



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**Laboratório 5 – Geoestatística Linear**

**Disciplina**

**Introdução ao Geoprocessamento – SER 300**

Prof. Antonio Miguel Vieira Monteiro

Aluno: Matheus Caetano Rocha de Andrade

INPE, São José dos Campos.

Junho, 2013.

## **Introdução**

Este relatório foi realizado de acordo com as proposições estabelecidas pelo Laboratório 5 da disciplina de Introdução ao Geoprocessamento.

O objetivo central do “Laboratório 5” foi explorar os procedimentos estatísticos implementados pelo SPRING. Através destes processos deve-se analisar a variabilidade espacial de propriedades naturais amostradas e distribuídas espacialmente (argila).

Os dados foram obtidos através de campanhas de campo realizadas no município de São Carlos, São Paulo. As amostras foram coletadas nas camadas de horizonte Bw de solos (profundidade média de 1m).

O exercício mostra a variação espacial do teor argila no solo da Fazenda Canchim. O teor de argila ao longo do perfil foi classificado segundo Calderano Filho et al., 1996 como é mostrado abaixo:

- MUITO ARGILOSO: solos que apresentam 59% ou mais de argila;
- ARGILOSO: solos que apresentam de 35% a 59% de argila;
- MÉDIO: solos que apresentam de 15% a 35% de argila;
- ARENOSO: solos que apresentam menos de 15% de argila

A exploração geoestatística dos dados foi norteada por meio de dois parâmetros: o primeiro isotrópico, e o segundo anisotrópico. As etapas empregadas foram: análise exploratória dos dados; análise estrutural (cálculo e modelagem do semivariograma) e (c) realização de inferências (Krigagem ou Simulação).

Os resultados deste Laboratório foram evidenciados ao longo dos tópicos a seguir.

### **1. Exercícios**

O banco de dados São Carlos foi carregado e o projeto Canchim foi ativado no software SPRING. O Painel de controle foi ativado e a visualização dos PI's foi obtida como mostra a Figura 1. Neste laboratório, foi utilizado o banco de dados SER300\_BD\_SaoCarlos, e o projeto Canchim, com projeção UTM/Hayford, determinado pelas seguintes coordenadas: 47° 52' 0,46"O, 21° 59' 43,63"S; 47° 47' 49,36"O e 21° 54' 14,58"S.

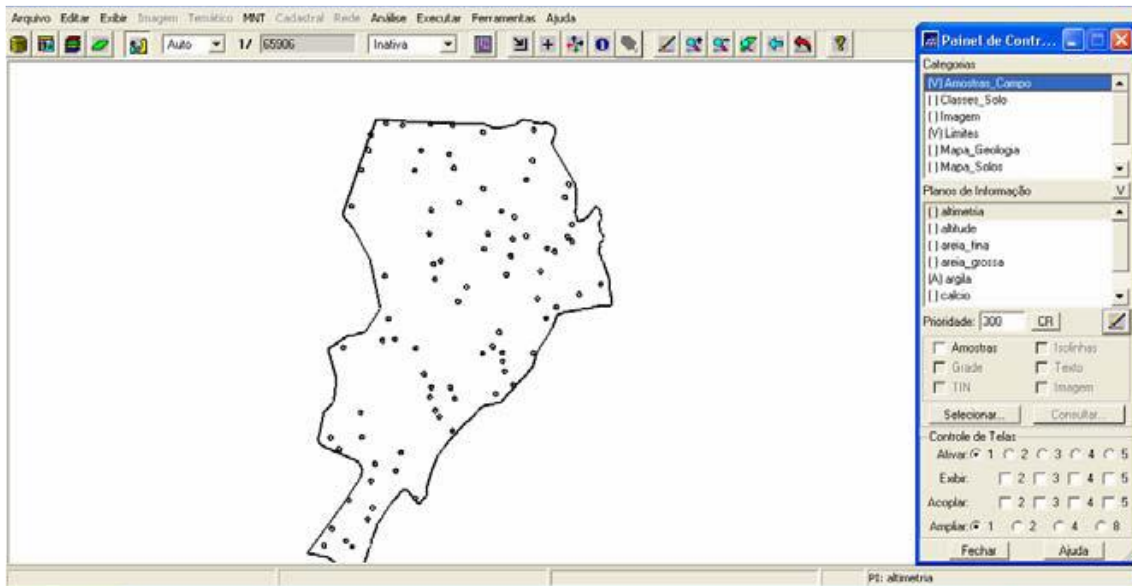


Figura 1. Visualização dos PI's.

Em seguida foi feita uma análise exploratória através da estatística descritiva, como mostrada na Figura 2. Para uma melhor visualização destas análises, ferramentas gráficas também foram geradas como: histograma (10 e 20 classes) e a probabilidade normal, como mostra a Figura 3 (a, b, c) respectivamente.

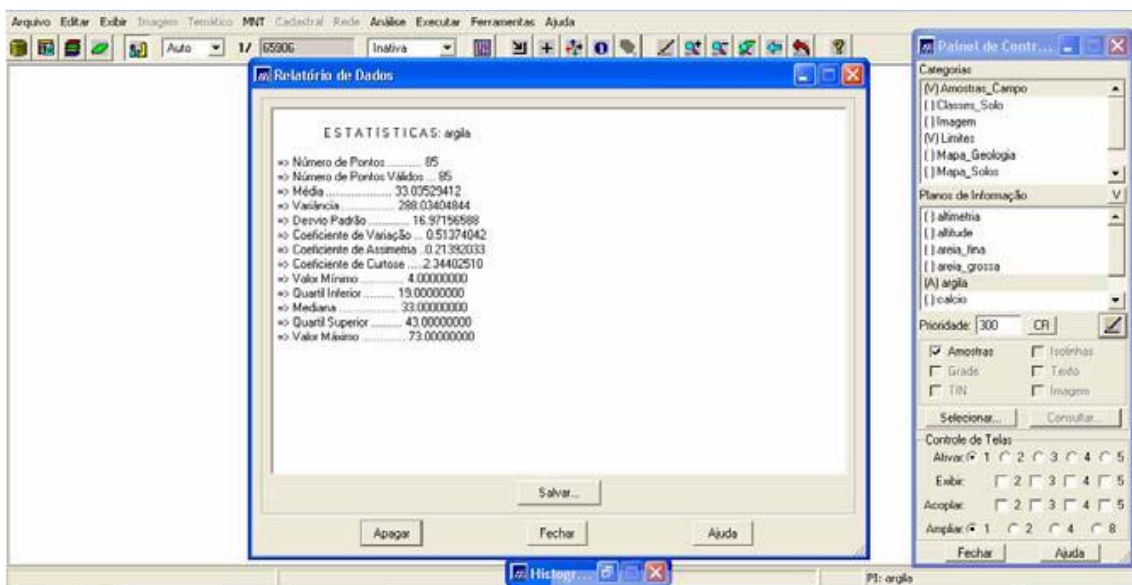
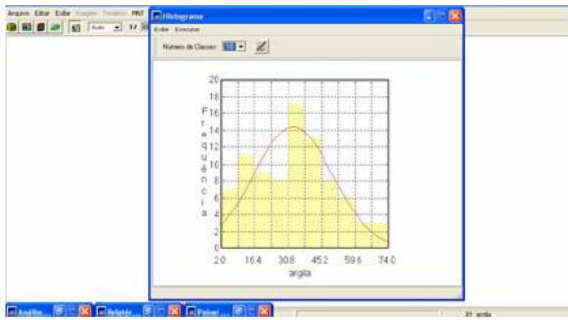
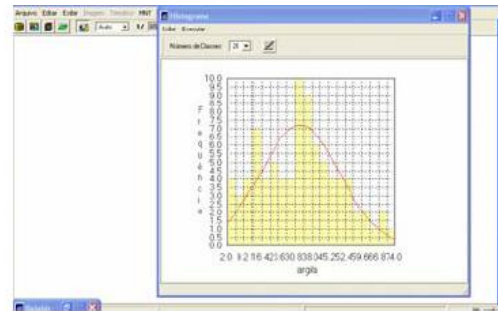


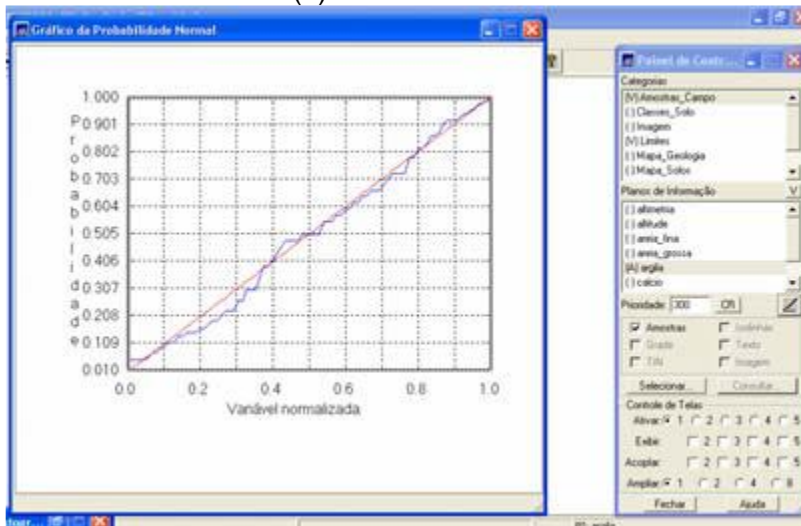
Figura 2. Análise exploratória: estatística descritiva.



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Ferramentas gráficas: (a) histograma com 10 classes, (b) histograma com 20 classes, (c) probabilidade normal.

Nesse exercício foi aplicado, de duas maneiras, o método de interpolação espacial probabilística, a Krigagem: primeiramente, supondo isotropia da distribuição espacial; e posteriormente, supondo a anisotropia – direção preferencial das variabilidade da variável em estudo.

Em ambos os casos, são seguidas as seguintes etapas: análise exploratória dos dados; geração de semivariograma; ajuste da curva gerada; validação do semivariograma; e aplicação da interpolação por krigagem.

Em seguida foi analisada a variabilidade espacial através da geração do semivariograma, como mostra a Figura 3.

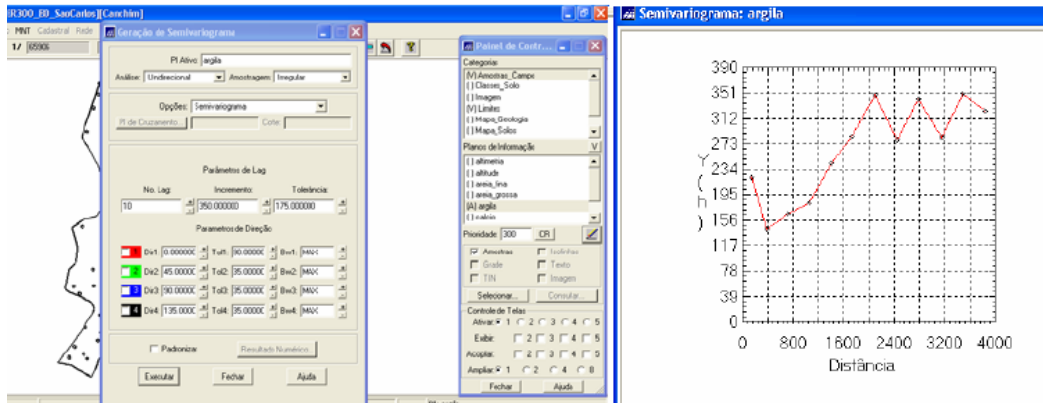


Figura 3. Geração do semivariograma.

O semivariograma acima quando comparado a um semivariograma ideal não apresenta uma forma adequada, assim os parâmetros lag, tolerância e incremento foram alterados para que sua forma fosse melhorada, como mostra a Figura 4.

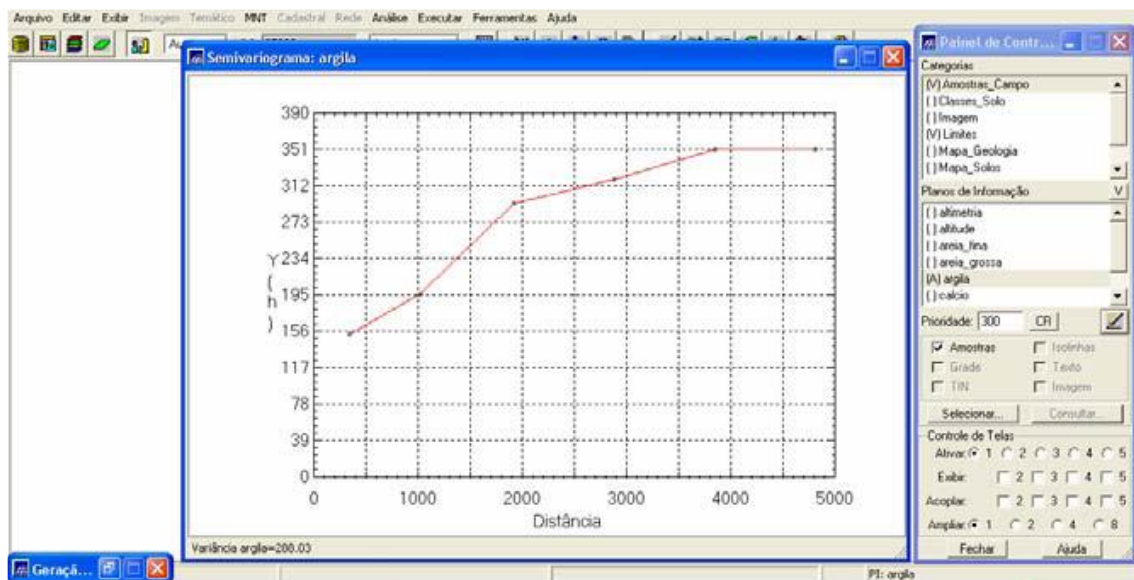


Figura 4. Semivariograma com alteração dos parâmetros lag, tolerância e incremento.

Com estas alterações pode-se perceber que o semivariograma acima adequa-se a um semivariograma ideal. Em seguida foi modelado o semivariograma experimental, como mostra a Figura 5. E assim definidos os parâmetros dos modelos isotrópicos, como mostra a Figura 6.

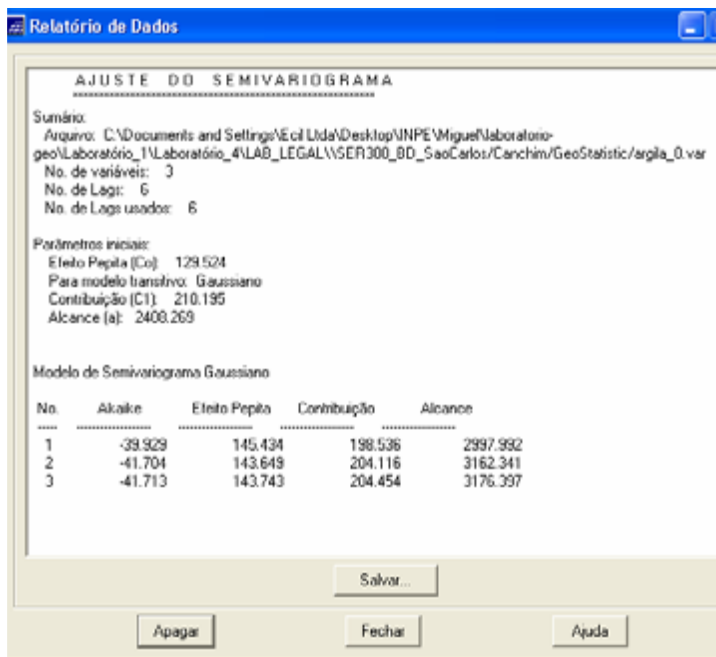
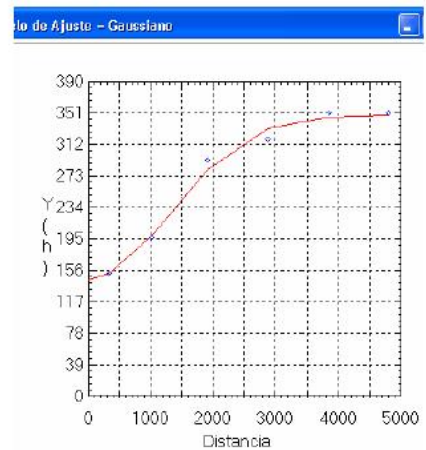
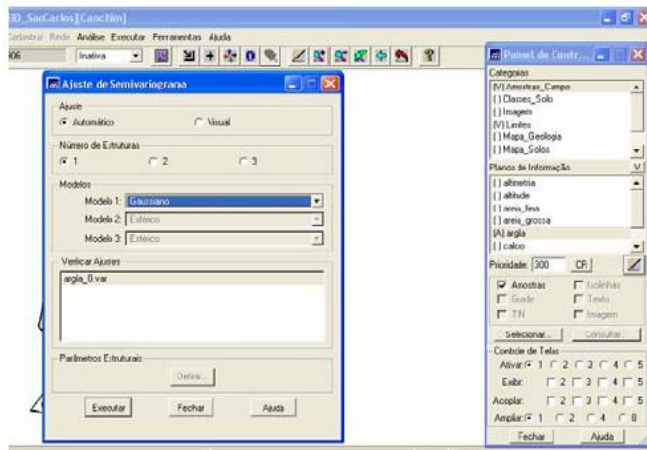


Figura 5. Modelagem do semivariograma experimental.

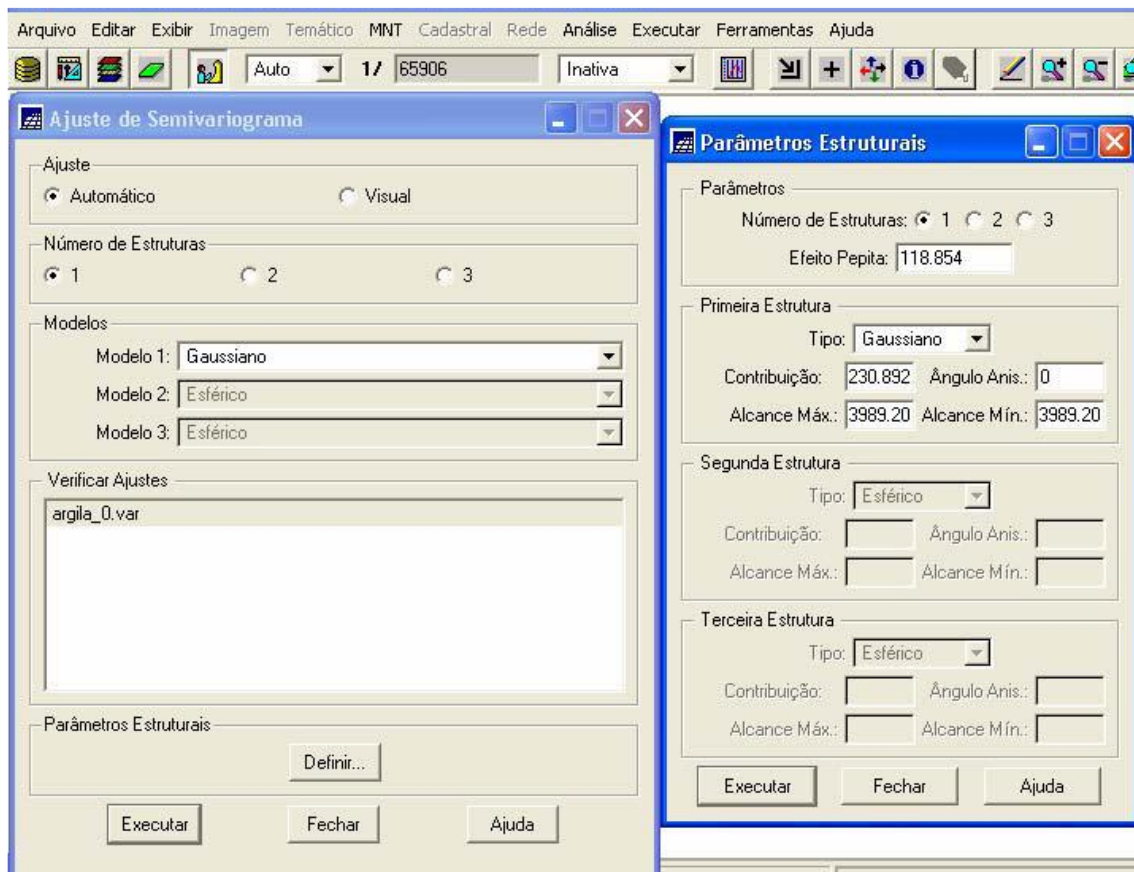
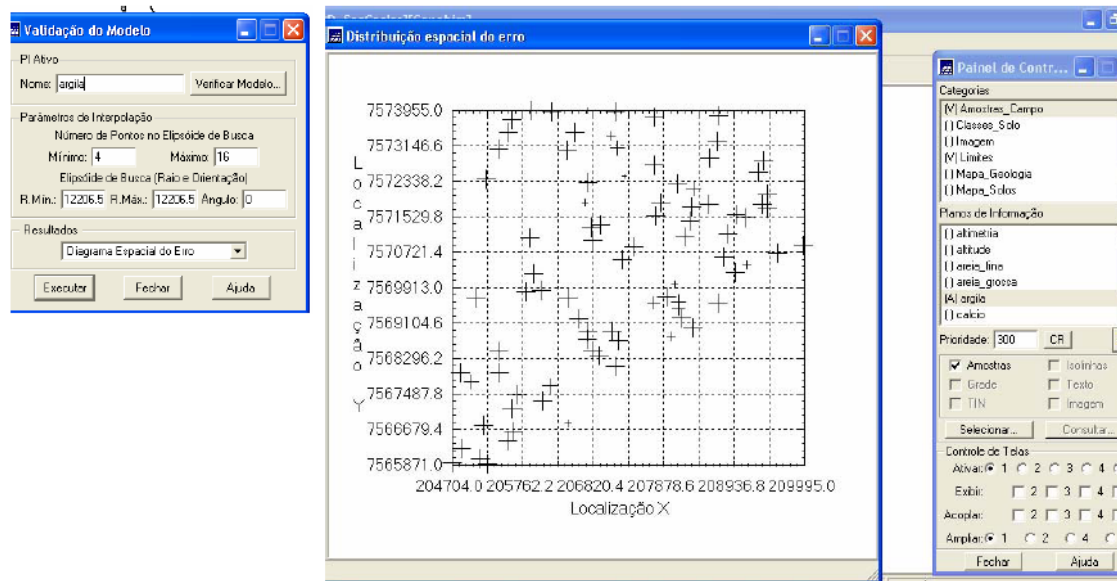
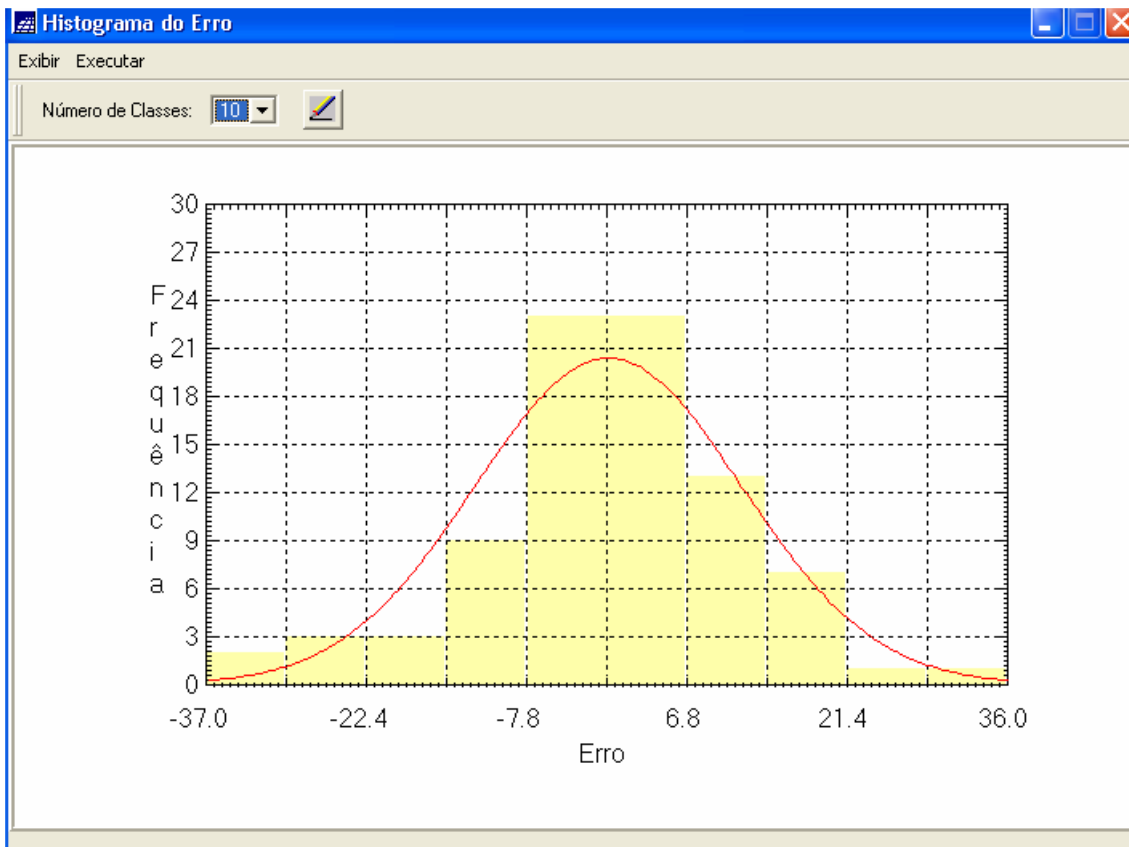


Figura 6. Definindo os parâmetros dos modelos isotrópicos.

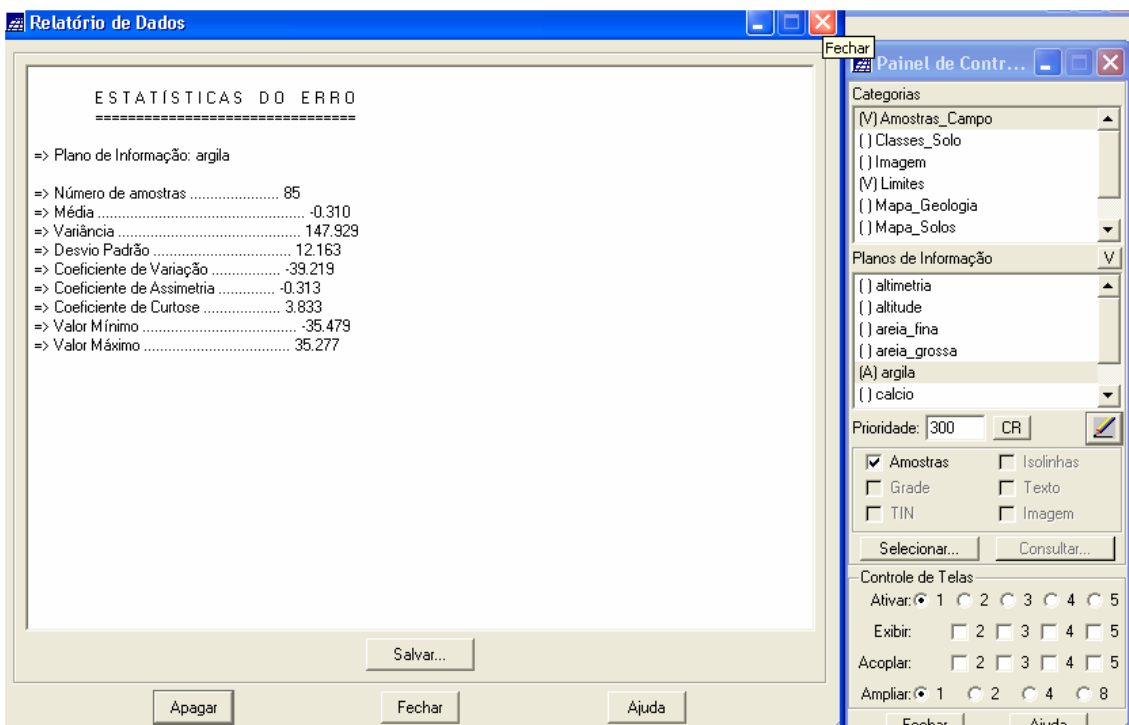
Posteriormente foi feita a validação do modelo de ajuste, o qual precede as técnicas de krigeagem. Esta etapa é necessária pois permite avaliar a adequação do modelo proposto no processo. As etapas e os resultados são mostrados na Figura 7.



(a)

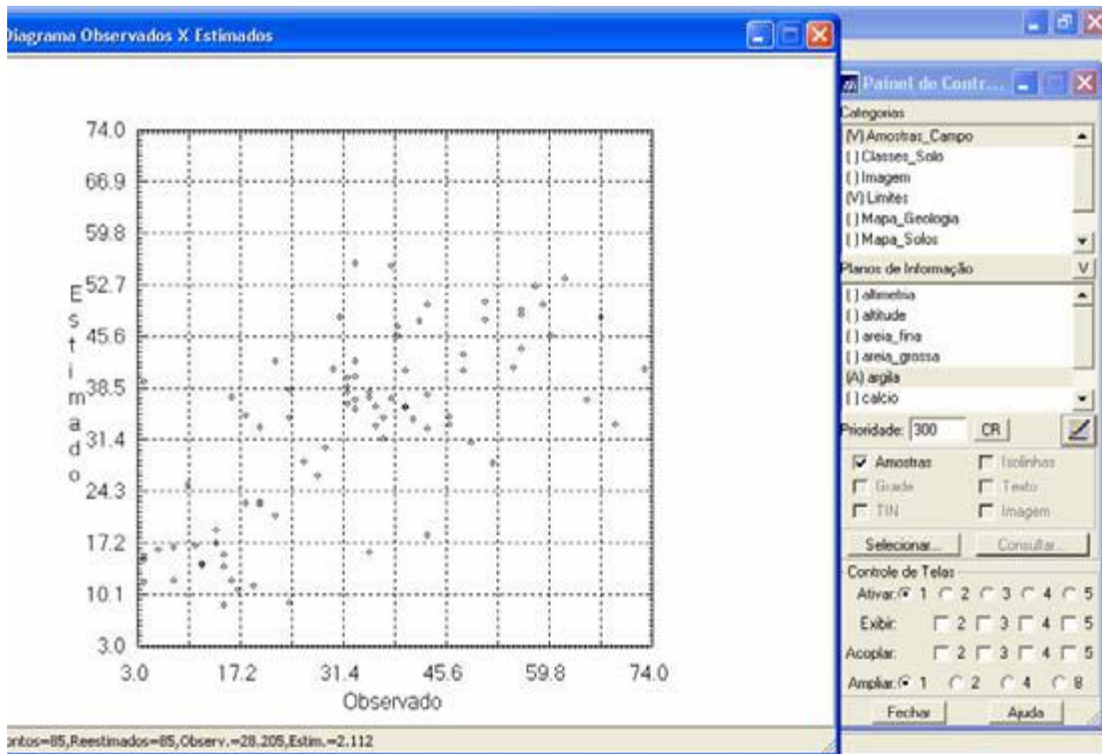


(b)



(c)

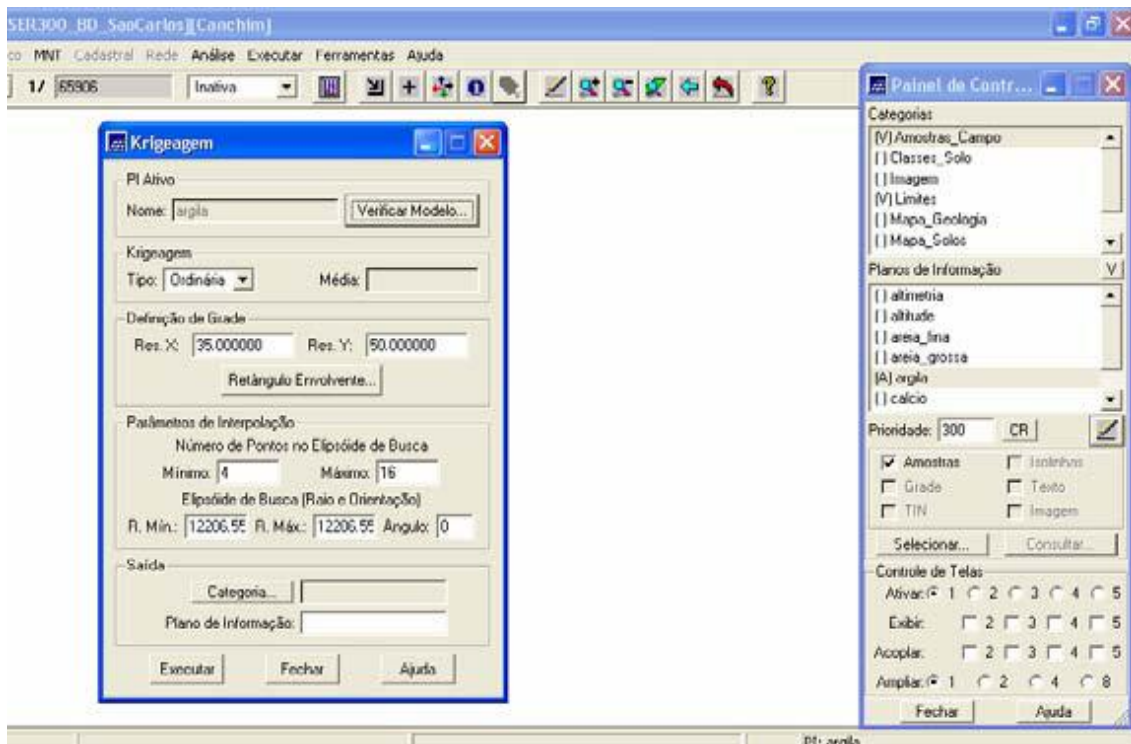




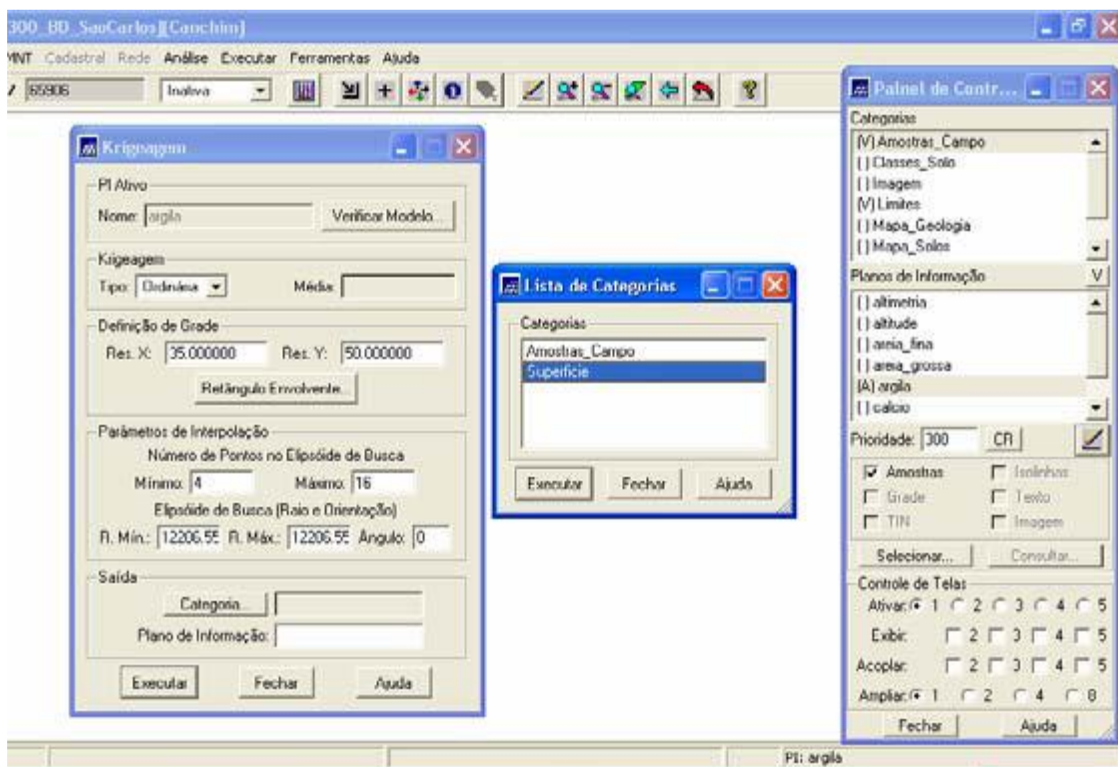
(d)

Figura 7. Validação do modelo de ajuste (a), Histograma de erro (b), estatística de erro (c), Diagrama de valores observados versus estimados (d).

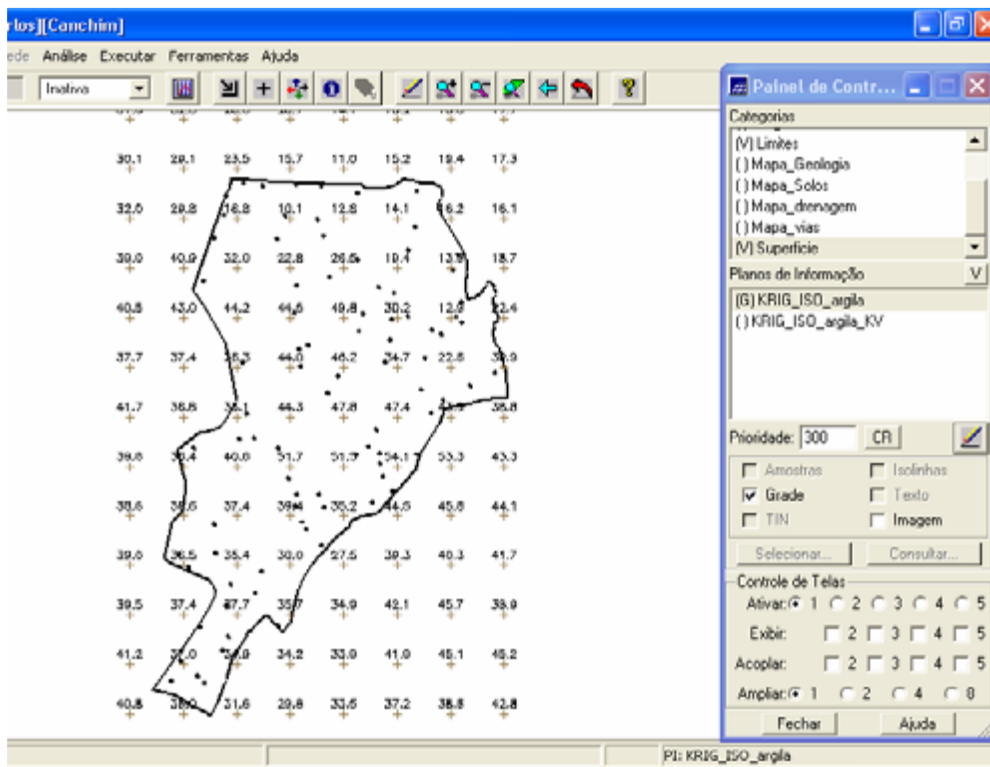
Após a análise do modelo parte-se para o procedimento da krigeagem ordinária, as etapas e resultados são apresentados na Figura 8.



(a)



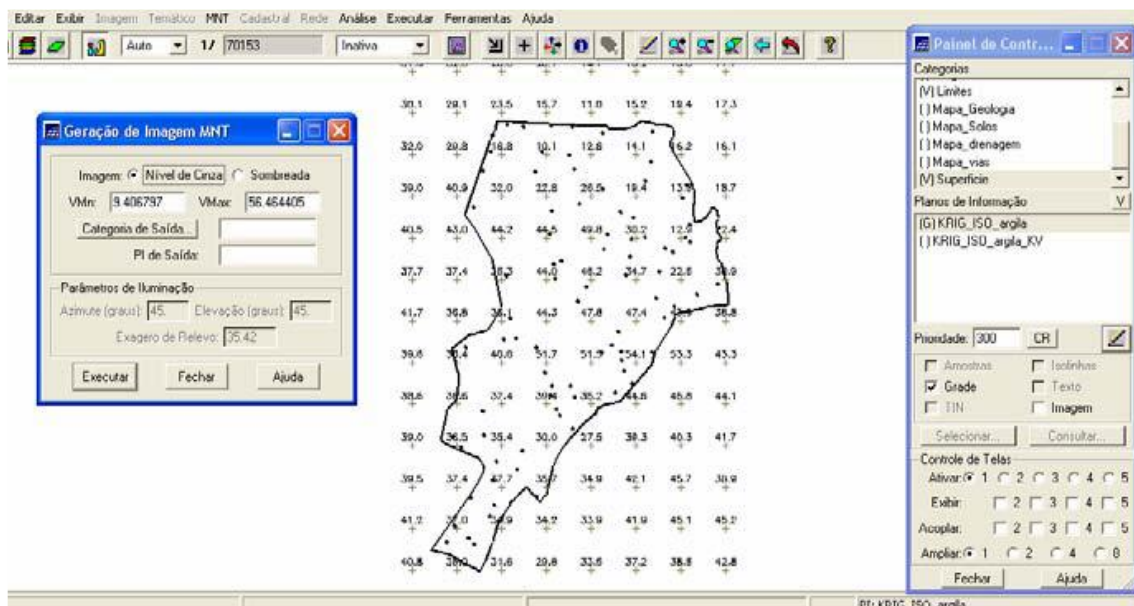
(b)



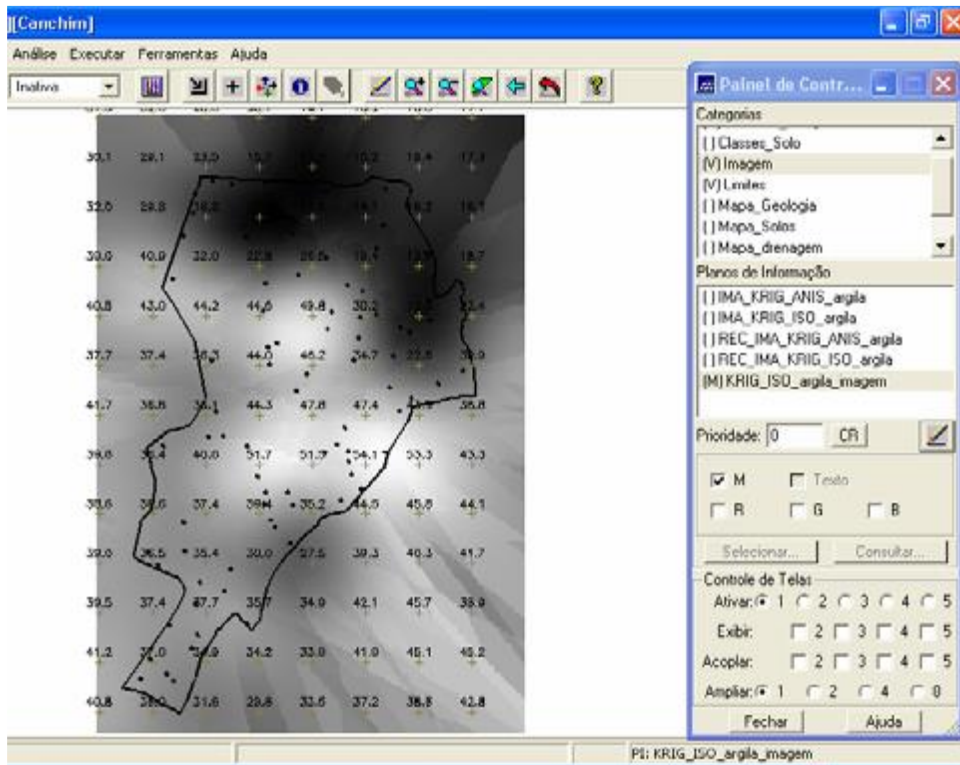
(c)

Figura 7. Inicializando o processo de krigeagem (a); definindo a categoria de saída (b); grade de krigeagem gerada (c).

O procedimento geoestatístico é finalizado, a etapa seguinte foi transformar a grade em imagem, as etapas e resultados são mostrados na Figura 8.



(a)



(b)

Figura 8. Ativando a geração do MNT (a); MNT gerado (b).

Como mostrado acima a imagem gerada ultrapassa o limite da fronteira da Fazenda Cachim, por isso fez-se necessária o recorte da mesma, como mostra a Figura 9.

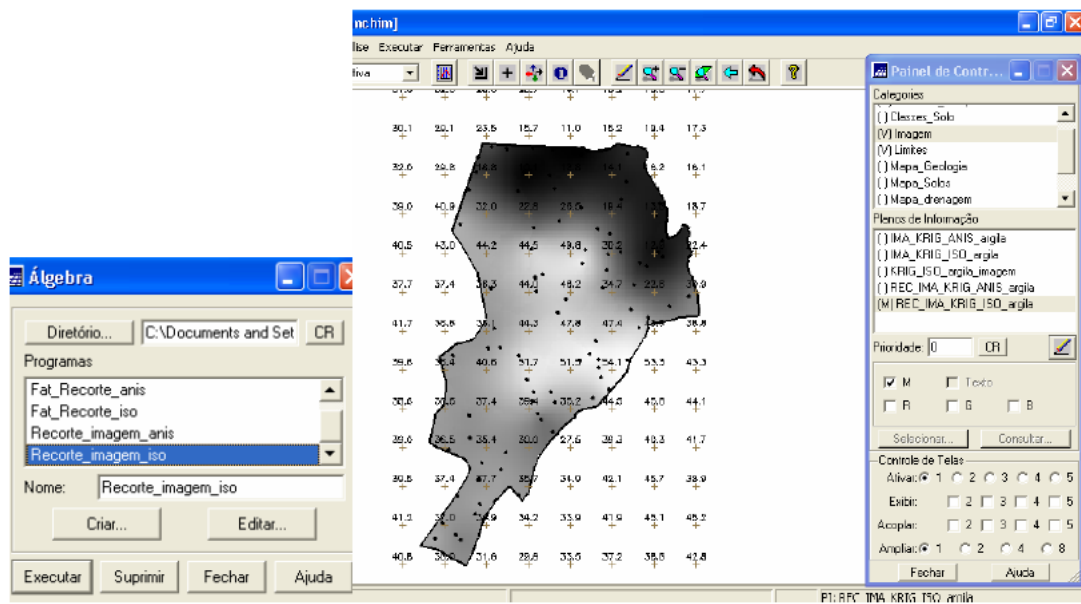


Figura 9. Recorte da imagem gerada.

Após o recorte da imagem utilizando o LEGAL, foi realizado o fatiamento da mesma segundo a classificação especificada no início deste relatório. O resultado é mostrado na Figura 10.

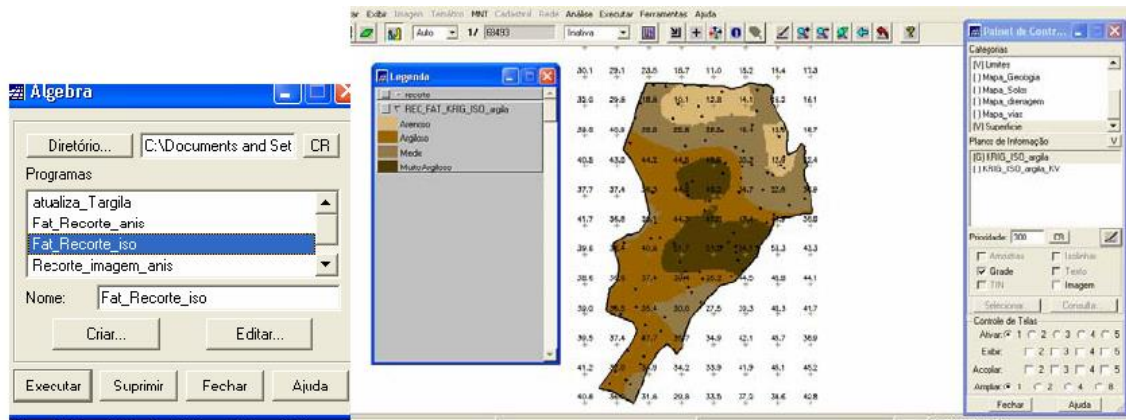
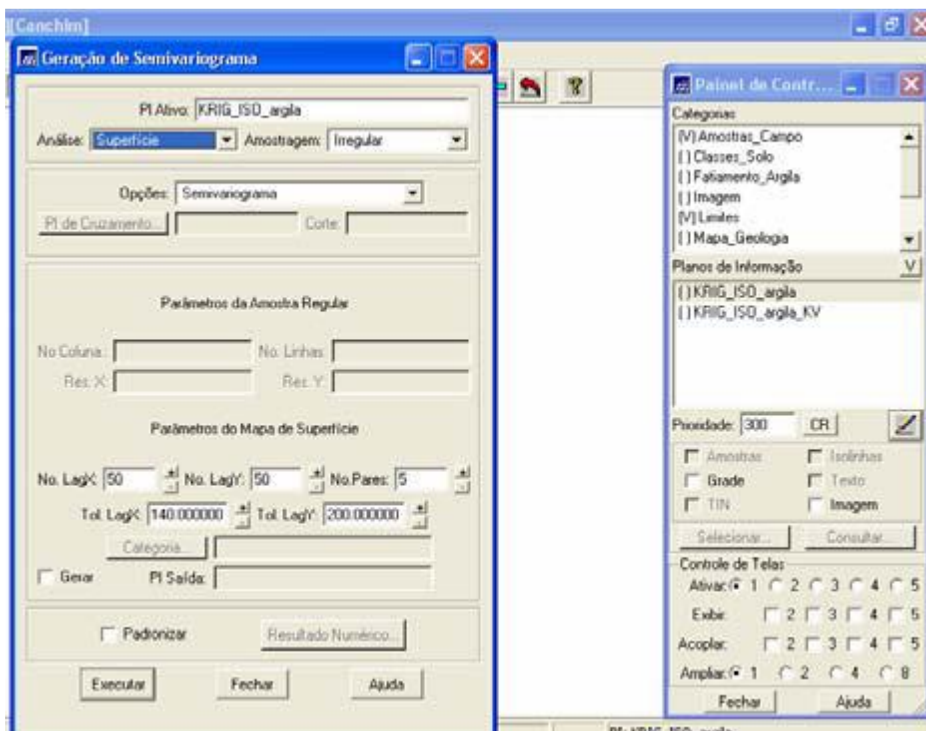
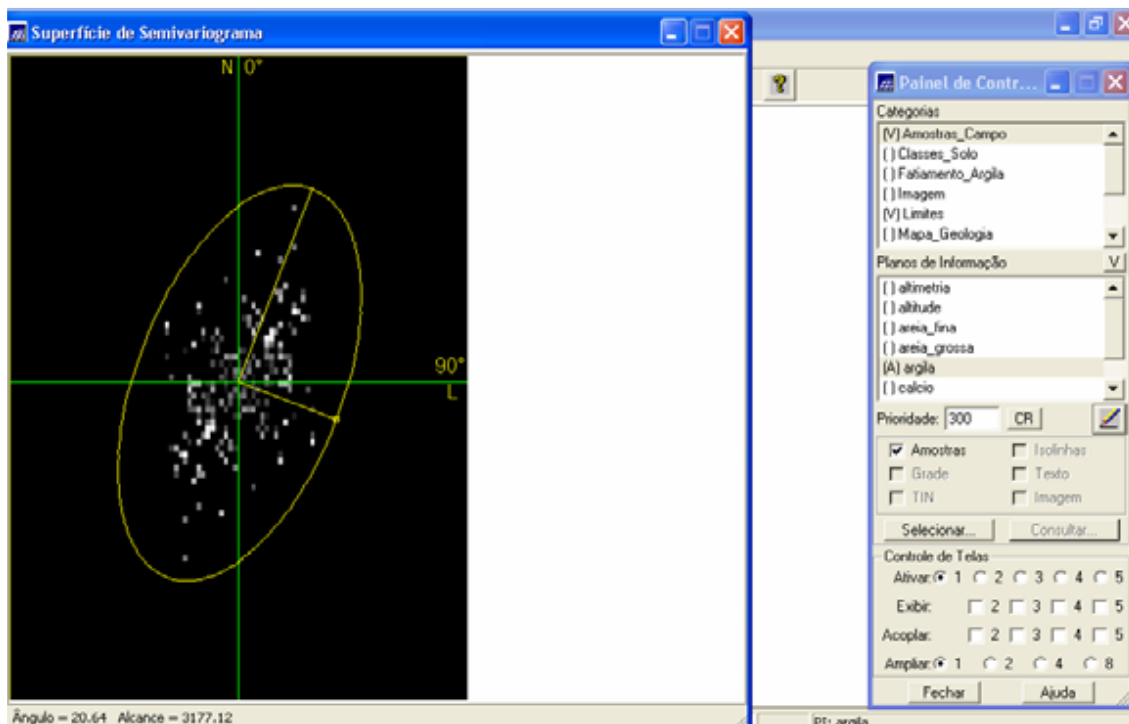


Figura 10. Fatiamento e classificação da imagem.

Toda a atividade descrita até o momento foi considerado uma caso de isotropia, assim para o teste de uma caso anisotrópico os dados também foram testados. Assim foi gerado outro semivariograma e testado a anisotropia, como mostra a Figura 11.



(a)



(b)

Figura 11. Geração do semivariograma (a); eixos de anisotropia (b)

Como mostrado nas Figuras acima há um caso de anisotropia evidente, sendo o espalhamento mais elevado na direção de ~17 graus e menos intenso na direção de ~107 graus. Depois da análise de anisotropia procede-se com a geração dos semivariogramas direcionais, como mostrado na Figura 12.

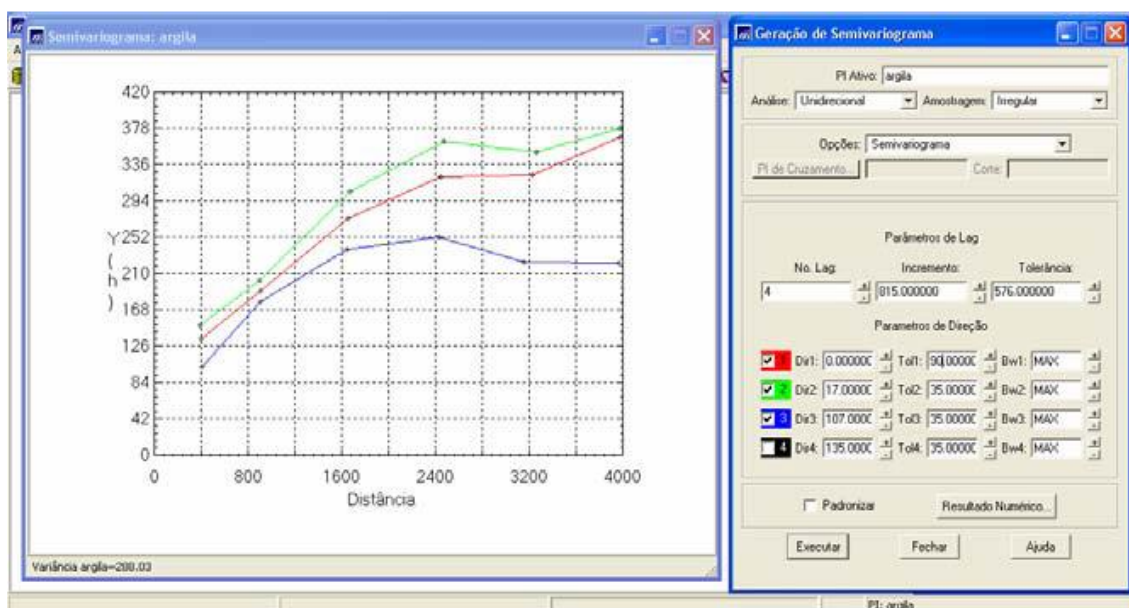


Figura 12. Geração dos semivariogramas direcionais.

A Figura acima ilustra três semivariogramas. O Semivariograma em verde representa à direção de maior continuidade (~170), o azul à direção de menor continuidade (~1070) e o vermelho o omnidirecional, o qual foi gerado apenas a título de representação média entre os semivariogramas de maiores e menores alcances. A seguir é indicada a modelagem dos semivariogramas direcionais, primeiramente na direção de maior continuidade 17 graus, como mostra a Figura 13, e posteriormente na direção de menor continuidade 107 graus, como mostra a Figura 14.

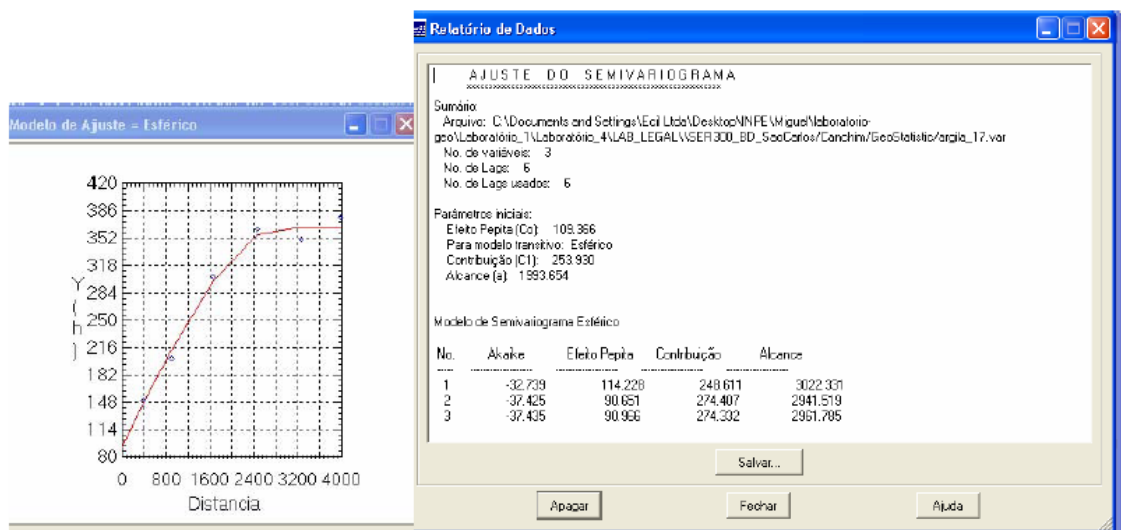


Figura 13. Modelagem do semivariograma na direção de maior continuidade 17 graus.

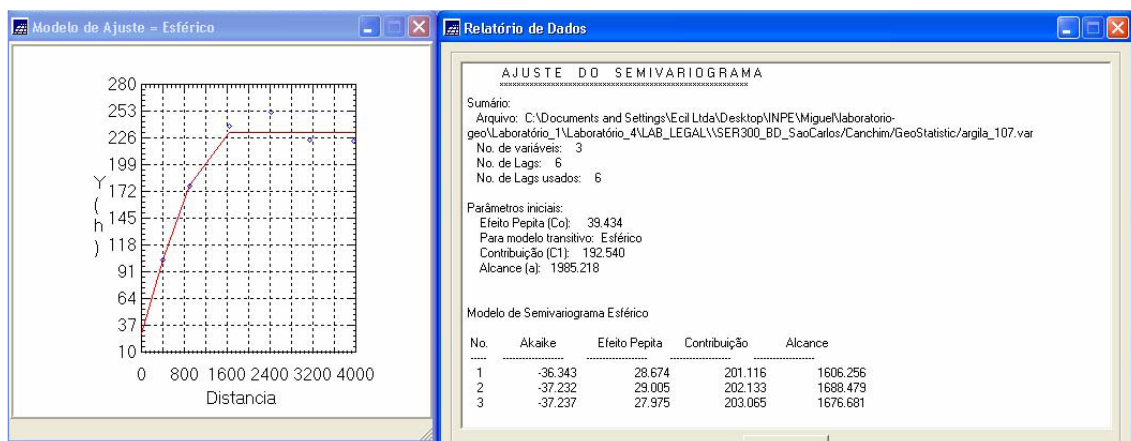


Figura 14. Modelagem do semivariograma na direção de menor continuidade 107 graus

Para a união dos dois modelos definidos anteriormente foi realizada a modelagem da anisotropia, que consiste num único modelo consistente, o qual descreva a variabilidade espacial do fenômeno em qualquer direção. O passo seguinte foi a gravação do modelo proposto e a validação do mesmo, como mostram as Figura 15 e 16.

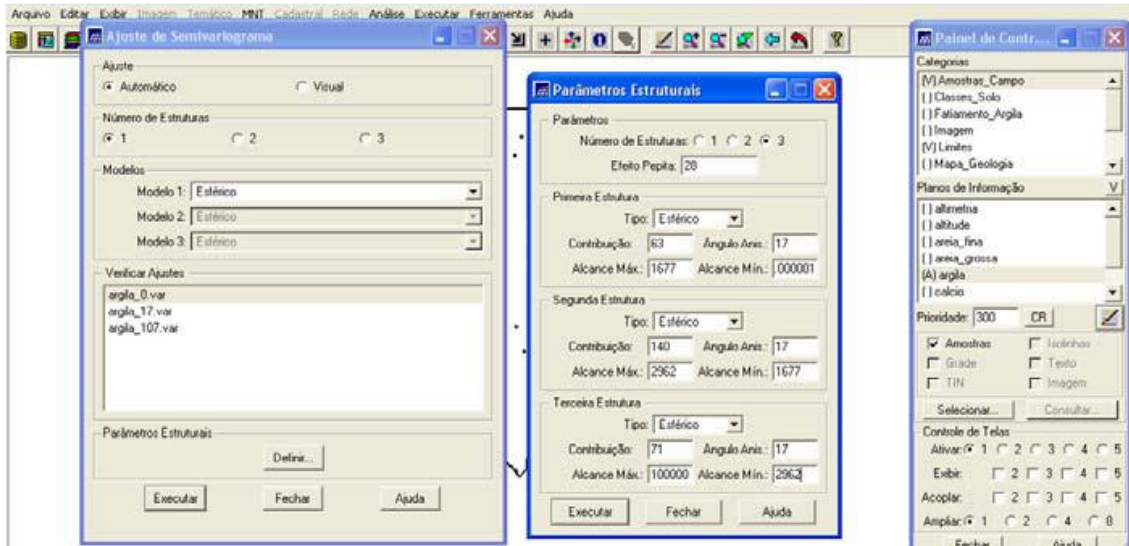
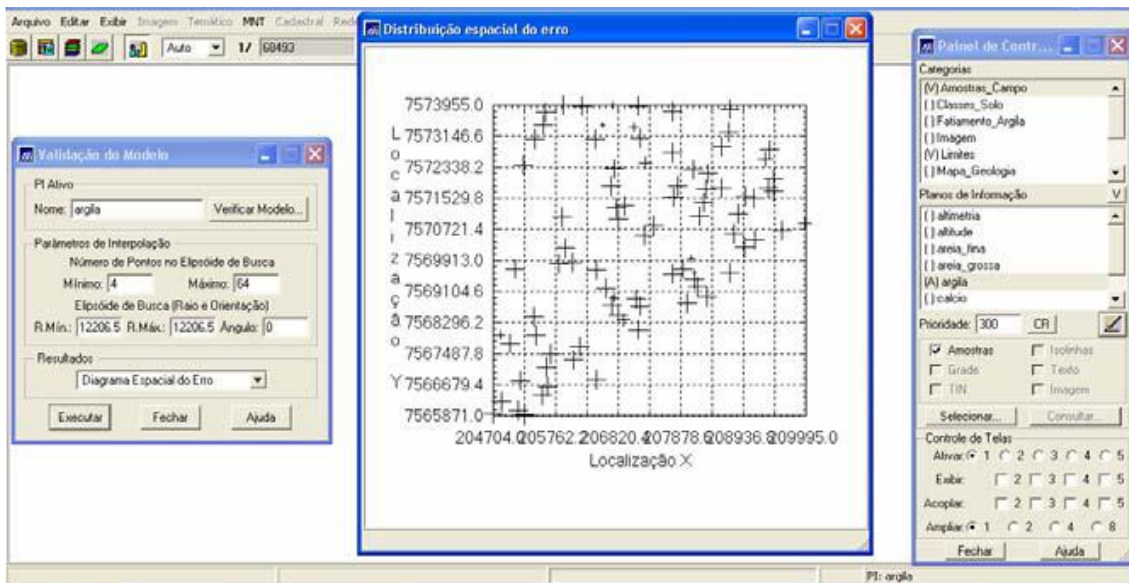
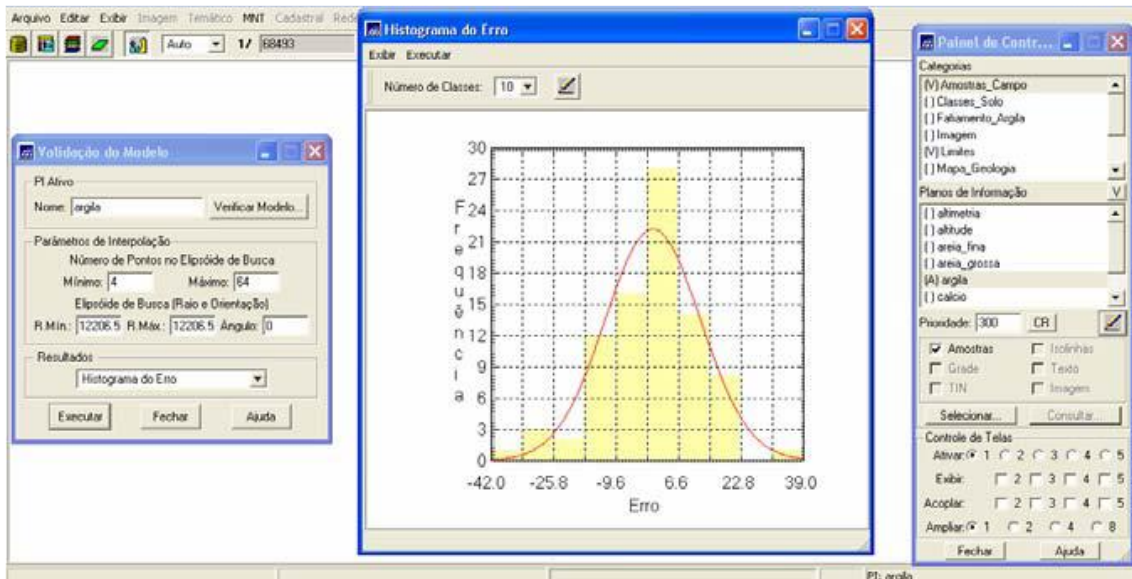


Figura 15. Gravação do modelo proposto.

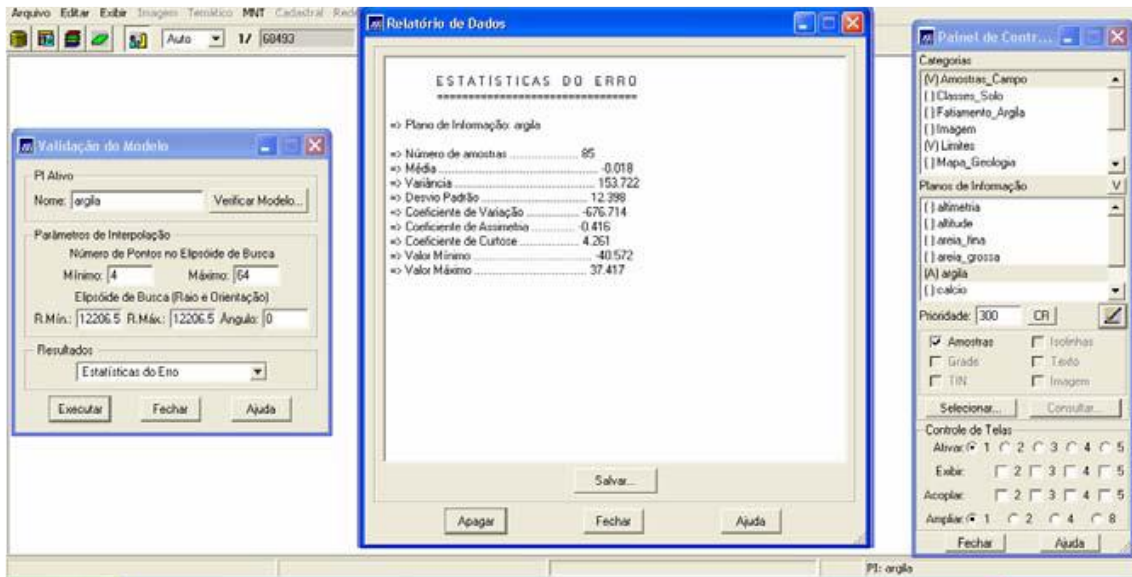


(a)

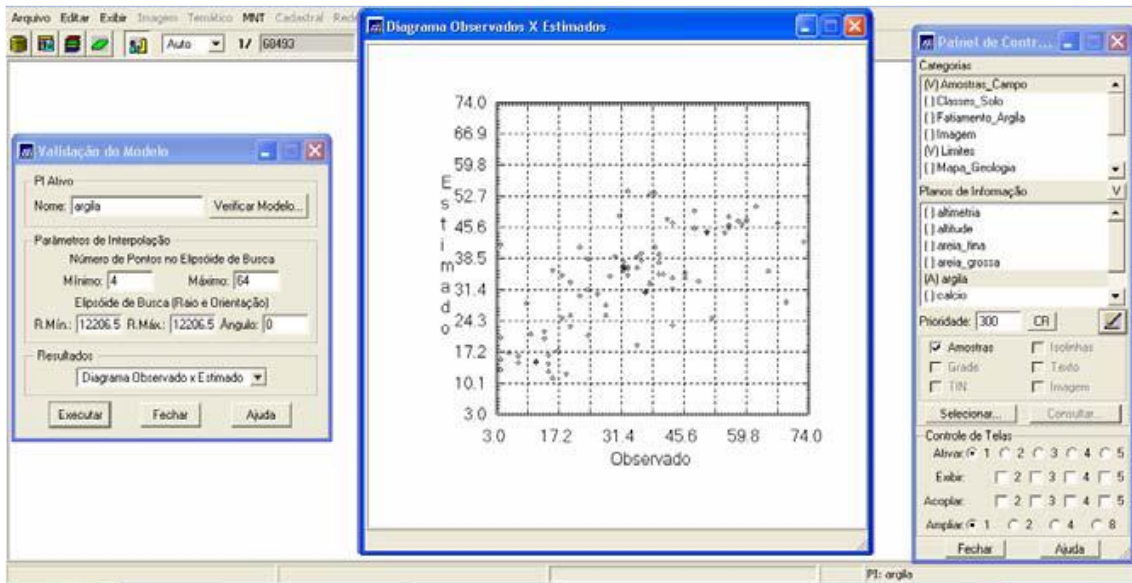




(b)



(c)



(d)

Figura 16. Validação do modelo proposto e diagrama espacial do erro; histograma do erro (b); estatística do erro; diagrama dos valores observados.

Após a análise do modelo parte-se para o procedimento da krigeagem ordinária, as etapas e resultados são apresentados na Figura 17.

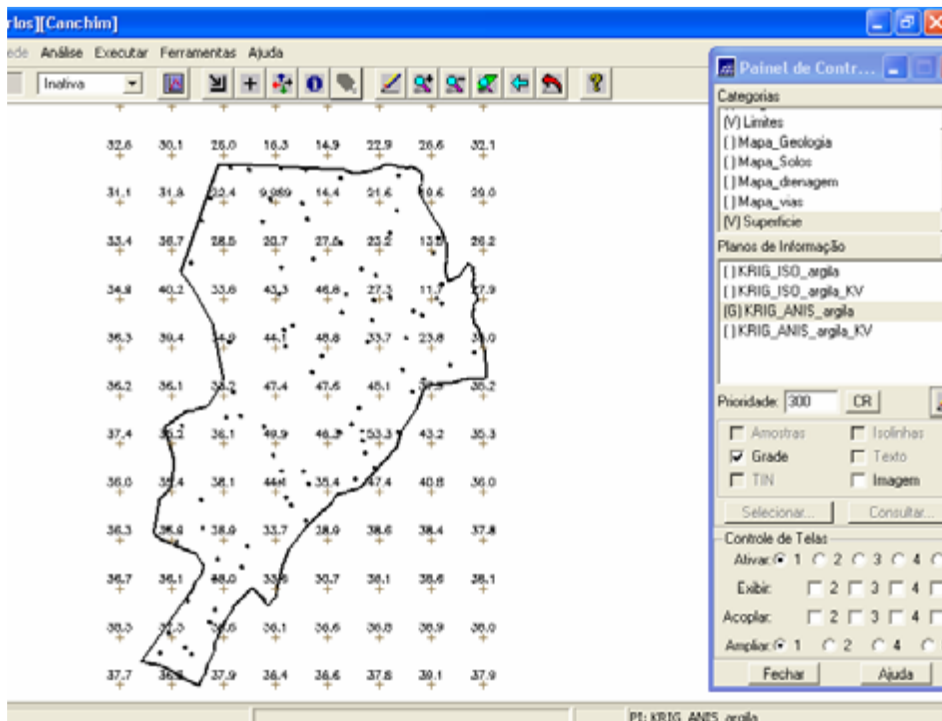


Figura 17. Grade gerada pela krigeagem.

O procedimento geostatístico é finalizado, a etapa seguinte foi transformar a grade em imagem, as etapas e resultados são mostrados na Figura 18.

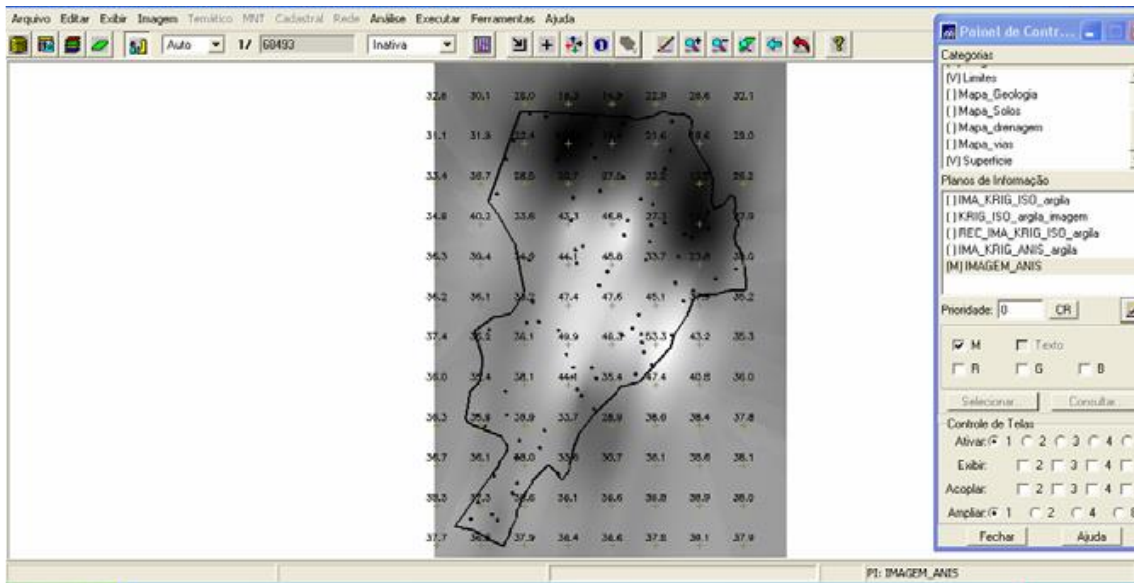


Figura 18. MNT gerado.

Como mostrado acima e como feito no caso isotrópico, a imagem gerada ultrapassa o limite da fronteira da Fazenda Cachim, por isso fez-se necessária o recorte da mesma, como mostra a Figura 19.

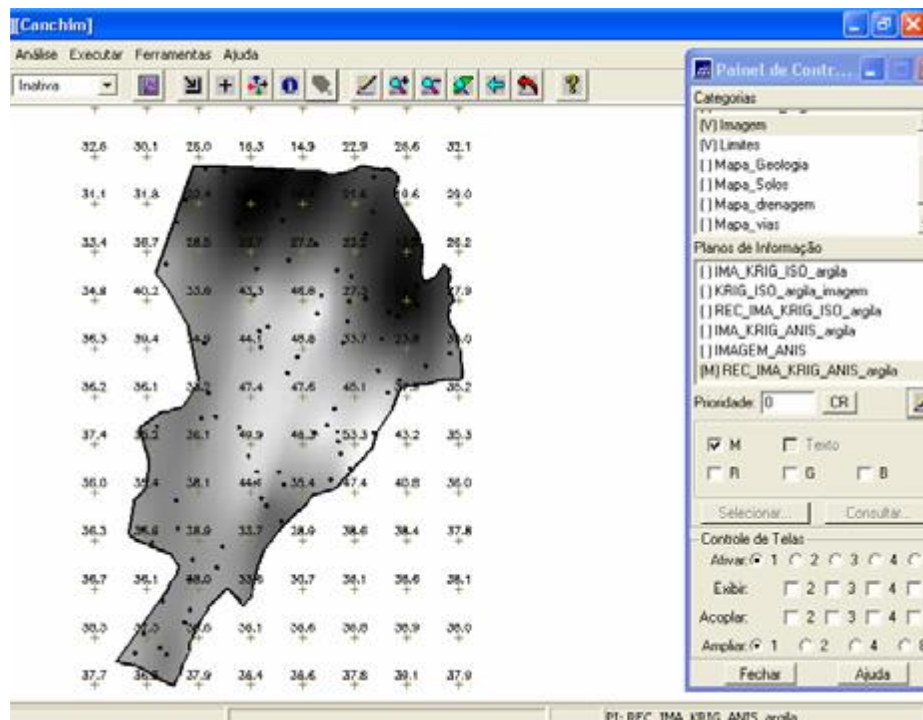


Figura 19. Recorte da imagem gerada.

Após o recorte da imagem utilizando o LEGAL, foi realizado o fatiamento da mesma segundo a classificação especificada no início deste relatório. O resultado é mostrado na Figura 20.

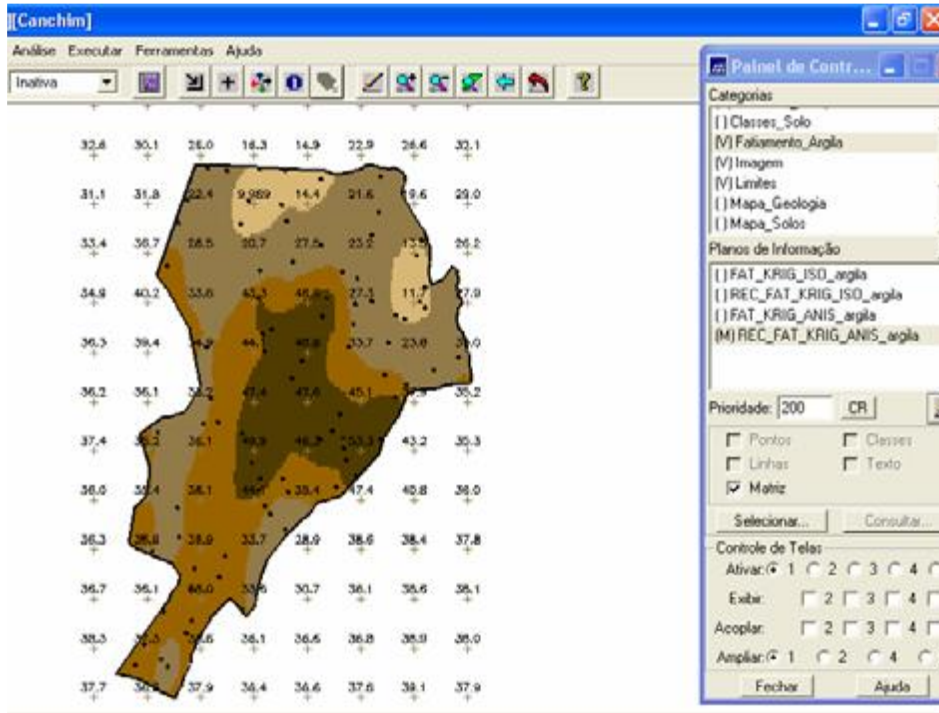
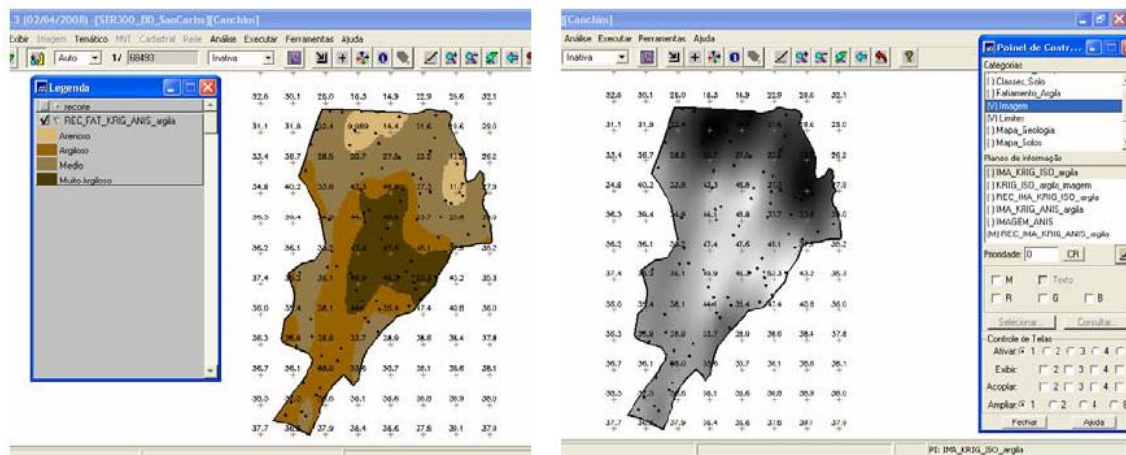
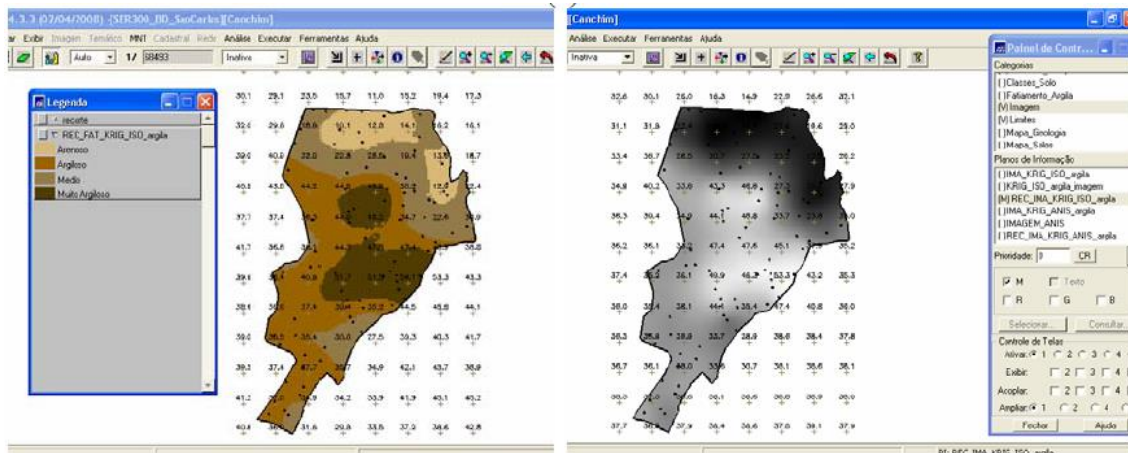


Figura 20. Fatiamento e classificação da imagem.

Para comparação dos dados, os mapas a seguir são mostrados na Figura 21. Na Figura 22 é mostrado o mapa geológico resultante.



(a)



(b)

Figura 21. Caso anisotrópico (a); Isotópico (b).

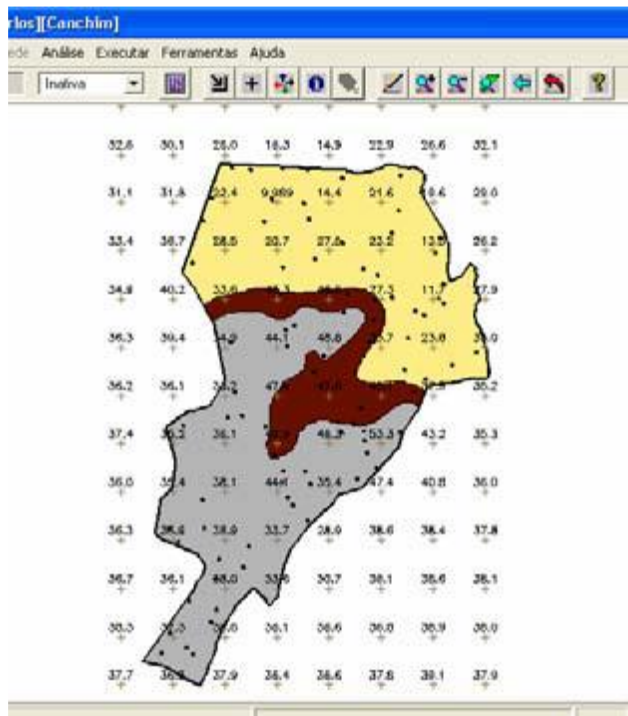
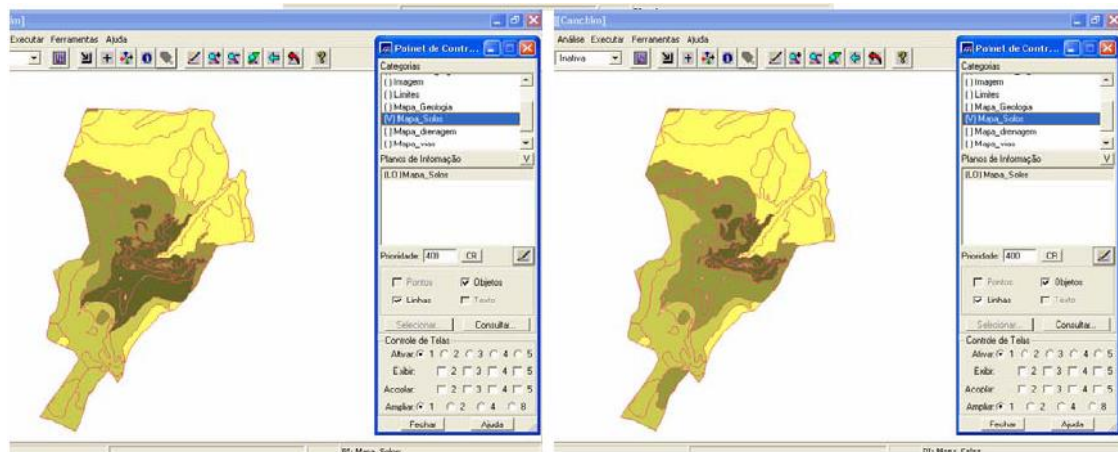
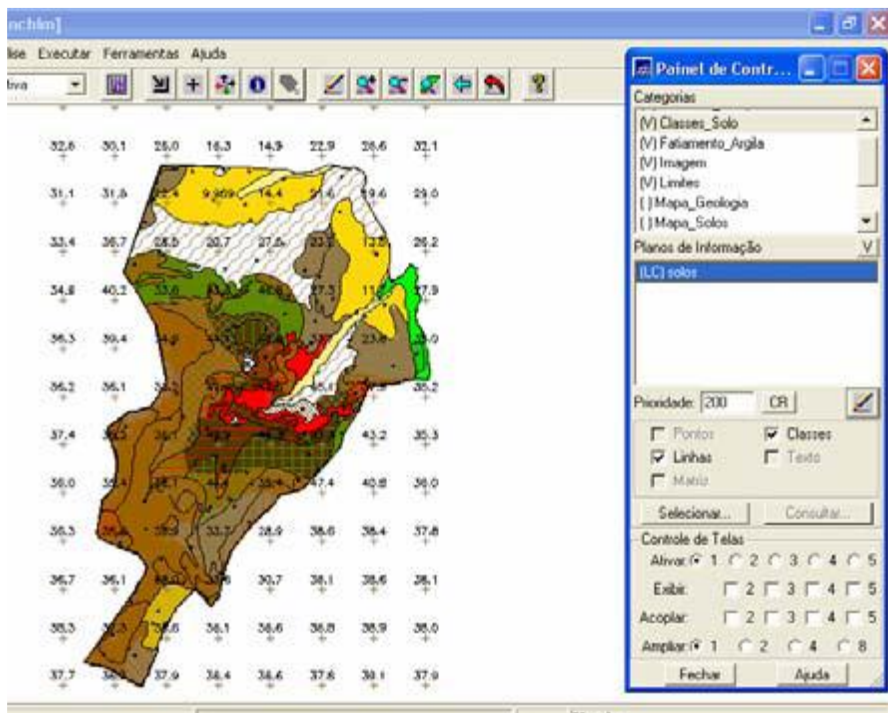


Figura 22. Mapa geológico.

Foi computado o teor médio de argila para cada classe de solo, a partir das superfícies isotrópicas e anisotrópicas. Os resultados estão presentes na Figura 23.



(a)

(b)

Figura 23. Computado o teor de argila para o caso isotrópico (a); e anisotrópico (b).

## Conclusão

A aplicação de krigagem por semivariograma supondo anisotropia da variável argila e posterior relação com o tipo de solo e geologia, mostrou-se um pouco mais precisa do que pelo método supondo isotropia. Isso ocorreu pelo fato de que, uma vez identificado a direção preferencial da variação do parâmetro analisado por meio da geração do semivariograma de superfície, é possível realizar uma estimativa mais precisa espacialmente da variável analisada.

## **Considerações Finais**

Por meio deste Laboratório 5 foi possível obter conhecimentos de análise geoestatística, aplicando-os no software SPRING e analisando os seus resultados a partir das imagens, semivariogramas e relatórios gerados.