



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Divisão de Sensoriamento Remoto

Geoprocessamento

Relatório do Laboratório 5: Geoestatística Linear

Fátima Lorena Benítez Ramírez

Professores Responsáveis: Dr. Miguel Viera Monteiro

Dr. Cláudio Barbosa

Docente Colaborador: Dr. Eduardo C. G. Camargo

São José dos Campos

Junho, 2013



Sumario

1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAIS	5
3. DESENVOLVIMENTO DO LABORATÓRIO 4:	5
3.1. Visualização da Informação	5
3.2. Etapas da Análise Geoestatística	6
3.2.1. Análise Exploratoria	6
3.2.2. CASO ISOTROPICO: Análise da Variabilidade Espacial por Semivariograma	8
3.2.3. Modelagem do Semivariograma Experimental	9
3.2.4. Validação do Modelo	11
3.2.5. Krigeagem Ordinária	13
3.2.6. CASO ANISOTRÓPICO: Detecção da Anisotropia	14
3.2.7. Modelagem dos Semivariogramas Direcionais	16
3.2.8. Modelagem da Anisotropia	18
3.2.9. Validação do Modelo de Ajuste	19
3.2.10. Interpolação por Krigeagem Ordinaria	22
3.3. Análise dos Resultados	23
4. CONCLUSÃO	24



Tabela de Ilustrações

Ilustração 1: Amostras de Solo: Teor de Argila	6
Ilustração 2: Mapa Geológico	6
Ilustração 3: Estatísticas Descritivas do Teor de Argila	6
Ilustração 4: Histograma com 10 classes	7
Ilustração 5: Histograma com 20 classes	7
Ilustração 6: Gráfico de probabilidade normal	7
Ilustração 7: Semivariograma da Argila inicial	8
Ilustração 8: Semivariograma Experimental	9
Ilustração 9: Semivariograma Ajustado	9
Ilustração 10: Relatório do Ajuste do Semivariograma.....	10
Ilustração 11: definição de Parâmetros	11
Ilustração 12: Distribuição espacial do erro.....	11
Ilustração 13: Histograma do Erro	12
Ilustração 14: Estatísticas do Erro	12
Ilustração 15: Diagrama de valores observados versus estimados	13
Ilustração 16: Grade de Krigeagem da argila. Modelo Isotropico	13
Ilustração 17: variância de Krigeagem. Modelo Isotropico.....	13
Ilustração 18: Imagem da grade de Krigeagem da argila. Modelo Isotropico	14
Ilustração 19: Mapa de Teor de Argila. Modelo Isotropico	14
Ilustração 20: Detecção dos eixos de anisotropía.....	15
Ilustração 21: Geração dos Semivariogramas Direcionais	15
Ilustração 22: Semivariogramas Direcionais	16
Ilustração 23: Dados do Relatório Semivariograma 17 graus	16
Ilustração 24: Modelo de Ajuste esférico Semivariograma 17 graus.....	17
Ilustração 25: Dados do Relatório Semivariograma 107 graus	17
Ilustração 26: Modelo de Ajuste esférico Semivariograma 107 graus.....	18
Ilustração 27: Faixas do modelo combinado de Anisotropia	18
Ilustração 28: Geração do Modelo de Anisotropia	19
Ilustração 29: Validação do modelo	20
Ilustração 30: Distribuição Espacial do erro.....	20
Ilustração 31: Histograma do Erro	21
Ilustração 32: Estatísticas do Erro	21
Ilustração 33: Diagrama de Valores Observados versus Estimados.....	21
Ilustração 34: Grade de Krigeagem da argila. Modelo Anisotropico	22
Ilustração 35: variância de Krigeagem. Modelo Anisotropico	22
Ilustração 36: Imagem da grade de Krigeagem da argila. Modelo Anisotropico.....	22
Ilustração 37: Mapa de Teor de Argila. Modelo Anisotropico	22
Ilustração 38: Teor de Argila. Modelo Isotrópico.....	23
Ilustração 39: Teor de Argila. Modelo Anisotropico	23
Ilustração 40: Calculo do teor de Argila a partir dos dois modelos	23



Ilustração 41: Teor de Argila: Isotrópico	24
Ilustração 42: Teor de Argila: Anisotrópico.....	24



1. INTRODUÇÃO

A Geoestatística, de modo geral, desenvolve e aplica modelos em representações de fenômenos naturais cujas propriedades variam conforme a posição espacial dos pontos observados.

Na África do Sul, o engenheiro de minas Daniel G. Krige e o estatístico H.S. Sichel, desenvolveram empiricamente uma técnica própria de estimativa para o cálculo de reservas minerais, a qual posteriormente recebeu tratamento formal por G. Matheron, nos início dos anos 60 do século passado, na França com o nome Geoestatística, para o estudo das chamadas variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas.

2. MATERIAIS

Para este exercício os dados utilizados são de propriedade do Centro Nacional de Pesquisas de Solo (CNPS –RJ), obtidos no levantamento dos solos da Fazenda Canchim em São Carlos – SP, e se referem a uma amostragem de 85 observações georeferenciadas coletadas no horizonte Bw (camada do solo com profundidade média de 1m). Para realizar o análise foi selecionada a variável teor de argila.

Além disso, será utilizado o Mapa Geológico da área de estudo, no qual afloram as seguintes litologias: Arenito Superficial (areias consolidadas), Diabásio (Formação Serra Geral), e Arenito Botucatu (rocha constituída por graus de quartzo arredondados).

3. DESENVOLVIMENTO DO LABORATÓRIO 4:

3.1. Visualização da Informação

A continuação mostra-se a informação que será utilizada para o análise geostatístico.

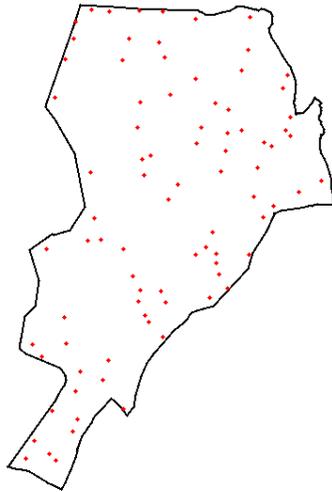


Ilustração 1: Amostras de Solo: Teor de Argila

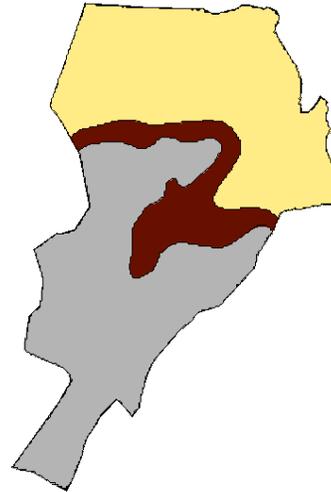


Ilustração 2: Mapa Geológico

3.2. Etapas da Análise Geoestatística

3.2.1. Análise Exploratoria

A análise exploratória dos dados é realizada através de estatísticas univariadas e bivariadas. As estatísticas univariadas fornecem um meio de organizar e sintetizar um conjunto de valores, que se realiza principalmente através do histograma.

As estatísticas bivariadas fornecem meios de descrever o relacionamento entre duas variáveis. Esta relação pode ser visualizada através do diagrama de dispersão e o grau de relação linear entre as variáveis pode ser medido através do coeficiente de correlação.

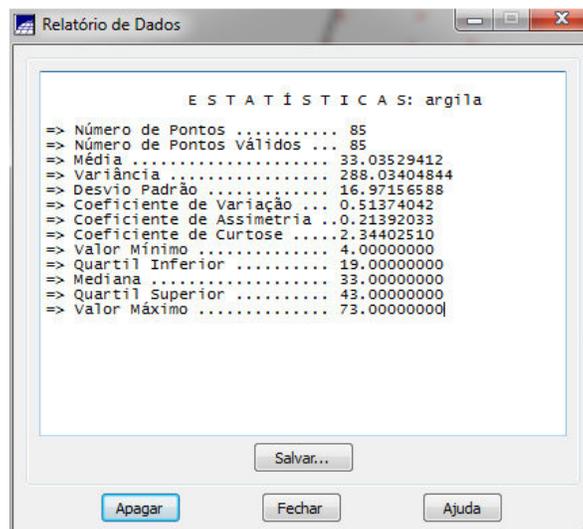


Ilustração 3: Estatísticas Descritivas do Teor de Argila

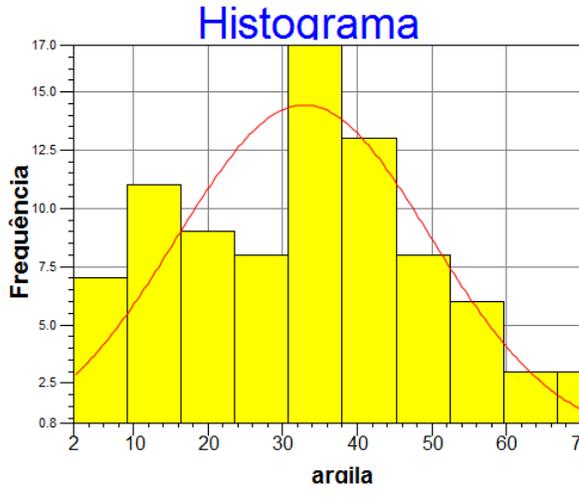


Ilustração 4: Histograma com 10 classes

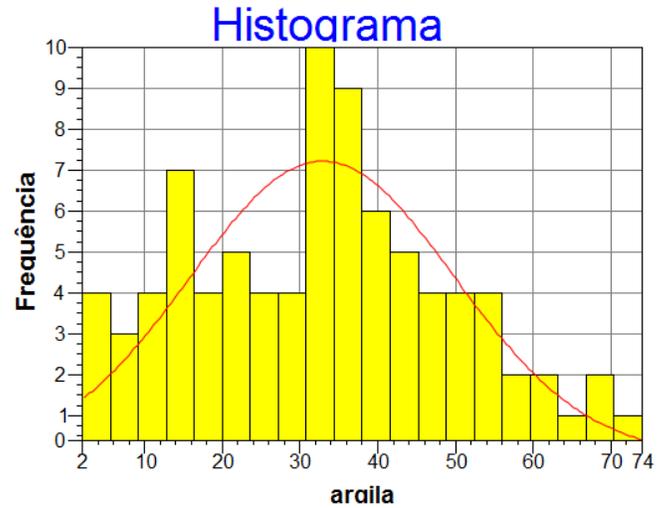


Ilustração 5: Histograma com 20 classes

Pode-se observar que a distribuição de argila é pouca assimétrica, com um coeficiente de assimetria igual a 0,214, calculado nas estatísticas descritivas geradas ao início.

Gráfico da Probabilidade Normal

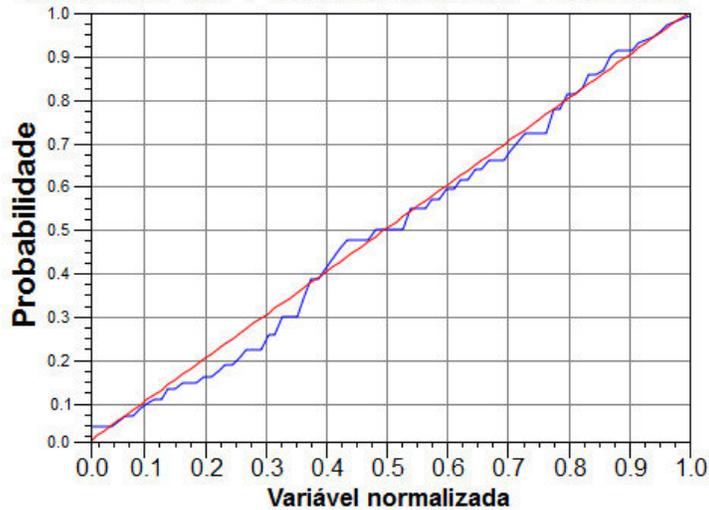


Ilustração 6: Gráfico de probabilidade normal

A linha de cor vermelha representa uma distribuição Gaussiana, enquanto a linha de cor azul representa a distribuição do teor de argila. Pode-se observar que a distribuição do teor de argila se aproxima a uma distribuição normal.

3.2.2. CASO ISOTROPICO: Análise da Variabilidade Espacial por Semivariograma

O semivariograma mostra a medida do grau de dependência espacial entre amostras ao longo de um suporte específico e, para sua construção, são usados simplesmente as diferenças ao quadrado dos valores obtidos, assumindo-se uma estacionaridade nos incrementos. Isso significa que o semivariograma é uma medida da variabilidade condicionada pela distância.

Normalmente os elementos estudados pelas geociências são casos de anisotropia, o que no contexto da Geoestatística significa haver direções privilegiadas que condicionam a gênese do fenômeno. Sua constatação é percebida nos semivariogramas quando o alcance ou o patamar, ou ambos, variam conforme a direção. Por outro lado, se os semivariogramas tiverem o mesmo comportamento para qualquer direção, diz-se tratar de um caso de isotropia.

Na prática quando lidamos com semivariogramas, a primeira suposição é isotropia na tentativa de detectar uma estrutura de correlação espacial, Para tal, utiliza-se tolerância angular máxima (90 graus) assim, a direção torna-se insignificante.

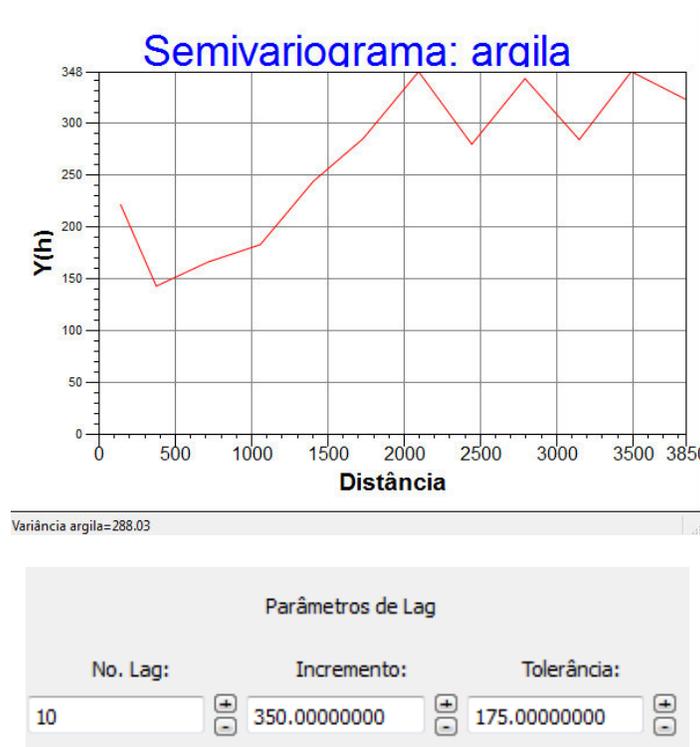


Ilustração 7: Semivariograma da Argila inicial

Pode-se observar que a forma do semivariograma não apresenta uma forma muito adequada em comparação com um semivariograma ideal, para melhorar sua forma é importante alterar os parâmetros de Lag.

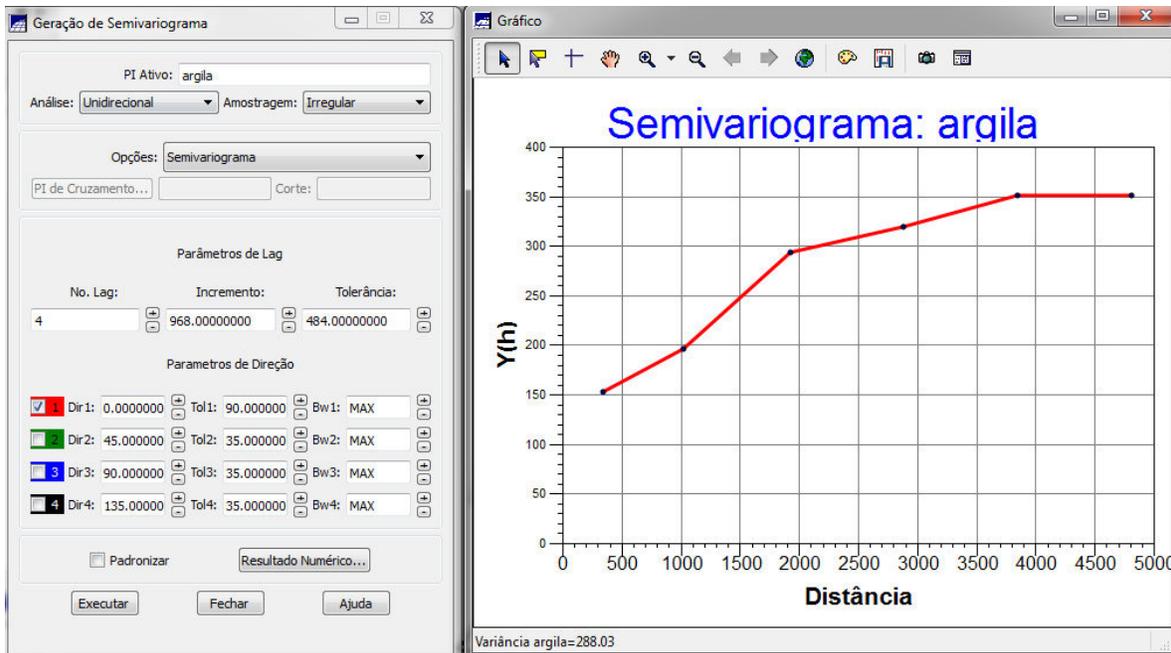


Ilustração 8: Semivariograma Experimental

3.2.3. Modelagem do Semivariograma Experimental

Um semivariograma é obtido de modo experimental. O ajuste é feito interativamente, manipulando-se os parâmetros até que um modelo de função seja adequado.

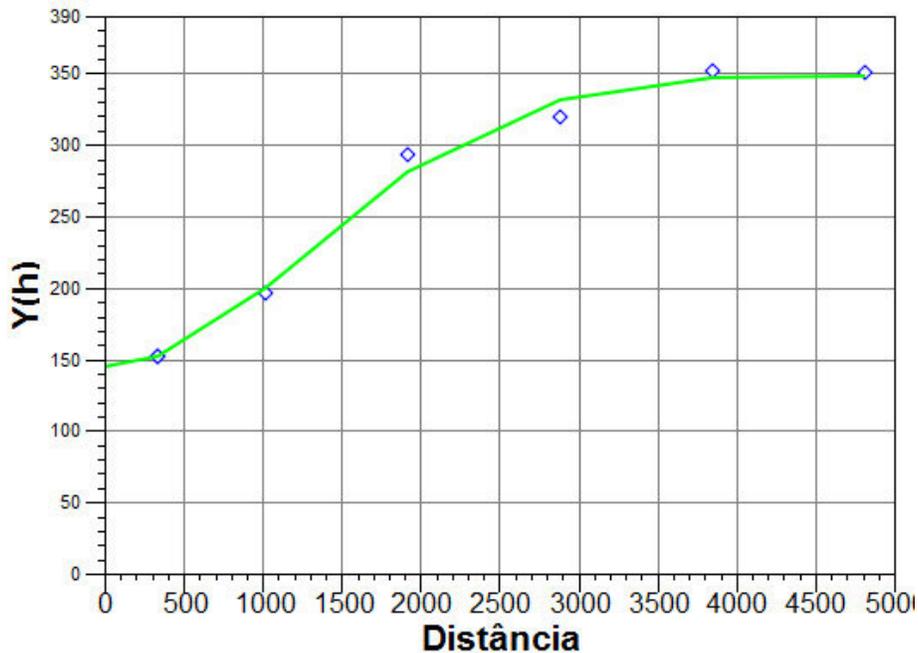


Ilustração 9: Semivariograma Ajustado

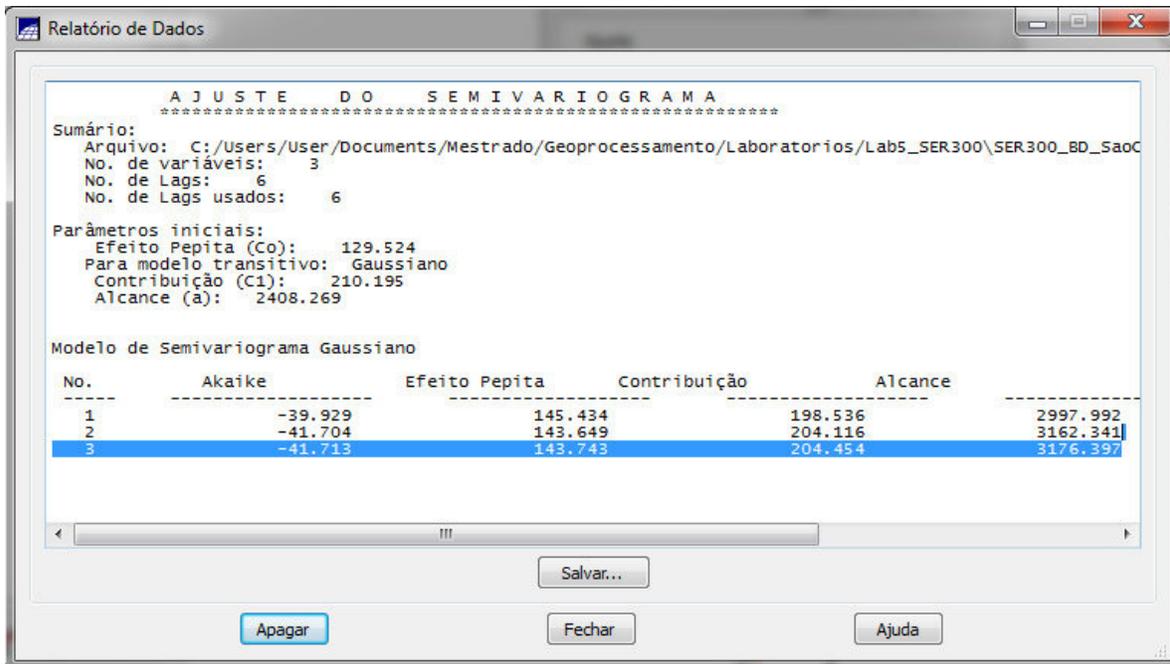


Ilustração 10: Relatório do Ajuste do Semivariograma

Para construir o modelo isotrópico os parâmetros tomados são sempre tomados com referência ao menor valor de Akaike.

Parâmetros de Log:

- Efeito Pepita: 143,743
- Contribuição: 204,454
- Alcance: 3176,397

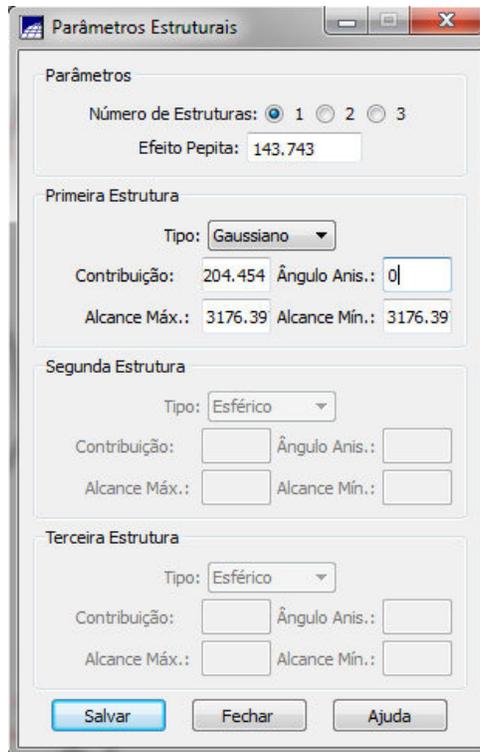


Ilustração 11: definição de Parâmetros

3.2.4. Validação do Modelo

O processo de validação do modelo de ajuste é uma etapa que precede as técnicas de Krigagem. Seu principal objetivo é avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos.

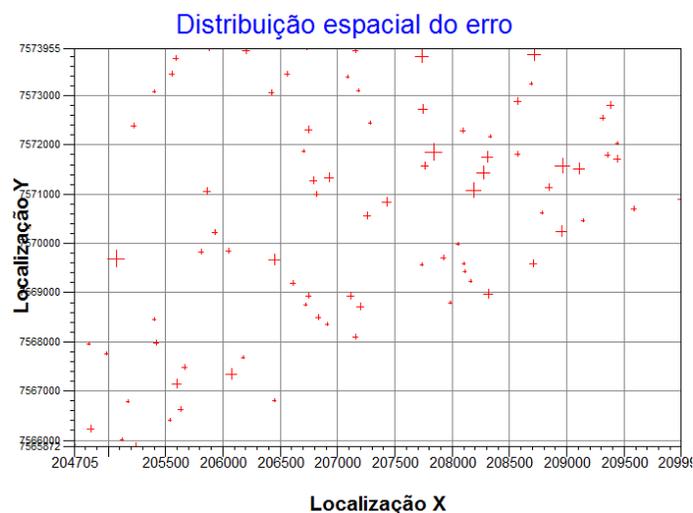


Ilustração 12: Distribuição espacial do erro

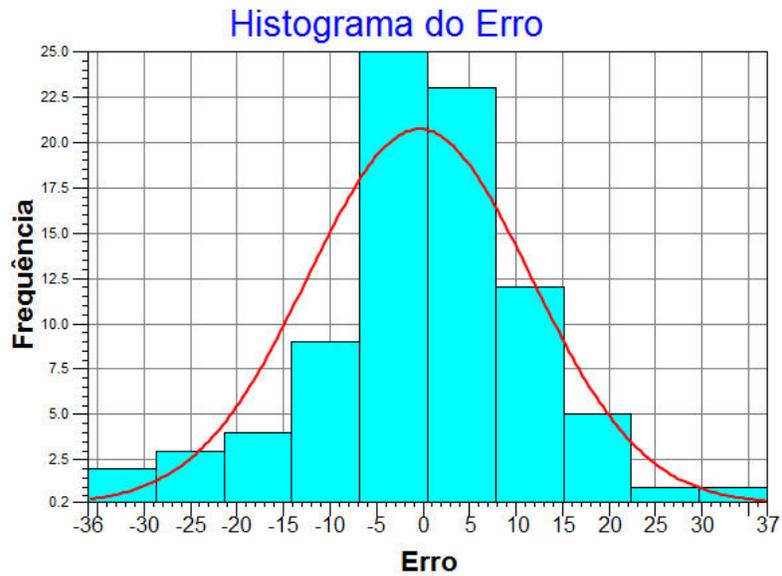


Ilustração 13: Histograma do Erro

Pode-se observar uma distribuição normal dos erros, sendo uma das pressuposições para a correlação linear.

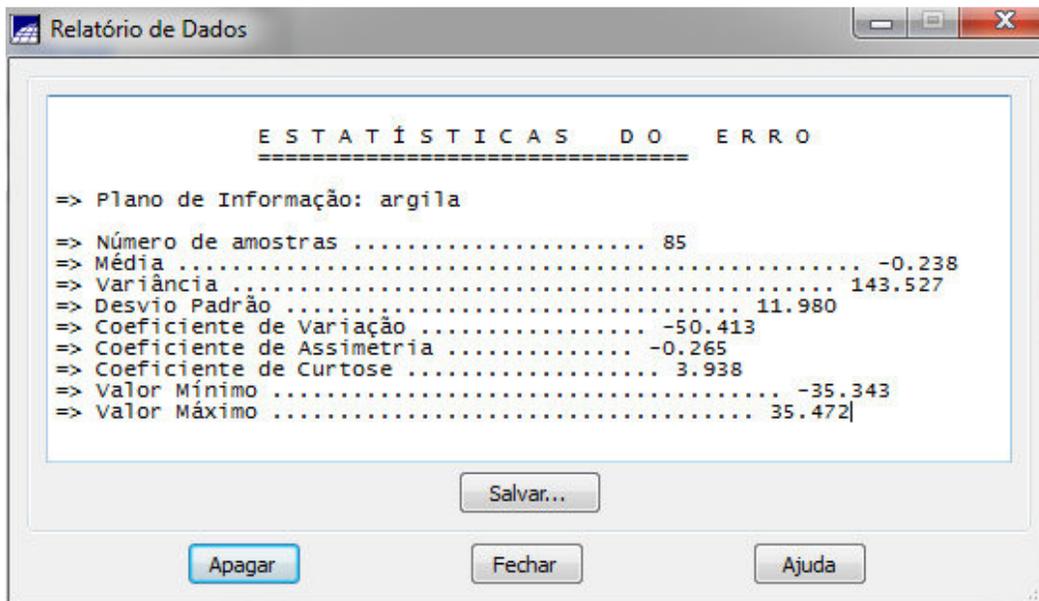


Ilustração 14: Estatísticas do Erro

Diagrama Observados X Estimados

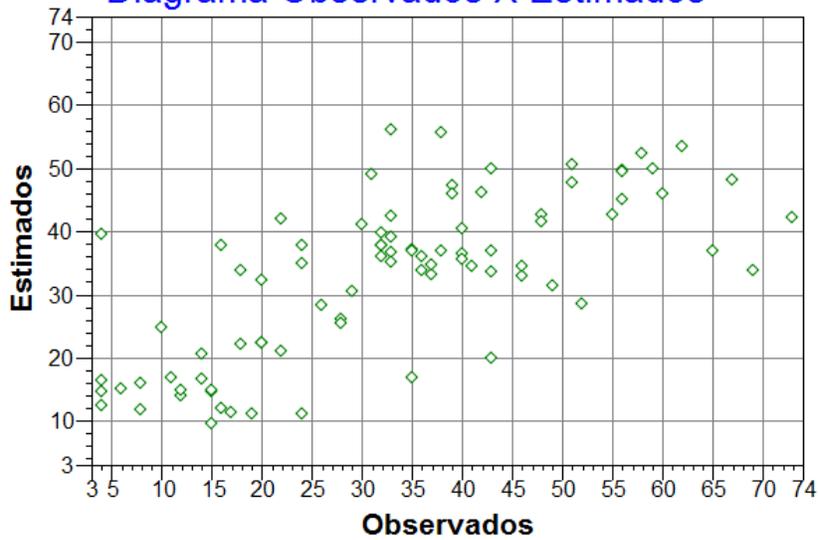


Ilustração 15: Diagrama de valores observados versus estimados

Pode-se observar uma correlação quase linear entre os valores observados e os valores estimados.

3.2.5. Krigagem Ordinária

Uma vez realizada a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigagem.

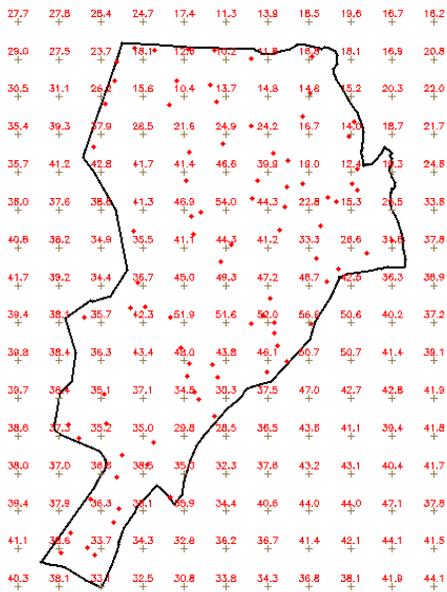


Ilustração 16: Grade de Krigagem da argila. Modelo Isotropico

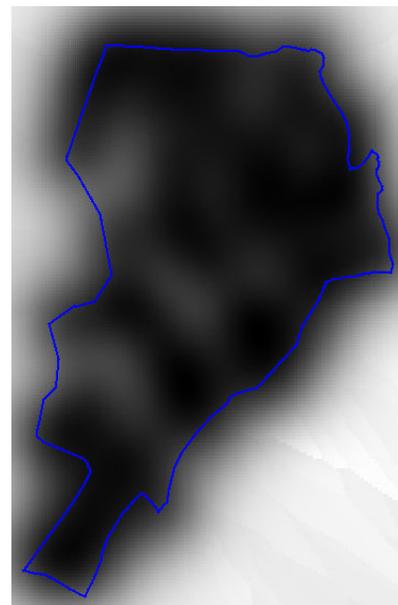


Ilustração 17: variância de Krigagem. Modelo Isotropico

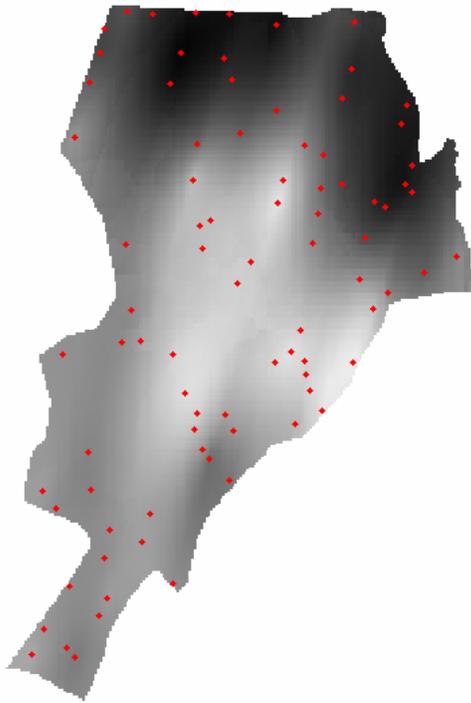


Ilustração 18: Imagem da grade de Krigagem da argila. Modelo Isotropico

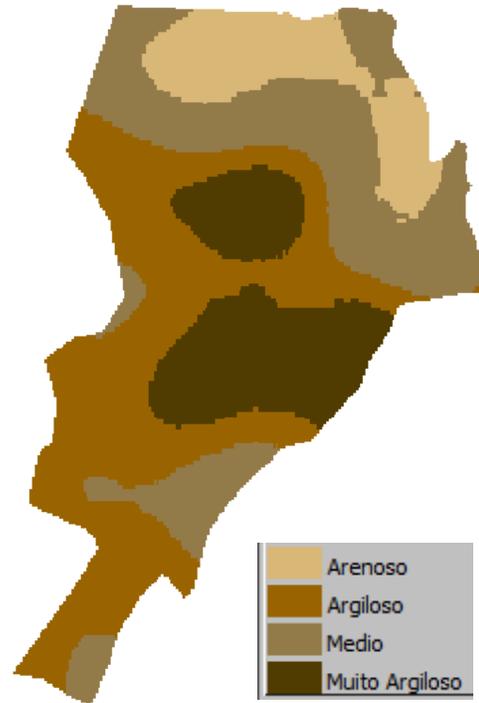


Ilustração 19: Mapa de Teor de Argila. Modelo Isotropico

3.2.6. CASO ANISOTRÓPICO: Detecção da Anisotropia

A anisotropia é uma característica muito freqüente nos elementos da natureza, isto é, a variabilidade ou distribuição espacial de tais elementos ocorre mais intensamente numa direção e menos intensamente em outra direção.

Se a anisotropia existe, deve ser detectada e modelada, a fim de representar com mais qualidade, a variabilidade espacial inerente à propriedade em estudo.

Existem várias formas de detectar a anisotropia, por exemplo, calculando-se os semivariogramas experimentais direcionais em várias direções, desenhando todos num único gráfico, e visualmente avaliando suas similaridades. Outra forma, é através do esboço gráfico de uma elipse (conhecido também como diagrama da rosa), calculada através dos alcances obtidos em direções distintas. A forma mais eficiente e direta de detectar a anisotropia é através do mapa de semivariograma, conhecido também como semivariograma de superfície, que é um gráfico, 2D, no qual obtém-se uma visão geral da variabilidade espacial da variável em estudo. Além disso, sobre o mapa de semivariograma é possível detectar rapidamente os eixos de anisotropia, isto é, as direções de maior e menor variabilidade espacial da variável em análise.

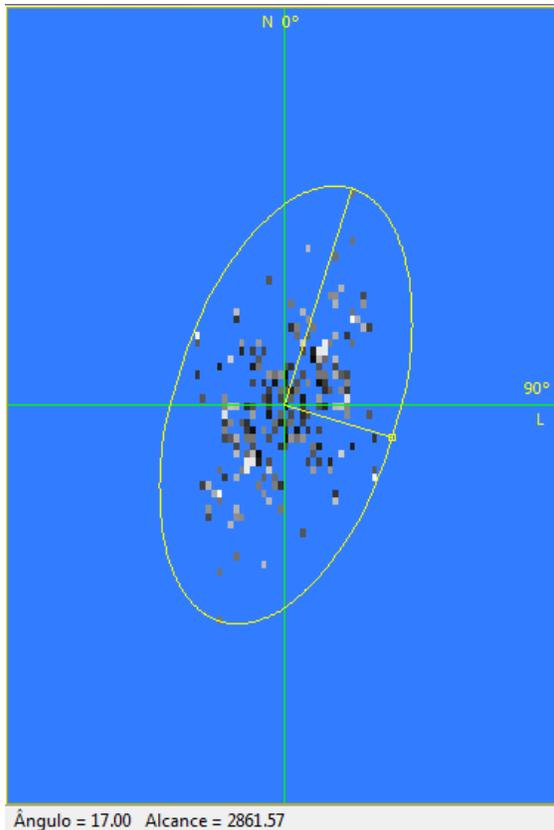
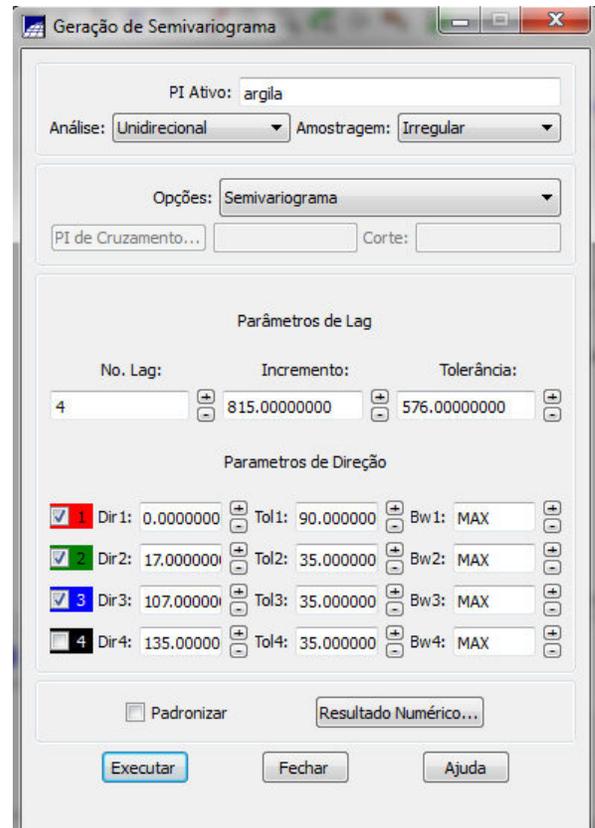


Ilustração 20: Detecção dos eixos de anisotropia



Parâmetros de Lag		
No. Lag:	Incremento:	Tolerância:
4	815.0000000	576.0000000

Parametros de Direção		
<input checked="" type="checkbox"/>	Dir1: 0.0000000	Tol1: 90.0000000 Bw1: MAX
<input checked="" type="checkbox"/>	Dir2: 17.0000000	Tol2: 35.0000000 Bw2: MAX
<input checked="" type="checkbox"/>	Dir3: 107.0000000	Tol3: 35.0000000 Bw3: MAX
<input type="checkbox"/>	Dir4: 135.0000000	Tol4: 35.0000000 Bw4: MAX

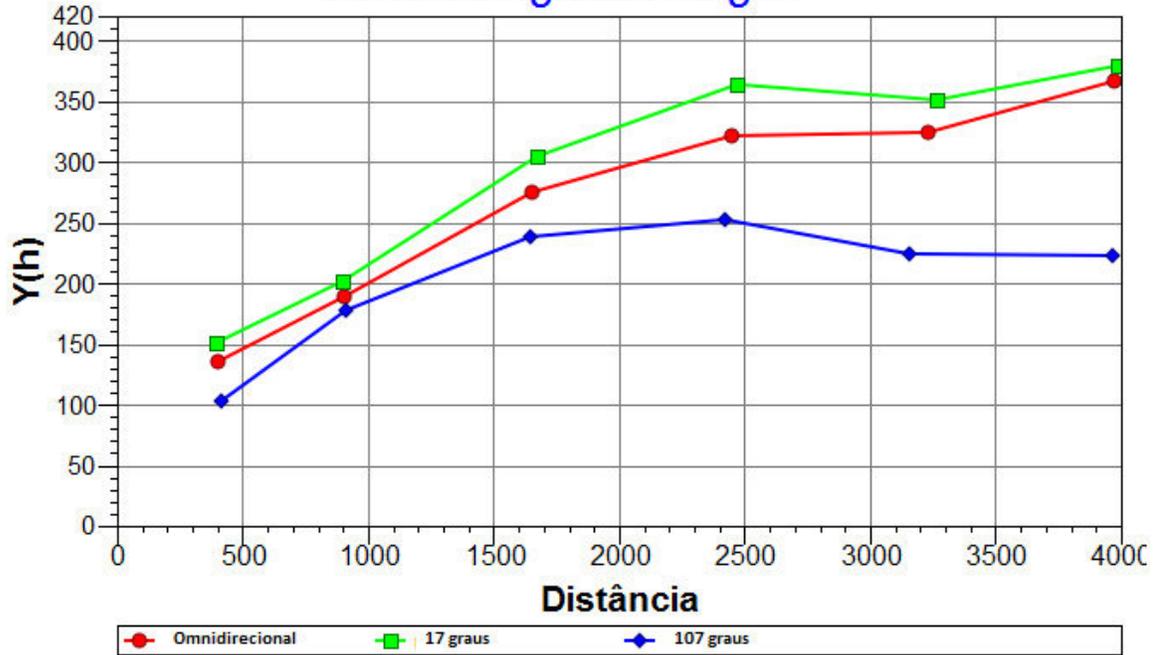
Padronizar Resultado Numérico...

Executar Fechar Ajuda

Ilustração 21: Geração dos Semivariogramas Direcionais

Foram criados três semivariogramas: um relativo à direção de maior continuidade (~17o), outro à direção de menor continuidade (~107o) e o semivariograma omnidirecional que representa uma média entre os semivariogramas de maior e menor alcance.

Semivariograma: argila



Variância argila=288.03

Ilustração 22: Semivariogramas Direcionais

3.2.7. Modelagem dos Semivariogramas Direcionais

Primeiro será modelado o semivariograma na direção de maior continuidade 17 graus.

```

Sumário:
Arquivo:
C:/Users/User/Documents/Mestrado/Geoprocessamento/Laboratorios/Lab5_SER300\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

Ilustração 23: Dados do Relatório Semivariograma 17 graus

O modelo é composto de uma única estrutura tipo Esférico com os seguintes parâmetros:

- Efeito Pepita: 91
- Contribuição: 274
- Alcance: 2962

$$\gamma_{17^\circ}(h) = 91 + 274 \left[Sph \left(\sqrt{\left(\frac{h_{17^\circ}}{2962} \right)^2 + \left(\frac{h_{107^\circ}}{\infty} \right)^2} \right) \right]$$

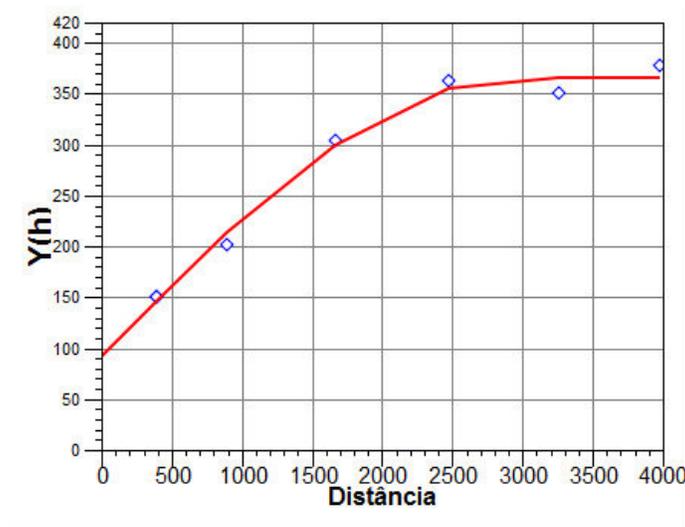


Ilustração 24: Modelo de Ajuste Esférico Semivariograma 17 graus

A continuação será modelado o semivariograma na direção de menor continuidade 107 graus

```

Sumário:
Arquivo:
C:/Users/User/Documents/Mestrado/Geoprocessamento/Laboratorios/Lab5_SER300/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.	Akaïke	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

Ilustração 25: Dados do Relatório Semivariograma 107 graus

Este modelo também é composto de uma única estrutura tipo Esférico com os seguintes parâmetros:

- Efeito Pepita: 28
- Contribuição: 203
- Alcance: 1677

$$\gamma_{107^\circ}(h) = 28 + 203 \left[Sph \left(\sqrt{\left(\frac{h_{107^\circ}}{1677} \right)^2 + \left(\frac{h_{17^\circ}}{\infty} \right)^2} \right) \right]$$

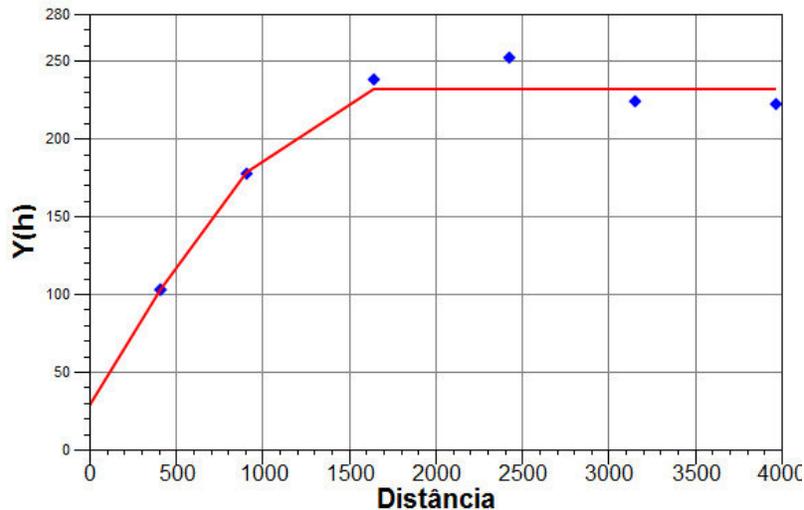


Ilustração 26: Modelo de Ajuste Esférico Semivariograma 107 graus

3.2.8. Modelagem da Anisotropia

Consiste em unir os dois modelos anteriormente definidos num único modelo consistente, o qual descreva a variabilidade espacial do fenômeno em qualquer direção.

Neste caso tem-se uma anisotropia combinada. Então a ideia básica para modelar este tipo de anisotropia é dividir em faixas convenientes o gráfico de semivariogramas, conforme ilustra a figura abaixo, de maneira que, em cada faixa reste somente a anisotropia geométrica. Uma vez estabelecido de forma conveniente as faixas, a anisotropia combinada é descomposta graficamente, de modo que, cada parcela represente somente a anisotropia geométrica (Almeida e Bettini, 1994).

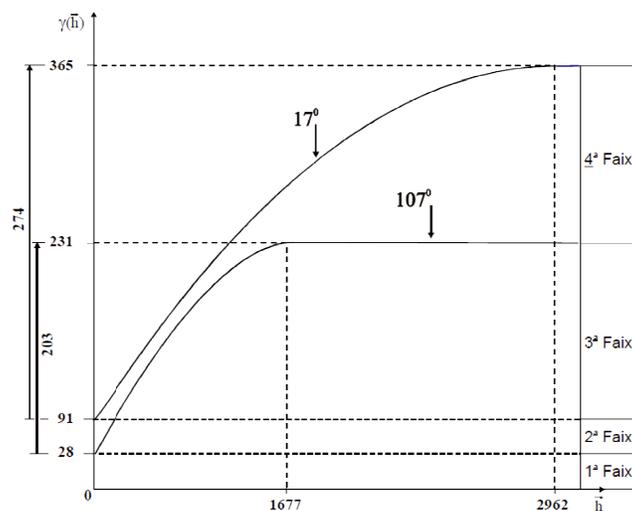


Ilustração 27: Faixas do modelo combinado de Anisotropia

A partir da decomposição gráfica é definido o seguinte modelo:

$$\gamma(h) = 28 + 63[Sph(\sqrt{(\frac{h_{17^\circ}}{\varepsilon})^2 + (\frac{h_{107^\circ}}{1677})^2})] + 140[Sph(\sqrt{(\frac{h_{17^\circ}}{2962})^2 + (\frac{h_{107^\circ}}{1677})^2})] + 71[Sph(\sqrt{(\frac{h_{17^\circ}}{2962})^2 + (\frac{h_{107^\circ}}{\infty})^2})]$$

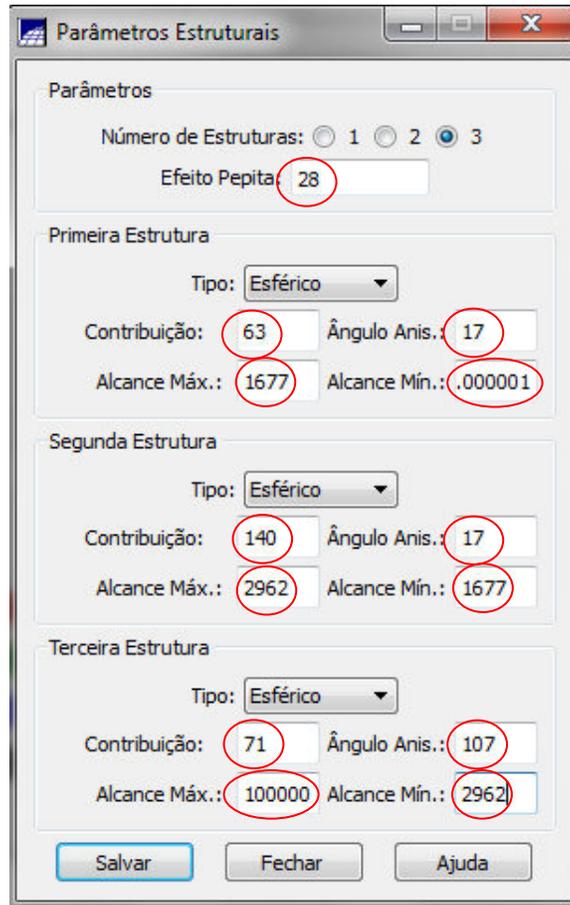


Ilustração 28: Geração do Modelo de Anisotropia

3.2.9. Validação do Modelo de Ajuste

Este processo tem como objetivo avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos. É uma etapa que precede as técnicas de krigeagem.

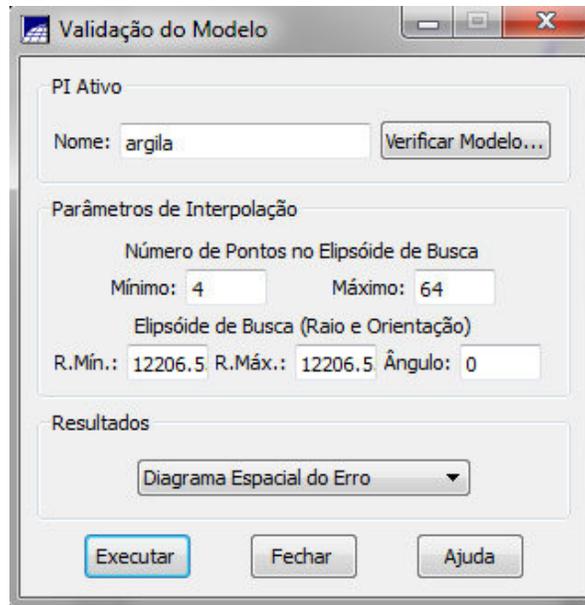


Ilustração 29: Validação do modelo

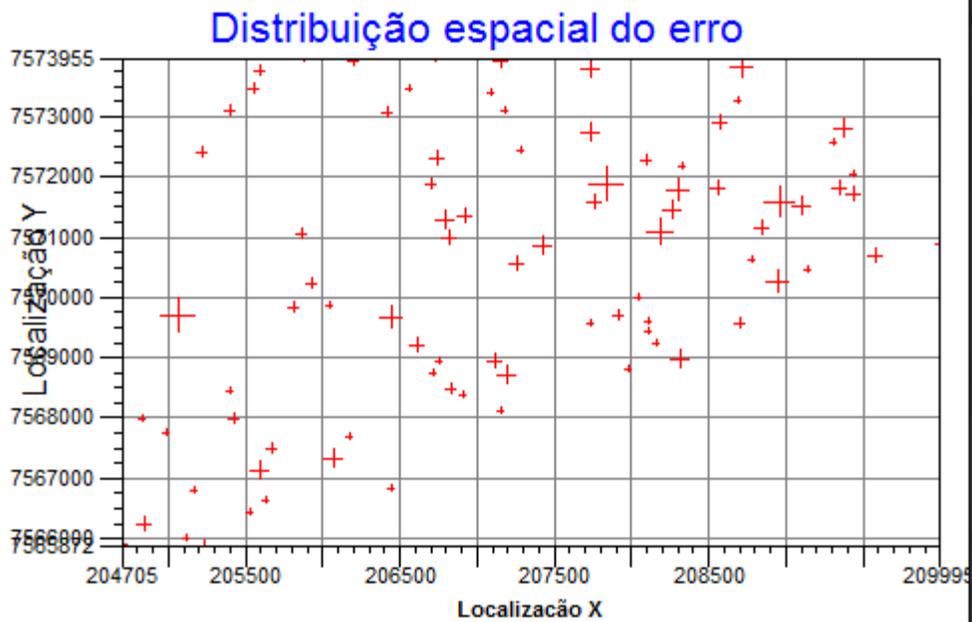


Ilustração 30: Distribuição Espacial do erro

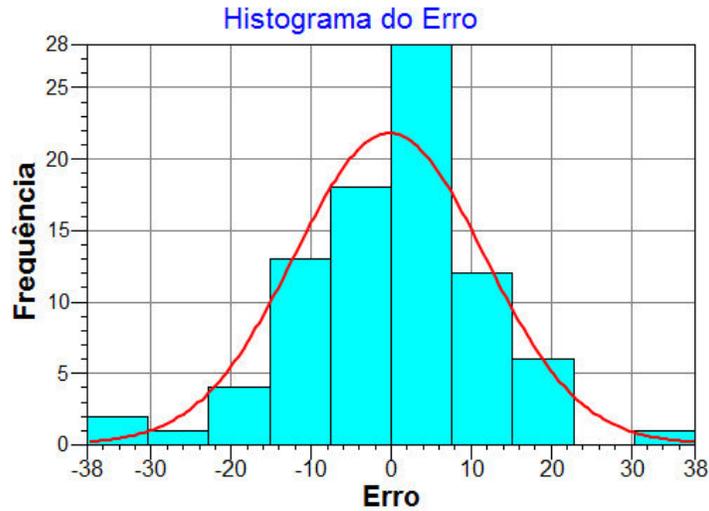


Ilustração 31: Histograma do Erro

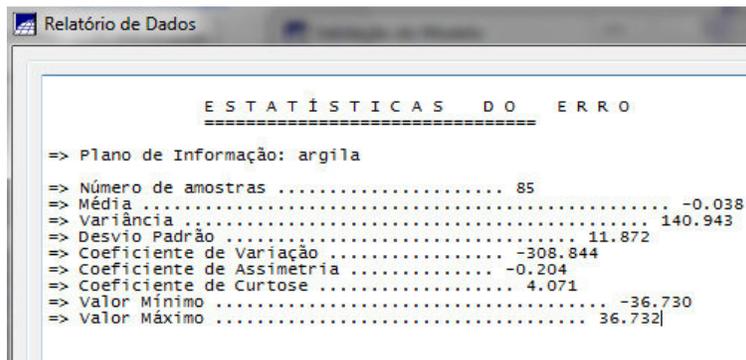
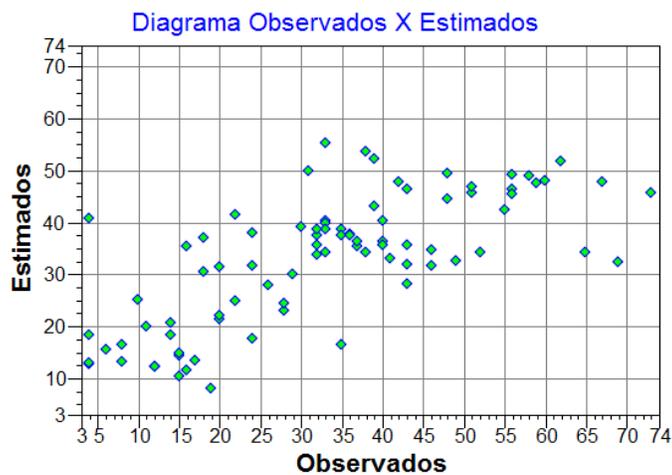


Ilustração 32: Estatísticas do Erro



Coef.de Correlação Pearson=0.714631

Ilustração 33: Diagrama de Valores Observados versus Estimados

3.2.10. Interpolação por Krigeagem Ordinaria

A etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigeagem que será realizado a continuação.

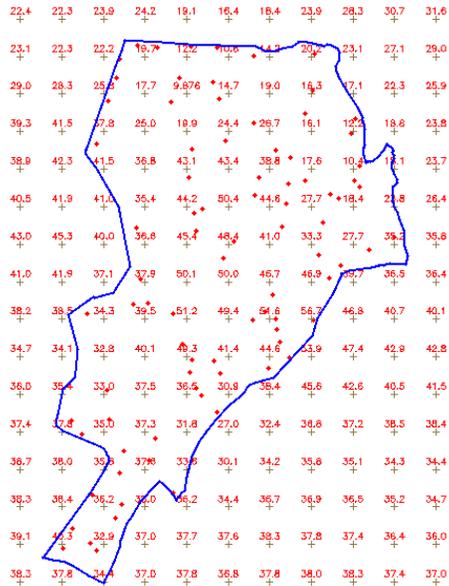


Ilustração 34: Grade de Krigeagem da argila. Modelo Anisotropico

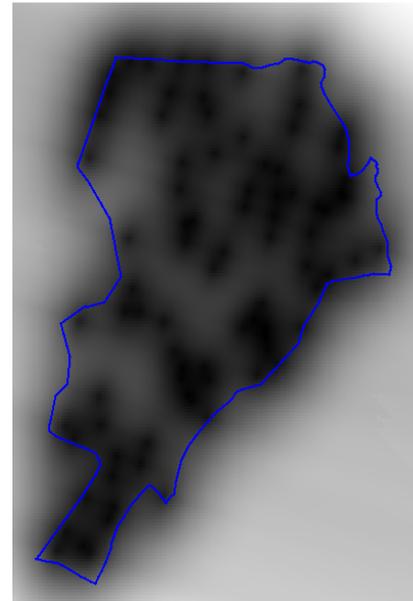


Ilustração 35: variância de Krigeagem. Modelo Anisotropico

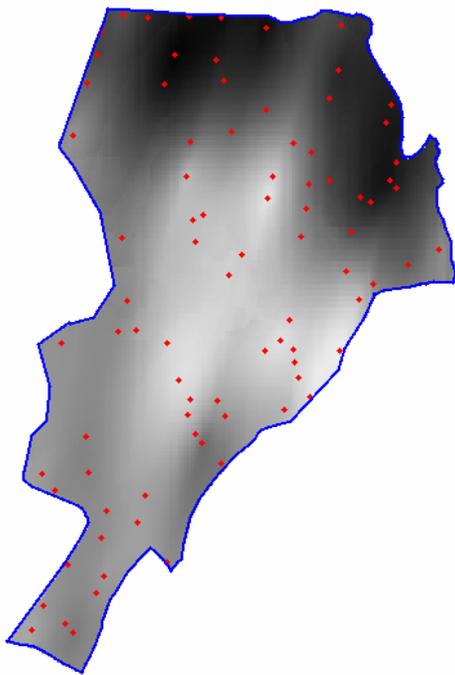


Ilustração 36: Imagem da grade de Krigeagem da argila. Modelo Anisotropico

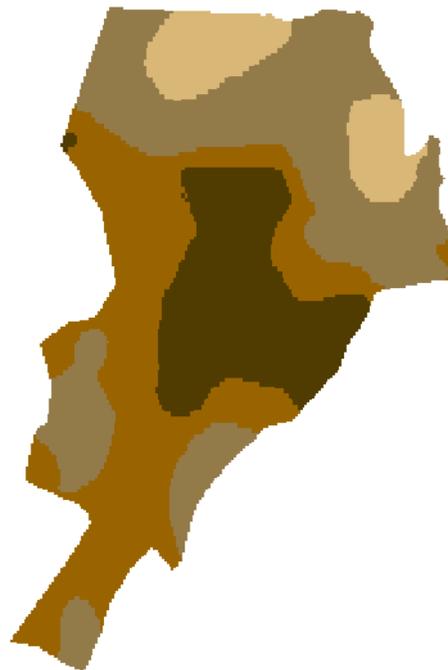


Ilustração 37: Mapa de Teor de Argila. Modelo Anisotropico

3.3. Análise dos Resultados

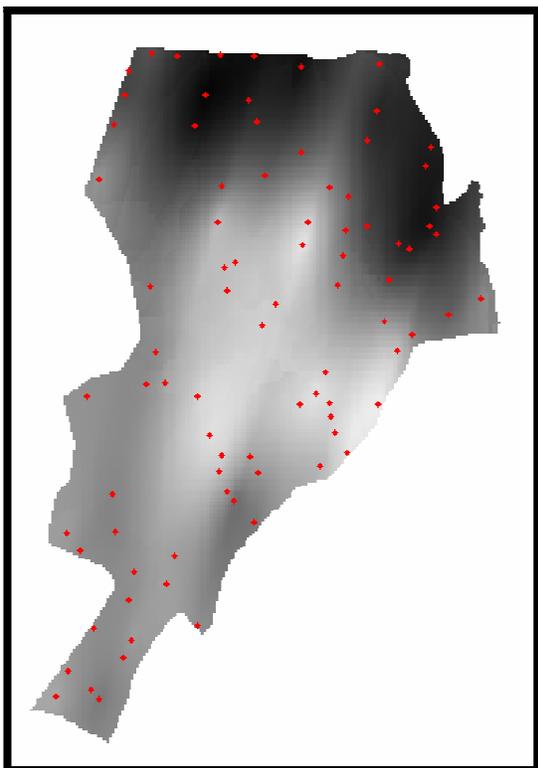


Ilustração 38: Teor de Argila. Modelo Isotrópico

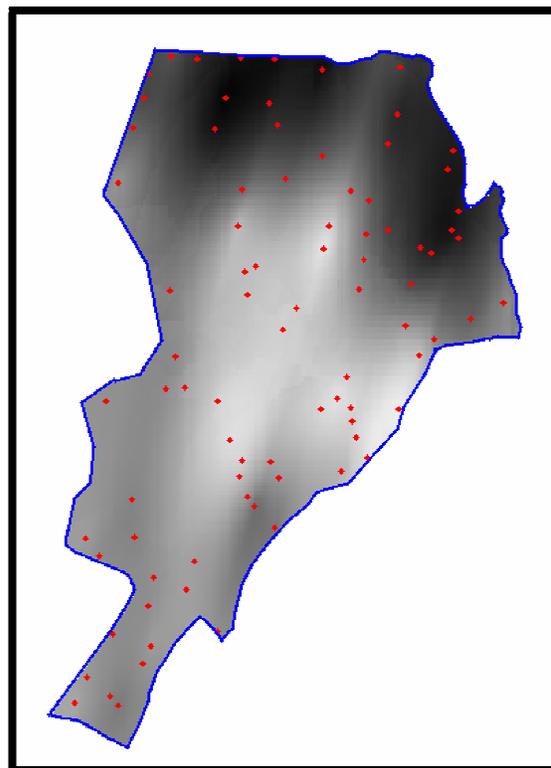


Ilustração 39: Teor de Argila. Modelo Anisotrópico

Para analisar os resultados será computado o teor médio de argila para cada classe de solo, a partir das superfícies isotrópicas e anisotrópicas.

	ID	NOME	ROTULO	AREA	:RIMETR	TEOR_ARGILA_ISO	TEOR_ARGILA_ANIS
1	26	A	A	80370....	1395.3...	31.594681	34.271050
2	19	AQd	AQd	32722...	17477....	15.042057	16.229452
3	3	AR	AR	71682....	1448.5...	45.971722	47.767769
4	2	HAQ	HAQ	56484...	10592....	23.451247	23.940160
5	18	HO	HO	36619...	5723.8...	21.534480	24.679101
6	23	LEa1	LEa1	35487...	4247.0...	33.563119	31.877181
7	20	LEa2	LEa2	12856...	7550.5...	27.041380	28.247017
8	25	LEa3	LEa3	70971...	7029.3...	22.586805	22.983432
9	8	LEd1	LEd1	95586...	8742.6...	35.844889	37.263139
10	12	LEd2	LEd2	19525	17373	43.043756	42.159200

Ilustração 40: Cálculo do teor de Argila a partir dos dois modelos

Finalmente se realizará um agrupamento por quartil para os atributos de Teor de Argila Isotrópico y para o Teor de Argila Anisotrópico para comparar os resultados.

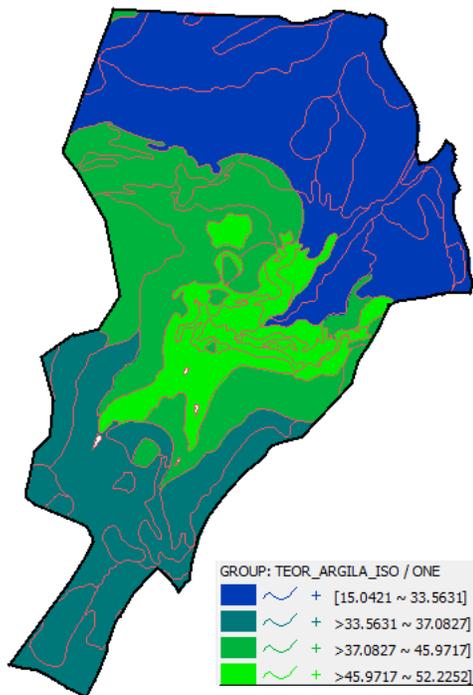


Ilustração 41: Teor de Argila: Isotrópico

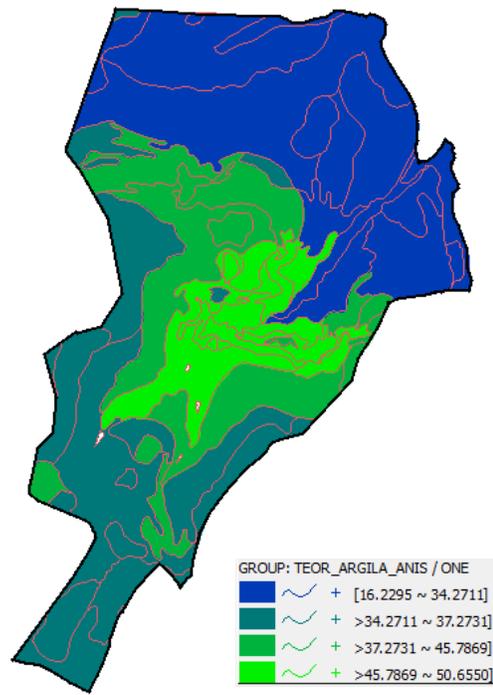


Ilustração 42: Teor de Argila: Anisotrópico

4. CONCLUSÃO

A krigagem é considerada uma boa metodologia para interpolar dados, apresentando um melhor desempenho como interpolador, devido a sua característica de dependência espacial entre as observações com variância e erros mínimos, mas sua análise semivariográfica e função adequada são passos importantes para uma interpolação de bom desempenho.

Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

Para este exercício pode-se observar que o método Anisotrópico apresenta melhores resultados visualmente e estatisticamente apresentando uma variância e um coeficiente de variação menores que o método Isotrópico. Isto se deve a que leva em consideração a direção de continuidade do fenômeno amostrado, o que representa melhor a realidade.