Geoestatística aplicada à agricultura de precisão

José P. Molin
ESALQ/USP
jpmolin@usp.br

Laboratório de Agricultura de Precisão

www.agriculturadeprecisao.org.br

Objetivo

Abordar os conceitos fundamentais relacionados à geoestatistica aplicada à agricultura de precisão visando à modelagem de dependência espacial e interpolações

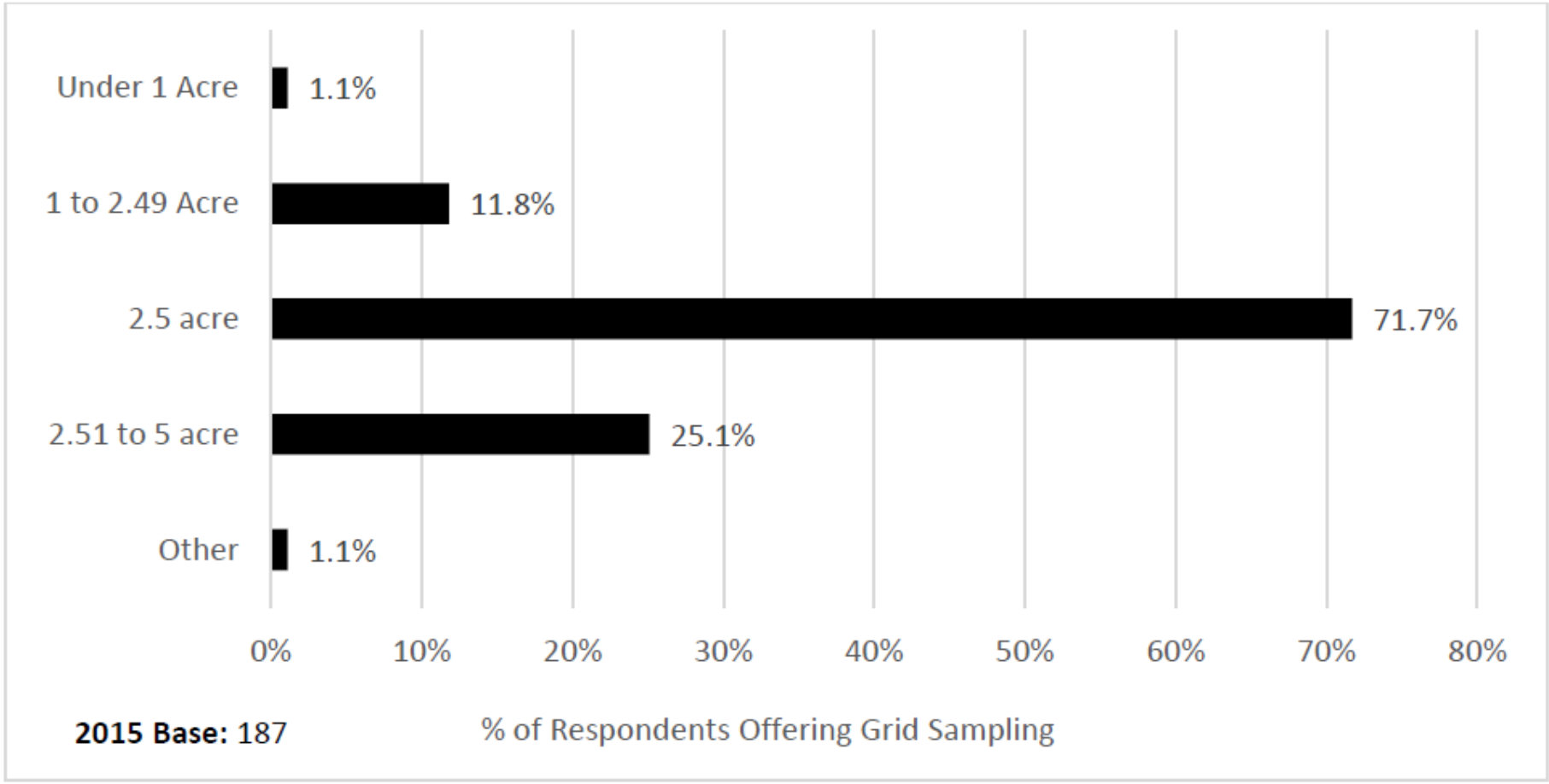
Como se define o “tamanho” mais correto de uma grade amostral?

ou

Como se produz mapas confiáveis?

A forma mais recomendada
é a partir da Geoestatística

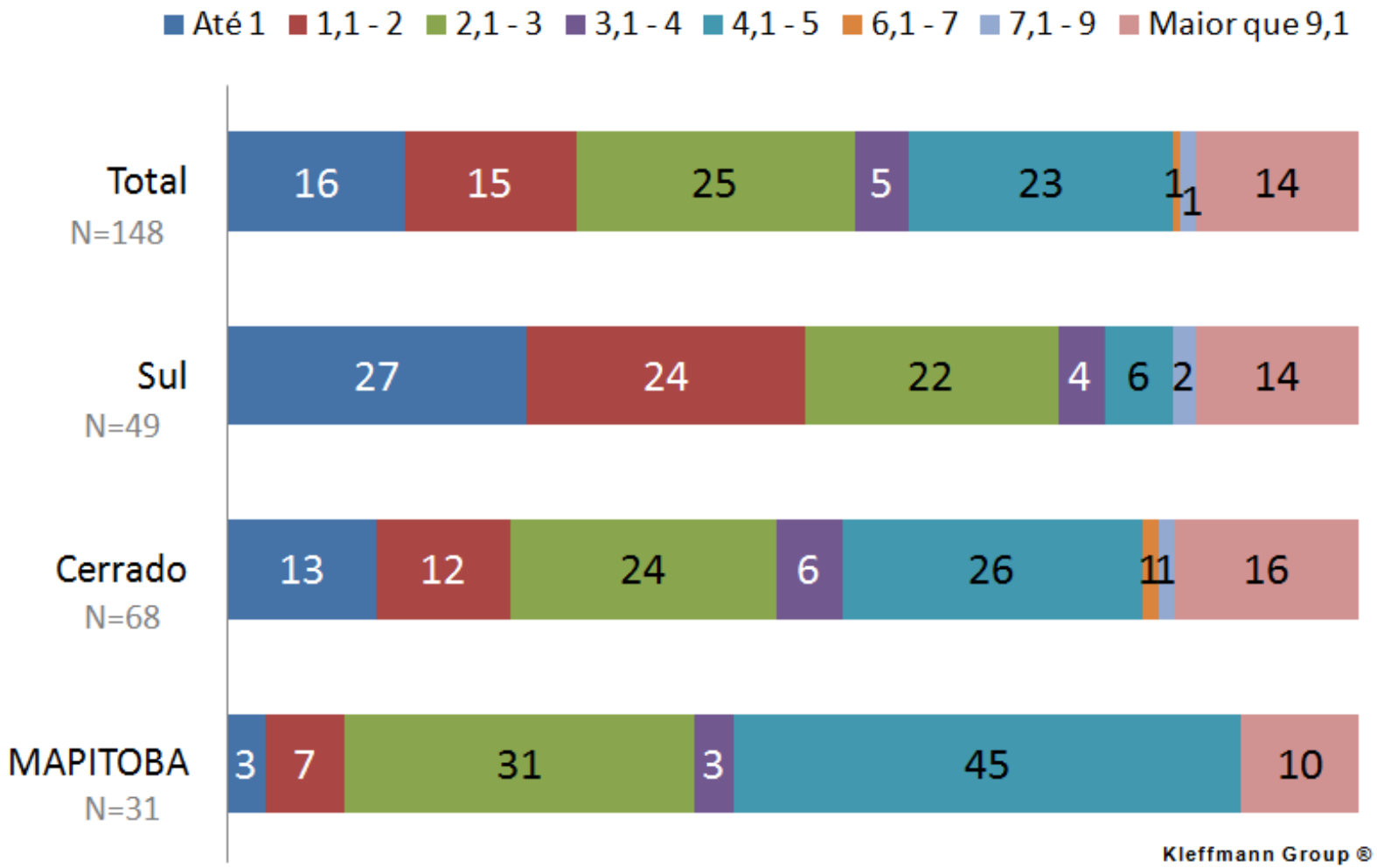
Tamanho das grades amostrais, em acres, praticadas nos EUA



B.Erickson & D. A. Widmar (2015)

Tamanho das grades amostrais, em hectares, praticadas em cada região do Brasil

Todas as indicações em %. Base: Entrevistados que realizam o mapeamento da fertilidade do solo por grades N = 148



J. P. Molin (2017)

A estatística...

- Permite a caracterização de parâmetros da população a partir de parâmetros da amostra

- Pressupõem:
  - independência entre as observações;
  - distribuição normal dos dados;
  - variância e coeficiente de variação constantes.

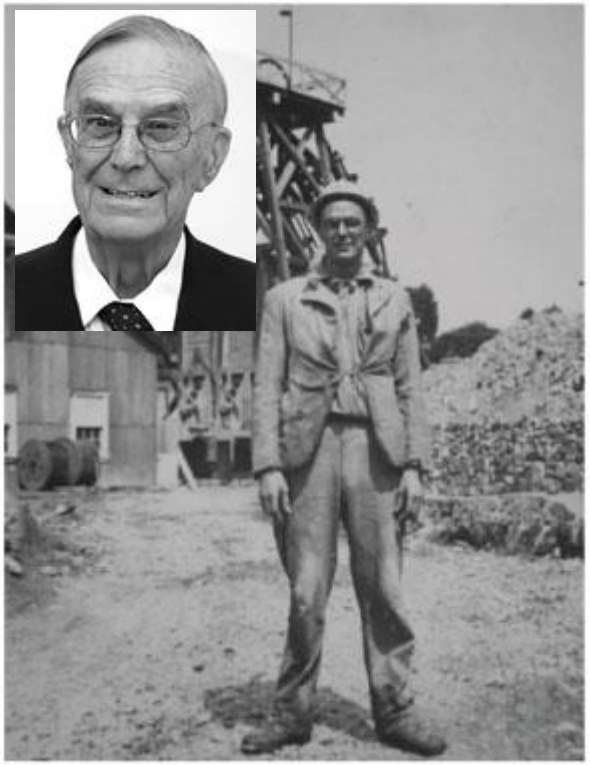
E a geoestatística?

A geoestatística tem por objetivos:

- Identificar, na aparente desordem das amostras, uma medida da correlação espacial;
- modelar e quantificar a dependência espacial;
- identificar padrões de amostragem adequados;
- permite estimativas de valores em locais não amostrados a partir das amostras existentes (interpolação por krigagem).

A origem...

- Daniel G. Krige (1951), na África do Sul, estudou teor de ouro em amostras;
- importância de ligar as variâncias com as distâncias entre as amostras;

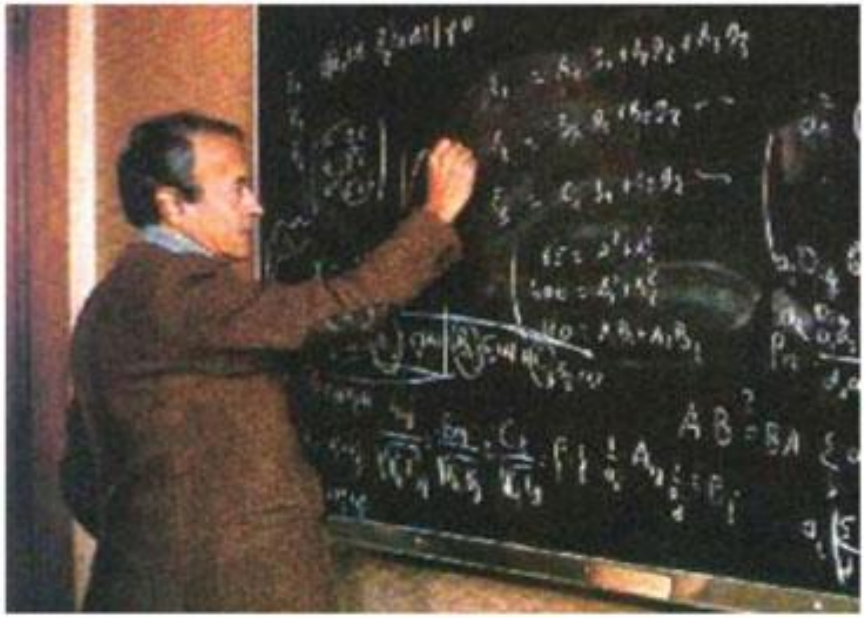


Danie Krige learning the trade, 1939.

Minnitt & Assibey-Bonsu (2014)

A origem...

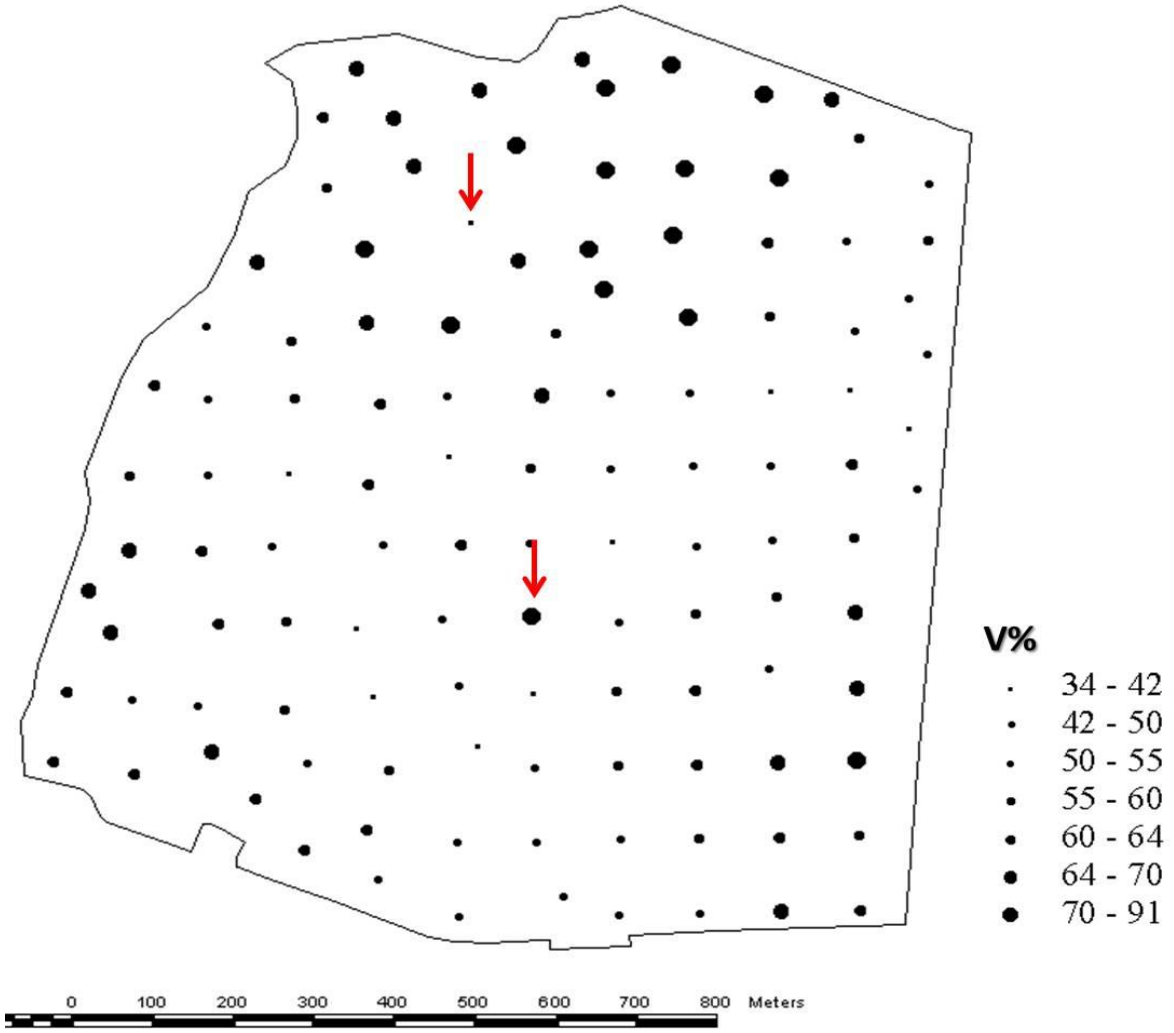
- Matheron (1961), na França, elaborou a Teoria das Variáveis Regionalizadas: “esperança de que, na média, as amostras próximas, no tempo e espaço, sejam mais similares entre si do que as que estiverem mais distantes”



Professor Georges Matheron.

Minnitt & Assibey-Bonsu (2014)

Primeiro passo:
análise exploratória dos dados

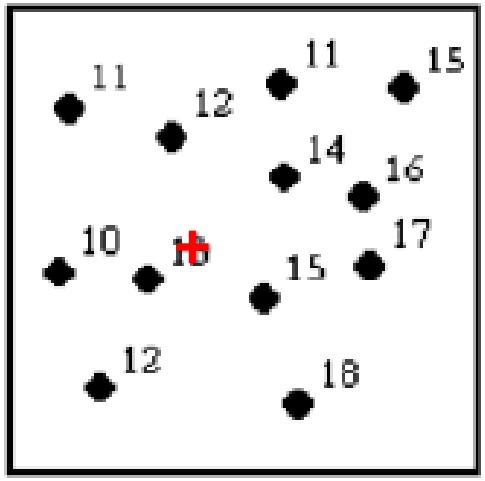


L.R. AMARAL, 2014

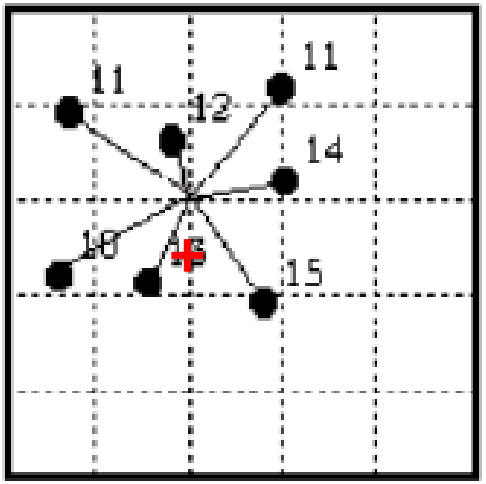
Segundo passo:

interpolação
ou
análise da dependência espacial

Segundo passo:
se interpolação...

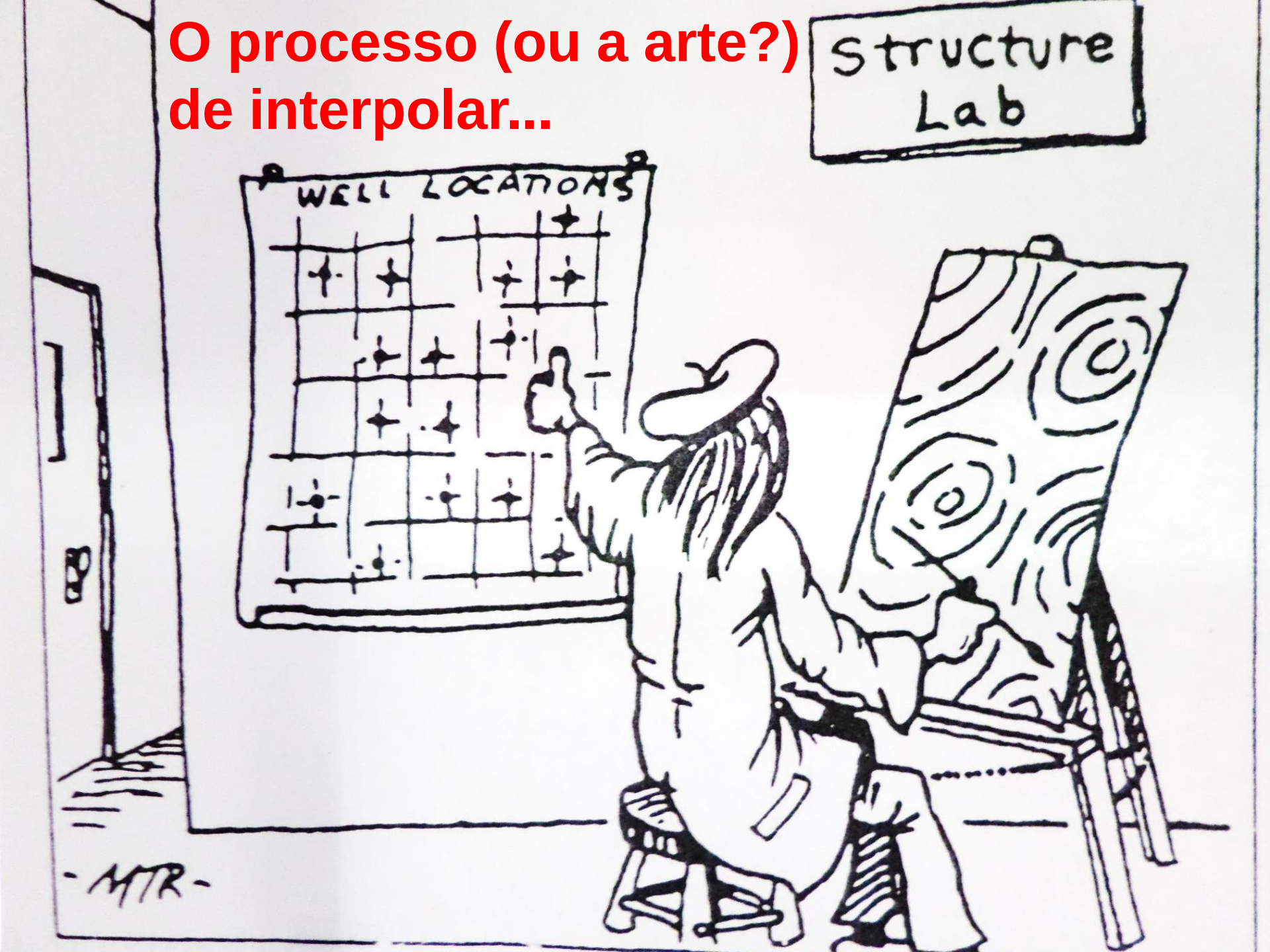


(a)



L.R. AMARAL, 2014

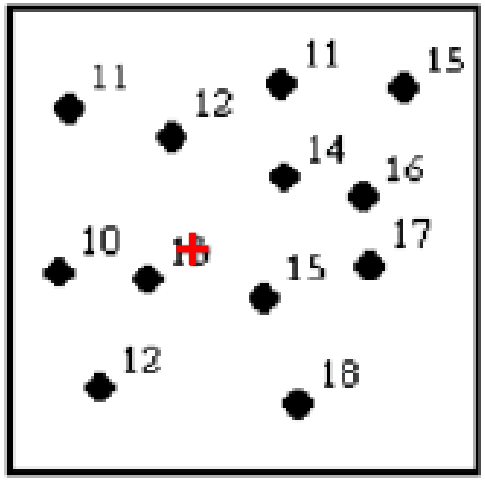
O processo (ou a arte?) de interpolar...



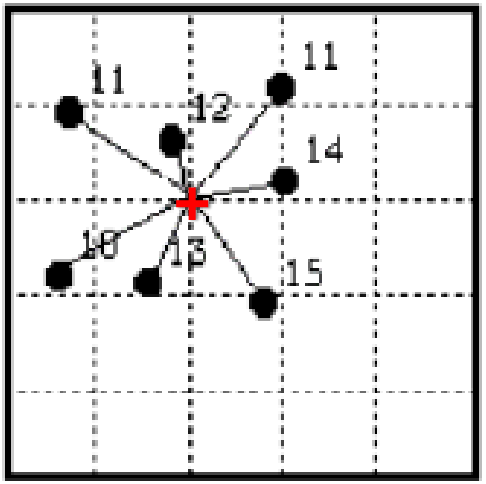
Segundo passo:
se interpolação...

Escolha do interpolador matemático:

- vizinho mais próximo
- média simples
- mínima curvatura
- triangulação
- **média ponderada**



(a)



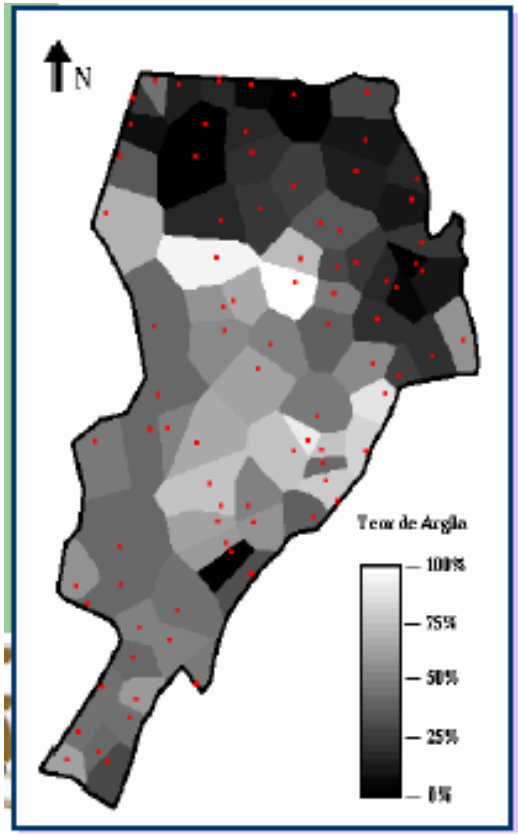
L.R. AMARAL, 2014

Segundo passo:

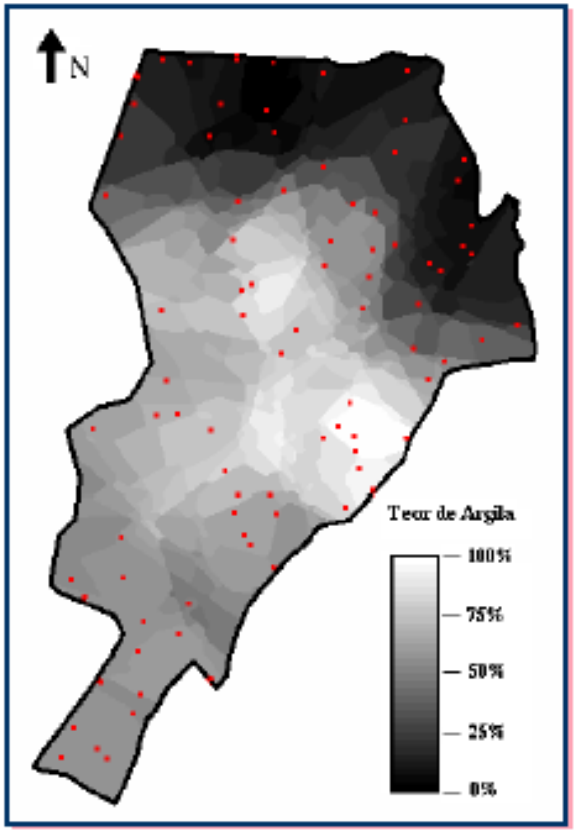
se interpolação...

→ **Inverso da distância ao quadrado**

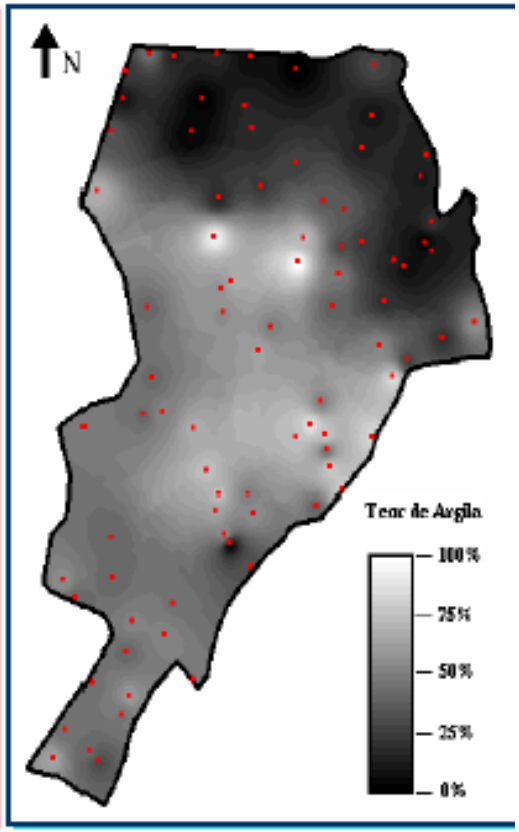
Vizinho mais próximo



Média Simples



Média Ponderada (inverso da distância)



L.R. AMARAL, 2014

Segundo passo:

interpolação

ou

análise da dependência espacial

~~Segundo passo:~~

interpolação → 3° passo

ou

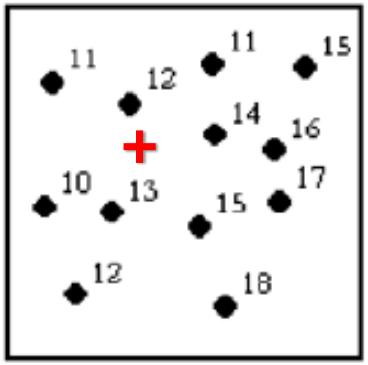
análise da dependência espacial

↓

2° passo

↓

Geoestatística



Geoestatística e dependência espacial

- Valores de uma mesma variável, próximos um ao outro, têm a probabilidade de serem mais semelhantes do que dois valores mais distantes entre si.
- COMO INVESTIGAR ESSA DEPENDÊNCIA ESPACIAL?
- Calculando a variância entre pares de pontos e representando-a em um gráfico como função da distância entre os dois pontos – o semivariograma

O que é o semivariograma?

- é um modelo que mede e descreve a dependência espacial entre as amostras.

- é do que um gráfico que representa a semivariância dos dados $\gamma(h)$ em relação à distância que os separa (h).

Como se calcula a semivariância?

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{N(h)} [z(s+h) - z(s)]^2$$

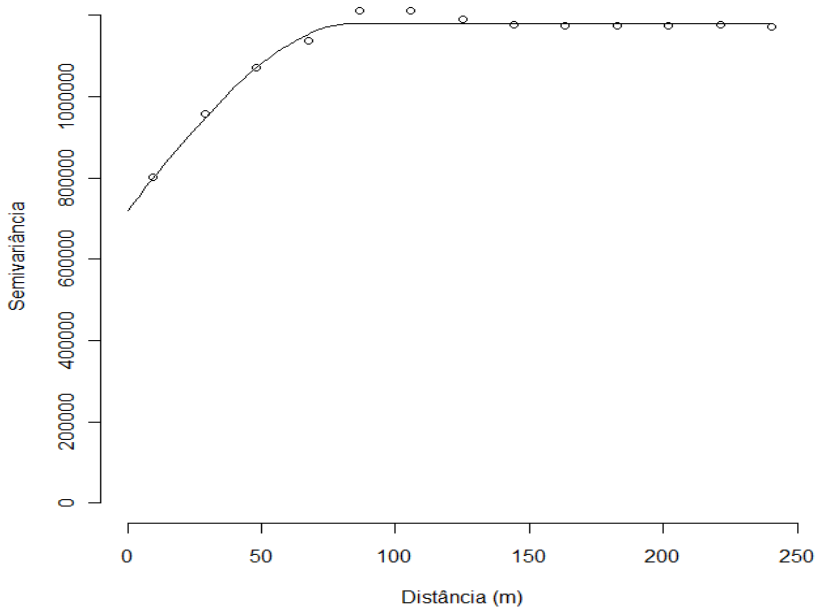
em que:

γ(h) é a semivariância

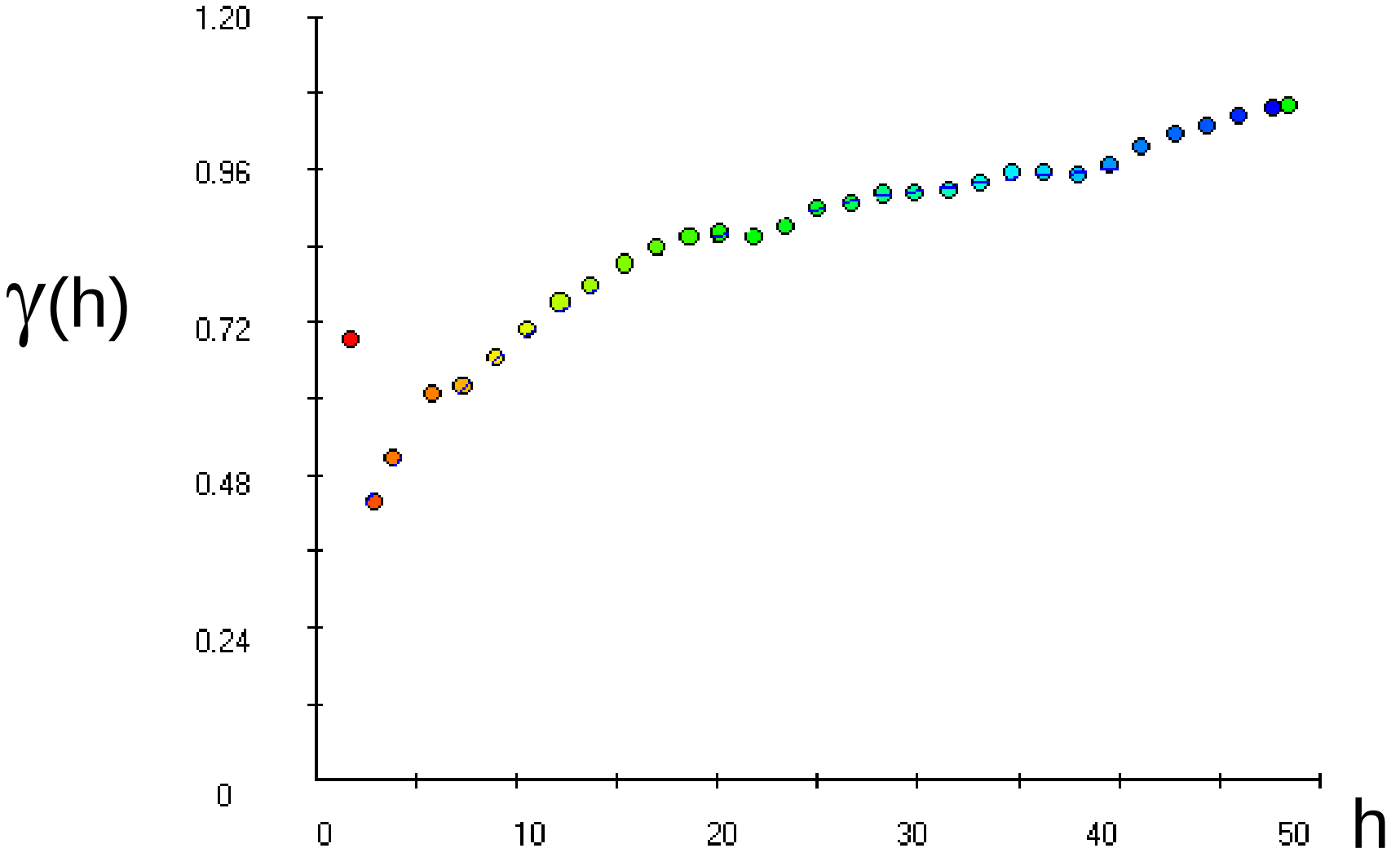
z é a variável em estudo

z(s+h) e z(s) são os valores separados por um vetor h

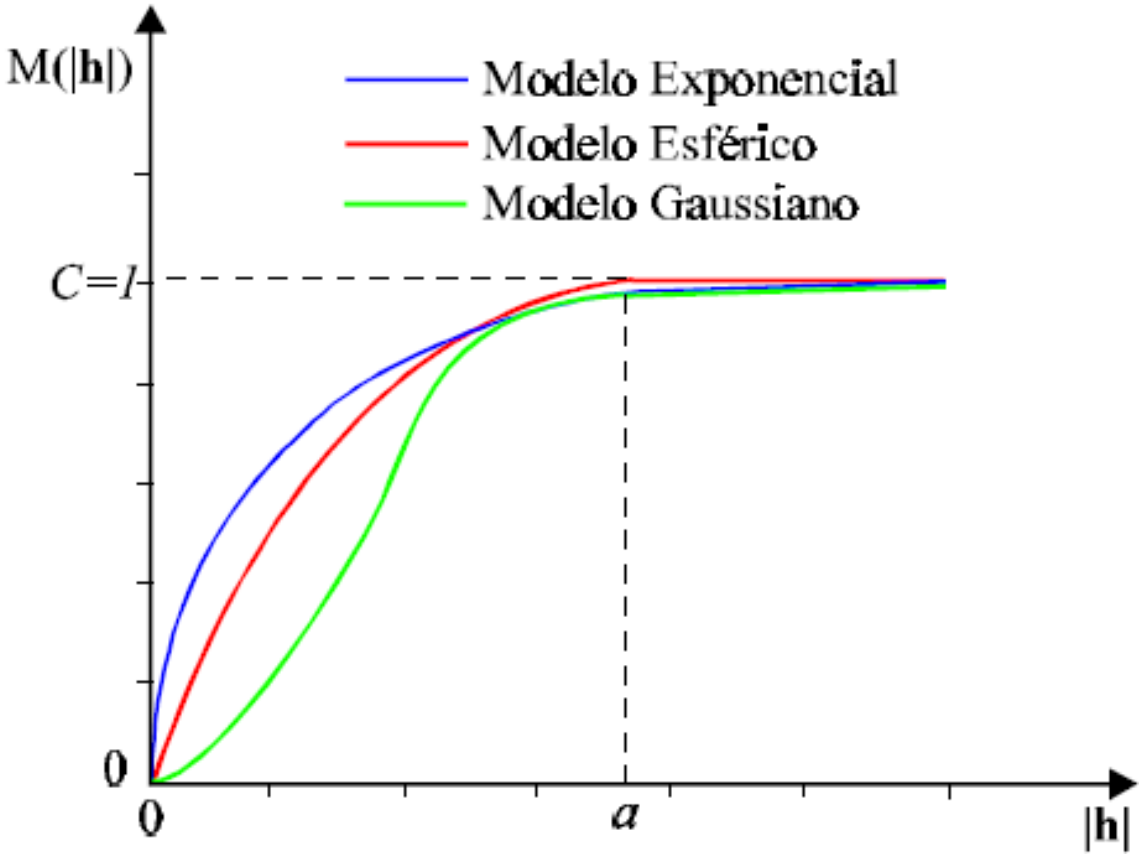
N(h) é o número de pares de valores [z(s+h)-z(s)] separados por um vetor h



Semivariograma experimental

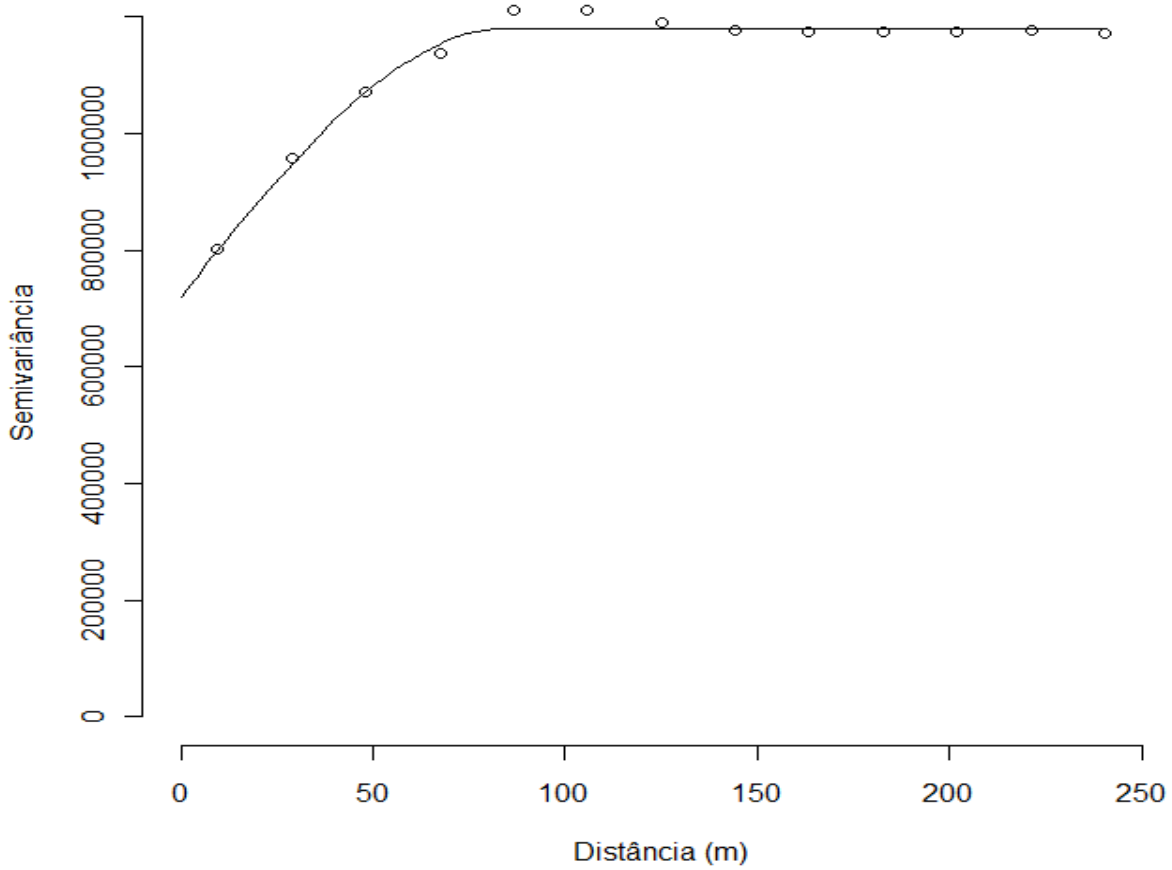


Principais modelos de ajuste matemáticos ao semivariograma

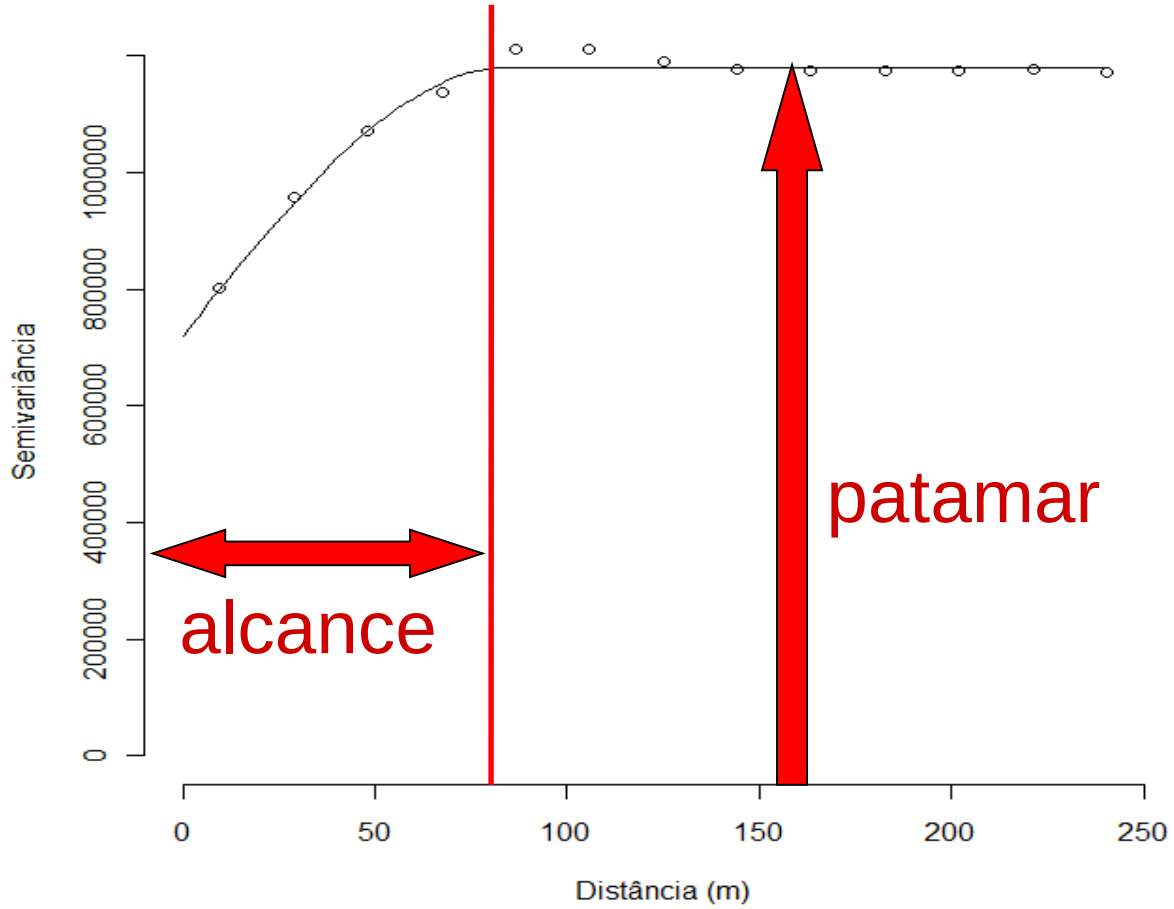


Camargo (1998)

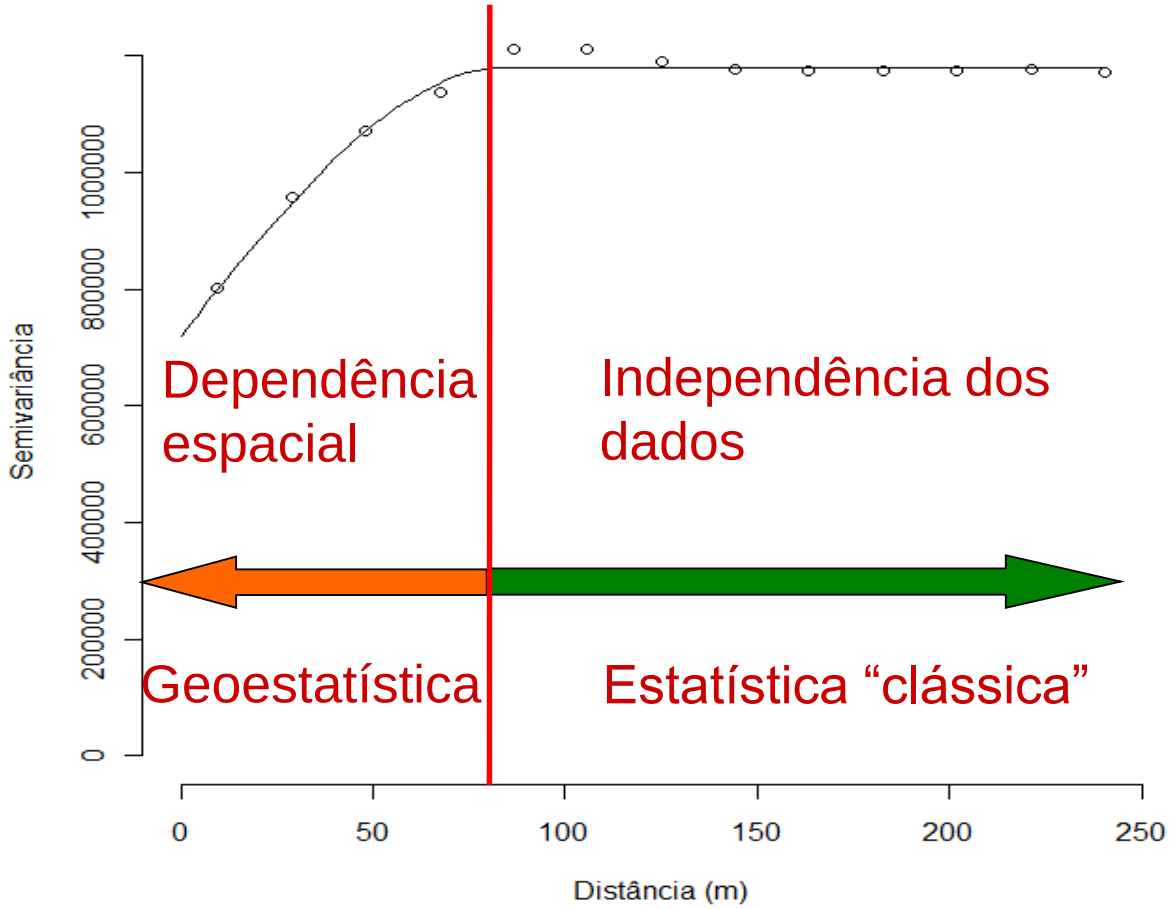
Ajuste de modelo a um semivariograma



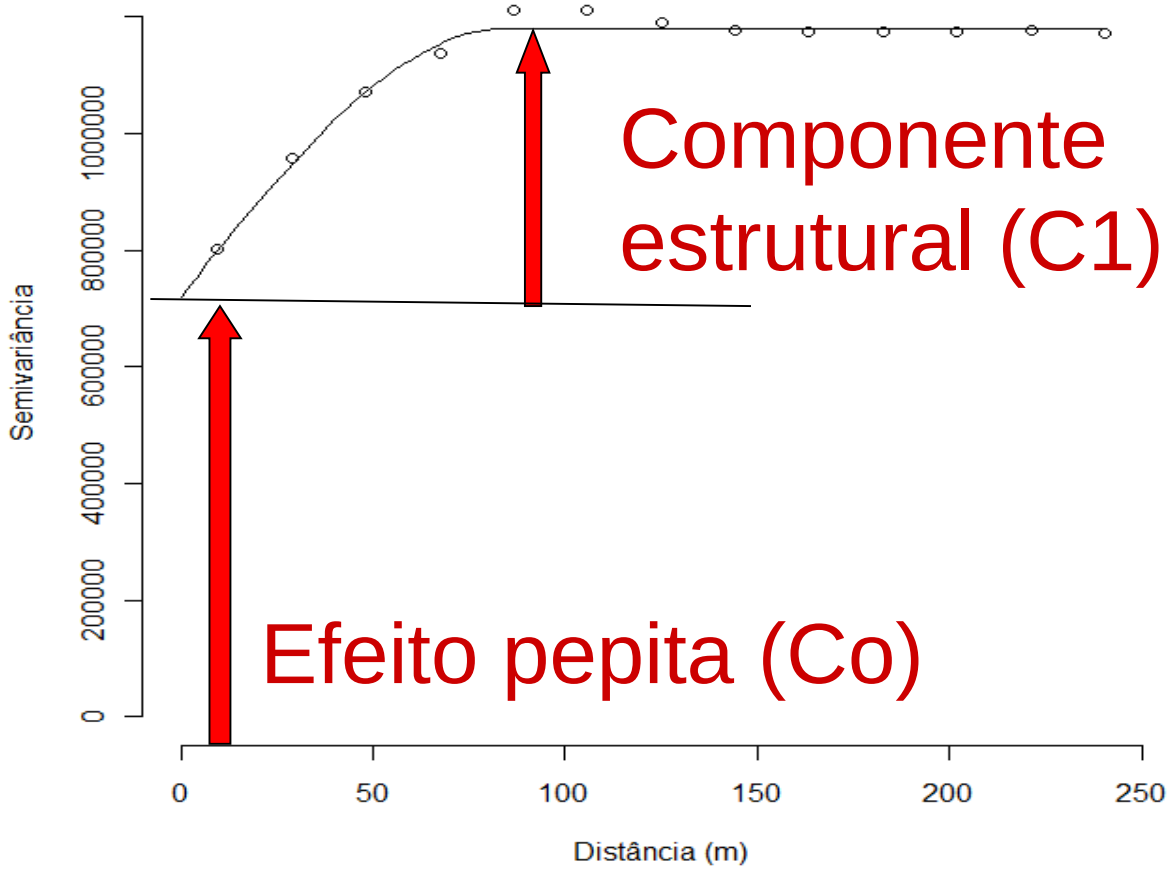
Componentes do semivariograma



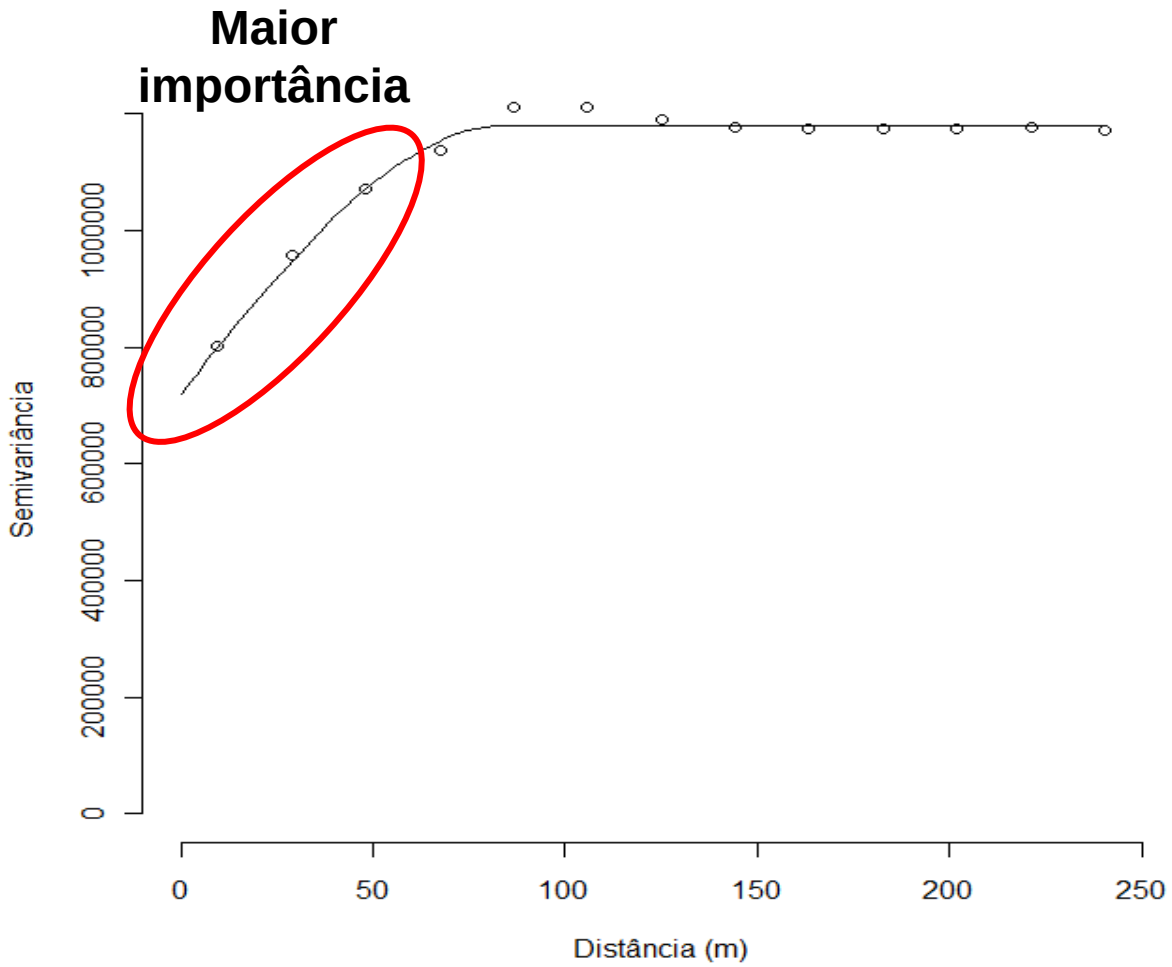
Componentes do semivariograma

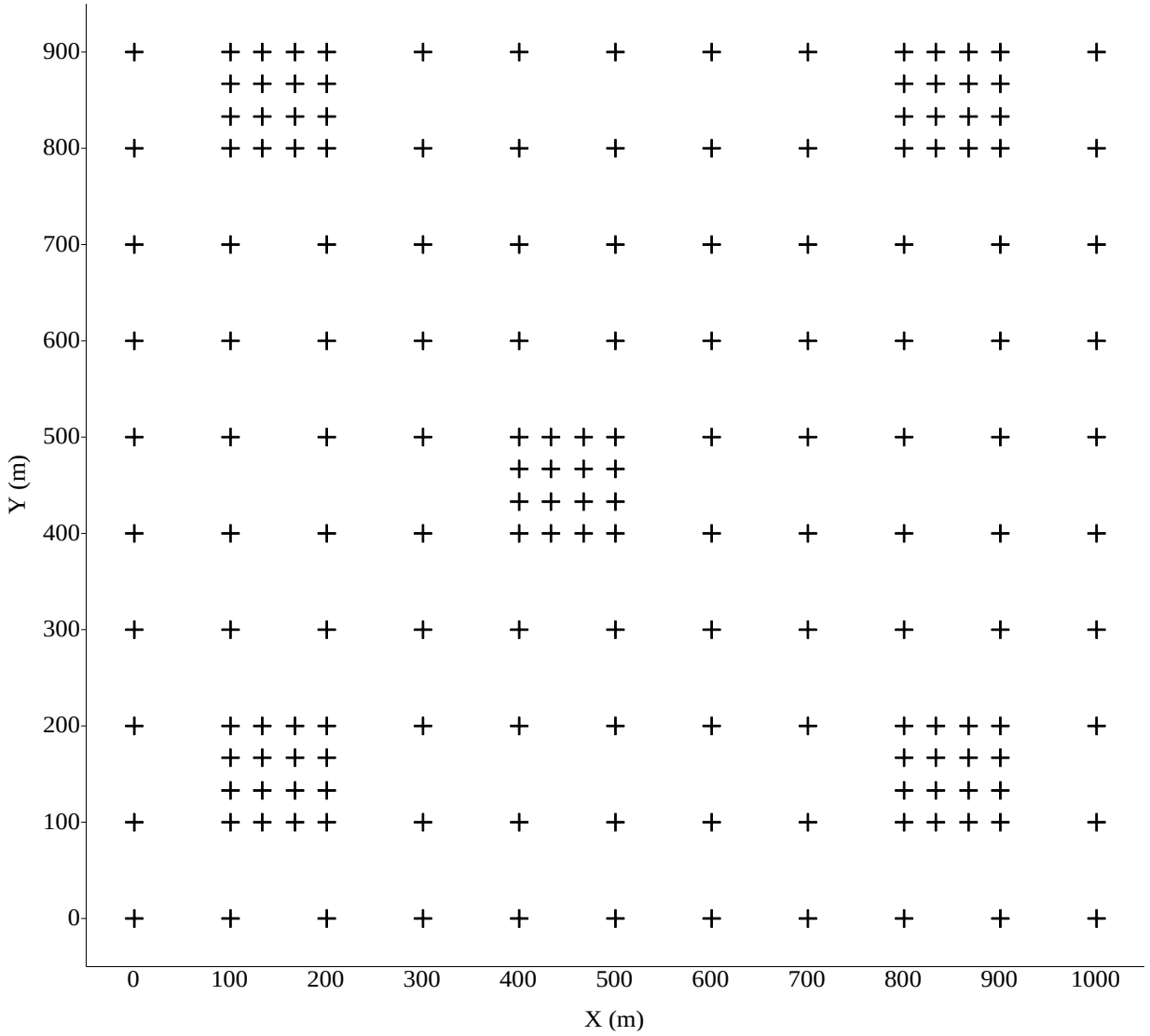


Componentes do semivariograma



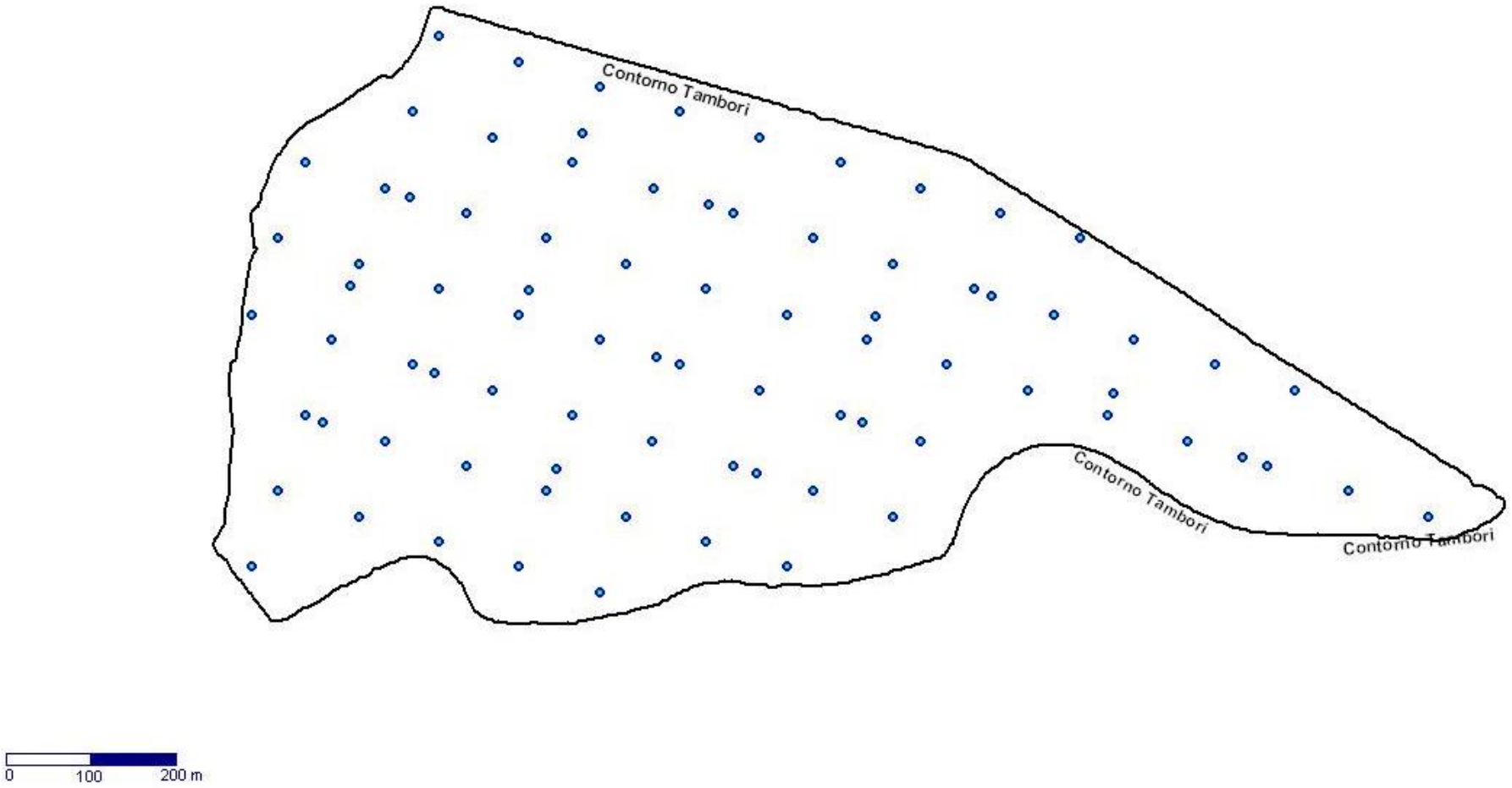
Ajuste de modelo a um semivariograma





Esquema amostral em grade regular acrescida de “ilhas” com espaçamento adensado

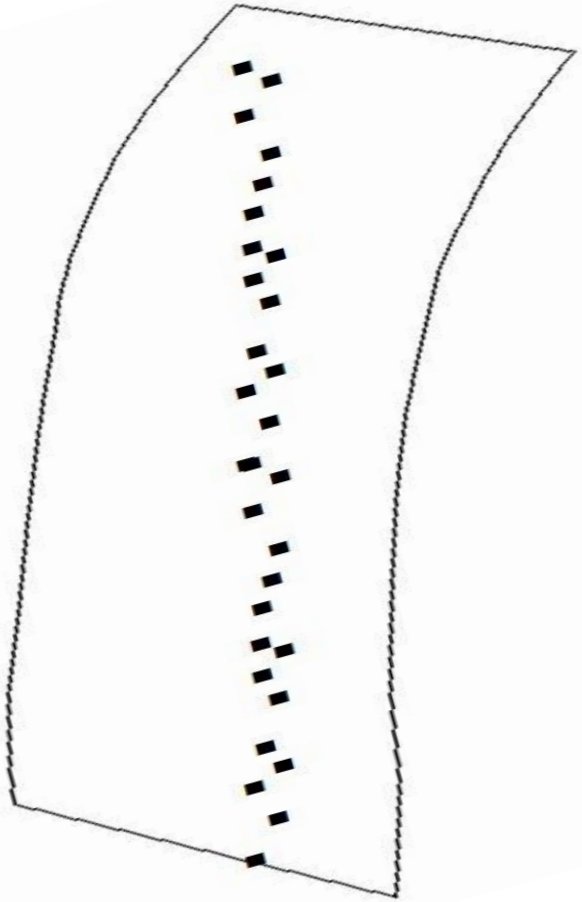
MOTOMIYA (2007)



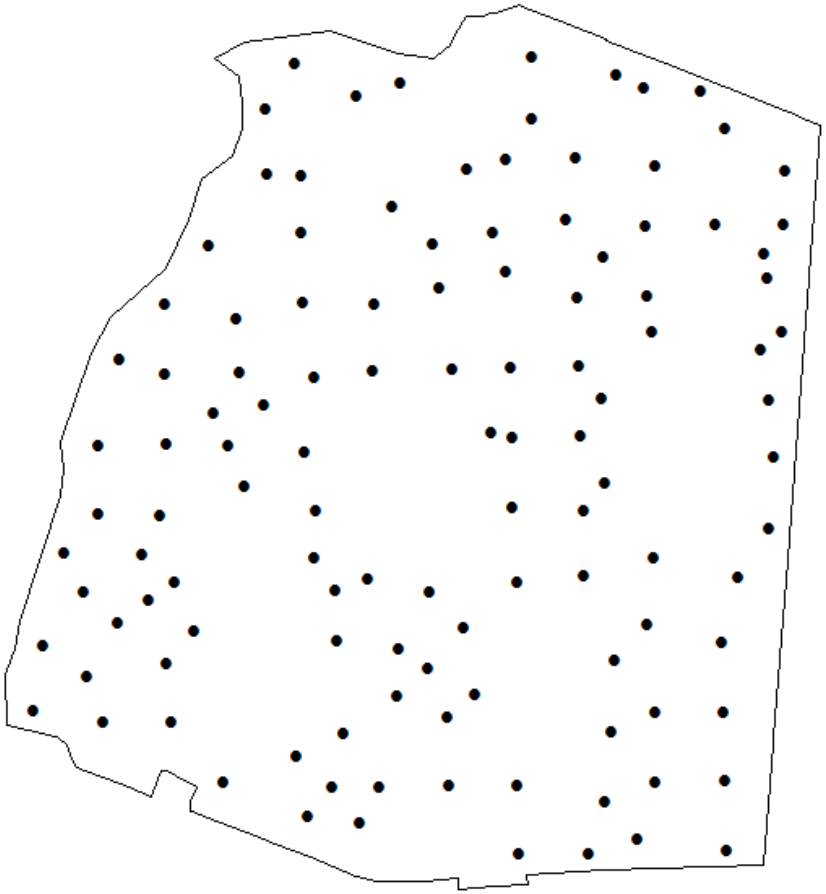
Esquema amostral em grade regular acrescida de pontos com espaçamento adensado

gMAP (2010)

Transversal

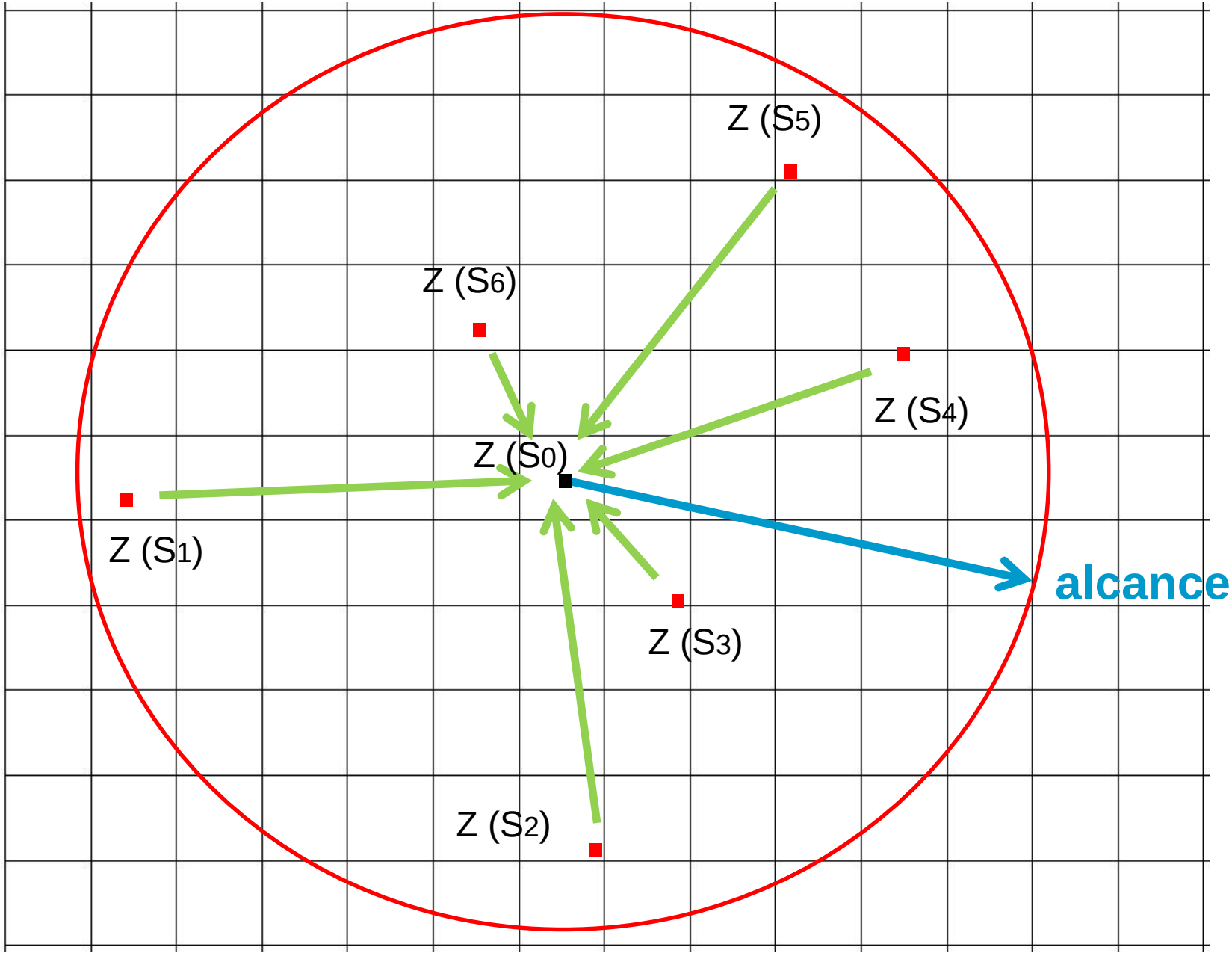


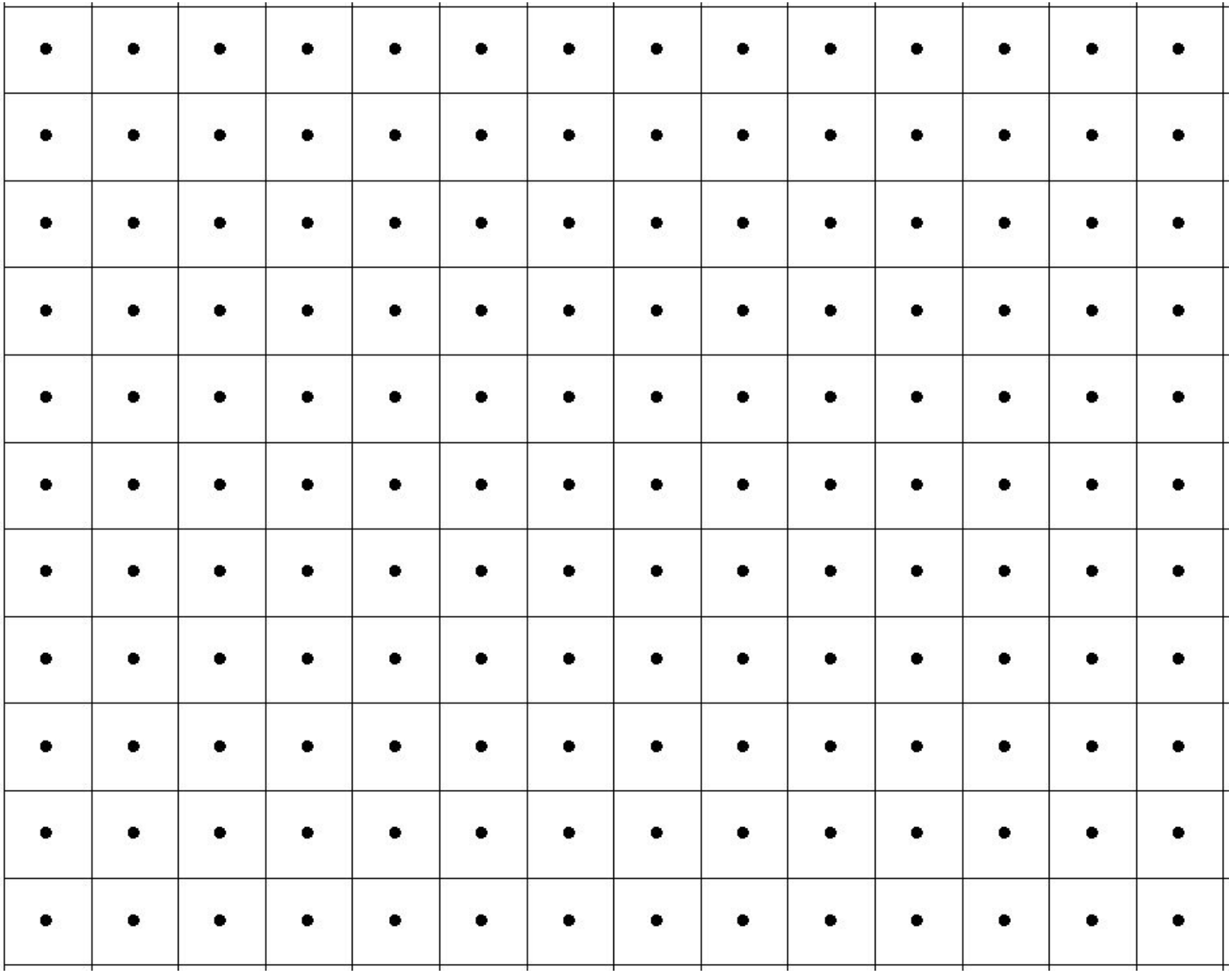
Aleatorização



Krigagem

- É um estimador geoestatístico (o único).
- Leva em consideração a continuidade espacial da variável no processo de estimação da mesma.


Z (S5)
Z (S6)
Z (S4)
Z (S0)
Z (S1)
alcance
Z (S3)
Z (S2)

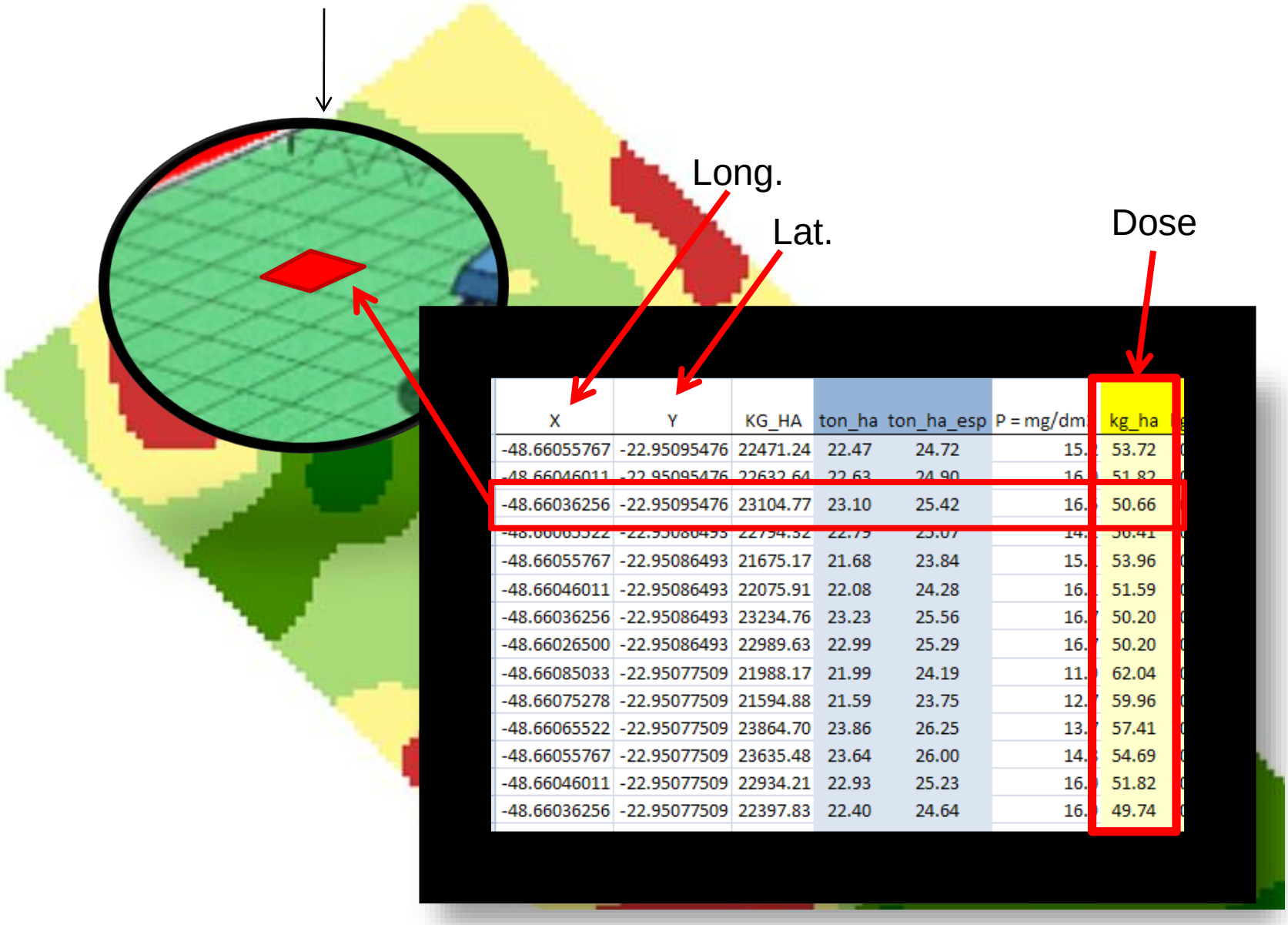


Cada pixel com um valor

Long.

Lat.

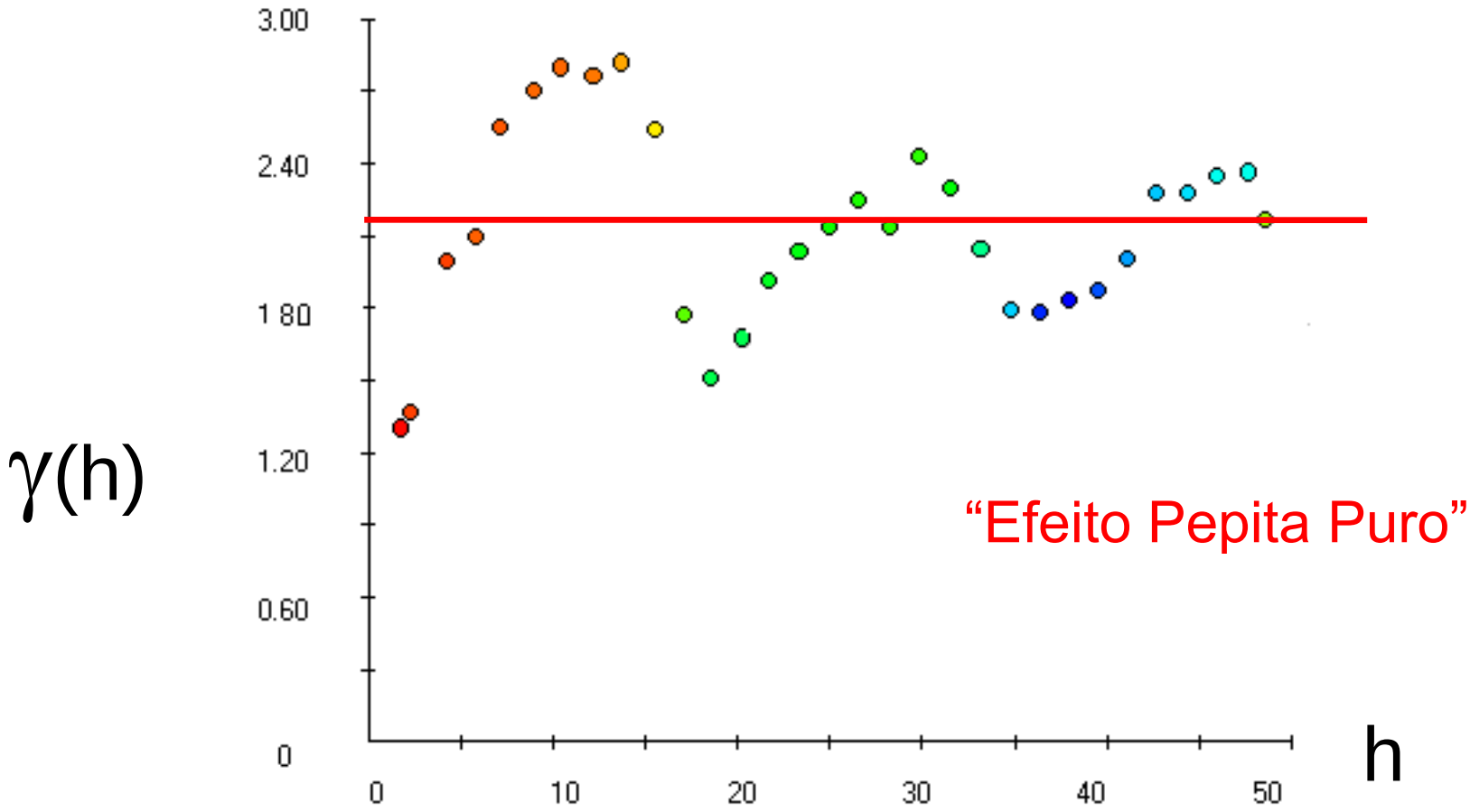
Dose

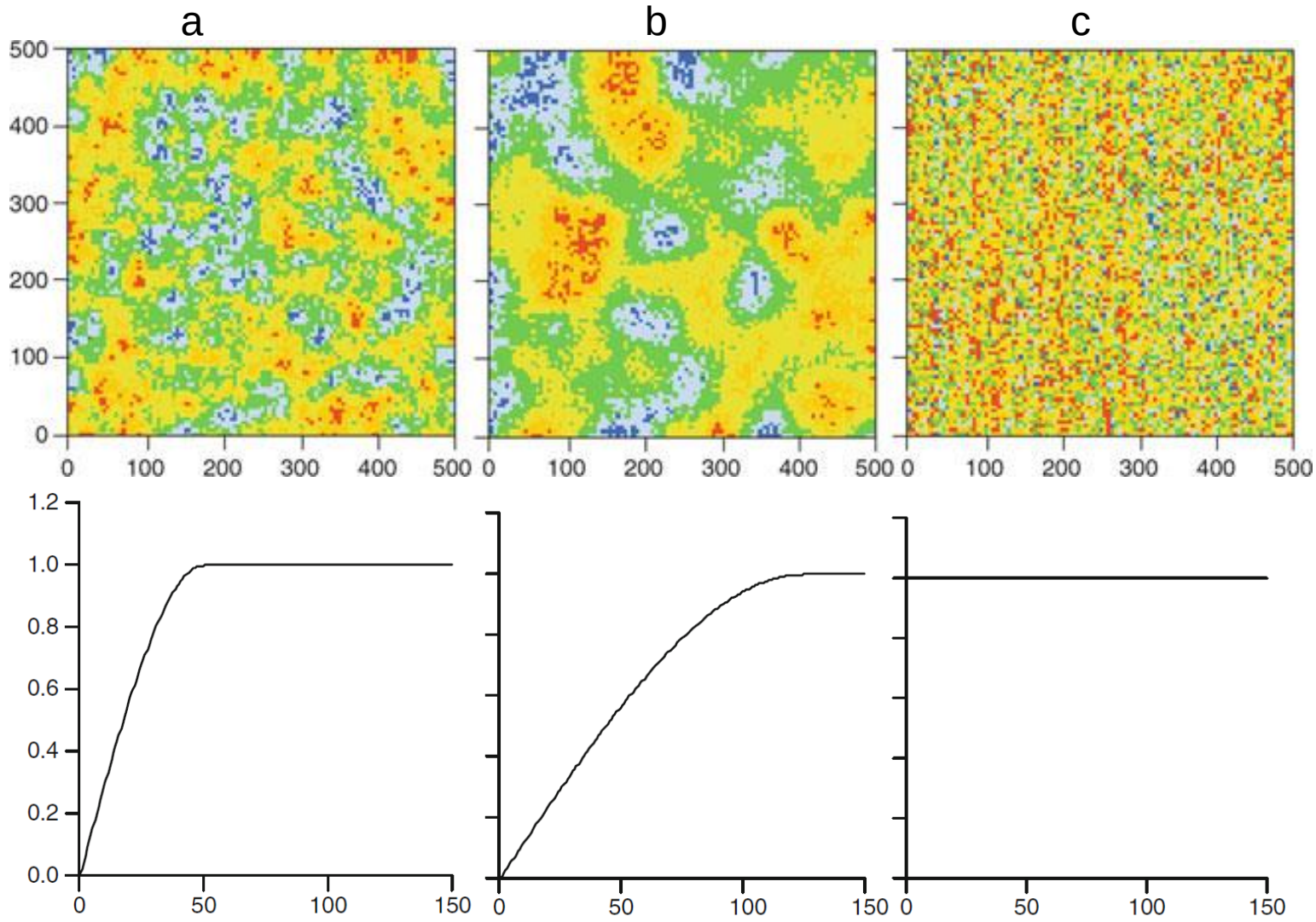


X	Y	KG_HA	ton_ha	ton_ha_esp	P = mg/dm	kg_ha
-48.66055767	-22.95095476	22471.24	22.47	24.72	15.	53.72
-48.66046011	-22.95095476	22632.64	22.63	24.90	16.	51.82
-48.66036256	-22.95095476	23104.77	23.10	25.42	16.	50.66
-48.66065522	-22.95086493	22794.32	22.79	25.07	14.	56.41
-48.66055767	-22.95086493	21675.17	21.68	23.84	15.	53.96
-48.66046011	-22.95086493	22075.91	22.08	24.28	16.	51.59
-48.66036256	-22.95086493	23234.76	23.23	25.56	16.	50.20
-48.66026500	-22.95086493	22989.63	22.99	25.29	16.	50.20
-48.66085033	-22.95077509	21988.17	21.99	24.19	11.	62.04
-48.66075278	-22.95077509	21594.88	21.59	23.75	12.	59.96
-48.66065522	-22.95077509	23864.70	23.86	26.25	13.	57.41
-48.66055767	-22.95077509	23635.48	23.64	26.00	14.	54.69
-48.66046011	-22.95077509	22934.21	22.93	25.23	16.	51.82
-48.66036256	-22.95077509	22397.83	22.40	24.64	16.	49.74

E quando não é possível obter os parâmetros do semivariograma?

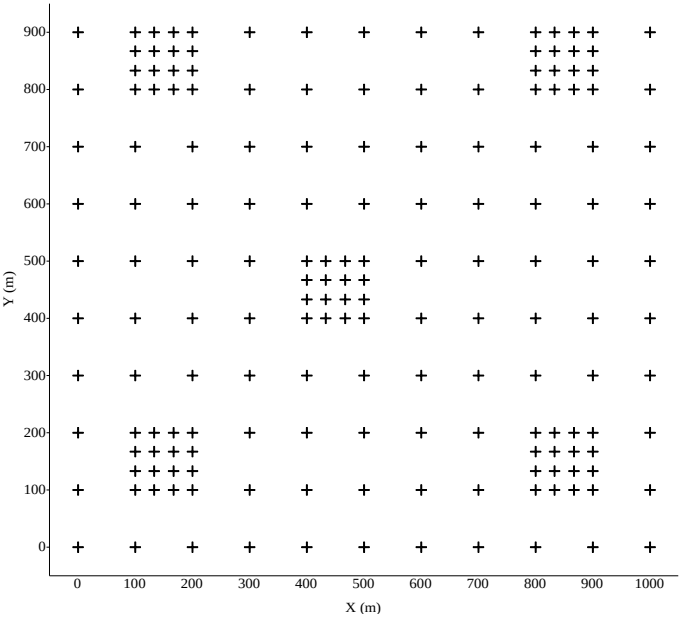
- E quando não é possível obter os parâmetros do semivariograma?

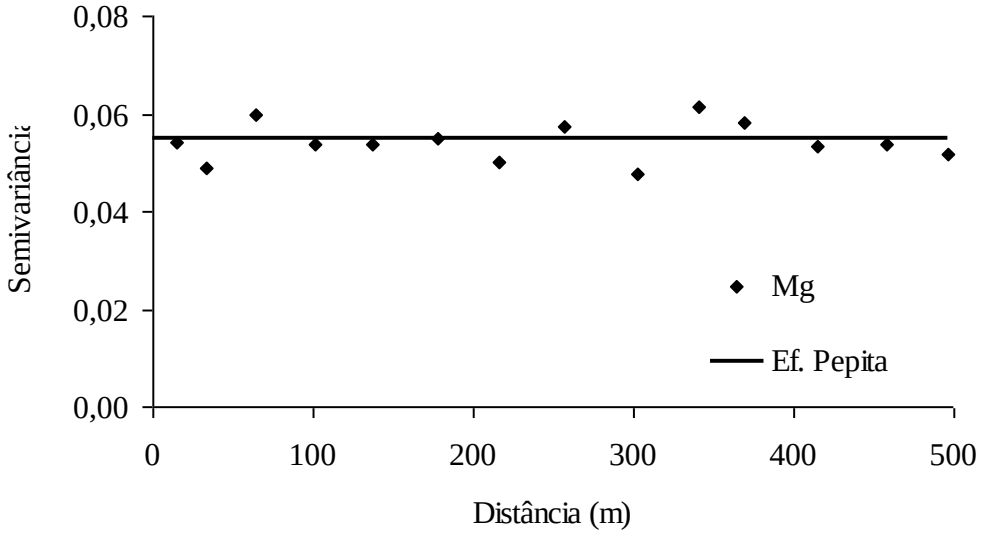


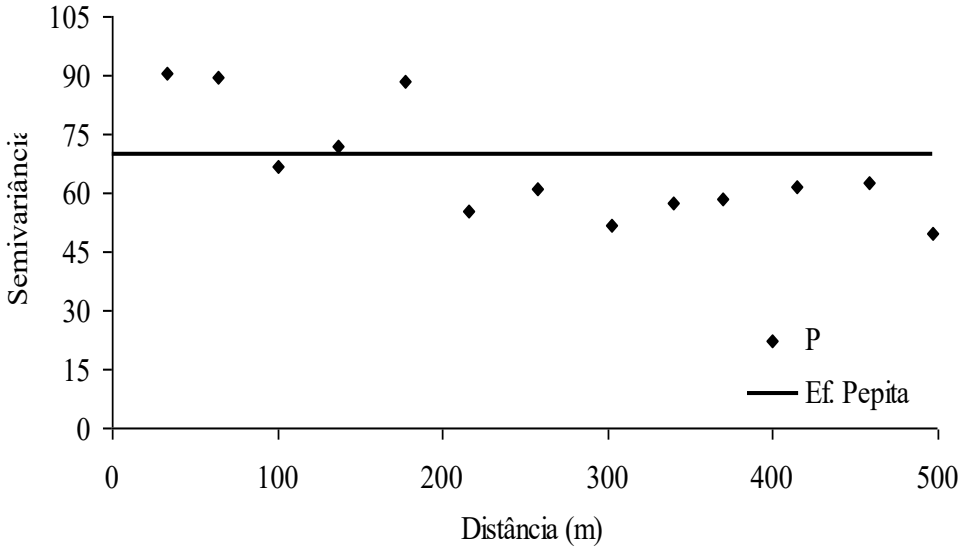


Distância entre amostras menor do que “manchas”

Talhões simulados com funções esféricas, com efeito pepita zero, patamar 1 e alcances de: (**a**) 50 m e (**b**) 125m; (**c**) variograma com efeito pepita puro (Kerry et al., 2010)







MOTOMIYA (2007)