



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Laboratório 5

Disciplina

Introdução ao Geoprocessamento – SER 300

Prof. Antonio Miguel Vieira Monteiro

INPE, São José dos Campos.

Junho, 2013.

Aluno: Gabriel Thomé Brochado

1. INTRODUÇÃO

Este documento visa relatar os procedimentos realizados na execução dos exercícios propostos no Laboratório 5 do Curso de Introdução ao Geoprocessamento (SER-300), bem como apresentar os resultados obtidos. Os exercícios propostos no laboratório tinham como objetivo explorar através de procedimentos geoestatísticos a variabilidade espacial de propriedades naturais amostradas e distribuídas espacialmente. Foram aplicados os seguintes passos para o estudo de caso da análise de teor de argila no solo da Fazenda Canchim, localizada em São Carlos - SP: (a) análise exploratória dos dados, (b) análise da variabilidade espacial por semivariograma, (c) modelagem do semivariograma, (d) validação do modelo, e (e) krigagem ordinária. Os passos foram aplicados tanto considerando-se a isotropia quanto a anisotropia da distribuição de teor de argila no solo. Para o caso anisotrópico, além dos passos citados, foi necessário fazer a modelagem da anisotropia. Os resultados obtidos por ambas as análises foram comparados ao final do trabalho. O desenvolvimento dos exercícios se deu pelo programa SPRING 5.2.2.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Caso isotrópico

2.1.1 Análise exploratória

A análise exploratória das foi feita por meio das estatísticas descritivas, histograma e gráfico de probabilidade normal da amostra. Observou-se que é viável considerar que a amostra comporta-se de maneira normal. O histograma e o gráfico de probabilidade normal da amostra constam nas Figuras 1 e 2. As estatísticas descritivas foram as seguintes:

- *Número de Pontos* 85
- *Número de Pontos Válidos* ... 85
- *Média* 33.03529412
- *Variância* 288.03404844
- *Desvio Padrão* 16.97156588
- *Coefficiente de Variação* ... 0.51374042
- *Coefficiente de Assimetria* ..0.21392033
- *Coefficiente de Curtose*2.34402510
- *Valor Mínimo* 4.00000000
- *Quartil Inferior* 19.00000000
- *Mediana* 33.00000000
- *Quartil Superior* 43.00000000

- Valor Máximo 73.00000000.

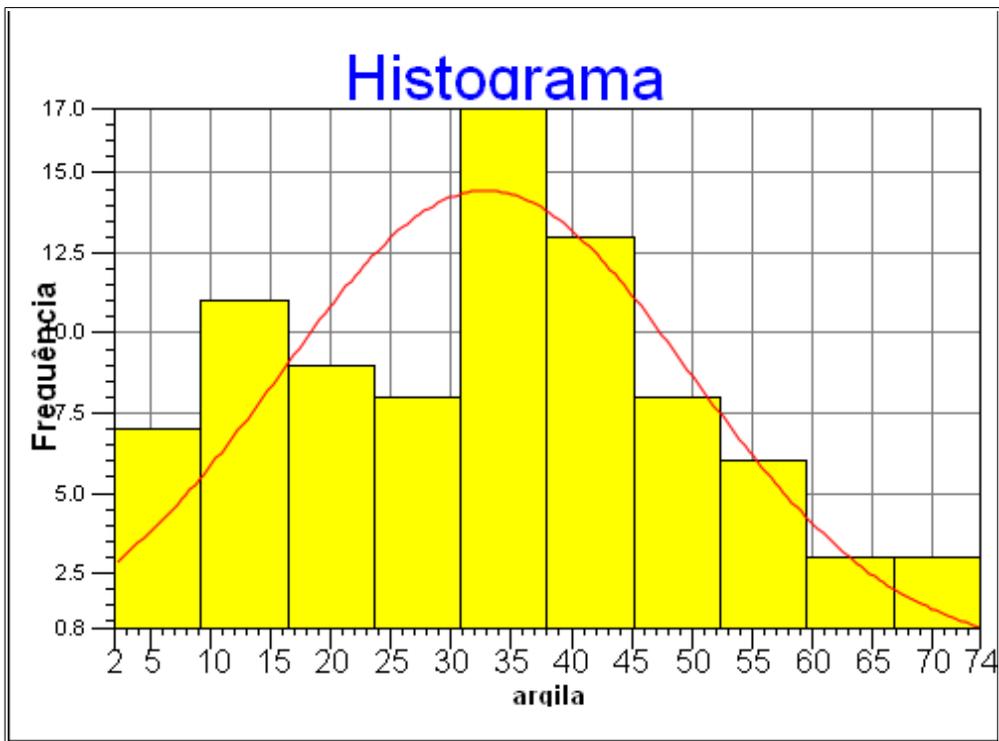


Figura 1 - Histograma da amostra

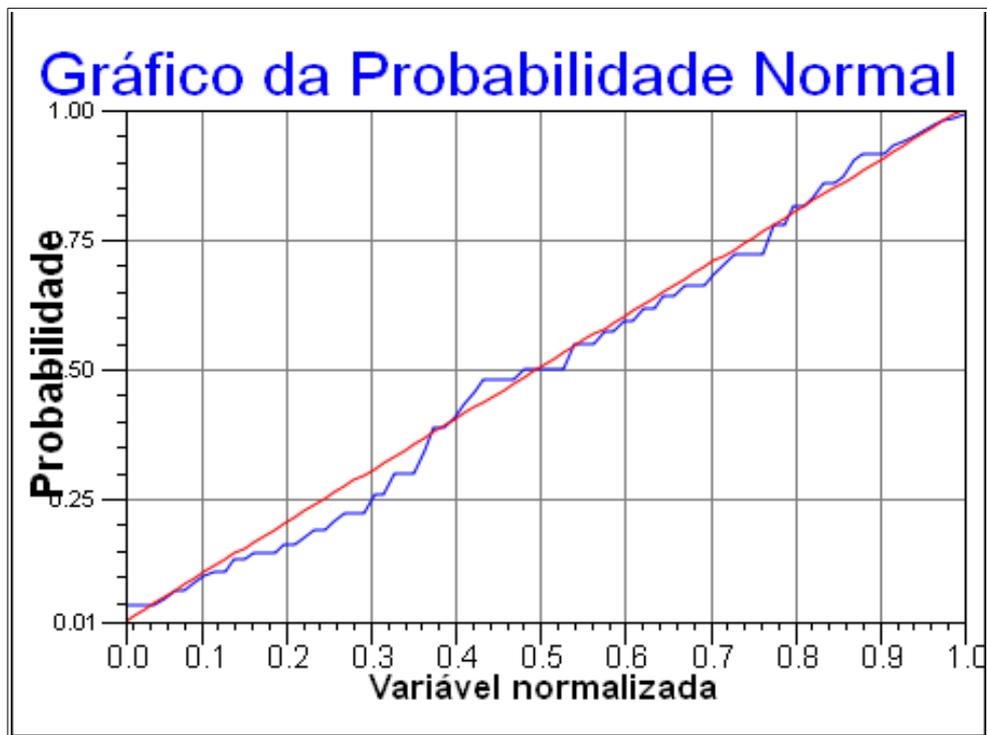


Figura 2 - Gráfico da probabilidade normal da amostra

2.1.2 Análise da variabilidade espacial por semivariograma

Primeiramente, foi gerado um semivariograma omni-direcional utilizando os parâmetros calculados automaticamente pelo SPRING 5.2.2, obtendo-se o resultado constante da Figura 3.

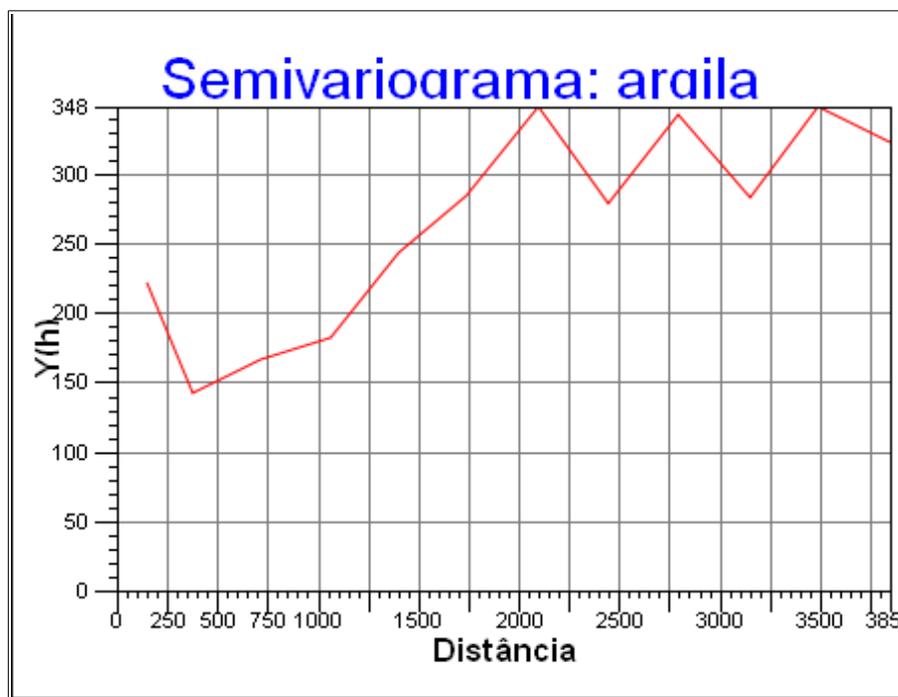


Figura 3 - Semivariograma com parâmetros do SPRING.

Observando-se o semivariograma obtido nota-se que ele não se ajusta a nenhum dos modelos conhecidos, portanto foram alterados os parâmetros do semivariograma para obter-se melhor ajuste. O resultado obtido consta da Figura 4. Os parâmetros utilizados foram os seguintes:

- No. Lag = 4;
- Incremento = 968;
- Tolerância = 484.

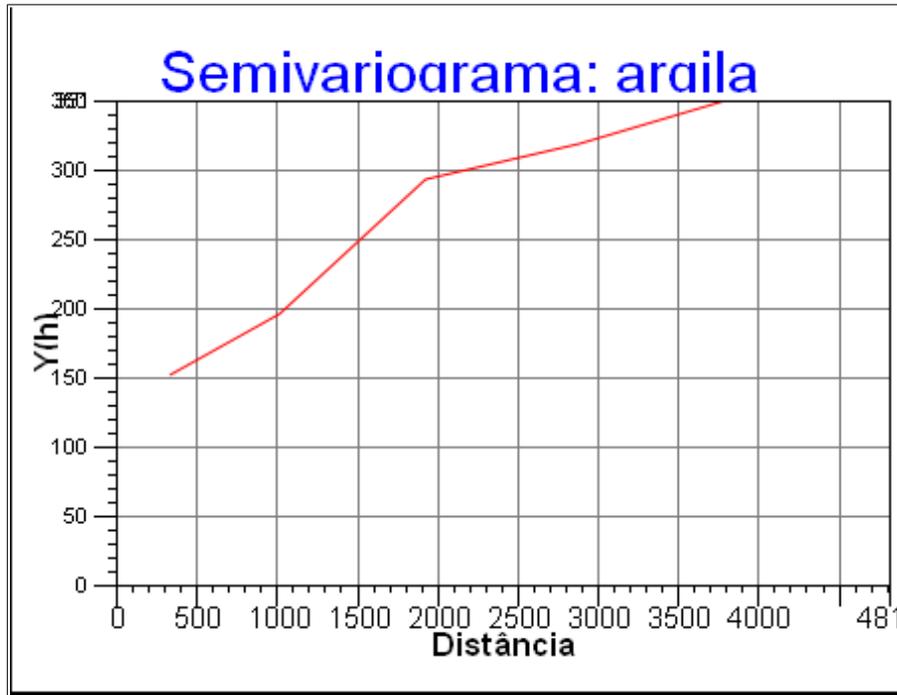


Figura 4 - Semivariograma ajusta com parâmetros customizados.

2.1.3 Modelagem do semivariograma

Foi ajustado um semivariograma do tipo Gaussiano para os dados amostrais, gerando o seguinte relatório:

```

AJUSTE DO SEMIVARIOGRAMA
*****
Sumário:
Arquivo: C:/Lab5/SER300_BD_SaoCarlos/Canchim/GeoStatistic/argila_0.var
No. de variáveis: 3
No. de Lags: 6
No. de Lags usados: 6

Parâmetros iniciais:
Efeito Pepita (Co): 129.524
Para modelo transitivo: Gaussiano
Contribuição (C1): 210.195
Alcance (a): 2408.269
  
```

Modelo de Semivariograma Gaussiano

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-39.929	145.434	198.536	2997.992
2	-41.704	143.649	204.116	3162.341
3	-41.713	143.743	204.454	3176.397

Os parâmetros de efeito pepita, contribuição e alcance máximo fornecidos pelo relatório

(marcados em cor vermelha acima) foram utilizados para construção do semivariograma.

2.1.4 Validação do modelo

A adequação do modelo foi analisada por meio do diagrama de distribuição espacial dos erros (Figura 5), do histograma dos erros (Figura 6), do gráfico de valores observados *versus* estimados (Figura 7) e das estatísticas dos erros. O modelo foi considerado como adequado baseado nos dados de validação obtidos.

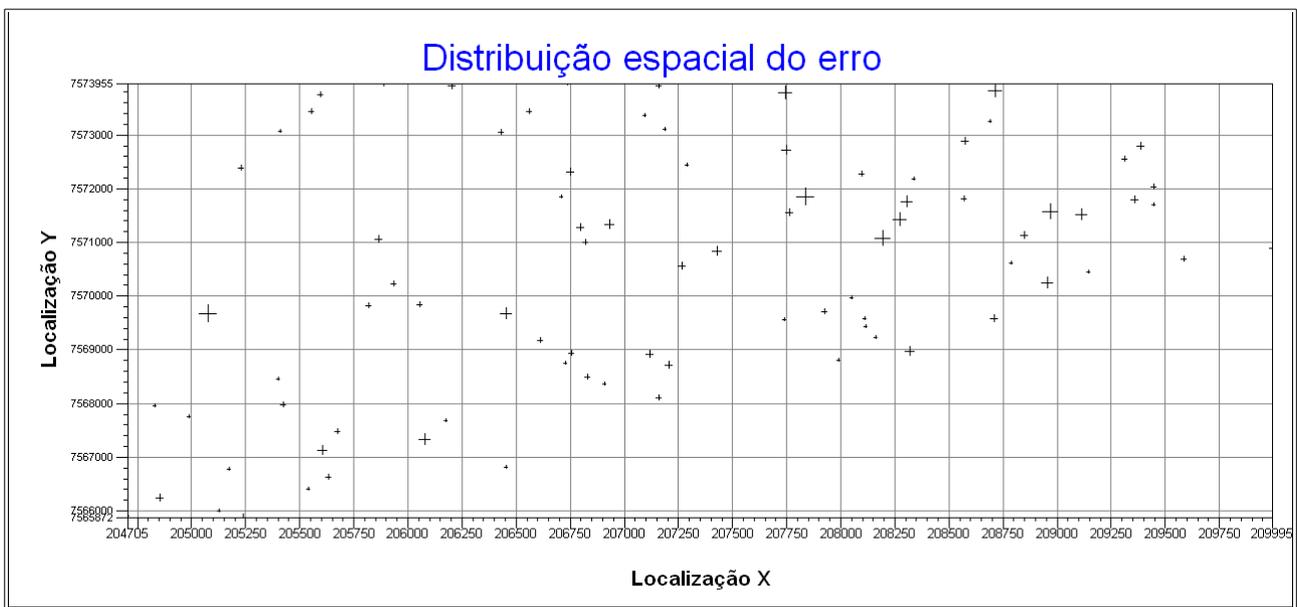


Figura 5 - Gráfico de distribuição espacial dos erros.

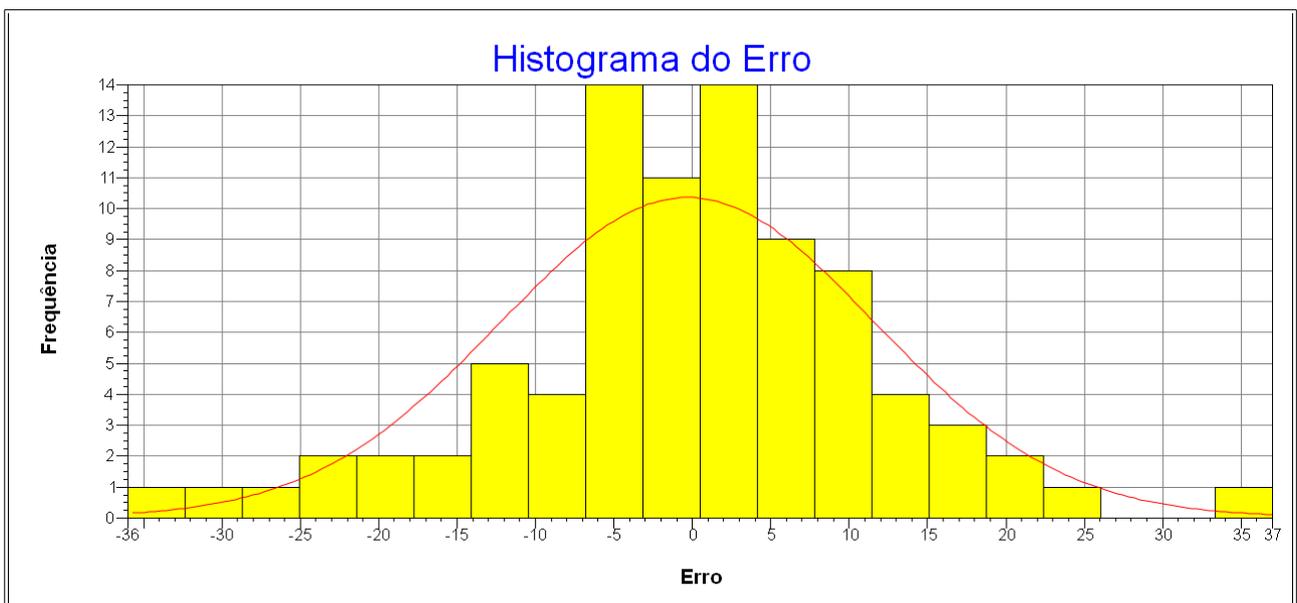


Figura 6 - Histograma dos erros.

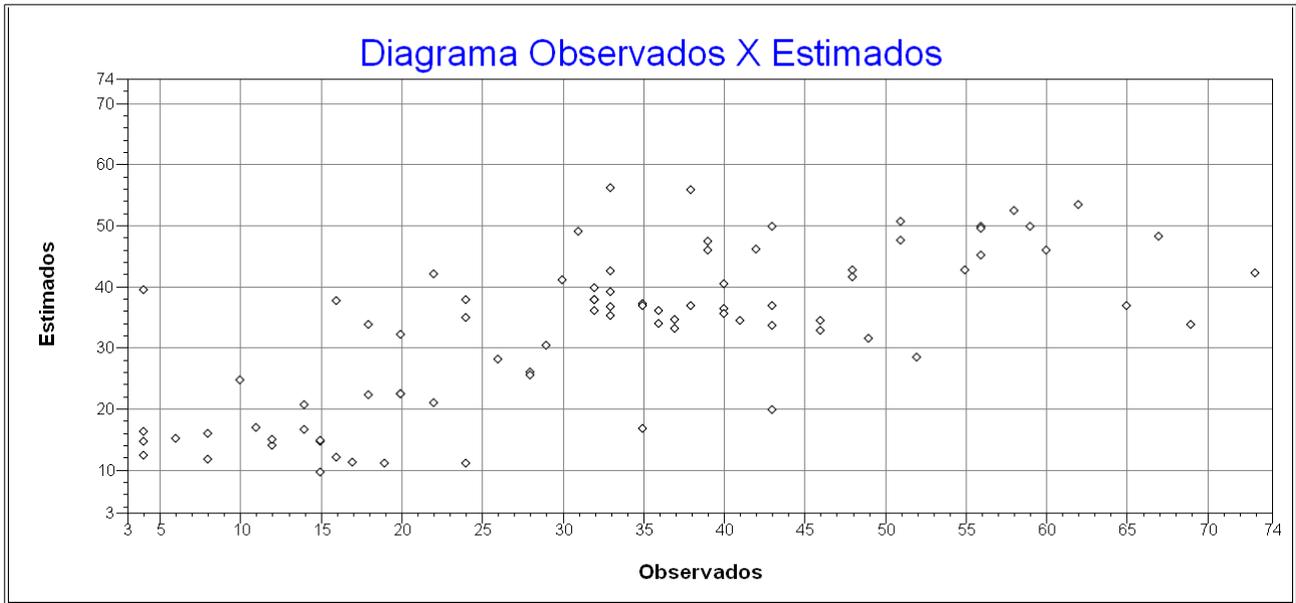


Figura 7 - Diagrama observados versus estimados.

As estatísticas dos erros encontradas foram as seguintes:

ESTATÍSTICAS DO ERRO

=====

=> Plano de Informação: argila

=> Número de amostras	85
=> Média	-0.237
=> Variância	143.451
=> Desvio Padrão	11.977
=> Coeficiente de Variação	-50.625
=> Coeficiente de Assimetria	-0.264
=> Coeficiente de Curtose	3.939
=> Valor Mínimo	-35.343
=> Valor Máximo	35.472

2.1.5 Krigeagem ordinária

A krigeagem ordinária foi aplicada ao modelo dando origem a uma grade de valores interpolados, a partir da qual foi gerada uma imagem (Figura 8) e, posteriormente um fatiamento desta última (Figura 9). Foi gerada automaticamente também uma grade de covariância. As classes utilizadas para o fatiamento foram as seguintes:

- Muito Argiloso: >59%
- Argiloso: entre 35% e 59%
- Médio: entre 15% e 35%
- Arenoso: menor que 15%

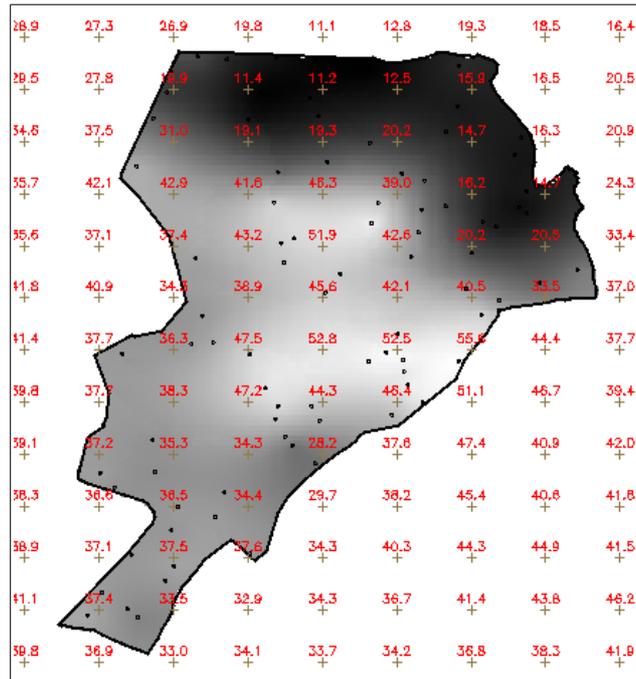


Figura 8 - Resultado da krigeagem em níveis de cinza.

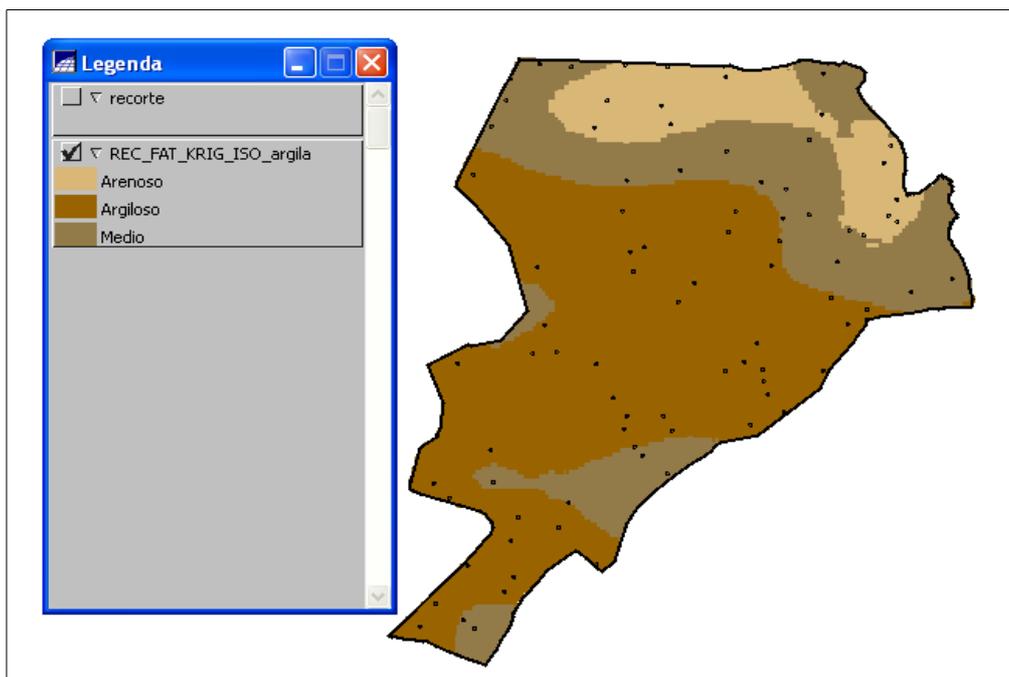


Figura 9 - Resultado do fatiamento da krigeagem.

2.2 Caso anisotrópico

2.2.1 Detecção da anisotropia

A detecção da anisotropia se deu por meio da análise da superfície do semivariograma

(Figura 10), onde pode-se observar os eixos de maior e menor continuidade, os quais foram considerados como eixos perpendiculares.

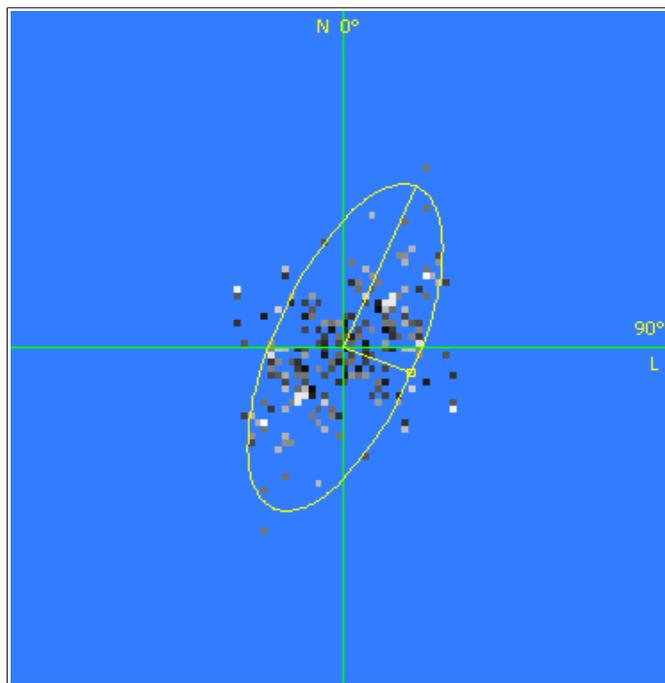


Figura 10 - Superfície do semivariograma.

2.2.2 Geração dos semivariogramas direcionais

Foram gerados semivariogramas direcionais e o semivariograma omni-direcional a partir dos parâmetros abaixo e nas direções mostradas na Tabela 1.

- No. Lag = 4;
- Incremento = 815;
- Tolerância = 576.

Direção (graus)	Tolerância (graus)	Cor
0	90	Vermelho
17	35	Verde
107	35	Azul

Tabela 1 - Semivariogramas direcionais.

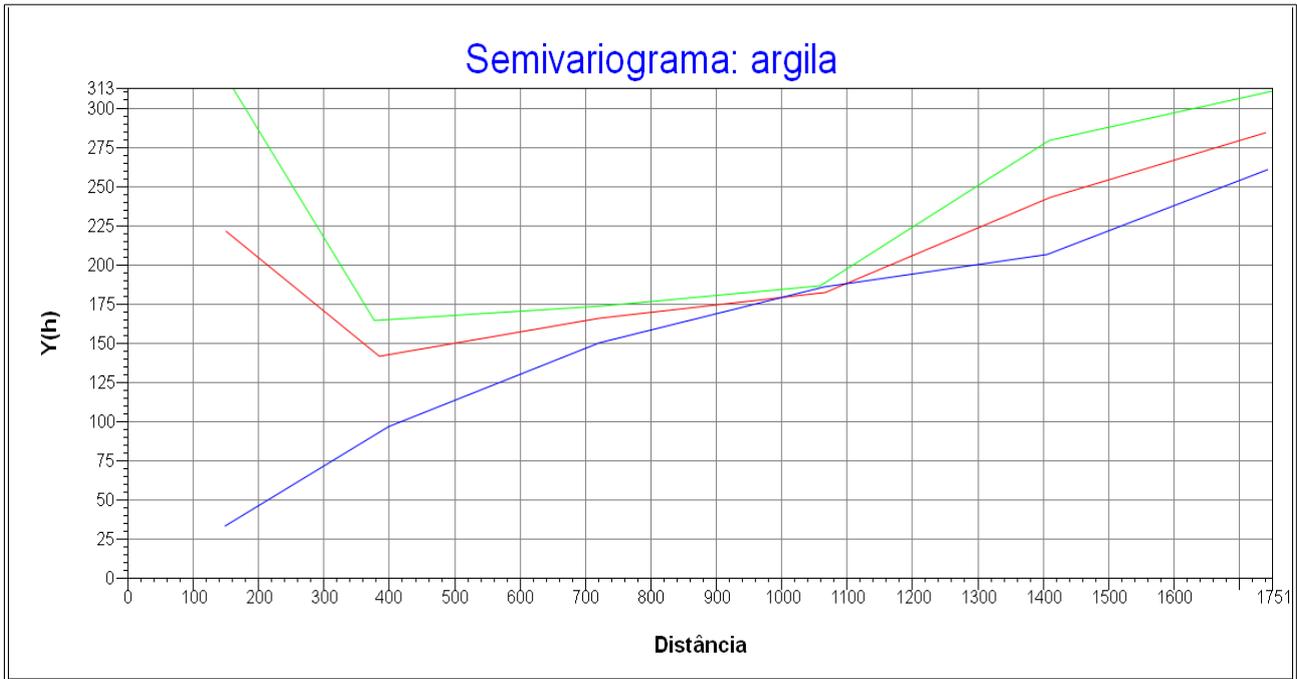


Figura 11 - Semivariogramas direcionais versus omni-direcional.

2.2.3 Modelagem dos semivariogramas direcionais

Os semivariogramas nas direções de maior e menor continuidade foram modelados para um modelo tipo esférico com os parâmetros constantes da Tabela 2. O resultado consta das Figuras 12 e 13 e dos relatórios do SPRING em cor cinza.

Direção (graus)	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
17	90.966	274.332	2961.785
107	27.975	203.065	1676.681

Tabela 2 - Parâmetros dos semivariogramas direcionais.

AJUSTE DO SEMIVARIOGRAMA

Sumário:

Arquivo: C:/Lab5/SER300_BD_SaoCarlos/Canchim/GeoStatistic/argila_17.var

No. de variáveis: 3

No. de Lags: 6

No. de Lags usados: 6

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 109.366

Para modelo transitivo: Esférico

Contribuição (C1): 253.930

Alcance (a): 1993.654

Modelo de Semivariograma Esférico

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-32.739	114.228	248.611	3022.331
2	-37.425	90.651	274.407	2941.519
3	-37.435	90.966	274.332	2961.785

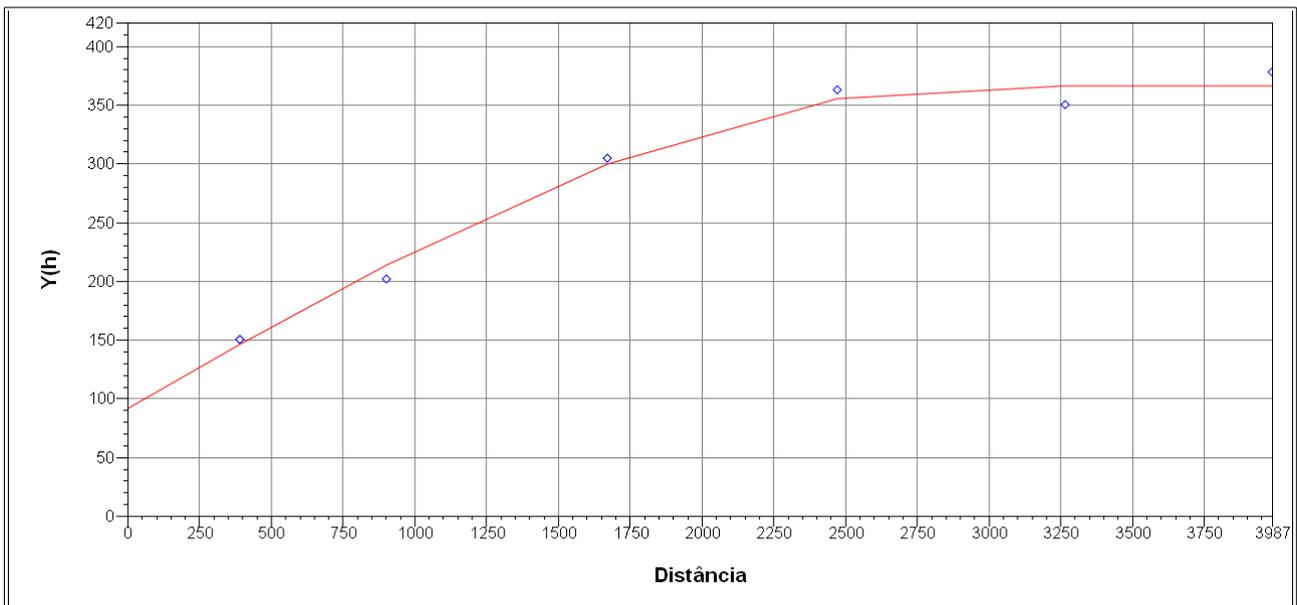


Figura 12 - Semivariograma na direção de maior continuidade.

AJUSTE DO SEMIVARIOGRAMA

Sumário:

Arquivo: C:/Lab5/SER300_BD_SaoCarlos/Canchim/GeoStatistic/argila_107.var
 No. de variáveis: 3
 No. de Lags: 6
 No. de Lags usados: 6

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 39.434
 Para modelo transitivo: Esférico
 Contribuição (C1): 192.540
 Alcance (a): 1985.218

Modelo de Semivariograma Esférico

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-36.343	28.674	201.116	1606.256
2	-37.232	29.005	202.133	1688.479
3	-37.237	27.975	203.065	1676.681

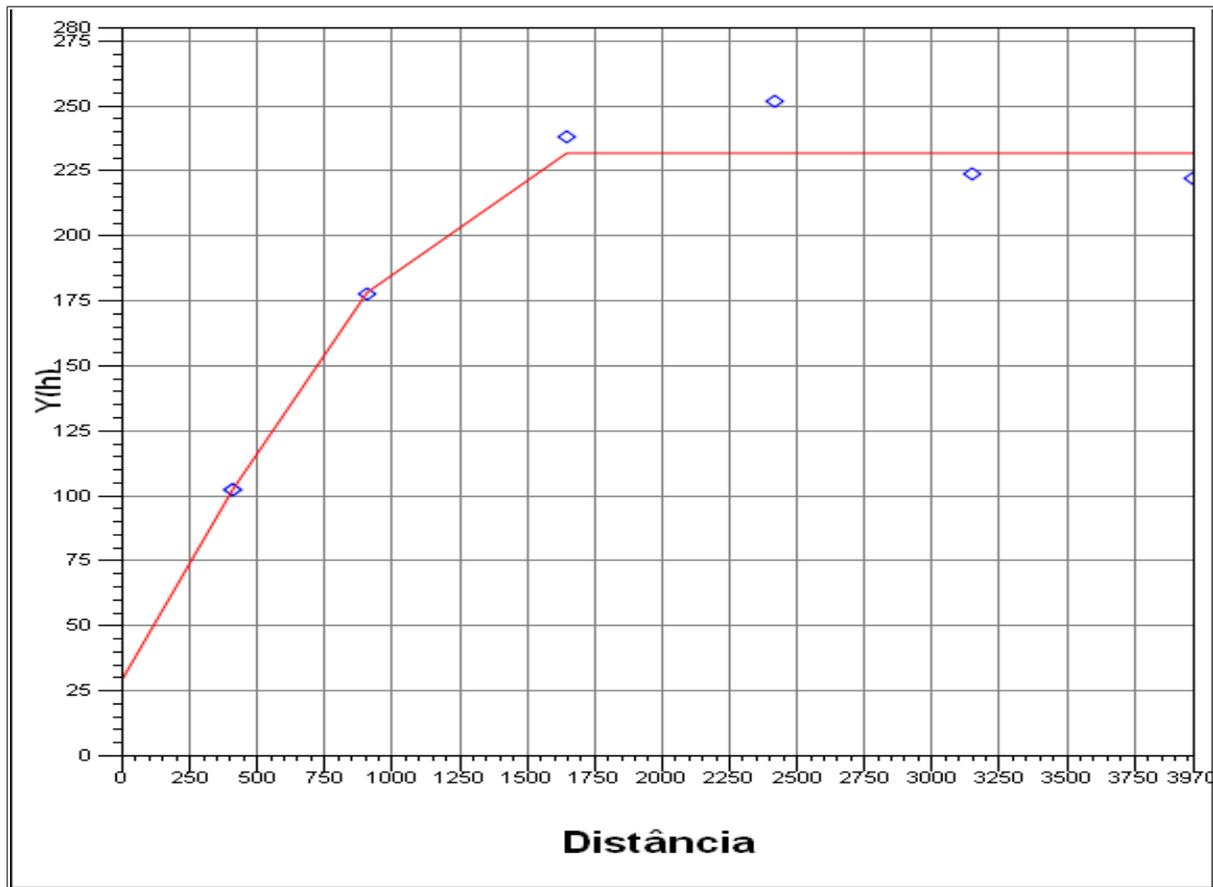


Figura 13 - Semivariograma na direção de menor continuidade.

2.2.4 Modelagem da anisotropia

A modelagem da anisotropia teve por objetivo a união dos modelos calculados no item 2.2.3 em um único modelo consistente, o qual descreveria a variabilidade espacial do fenômeno em qualquer direção. O gráfico de semivariogramas foi dividido em faixas convenientes o gráfico de semivariogramas de maneira que em cada faixa reste somente a anisotropia geométrica. Estabelecidas as faixas a anisotropia combinada é decomposta graficamente, chegando-se ao parâmetros que vão compor o modelo único de anisotropia. Os parâmetros obtidos no experimento constam da Figura 14.

Número de Estruturas		3	
Efeito Pepita		28	
Primeira Estrutura – Tipo: Esférica			
Contribuição	63	Ângulo de anisotropia	17°
Alcance Mínimo	$\epsilon = 0,00001$	Alcance Máximo	1677
Segunda Estrutura – Tipo: Esférica			
Contribuição	140	Ângulo de anisotropia	17°
Alcance Mínimo	1677	Alcance Máximo	2962
Terceira Estrutura – Tipo: Esférica			
Contribuição	71	Ângulo de anisotropia	17°
Alcance Mínimo	2962	Alcance Máximo	$\infty = 100000$

Figura 14 - Parâmetros do modelo de anisotropia

2.2.5 Validação do modelo anisotrópico

A adequação do modelo foi analisada por meio do diagrama de distribuição espacial dos erros (Figura 15), do histograma dos erros (Figura 16), do gráfico de valores observados *versus* estimados (Figura 17) e das estatísticas do erros. O modelo foi considerado como adequado baseado nos dados de validação obtidos.

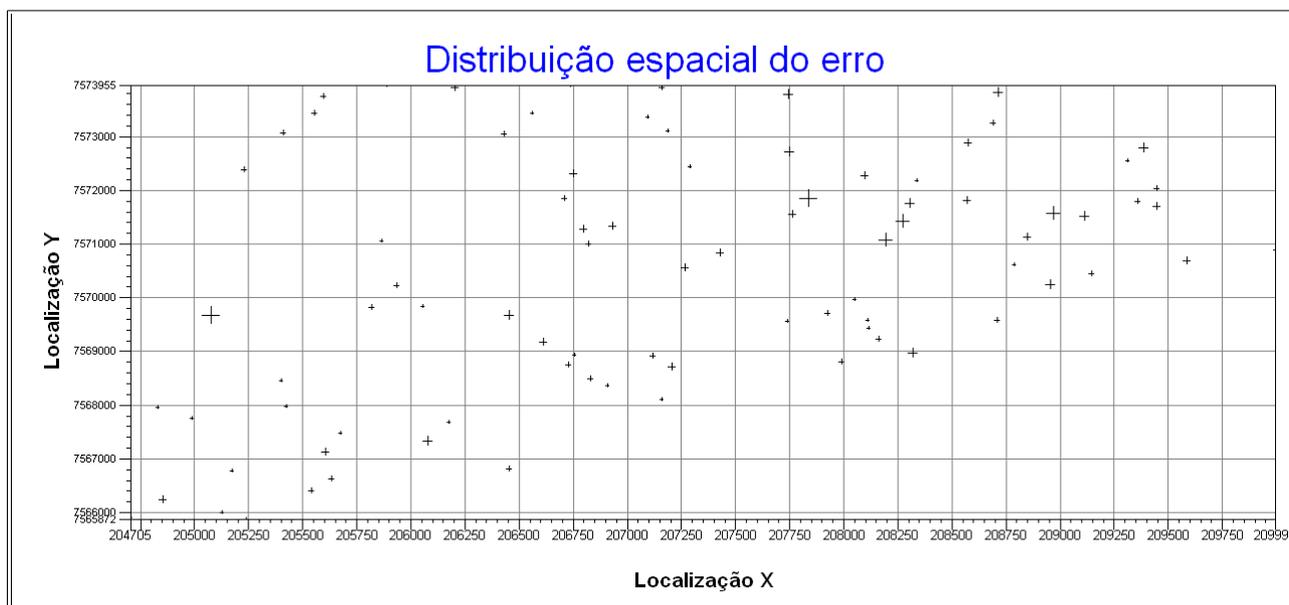


Figura 15 - Diagrama de distribuição espacial do erros para caso anisotrópico.

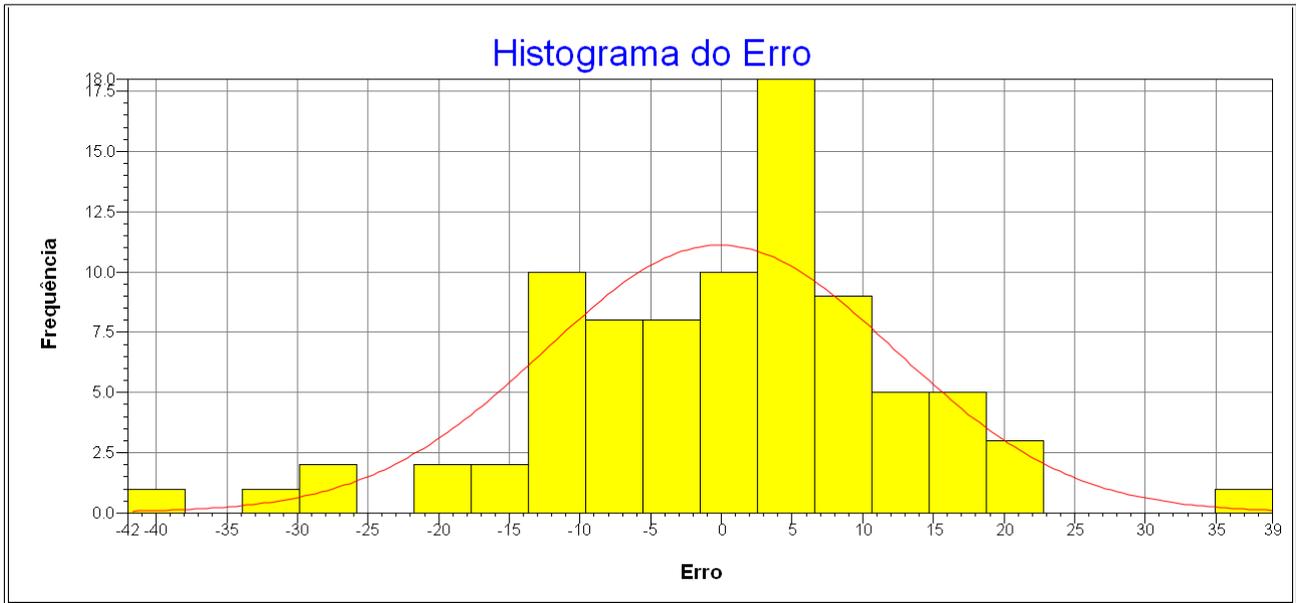


Figura 16 - Histograma dos erros para o caso anisotrópico

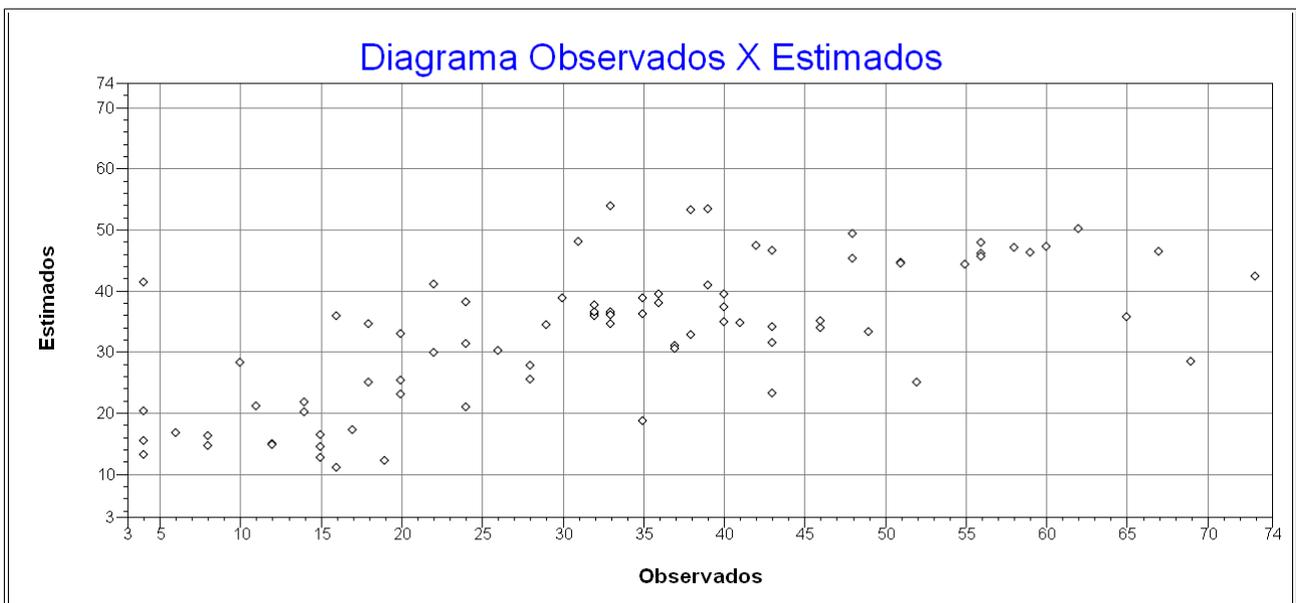


Figura 17 - Diagrama observados versus estimados para o caso anisotrópico.

ESTATÍSTICAS DO ERRO

=> Plano de Informação: argila

- => Número de amostras 85
- => Média -0.018
- => Variância 153.722
- => Desvio Padrão 12.398
- => Coeficiente de Variação -676.737
- => Coeficiente de Assimetria -0.416
- => Coeficiente de Curtose 4.261
- => Valor Mínimo -40.572
- => Valor Máximo 37.417

2.2.5 Krigeagem do modelo anisotrópico

A krigeagem ordinária foi aplicada ao modelo dando origem a uma grade de valores interpolados, a partir da qual foi gerada uma imagem (Figura 18) e, posteriormente um fatiamento desta última (Figura 19). Foi gerada automaticamente também uma grade de covariância. As classes utilizadas para o fatiamento foram as seguintes:

- Muito Argiloso: >59%
- Argiloso entre 35% e 59%
- Médio entre 15% e 35%
- Arenoso menor que 15%

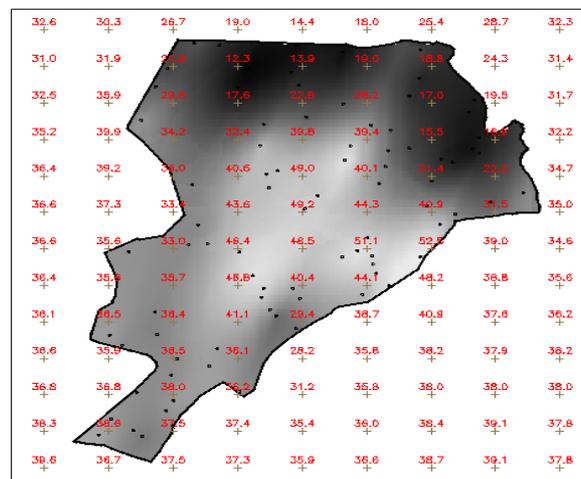


Figura 18 - Krigeagem do caso anisotrópico

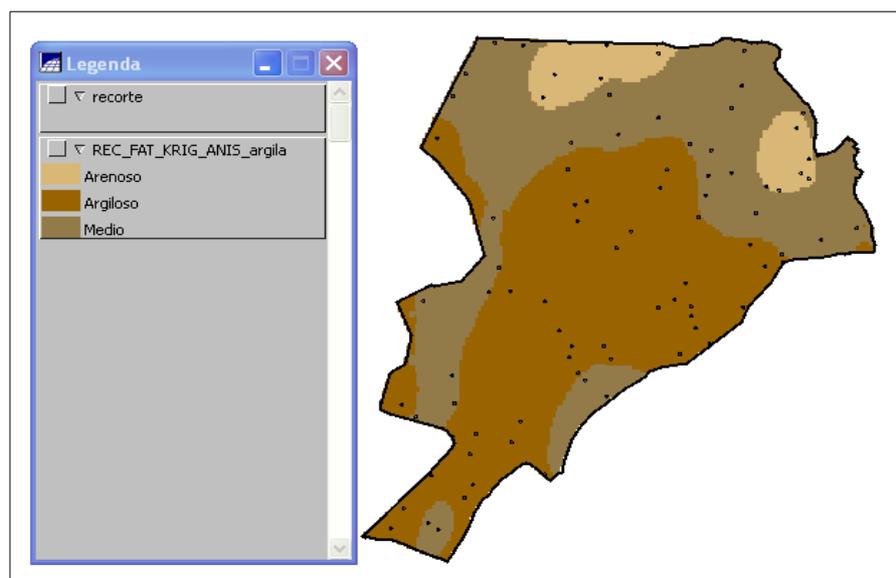


Figura 19 - Fatiamento no caso anisotrópico.

2.3 Comparação dos resultados

Primeiramente foram comparados visualmente os resultados das krigeagens dos modelos iso e anisotrópico (Figura 20). Pode se notar que devido a desconsideração da direção de maior continuidade no modelo isotrópico as regiões mais ao norte da área de trabalho tiveram seus teores de argila subestimados em relação ao modelo anisotrópico. Ademais, a diferença entre as distribuições espaciais é visualmente nítida, apresentando-se de uma forma mais "achatada" no modelo anisotrópico.

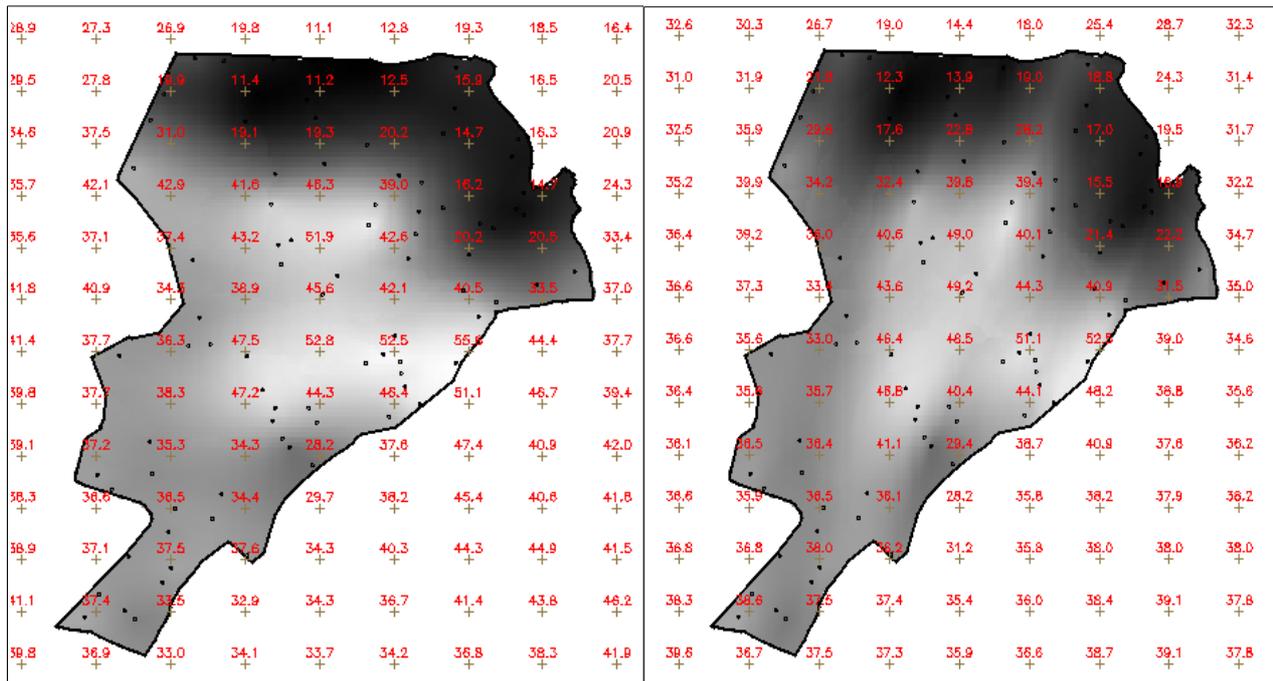


Figura 20 - Krigeagem do modelo isotrópico (esquerda) versus anisotrópico (direita).

Foram também computados os teores médio de argila para cada classe de solo para cada um dos modelos. Gerou-se mapas de teor médio de argila utilizando os intervalos do quantis de cada grade e compararam-se os resultados obtidos para cada modelo (Figura 21). A comparação visual dos mapas não apresentou diferenças muito significativas, embora, como já foi visto, a diferença entre as krigeagens tenha sido. Isso pode ser explicado pelo fato de terem sido utilizados os quantis para definir as classes de cada mapa, sendo que para cada um apresentam intervalos distintos, tendo possivelmente atenuado o efeito da diferenças entre as krigeagens do modelos.

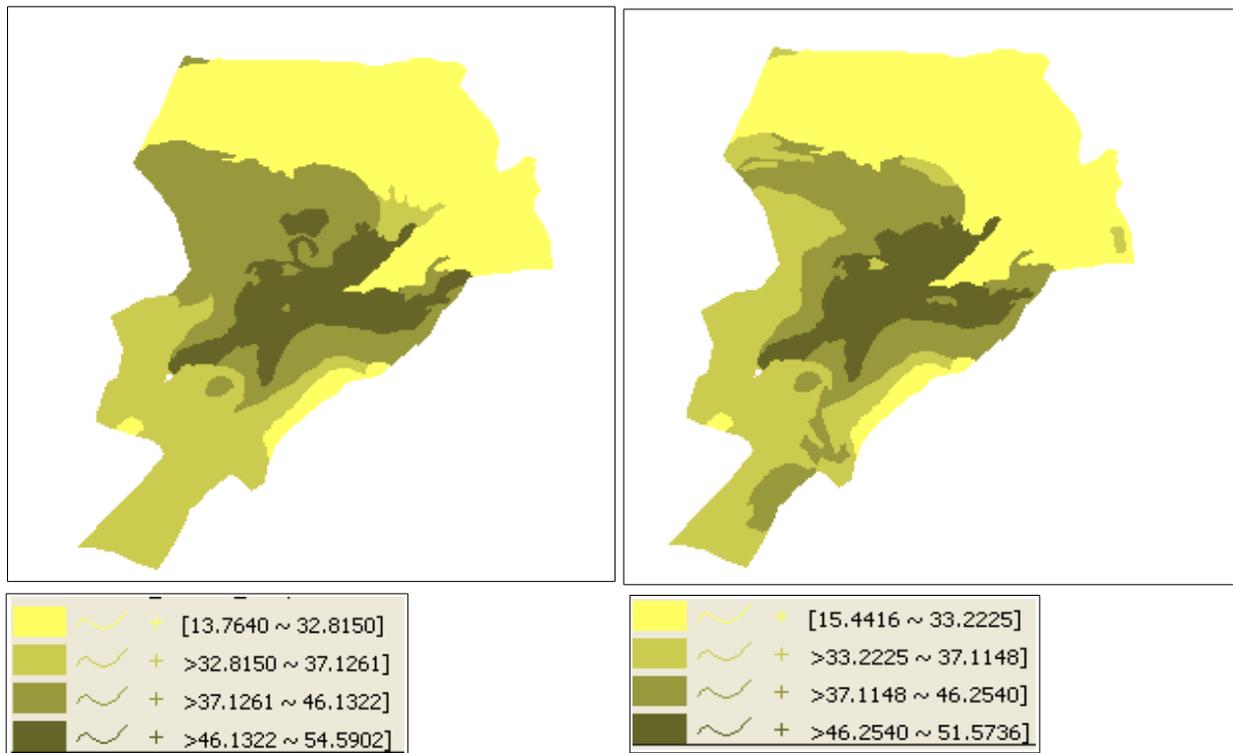


Figura 21 - Teores médios de argila isotrópico (esquerda) *versus* anisotrópico (direita).

3. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido possibilitou a observação de exemplos práticos dos conceitos introduzidos no Curso de Introdução ao Geoprocessamento (SER-300), bem como da operação do SPRING 5.2.2 para a realização de procedimentos importantes para na área de geoestatística como a análise exploratória dos dados, análise de variabilidade espacial por semivariogramas, modelagem do semivariograma, validação do modelos, krigagem e modelagem de anisotropia.