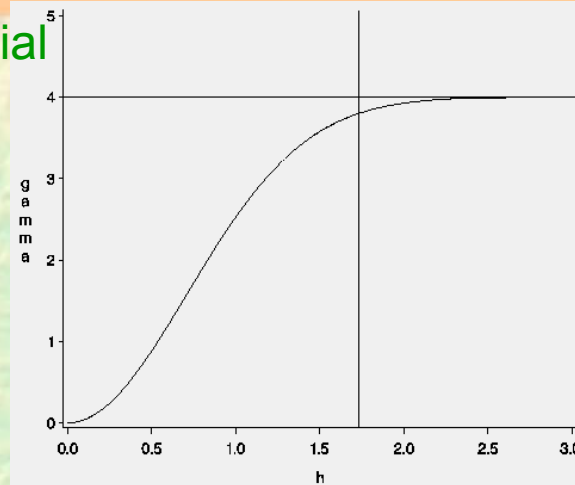
- A **perda de variabilidade** do MDE **influi no cálculo** da declividade e area de contribuição, e assim para a geração do Fator LS;

# 3. Material e Métodos

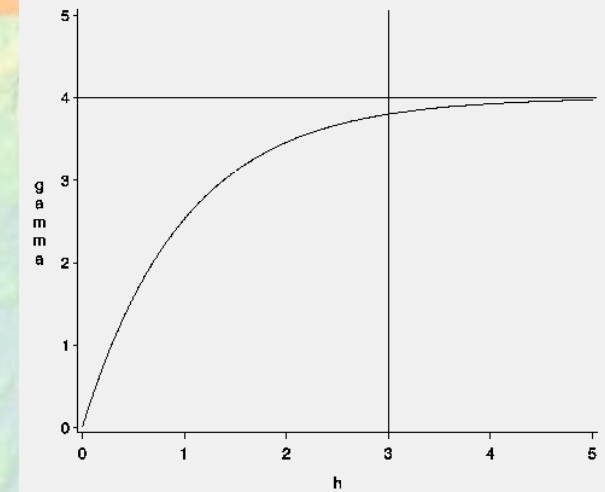
## 3.1 Análise



**Modelo Esférico**



**Modelo Gaussiano**



**Modelo Exponencial**

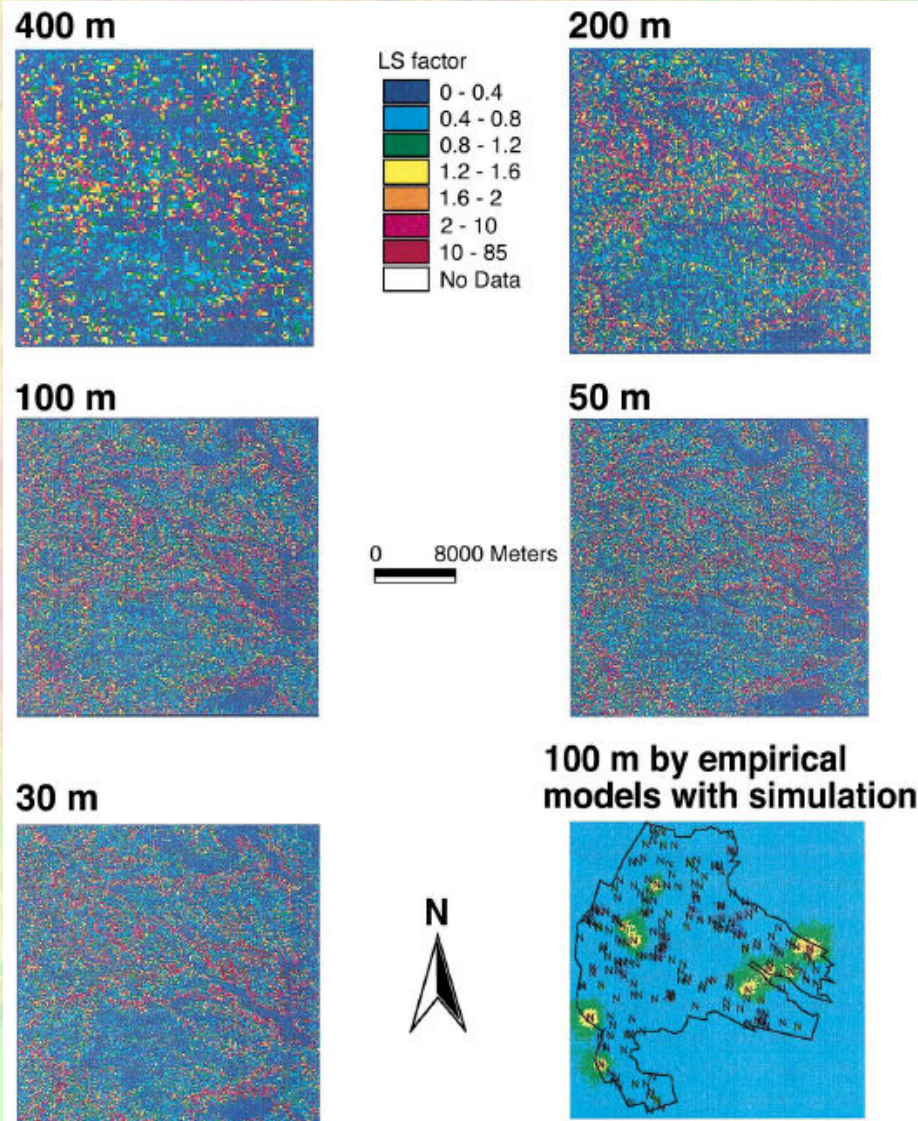
- A pepita e range geralmente diminuem com o aumento do espaçamento entre células;
- O range tende a aumentar com o aumento do espaçamento entre células;
- A diferença entre semivariogramas de resoluções espaciais diferentes denota a perda/ganho da variabilidade espacial entre os grids

# 3. Material e Métodos

## 3.1 Preparo do Material

- ANÁLISES da precisão do Fator LS: **variância global**, **variância local média** (vizinhança) e **semivariograma** com lag de 1 pixel;
- Além da variância global, calculou-se **entropia** para estimar a perda da variabilidade espacial do Fator LS com as diferentes resoluções “quando há perda de entropia há perda de variabilidade espacial do dado”;
- Avaliação da perda de informação entre resoluções baseou-se na **diferença** de parâmetros (**variância global**, **variância local média**, **entropia** e **semivariograma**);
- Análises por semivariogramas em **diferentes direções** (0, 45, 90, 135), com intuito de avaliar a variabilidade espacial associada com possível anisotropia (programa GSLIB e S-Plus).
- Foram testados os **modelos esféricos**, **exponencial** e **gaussiano**;

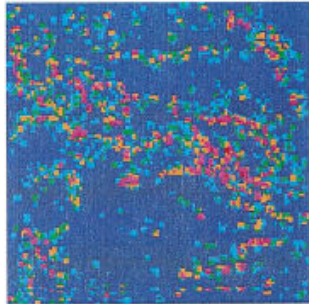
# 4. Resultados



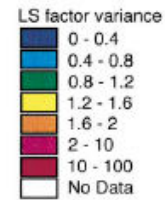
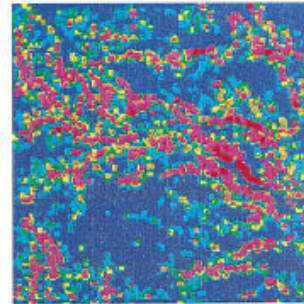
Na área amotral, foi gerado Fator LS empírico através de 219 amostras coletadas em campo. Para tanto foi gerado MDE e Fator LS com 100m de resolução.

# 4. Resultados

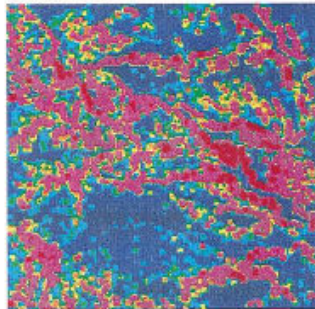
400 m



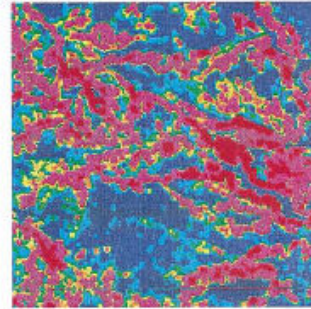
200 m



100 m

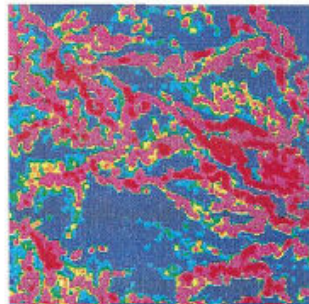


50 m

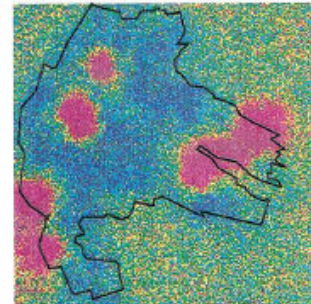


0 8000 Meters

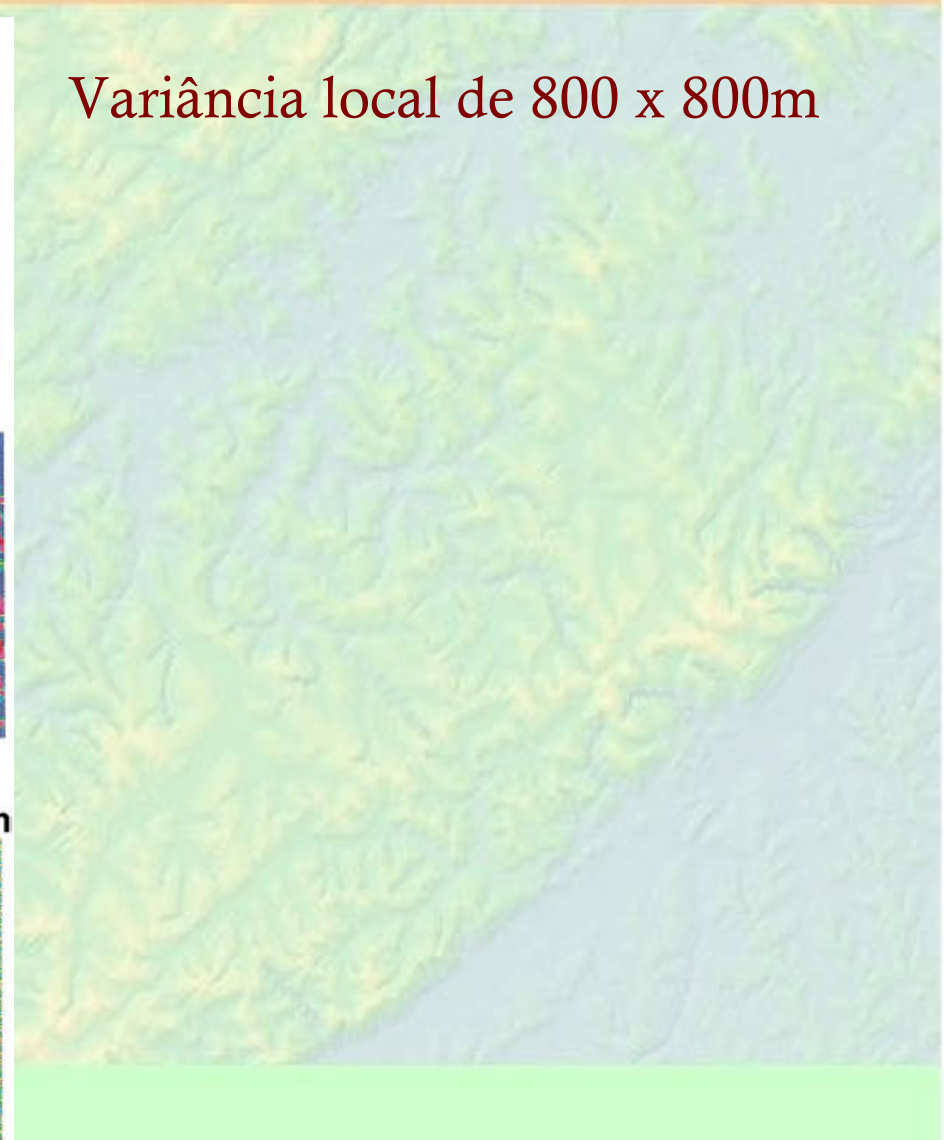
30 m



100 m by empirical models with simulation



Variância local de 800 x 800m



# 4. Resultados

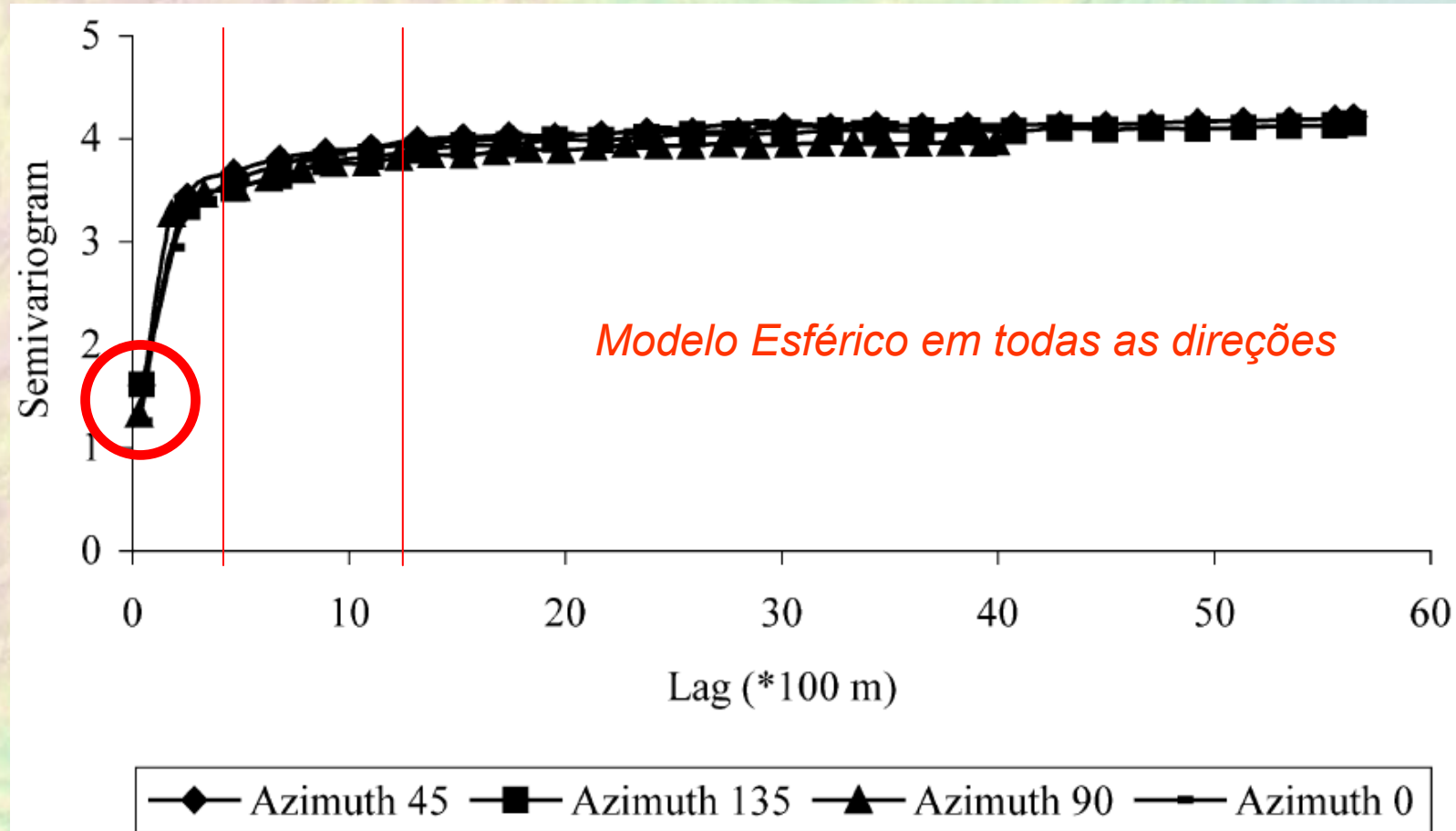


Fig. 4. Experimental semivariogram of predicted *LS* grid for 30-m DEM spacing and four directions.



# 4. Resultados

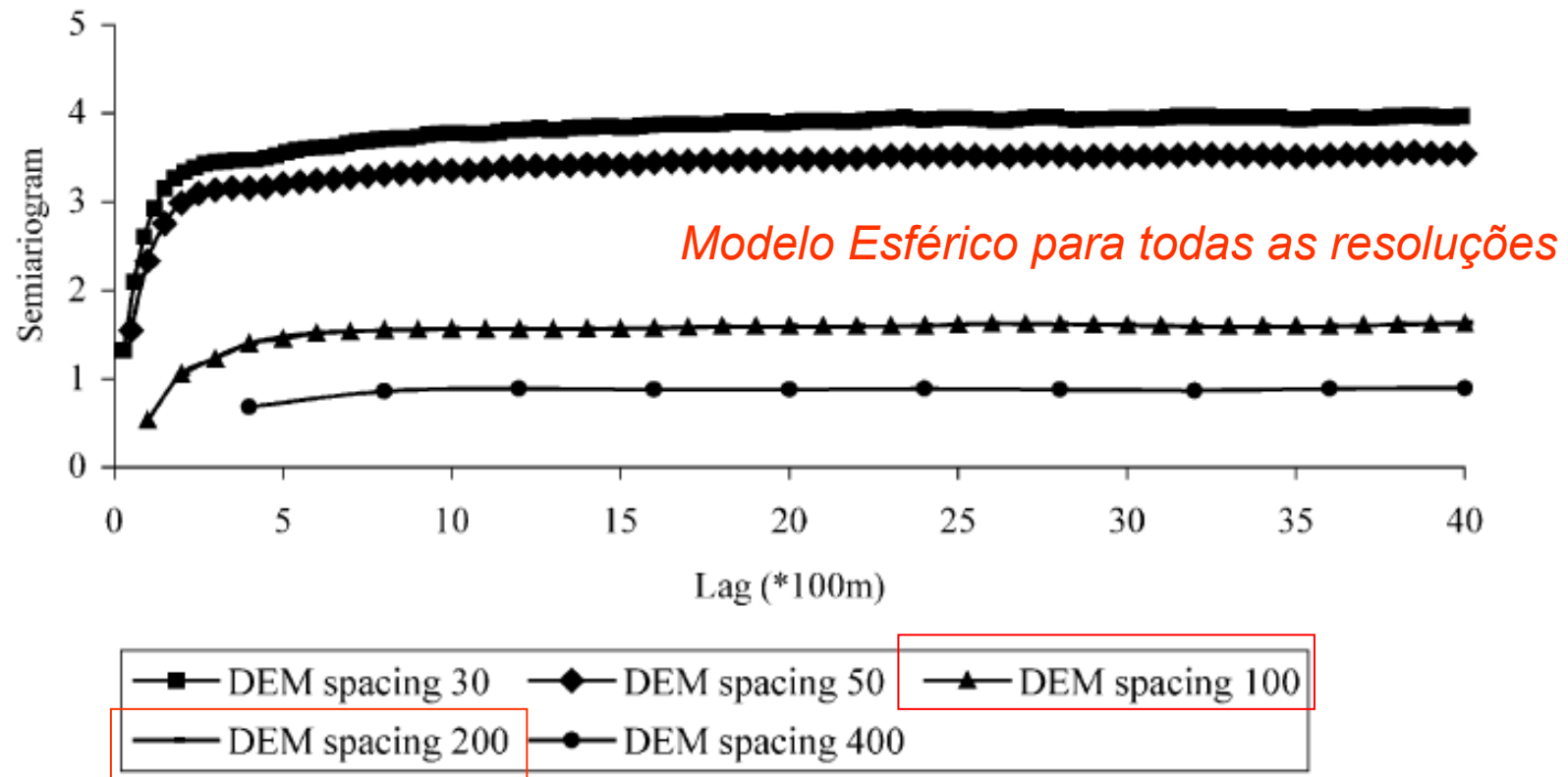


Fig. 5. Experimental semivariogram of predicted *LS* grids for different DEM spacing and 0° azimuth.

# 4. Resultados

*Pepita é a que varia mais com a direção e a Sela varia pouco;*

Table 1

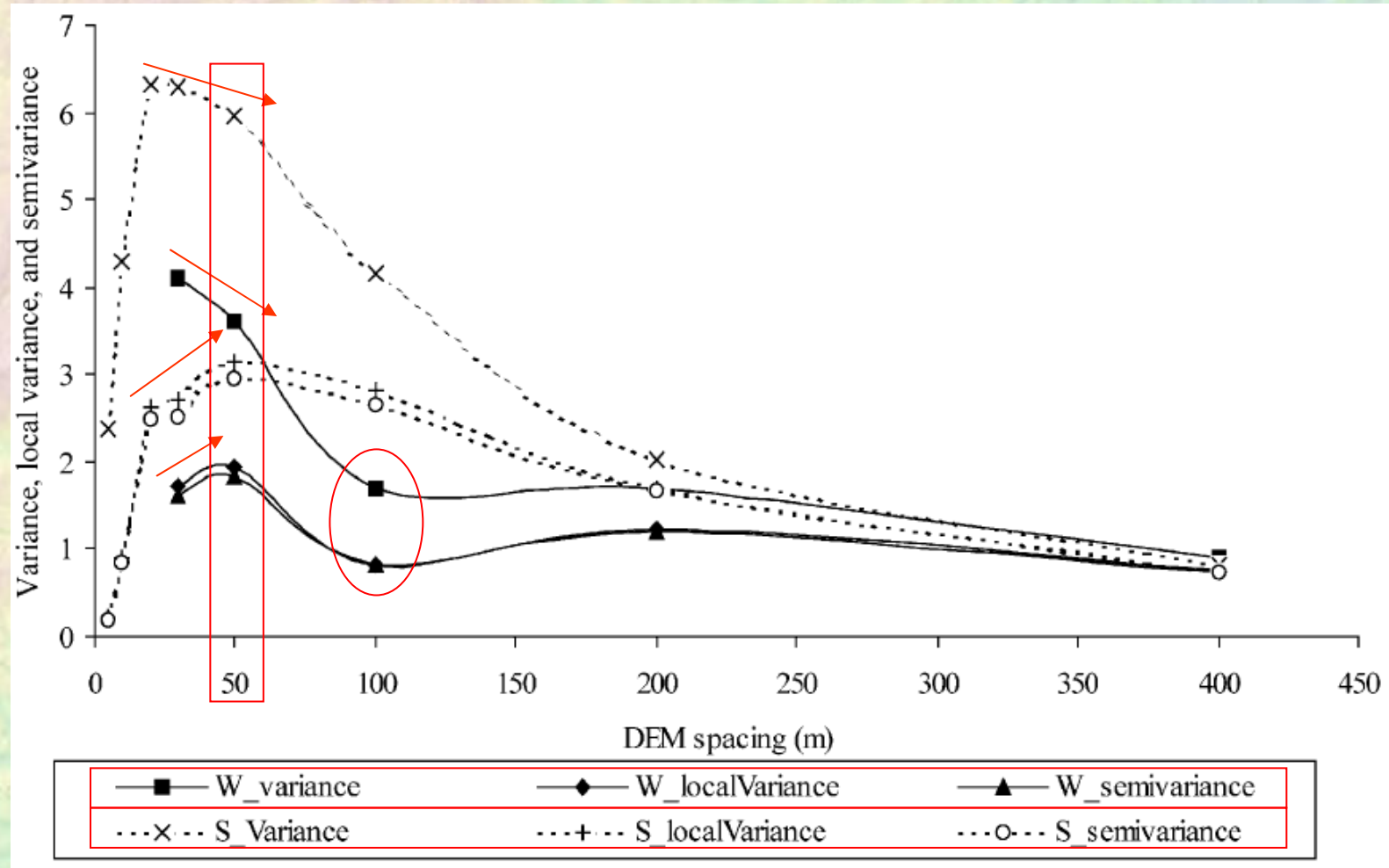
Spherical semivariogram model parameter estimates of topographical factor *LS* for different DEM spacing and spatial directions

DEM spacing (m)	$c_0$	$c_1$	$c$	$a_0$ (m)	DEM spacing (m)	$c_0$	$c_1$	$c$	$a_0$ (m)
	<i>Pepipta</i>		<i>Sela</i>	<i>Range</i>		<i>Pepipta</i>		<i>Sela</i>	<i>Range</i>
<i>Azimuth 0°</i>					<i>Azimuth 45°</i>				
30	2.09	1.98	4.07	638	30	1.79	2.24	4.03	681
50	1.85	1.78	3.63	603	50	1.70	1.88	3.58	760
100	0.26	1.34	1.60	578	100	0.56	1.09	1.65	711
200	0.73 (-)	0.88	1.61 (-)	765 (+)	200	0.84 (-)	0.82	1.66 (-)	826 (+)
400	0.49	0.44	0.93	1602	400	0.57	0.37	0.94	1581
<i>Azimuth 90°</i>					<i>Azimuth 135°</i>				
30	1.39	2.43	3.82	326	30	2.51	1.53	4.04	1129
50	1.30	2.15	3.45	356	50	2.40	1.20	3.60	1275
100	0.38	1.27	1.65	746	100	0.60	1.03	1.63	927
200	0.74 (-)	0.92	1.66 (-)	968 (+)	200	1.16 (-)	0.49	1.65 (-)	1739 (+)
400	0.47	0.44	0.91	1179	400	0.62	0.30	0.92	1882

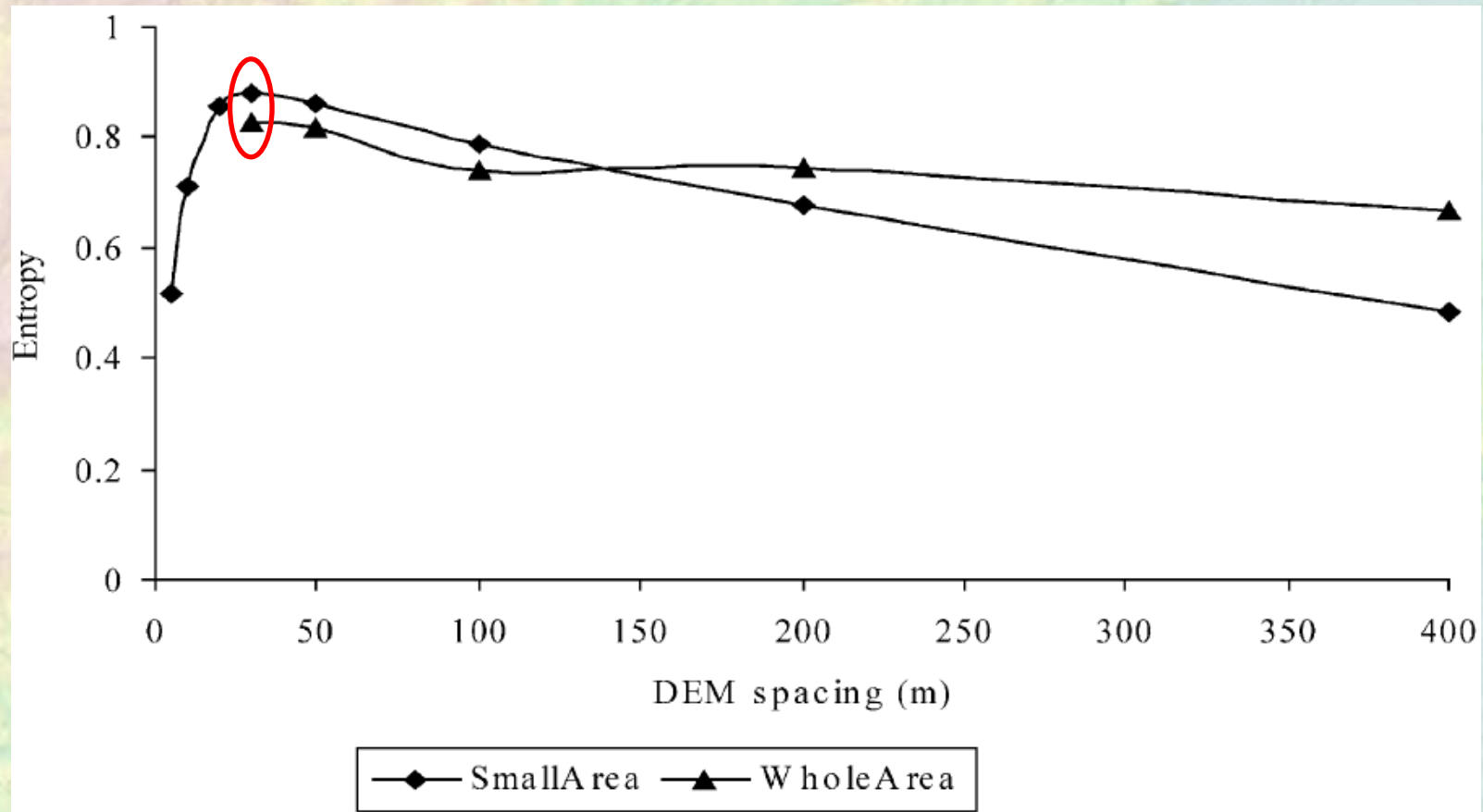
$c_0$  and  $c_1$  are the nugget variance and structure variance, respectively.

$c = c_0 + c_1$  is the sill variance and  $a_0$  is the actual range parameter.

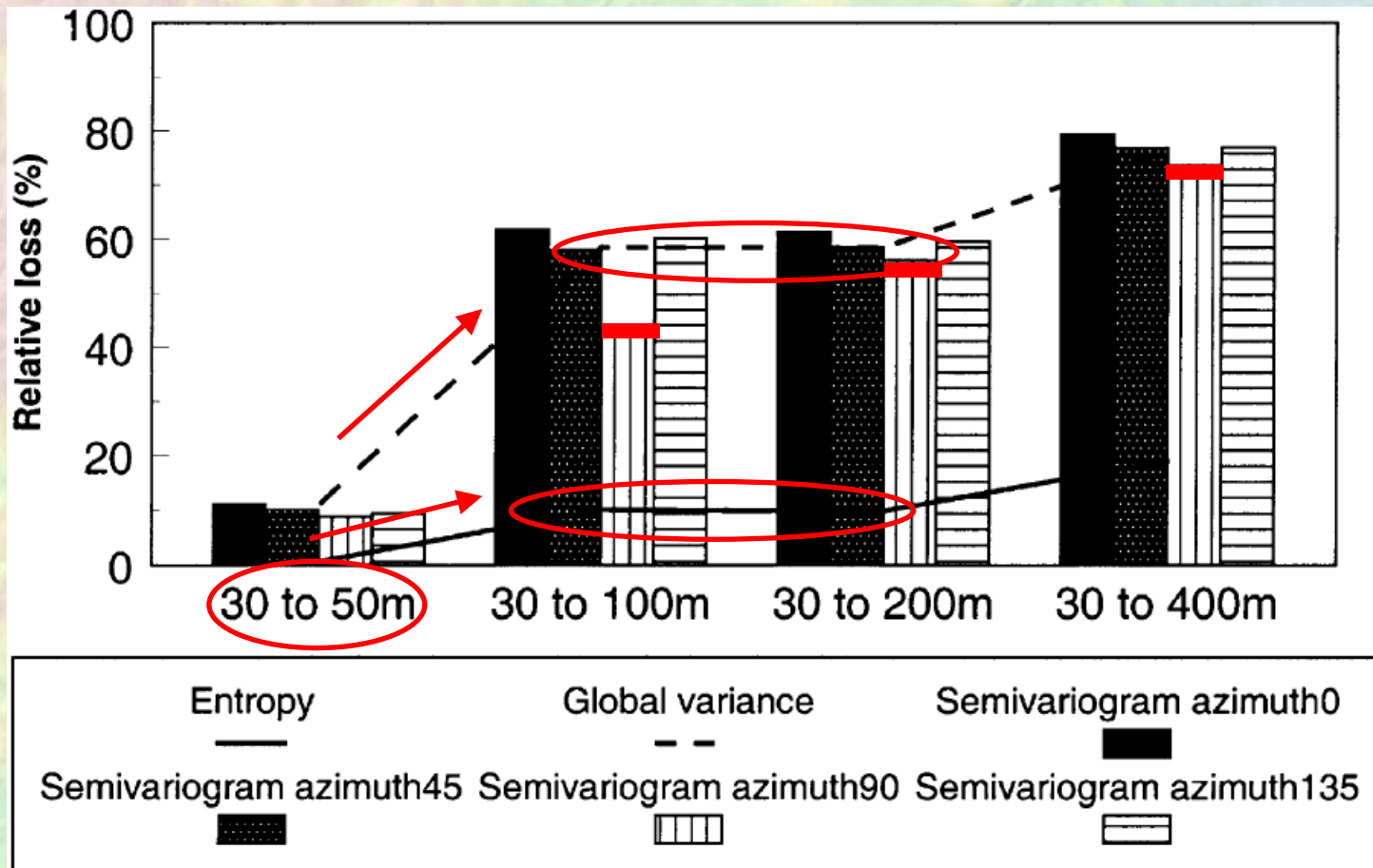
# 4. Resultados



# 4. Resultados



# 4. Resultados



*Diferença entre parâmetros em cada transformação*

# 5. Conclusão e Discussão

- A escolha da resolução espacial dependerá do compromisso que se queira atribuir, neste caso a res de 50m parece ter sido a mais apropriada neste trabalho;
- Respostas da variância local média e semivariância em 1 lag foram semelhantes neste estudo;
- A variância global é a mais sensível à diminuição da resolução espacial, o que contribui que Fator LS em resoluções baixas tenham valores viesados;
- Quanto mais complexo for o relevo maiores serão os valores de pepita, sela e range. Haverá diminuição dos valores de pepita e sela, e incremento para range, com resoluções mais grosseiras;
- A análise da perda de informação pela entropia e variância global demonstra que o dado realmente é anisotrópico. A anisotropia deve ser levada em conta em estudos com MDEs.

# 6. Referências Bibliográficas

- Atkinson, P.M., Curran, P.J., 1995. Defining an optimal size of support for remote sensing investigations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 33 (3), 768–776.
- Curran, P.J., Dungan, J.L., 1989. Estimation of signal-to-noise: a new procedure applied to AVIRIS data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 27 (5). 620–628.
- Maeda, E. E. Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na região da bacia do alto rio Xingu. 2008. 104 p. (INPE-15234-TDI/1321). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.06.17.10>.
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., Iverson, L.R., 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Journal of Geographical Information Science* 10 (5). 629–641.
- Moore, I.D., Burch, G.J., 1986. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal* 50 (5). 1294–1298.
- Moore, I.D., Wilson, J.P., 1992. Length-slope factors for Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation* 47 (5). 423–428.
- Renard, K.G., Ferreira, V.A., 1993. RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of Environmental Quality* 22 (3).458–466.
- Renard, K.G., Foster, C.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture, Agriculture Handbook Number 703, Government Printing Office, Washington, DC, pp. 1–404.
- Risse, L.M., Nearing, M.A., Nicks, A.D., Laflen, J.M., 1993. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal* 57 (3). 825–833.
- Vieux, B.E., 1995. DEM aggregation and smoothing effects on surface runoff modeling. In: Lyon, J.G., McCarthy, J. (Eds). *Wetland and Environmental Applications of GIS*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 205–229.
- Woodcock, C.E., Strahler, A.H., 1987. The factor of scale in remote sensing. *Remote sensing of environment* 21 (3). 311– 322.111



Obrigado!

[gustavo@dss.inpe.br](mailto:gustavo@dss.inpe.br)