



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Introdução ao Geoprocessamento (SER-300)

Laboratório 5 – MÓDULO: GEOESTATÍSTICA LINEAR

Jefferson Fernandes Teixeira Júnior

INPE
São José dos Campos 2015

Laboratório 5

Este laboratório tem como objetivo explorar através de procedimentos geoestatísticos a variabilidade espacial de propriedades naturais amostrados e distribuídos espacialmente. Resumidamente, os passos num estudo empregando técnicas geoestatísticas inclui: (a) análise exploratória dos dados, (b) análise estrutural (cálculo e modelagem do semivariograma) e (c) realização de inferências (Krigagem ou Simulação).

INTRODUÇÃO

Os dados utilizados, de propriedade do Centro Nacional de Pesquisas de Solos (CNPS - RJ), foram obtidos no levantamento dos solos da Fazenda Canchim, em São Carlos - SP. Estes se referem a uma amostragem de 85 observações georreferenciadas coletadas no horizonte Bw (camada do solo com profundidade média de 1m). Dentre as variáveis disponíveis, selecionou-se para estudo o teor de argila.

Exercício 1. Carregar os dados no SPRING



Figura 1: Bando de dados

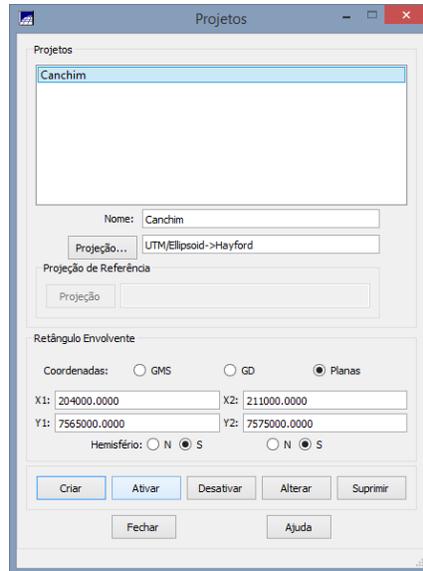


Figura 2: Projeto

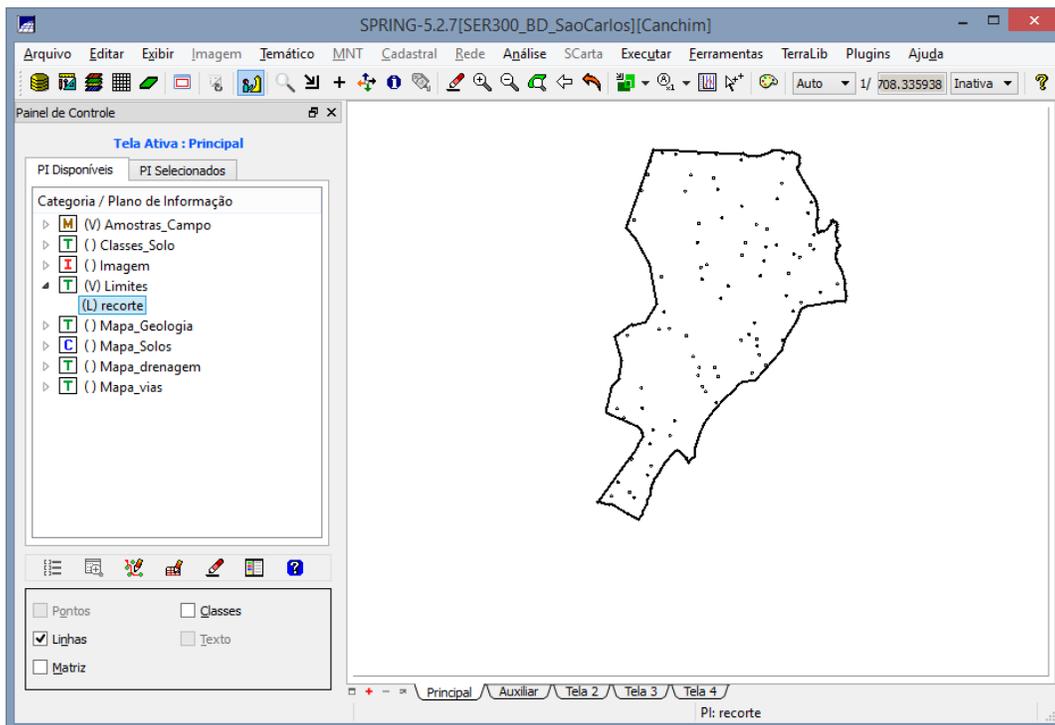


Figura 3: Planos de Informação do projeto

Exercício 2. Executando estatísticas descritivas

Passo 1 - Análise Geostatística

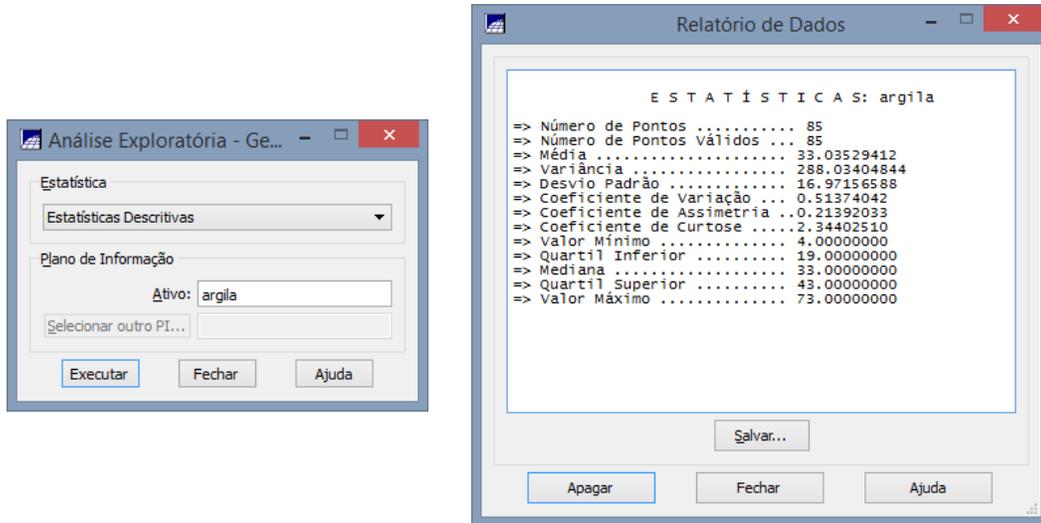


Figura 4: Análise Exploratória

Passo 2 - Histograma

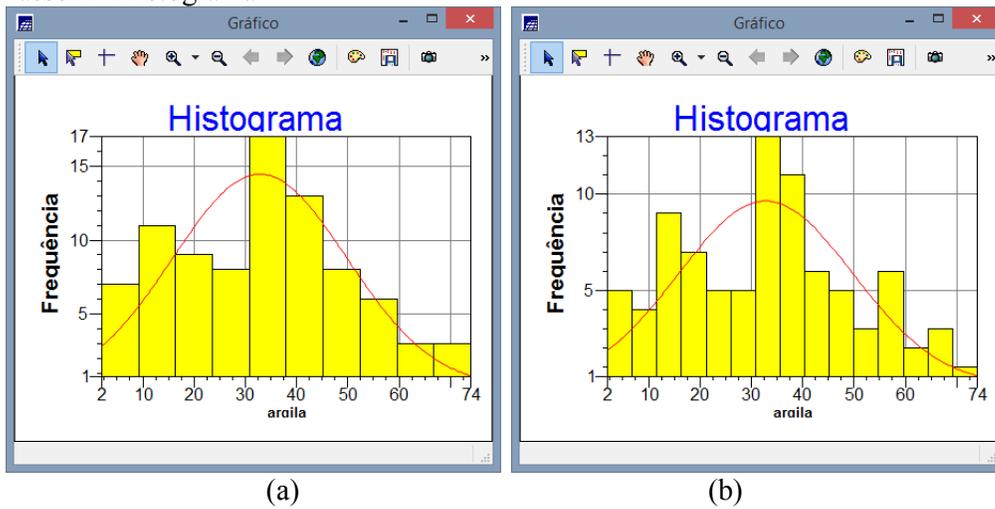


Figura 5: Histogramas para a) 10 e b) 15 classes

Passo 3 - Executando o gráfico da probabilidade normal

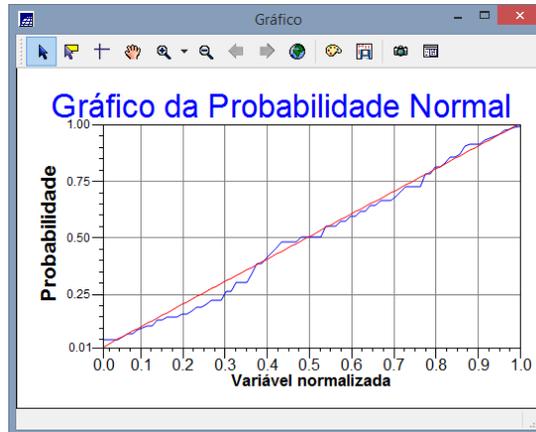


Figura 6: Gráfico de Probabilidade. Em azul: argila; em vermelho: distribuição normal

Exercício 3. Caso isotrópico: Análise da variabilidade espacial por semivariograma

A isotropia em fenômenos naturais é um caso pouco freqüente de ser observada. Neste caso, um único modelo é suficiente para descrever a variabilidade espacial do fenômeno em estudo. 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.

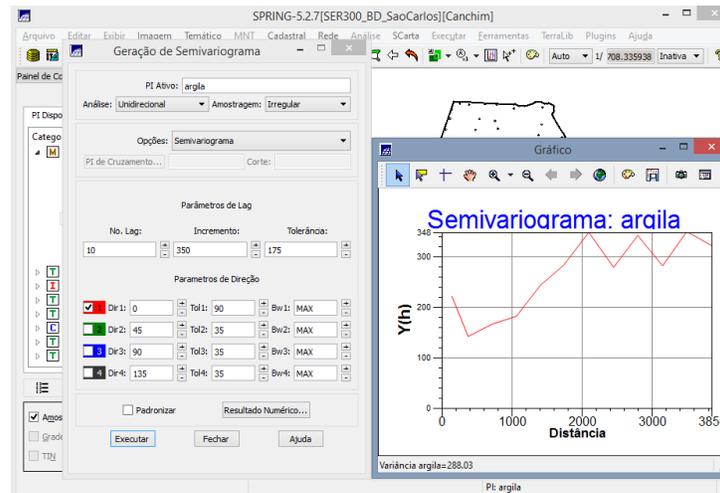


Figura 7: Semivariograma a partir das configurações padrão

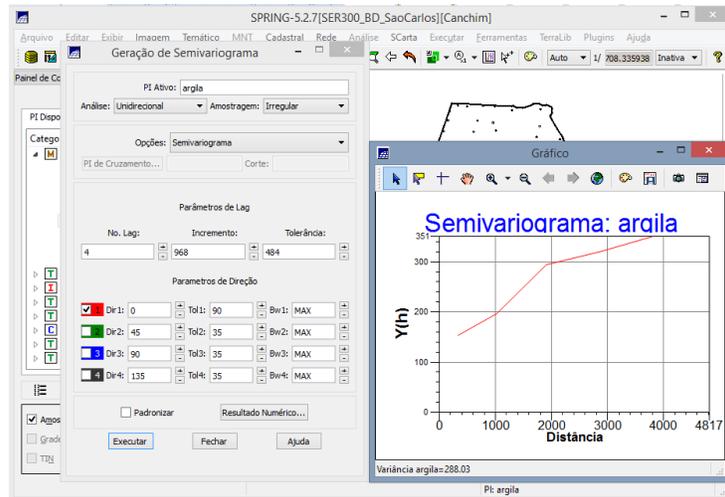


Figura 8: Semivariograma a partir de ajuste para valores ideais

Exercício 4. Modelagem do semivariograma experimental

Passo 1 - Obter parâmetros do modelo esférico

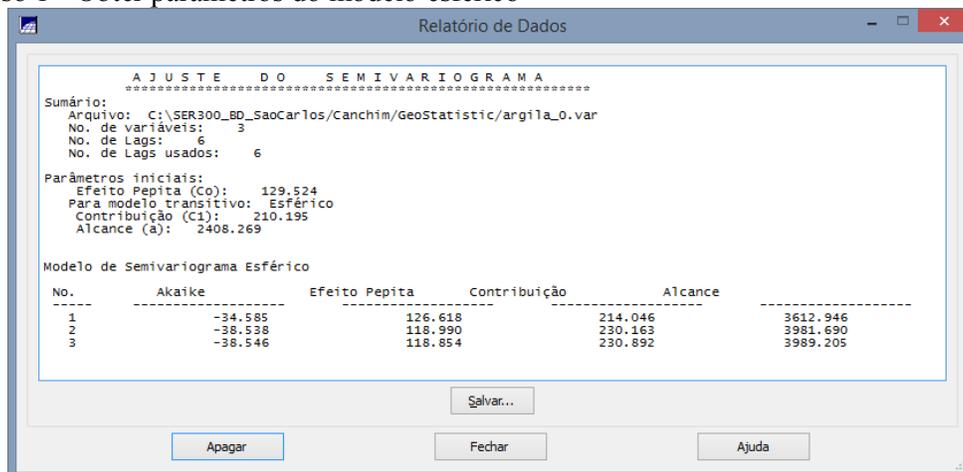


Figura 9: Relatório de Dados

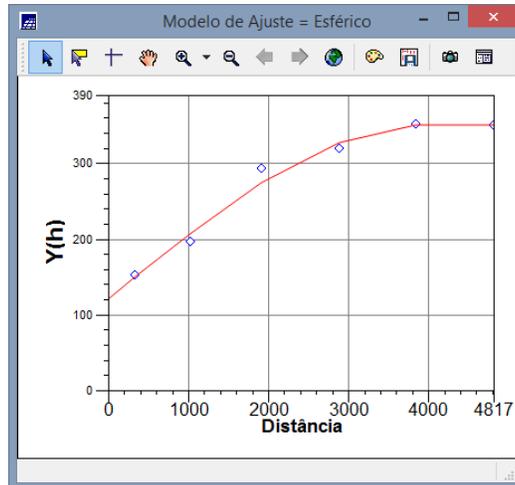


Figura 10: Semivariograma ajustado sob modelo esférico

Passo 2 - Definição dos parâmetros do modelo isotrópico

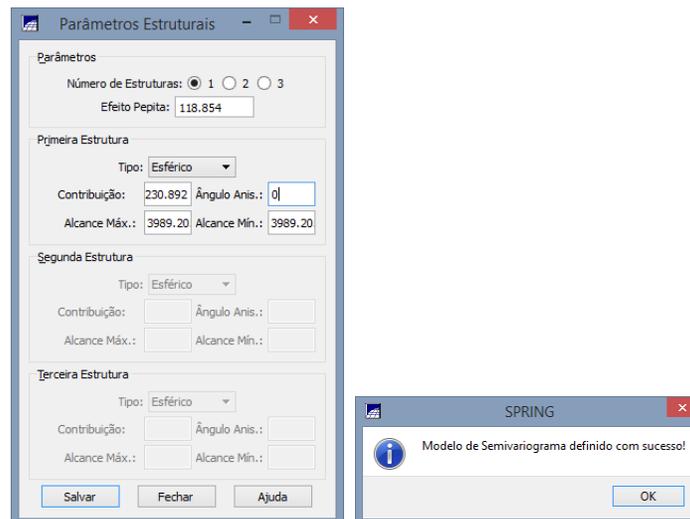


Figura 11: Semivariograma criado a partir do modelo Gaussiano

Exercício 5. Validação do modelo de ajuste

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.

Passo 1 - Validação

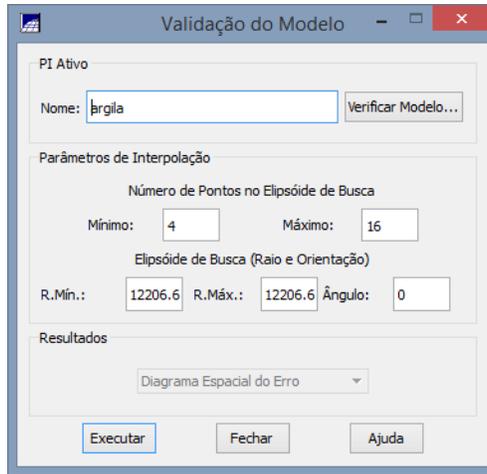


Figura 12: Validação do erro

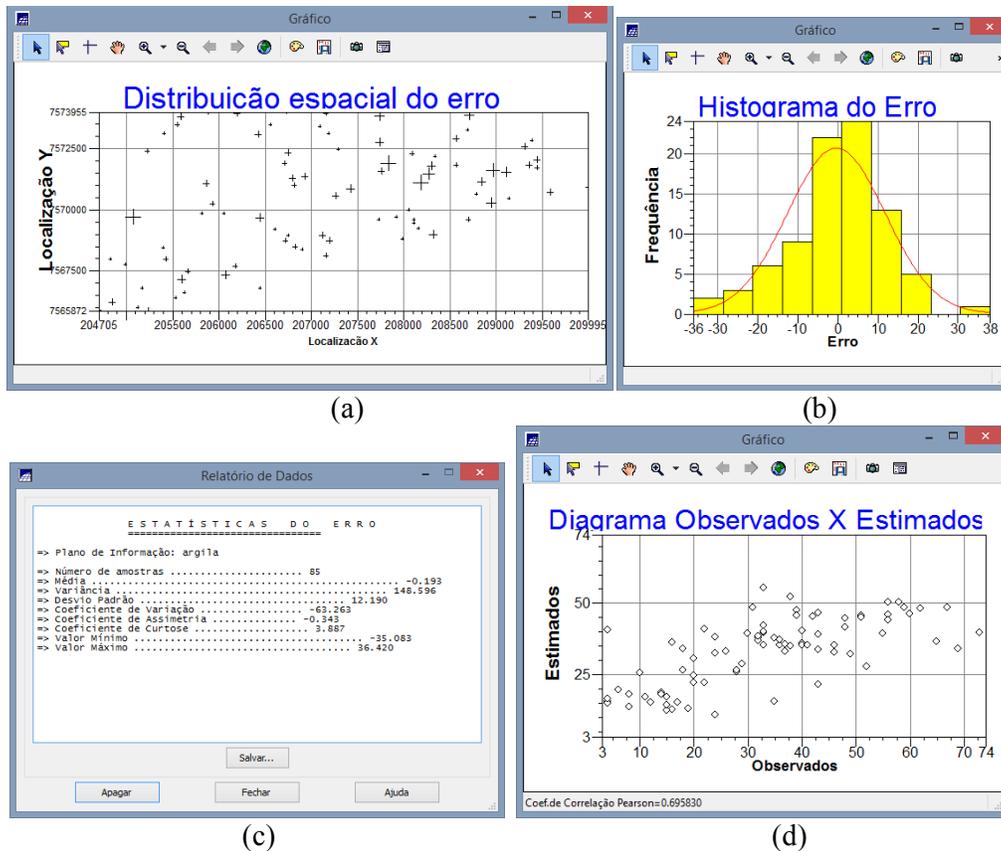


Figura 13: a) Distribuição espacial do erro; b) Histograma do erro; c) Estatística do erro e d) Diagrama observado x estimado

Exercício 6. Interpolação por krigagem ordinária

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

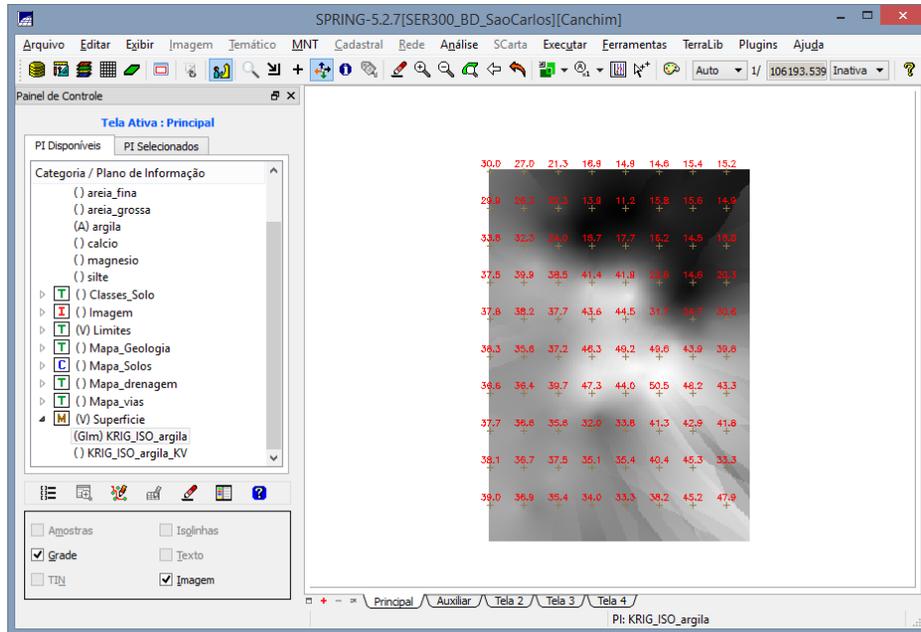


Figura 14: Plano de Informação gerado pelo método de Krigeagem

Exercício 7. Visualização da Superfície de Argila

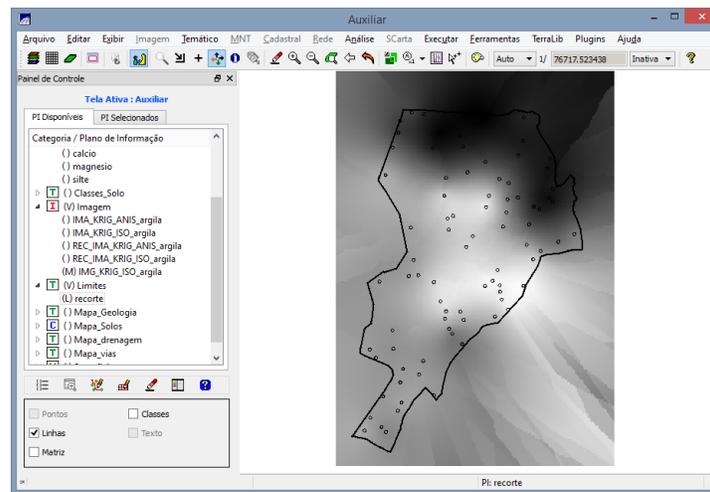


Figura 15: Visualização da superfície

Passo 2 - Executando recorte da imagem gerada utilizando LEGAL:

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Recorte_imagem_iso.alg

1 // Recorte de imagem
2 {
3 //Declarações
4   Imagem ima, ima1("Imagem");
5 // "Imagem" refere-se ao nome da categoria (tipo:Imagem), a qual possui a imagem a ser
6
7 Tematico limite ("Limites");
8 // "Limites" refere-se ao nome da categoria (tipo:Temática), a qual possui o PI de recorte
9
10 ima = Recuperar (Nome = "IMG_KRIG_ISO_argila");
11 // "IMA_KRIG_ISO_argila" refere-se ao nome do PI ou da imagem a ser recortada.
12
13 ima1 = Novo (Nome = "REC_IMA_KRIG_ISO_argila", ResX=30, ResY=30);
14 // "REC_IMA_KRIG_ISO_argila" refere-se ao nome do PI a ser gerado (é o resultado do recorte)
15
16 limite = Recuperar (Nome = "recorte");
17 // "recorte" refere-se ao nome do PI de recorte (neste exemplo pertence à categoria Limite)
18 // possui uma representação do tipo Matriz. Nota: após classificá-lo fazer conversão V
19
20
21

```

Figura 16: Código de recorte em LEGAL

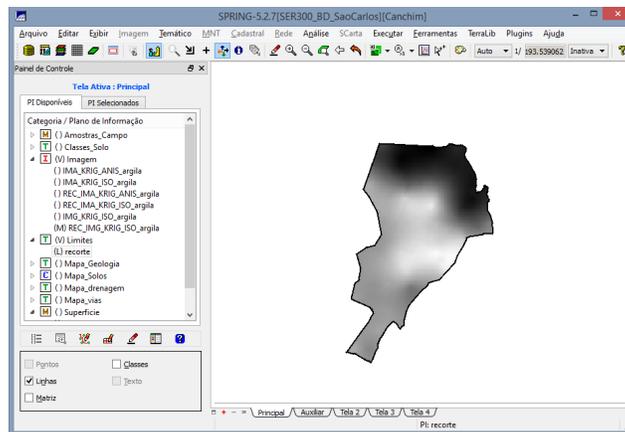


Figura 17: Resultado do recorte

Passo 3 - Executando fatiamento e recorte da grade de teor de argila

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Fat_Recorte_iso.alg

1 // Fatiamento da Grade de Krigeagem da Argila
2 // oriunda do modelo Isotropico.
3
4 // Recorte da Imagem temática oriunda
5 // do fatiamento acima.
6
7 {
8 //DECLARAÇÕES
9   Numerico krig ("Superficie");
10  Tematico tem ("Fatiamento_Argila");
11  Tematico tem1 ("Fatiamento_Argila");
12  Tematico limite ("Limites");
13  Tabela tab ("Fatiamento");
14
15 //INSTANCIACÕES
16 //Recupere a variável do tipo Numerico (grade de krigeagem).
17 krig = Recuperar (Nome = "KRIG_ISO_argila");
18
19 limite = Recuperar (Nome = "recorte");
20
21

```

Figura 18: Código de Fatiamento em LEGAL

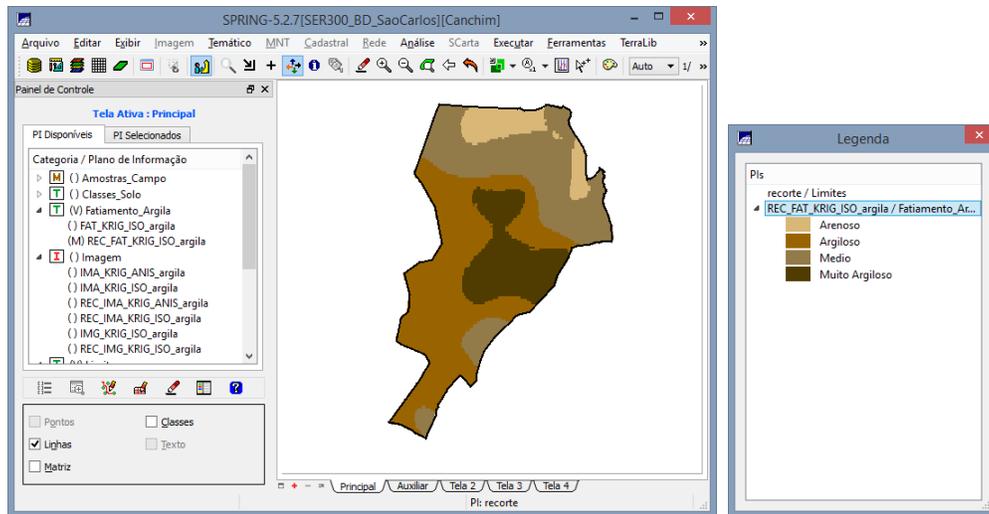


Figura 19: Resultado do Fatiamento

Exercício 8. Caso Anisotrópico: detecção da anisotropia

A anisotropia em propriedades naturais é um caso muito freqüente de ser observado. Neste caso, a anisotropia, pode ser facilmente constatada através da observação da superfície de semivariograma, conforme descrito a seguir.

A superfície de semivariograma é um gráfico, 2D, que fornece uma visão geral da variabilidade espacial do fenômeno em estudo. É utilizado para detectar os eixos de Anisotropia, isto é, as direções de maior e menor continuidade espacial da propriedade em análise. Também conhecido como Mapa de Semivariograma.

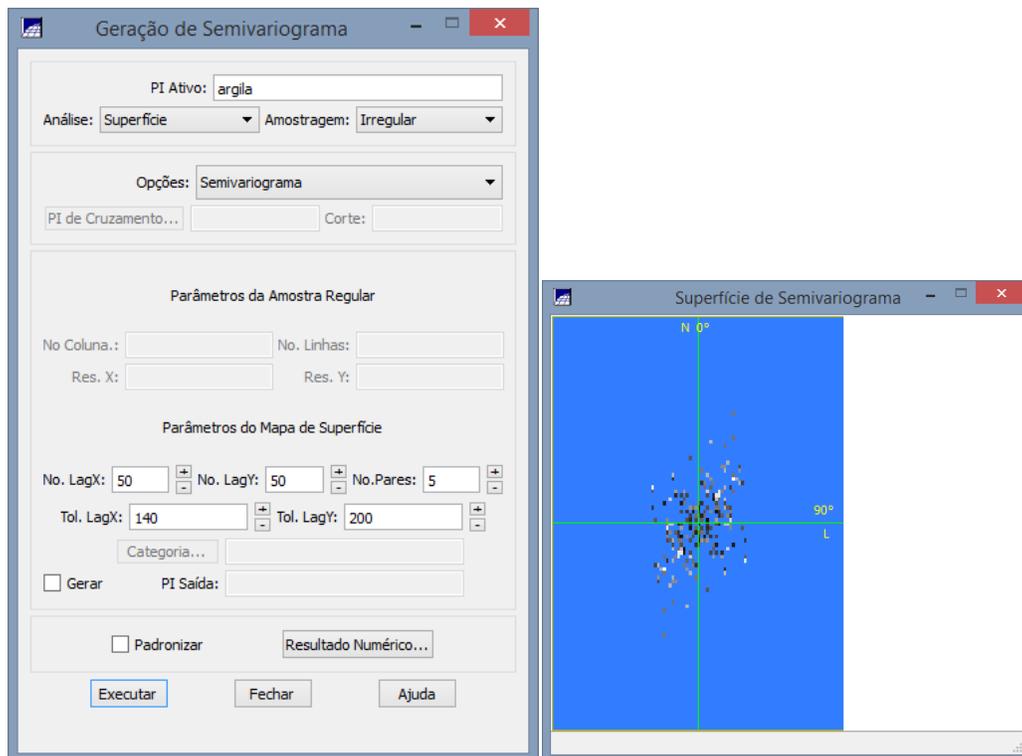


Figura 20: Geração da superfície de semivariograma

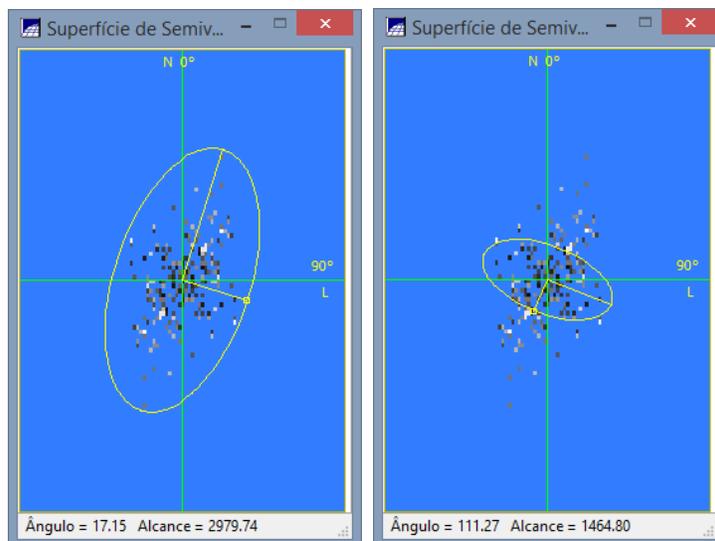


Figura 21: Detecção dos eixos de anistropia

Exercício 9. Geração dos semivariogramas direcionais

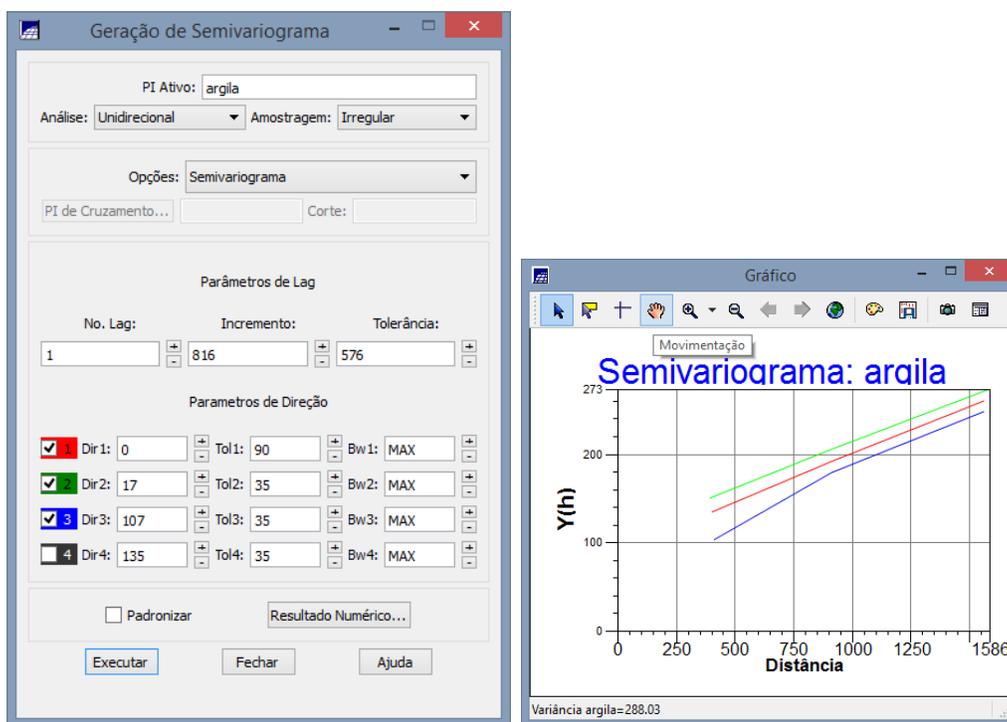


Figura 22: Semivariogramas direcionais

Exercício 10 – Modelagem dos semivariogramas direcionais

Passo 1 - Direção de maior continuidade 17 graus.

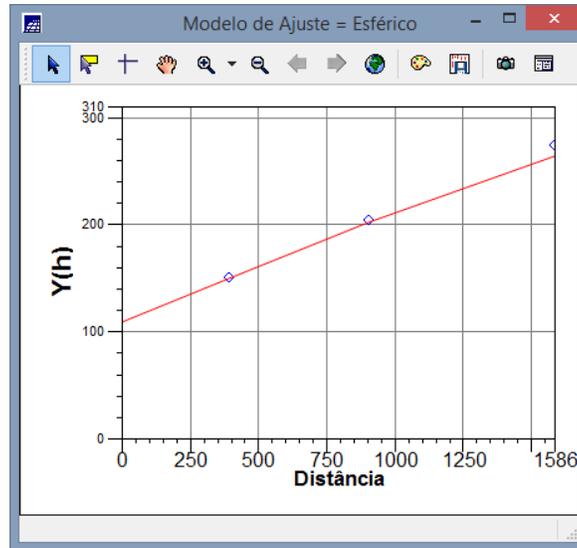


Figura 23: Ajuste esférico para 17 graus

Passo 2 - Modelagem do semivariograma na direção de menor continuidade: 107 graus

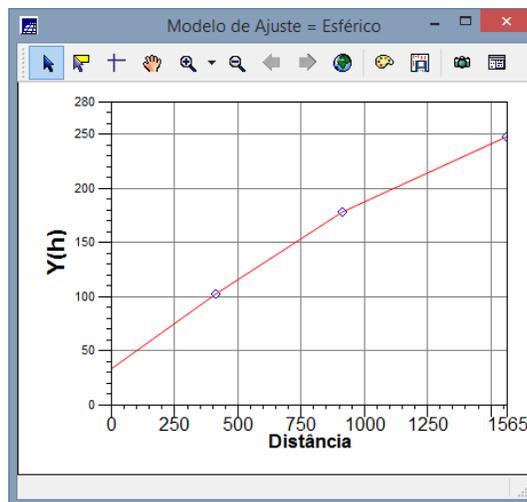


Figura 24: Ajuste esférico para 107 graus

Exercício 11. Modelagem da anisotropia

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

Não existe uma forma direta e automática de lidar com a modelagem da anisotropia. Este é um passo importante, e que exige conhecimento e prática com semivariogramas.

Neste caso tem-se uma anisotropia combinada. Então, a idéia básica para modelar este tipo de anisotropia é dividir em faixas convenientes o gráfico de semivariogramas, de maneira que, em cada faixa reste somente a anisotropia geométrica (Almeida e Bettini, 1994).

Passo 1 - Ajuste dos parâmetros estruturais

Parâmetros Estruturais

Parâmetros

Número de Estruturas: 1 2 3

Efeito Pepita: 28

Primeira Estrutura

Tipo: Esférico

Contribuição: 63 Ângulo Anis.: 17

Alcance Máx.: 1677 Alcance Mín.: .000001

Segunda Estrutura

Tipo: Esférico

Contribuição: 140 Ângulo Anis.: 17

Alcance Máx.: 2962 Alcance Mín.: 1677

Terceira Estrutura

Tipo: Esférico

Contribuição: 71 Ângulo Anis.: 17

Alcance Máx.: 100000 Alcance Mín.: 2962

Salvar Fechar Ajuda

Figura 25: Definição dos parâmetros

Exercício 12. Validação do modelo de ajuste

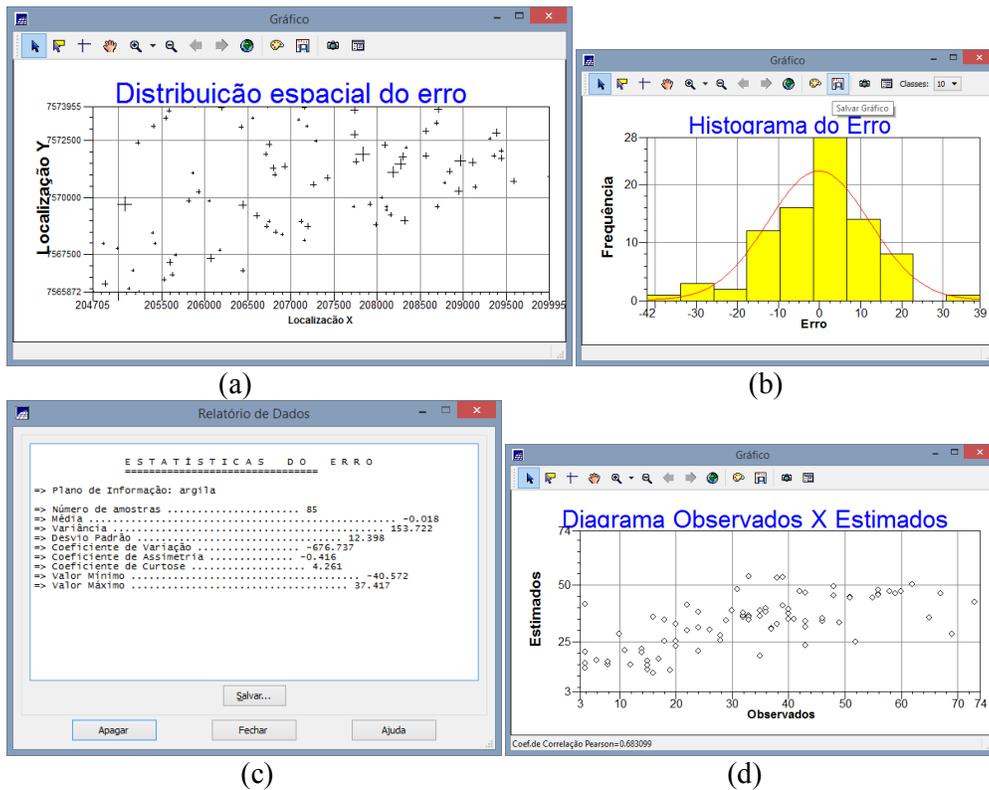


Figura 26: Resultados: a) Distribuição espacial do erro; b) Histograma do erro; c) Relatório de Dados; e d) Diagrama de observado x estimado

Exercício 13. Interpolação por krigeagem ordinária

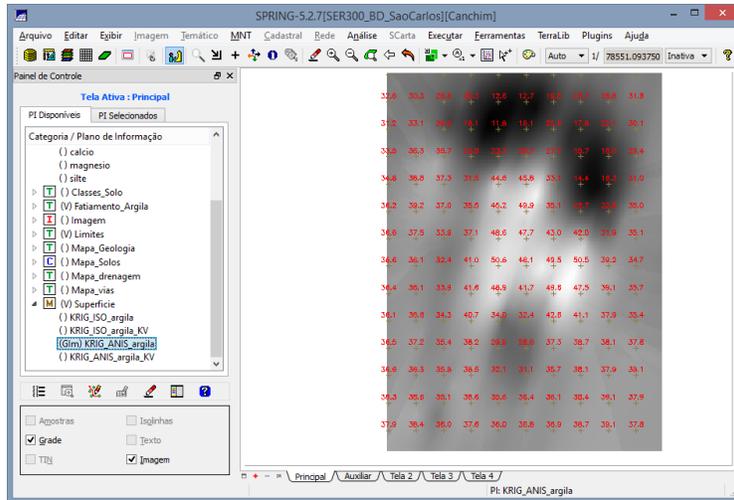


Figura 27: Plano de informação com grade resultante da Krigeagem

Exercício 14. Visualização da superfície de argila oriunda do modelo anisotrópico

Passo 1 - Aplicação do método de Krigeagem

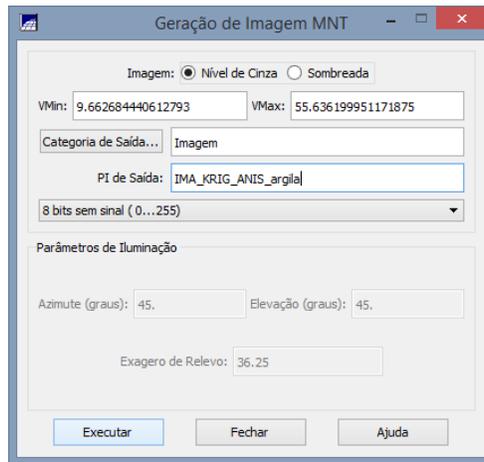


Figura 28: Geração de Imagem MNT

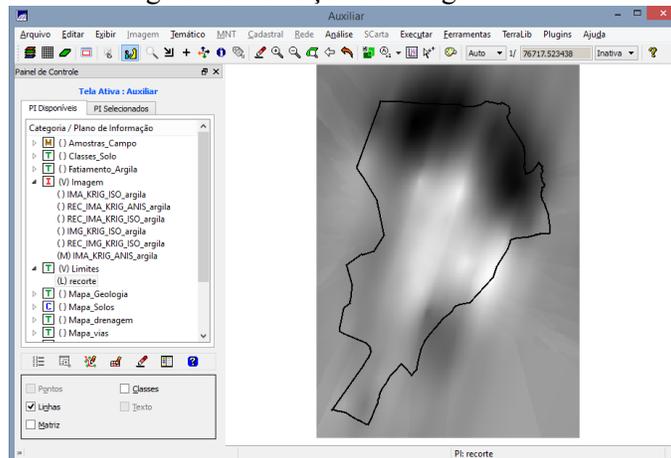
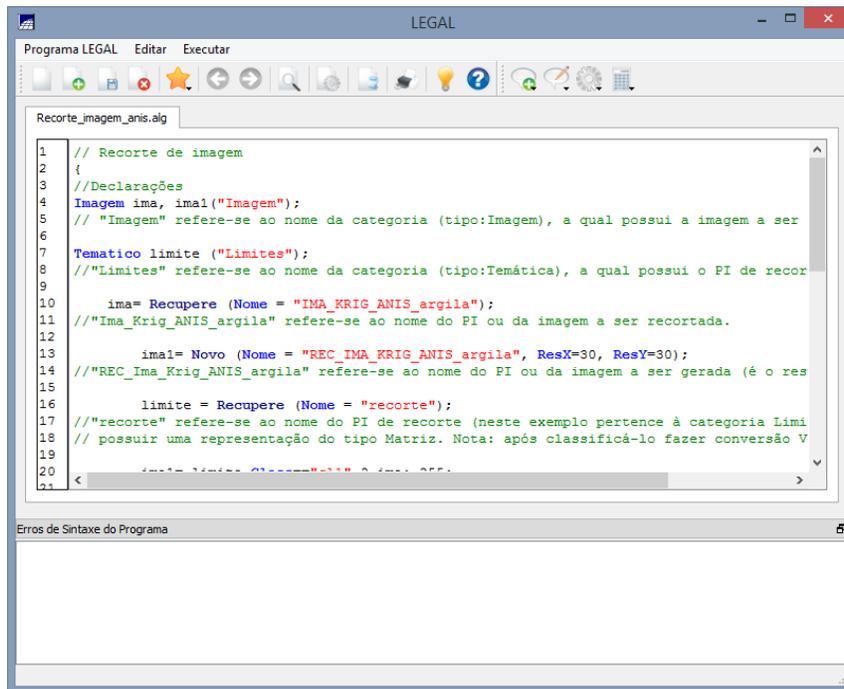


Figura 29: Plano de informação com imagem MTN resultante da Krigeagem

Passo 2 - Recorte utilizando LEGAL



```
1 // Recorte de imagem
2 {
3 //Declarações
4 Imagem ima, ima1("Imagem");
5 // "Imagem" refere-se ao nome da categoria (tipo:Imagem), a qual possui a imagem a ser
6
7 Tematico limite ("Limites");
8 // "Limites" refere-se ao nome da categoria (tipo:Temática), a qual possui o PI de recorte
9
10 ima= Recupere (Nome = "IMA_KRIG_ANIS_argila");
11 // "Ima_Krig_ANIS_argila" refere-se ao nome do PI ou da imagem a ser recortada.
12
13 ima1= Novo (Nome = "REC_IMA_KRIG_ANIS_argila", ResX=30, ResY=30);
14 // "REC_Ima_Krig_ANIS_argila" refere-se ao nome do PI ou da imagem a ser gerada (é o res
15
16 limite = Recupere (Nome = "recorte");
17 // "recorte" refere-se ao nome do PI de recorte (neste exemplo pertence à categoria Limi
18 // possuir uma representação do tipo Matriz. Nota: após classificá-lo fazer conversão V
19
20 limite = Novo (Nome = "limite", Tipo = "Matriz", O.Dados = 0FF);
21
```

Figura 30 - Código em LEGAL para aplicação de recorte

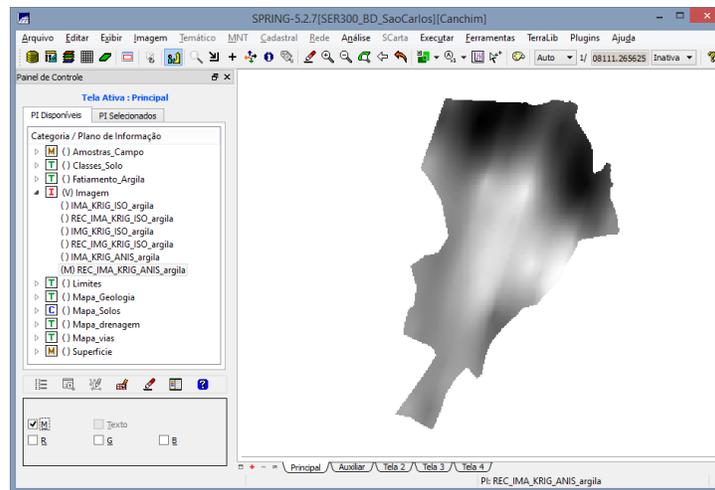


Figura 31: resultado do recorte para modelo anisotrópico

Passo 3 - Executando o fatiamento e o recorte na grade de Krigeagem oriunda do modelo anisotrópico

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Fat_Recorte_argis.alg

1 // Fatiamento da Grade de Krigeagem da Argila
2 // oriunda do modelo Anisotropico.
3
4 // Recorte da Imagem temática oriunda
5 // do fatiamento acima.
6
7 {
8 //DECLARAÇÕES
9 Numerico krig ("Superficie");
10 Tematico tem ("Fatiamento_Argila");
11 Tematico temi ("Fatiamento_Argila");
12 Tematico limite ("Limites");
13 Tabela tab (Fatiamento);
14
15 //INSTANCIAMENTOS
16 //Recupere a variável do tipo Numerico (grade de krigeagem).
17 krig = Recupere (Nome = "KRIG_ANIS_argila");
18
19 limite = Recupere (Nome = "recorte");
20
21 //Crie a tabela de fatiamento

```

Figura 32: Código em LEGAL para aplicação de fatiamento

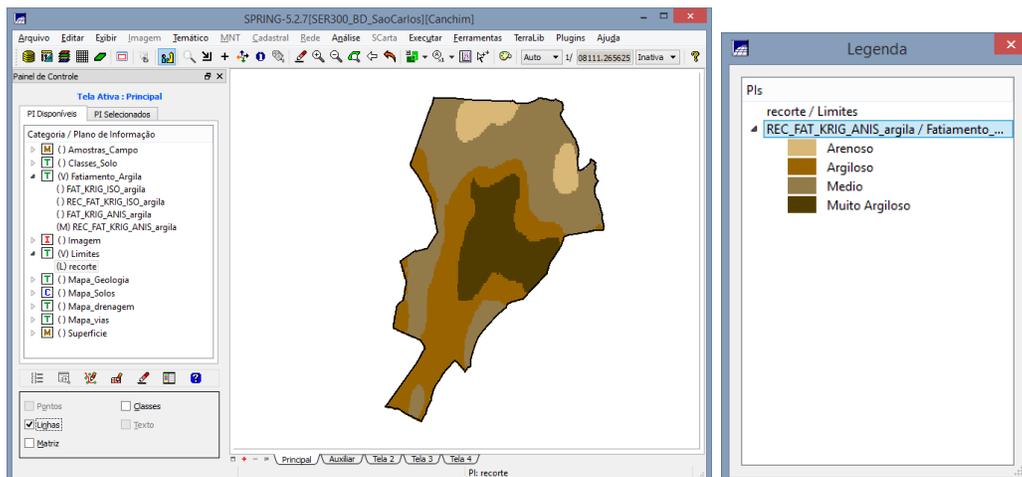


Figura 33: Fatiamento e recorte na grade de Krigeagem para o modelo anisotrópico

Exercício 15. Análise dos Resultados

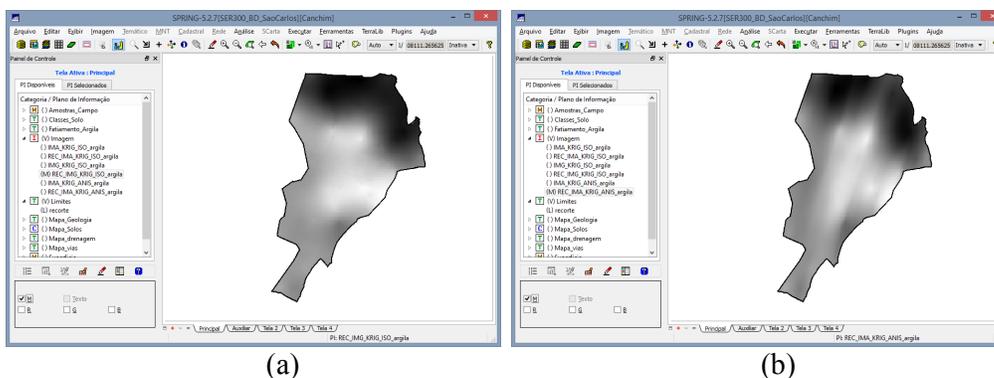


Figura 34: Comparação entre os resultados oriundos dos modelos a) isotrópico e b) anisotrópico

Passo 1 - Mapa Geológico

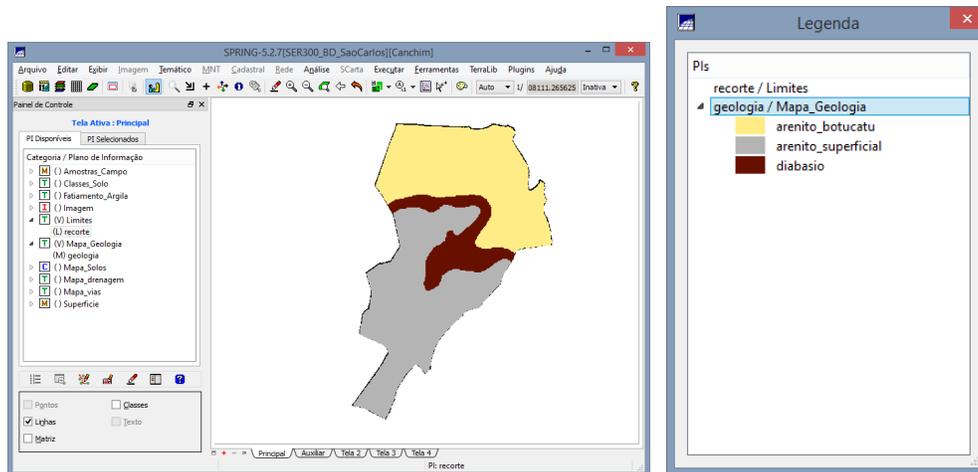


Figura 35: Mapa geológico

Passo 2 - Computando o teor médio de argila para cada classe de solo, a partir das superfícies isotrópicas e anisotrópicas, e atualizar a tabela de atributos

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

atualiza_Targila.alg

1 // Atualização de Atributos
2 {
3 //DECLARAÇÕES
4 Cadastral map ("Mapa_Solos");
5 Objeto  obj ("Tipo_Solos");
6 Numerico  grd1, grd2 ("Superficie");
7
8 //INSTANCIÇÕES
9 //Recupere a variável do tipo Cadastral.
10 map = Recupere (Nome = "Mapa_Solos");
11
12 //Recupere as grades de krigeeagem
13 grd1= Recupere (Nome = "KRIG_ISO_argila");
14 grd2= Recupere (Nome = "KRIG_ANIS_argila");
15
16 //OPERAÇÃO
17 //Execute a operação de atualização
18 //ATENÇÃO: Criar o novo atributo antes!
19
20 obj."TEOR_ARGILA_ISO" = Atualize (grd1, obj OnMap map, MedE);
21 obj."TEOR_ARGILA_ANIS" = Atualize (grd2, obj OnMap map, MedE);

```

Figura 36: Código em LEGAL para cômputo do teor médio de argila

Passo 3 - Realizar um Agrupamento por Quartil para os atributos

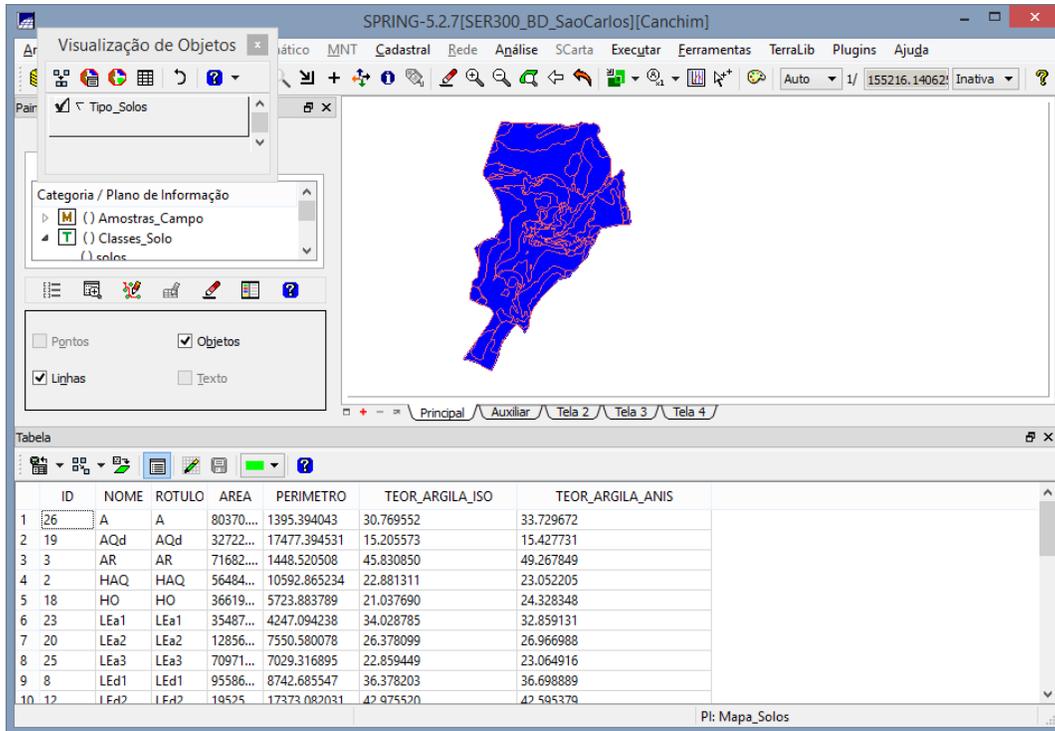


Figura 37 - Tabela de atributos com valores de teor de argila

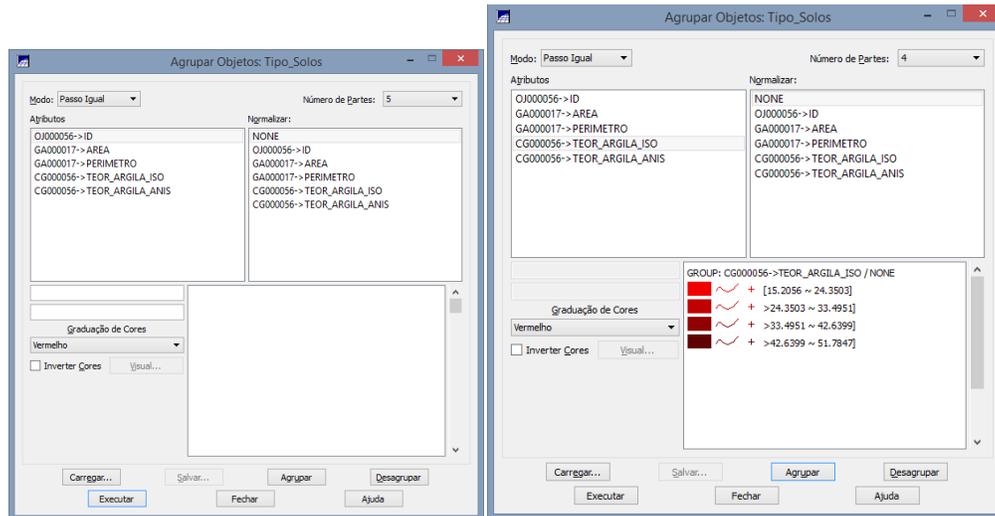
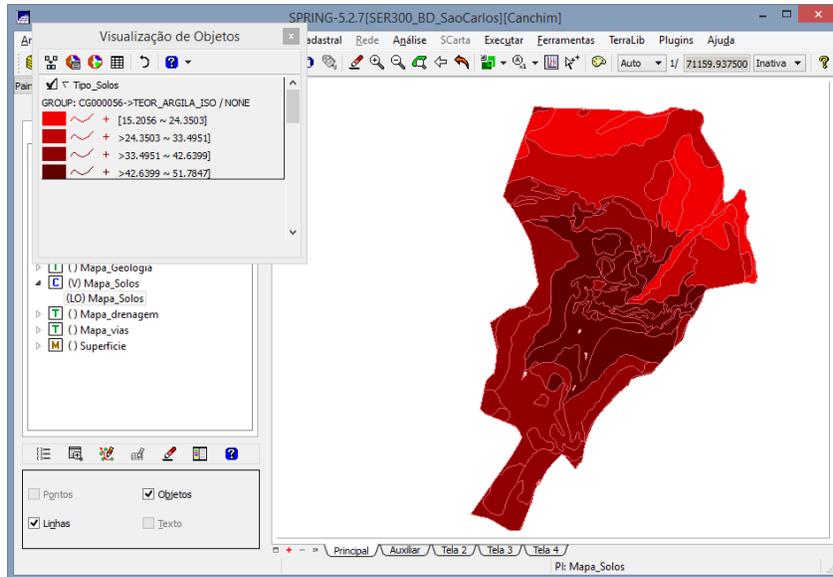
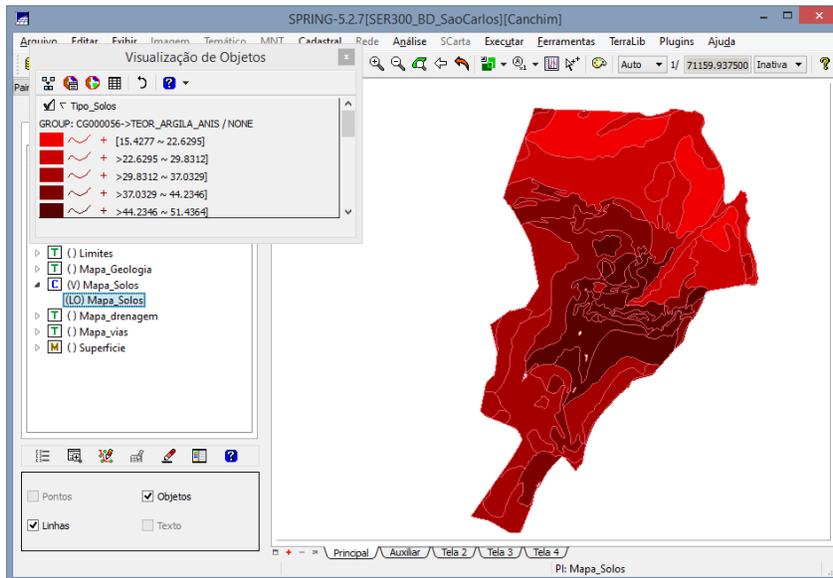


Figura 38 - Agrupamento



(a)



(b)

Figura 39 - Agrupamento para o caso isotrópico e anisotrópico