

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).

Procedimentos

O exemplo aqui apresentado refere-se à análise da variação espacial do teor de argila sobre a área da Fazenda Canchim (São Carlos - SP). Considera-se o teor de argila ao longo do perfil, classificado do seguinte modo:

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

Dentro dos limites da Fazenda Canchim, afloram as seguintes litologias: Arenito Superficial (areias consolidadas), Diabásio (Formação Serra Geral) e Arenito Botucatu (rocha constituída por grãos de quartzo arredondados), conforme ilustrado acima.

1 Análise exploratória

No Spring, 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, isto é, entre dois conjuntos de dados

ou de duas distribuições. Esta relação pode ser visualizada através do diagrama de dispersão e o grau da relação linear entre as variáveis pode ser medido através do coeficiente de correlação.

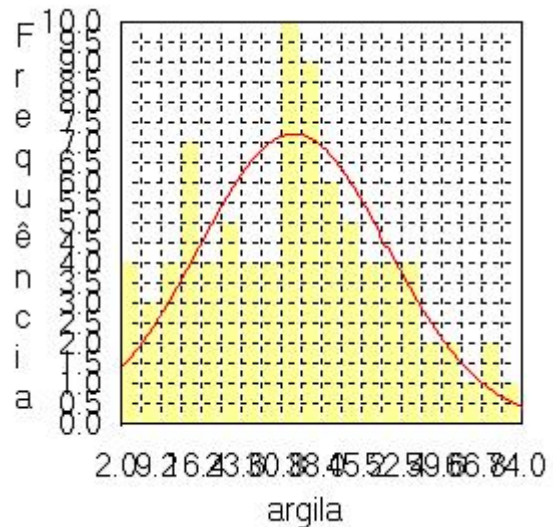
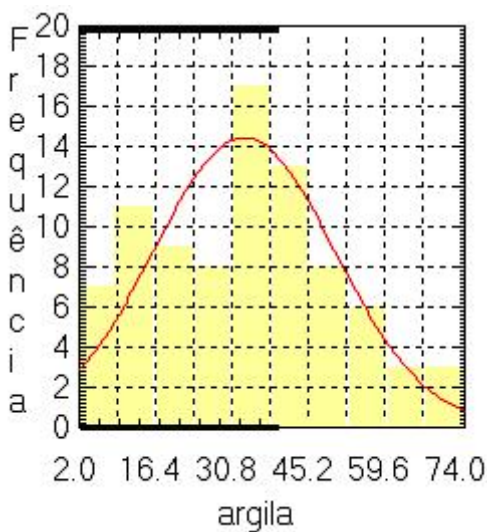
1.1 Estatísticas descritivas

ESTATÍSTICAS: argila

- => Número de Pontos 85
- => Número de Pontos Válidos ... 85
- => Média 33.03529412
- => Variância 288.03404844
- => Desvio Padrão 16.97156588
- => Coeficiente de Variação ... 0.51374042
- => Coeficiente de Assimetria ..0.21392033
- => Coeficiente de Curtose2.34402510
- => Valor Mínimo 4.00000000
- => Quartil Inferior 19.00000000
- => Mediana 33.00000000
- => Quartil Superior 43.00000000
- => Valor Máximo 73.00000000

1.2 Histograma

O histograma do PI ativo (neste caso: argila) está representado na cor amarela. A curva contínua em vermelho é uma distribuição Gaussiana e serve de referência para efeito de comparação (Figuras 1 e 2). Neste caso observa-se que a distribuição da argila é pouca assimétrica com coeficiente de assimetria igual a 0,214.



(a)

(b)

Figura 1. Histograma com (a) 10 e (b) 20 classes

1.3 Gráfico da Probabilidade Normal

Gráfico da Probabilidade Normal, apresentando em linha azul os dados amostrais e, em vermelho, a distribuição Gaussiana (Figura 2).

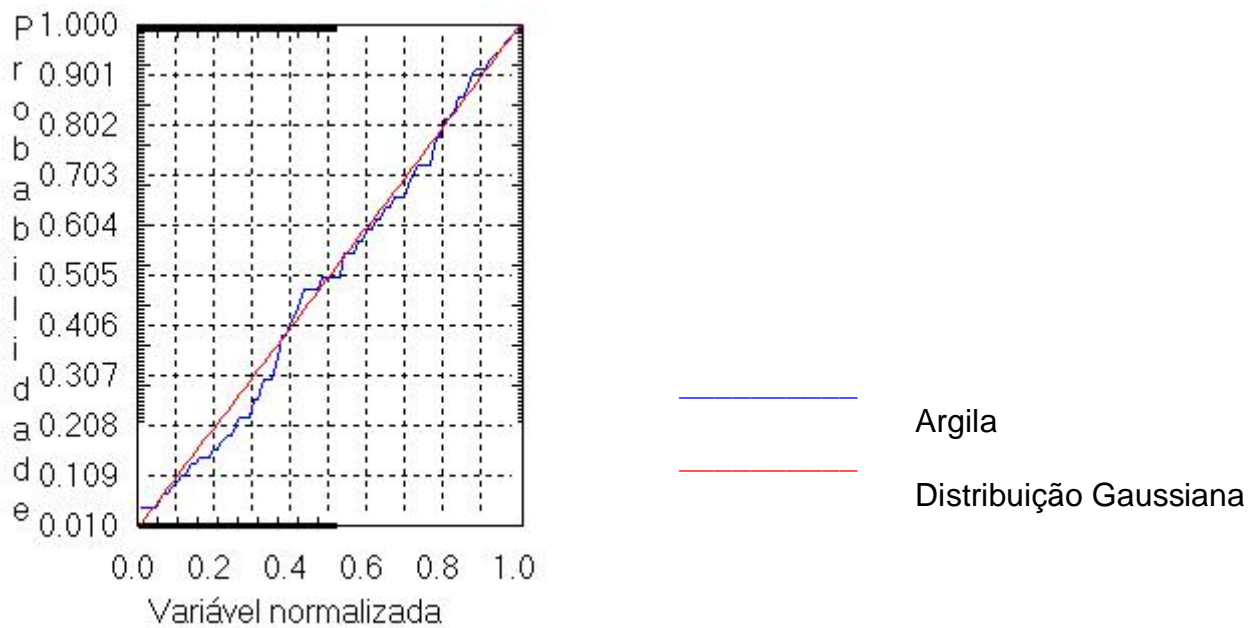
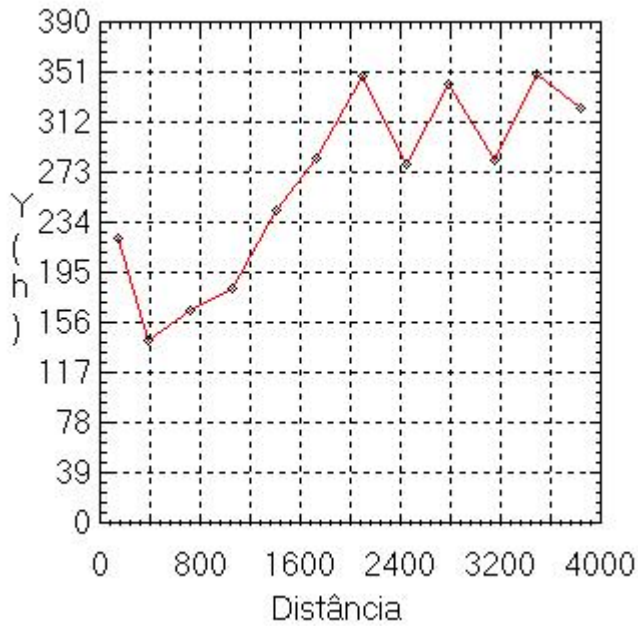


Figura 2. Probabilidade Normal

2 Caso isotrópico

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.

2.1 Análise da variabilidade espacial por semivariograma



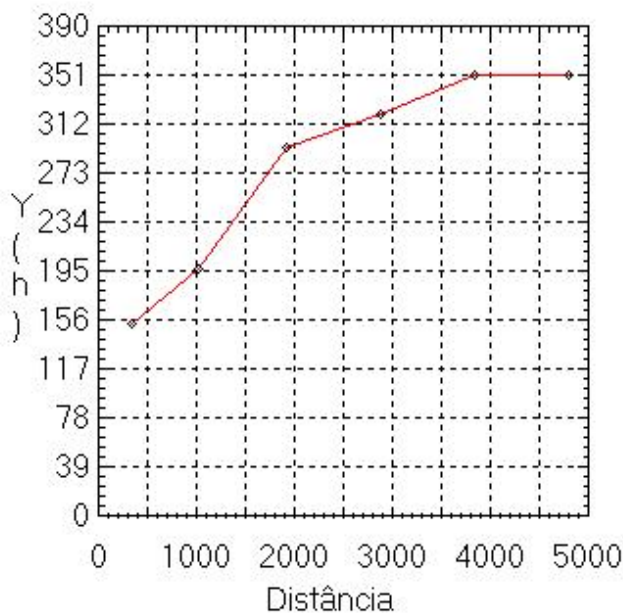
(a)

No. Lag:10 Incremento:350.00 Tolerância:175.00			
Direção: 0.00 Tol.Angular: 90.00 Máxima Bw: 1000000.00			
Lag	No. Pares	Distância	Semivariograma
1	12	150.824	220.58333
2	172	385.877	141.13953
3	302	722.053	164.96689
4	354	1068.300	181.62994
5	494	1411.856	242.41296
6	526	1742.277	283.48289
7	542	2102.385	347.67712
8	512	2452.552	278.24219
9	566	2797.605	341.33216
10	504	3156.408	281.78770
11	438	3499.060	348.29680
12	416	3849.724	321.41346

(b)

Figura 3 (a) Semivariograma e (b) Resultados numéricos

O semivariograma apresentado na Figura 3 possui uma variação ou forma não muito adequada quando comparado a um semivariograma ideal. Para melhorar sua forma é necessário alterar os parâmetros de Lag (Figura 4).



(a)

No. Lag:4 Incremento:968.00 Tolerância:484.00

Direção: 0.00 Tol.Angular: 90.00 Máxima Bw: 1000000.00

Lag	No. Pares	Distância	Semivariograma
1	156	346.653	151.69231
2	982	1027.794	195.25153
3	1464	1929.250	292.46311
4	1454	2889.844	318.50481
5	1154	3855.357	350.65511
6	860	4816.537	349.99767

(b)

Figura 4 (a) Semivariograma e (b) Resultados numéricos alterados

O semivariograma experimental (Omnidirecional) possui uma variabilidade muito mais próxima de um modelo ideal.

2.2 Modelagem do semivariograma experimental

A tela de "Relatório de Dados" apresenta um conjunto de informações, tais como: o tipo de modelo teórico escolhido, os valores de *Efeito Pepita*, *Contribuição* e *Alcance* que são parâmetros que compõem o modelo. É expresso também o valor de Akaike, que é um indicador do ajuste realizado; pois quanto menor seu valor melhor o ajuste. Então, os parâmetros *Efeito Pepita*, *Contribuição* e *Alcance* são sempre tomados com relação ao menor valor de Akaike.

2.3 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 (Figura 5).

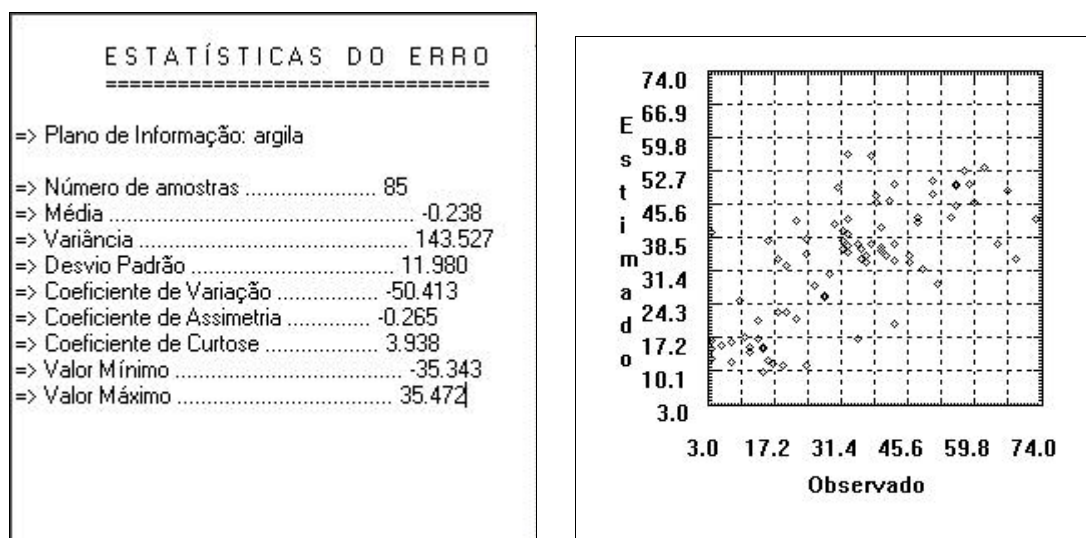


Figura 5. Análise dos erros

2.4 Interpolação por krigagem ordinária

Uma vez realizada a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigagem (Figura 6).

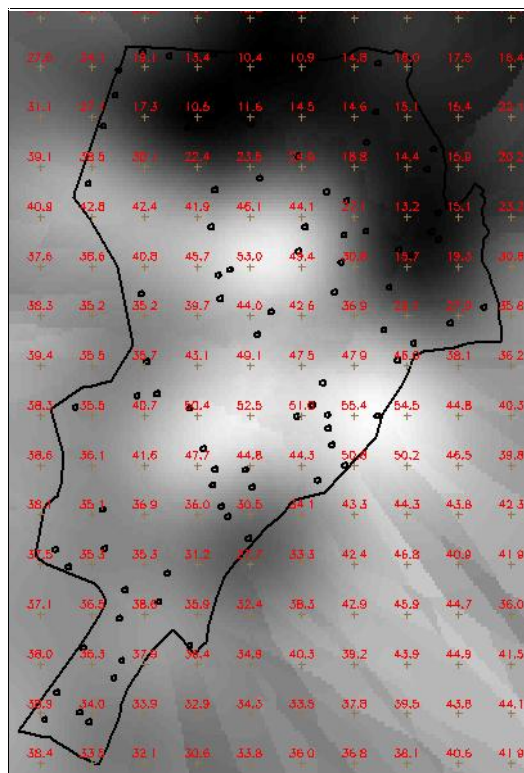


Figura 6. Imagem e grade resultante da krigeagem ordinária

2.5 Visualização da superfície de argila

A análise geoestatística é seguida da análise da variação gerada pelo modelo e posterior fatiamento da grade (Figura 7).

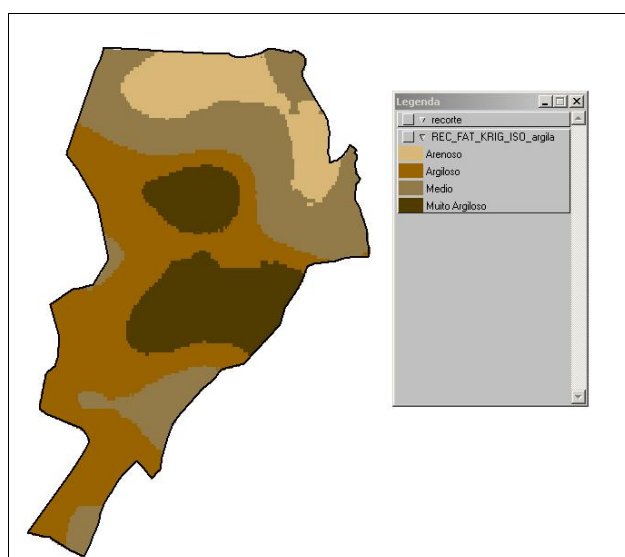


Figura 7. Fatiamento da grade gerada

3 Caso anisotrópico

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,

3.1 Detecção da anisotropia

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*.

A Figura 8 mostra a detecção dos eixos de maior e menor variação dos dados. Os ângulos criados pelos vetores de maior variabilidade e o de menor variabilidade parecem situar-se em torno de 15° e 105° respectivamente.

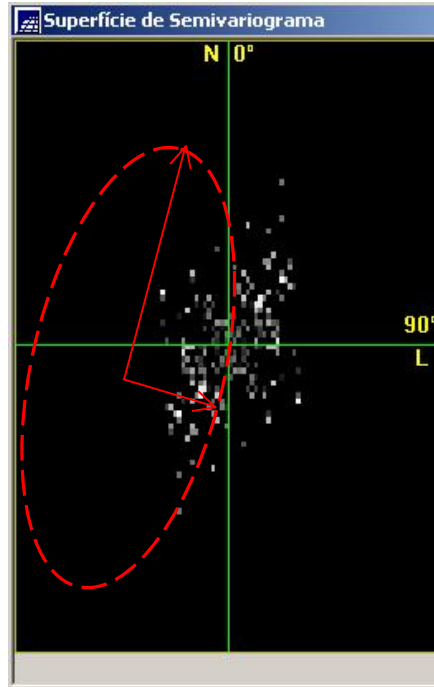


Figura 8. Detecção de anisotropia.

3.2 Geração dos semivariogramas direccionais

A Figura 9 mostra a geração do semivariograma para o caso da detecção da presença de anisotropia.

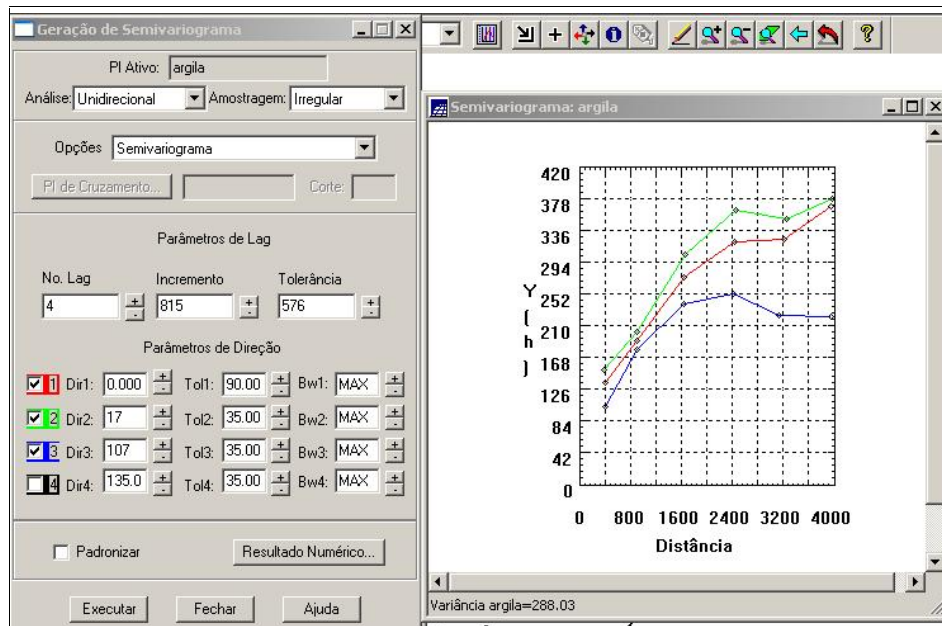


Figura 9. Geração do semivariograma.

3.3 Modelagem dos semivariogramas direcionais

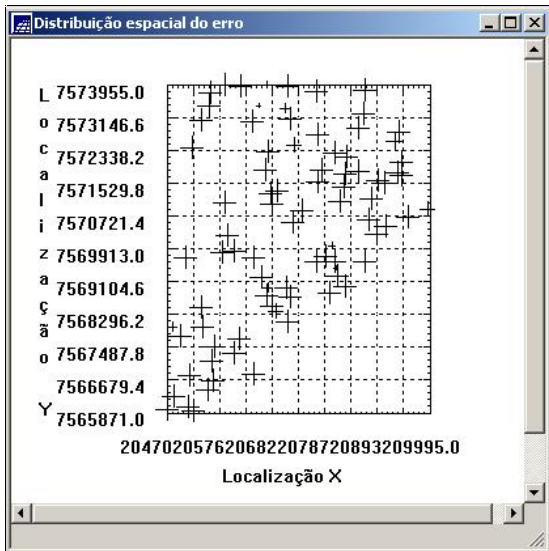
A Figura 10 mostra a modelagem dos semivariogramas direcionais.



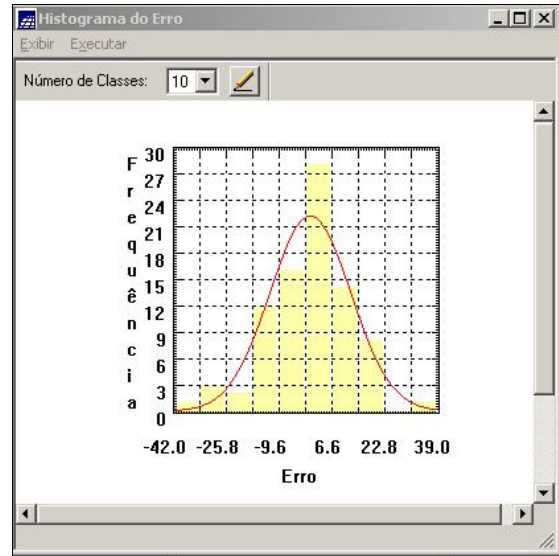
Figura 10. Ajuste dos semivariogramas para os vetores de maior e menor variabilidade espacial.

3.4 Validação do modelo de ajuste

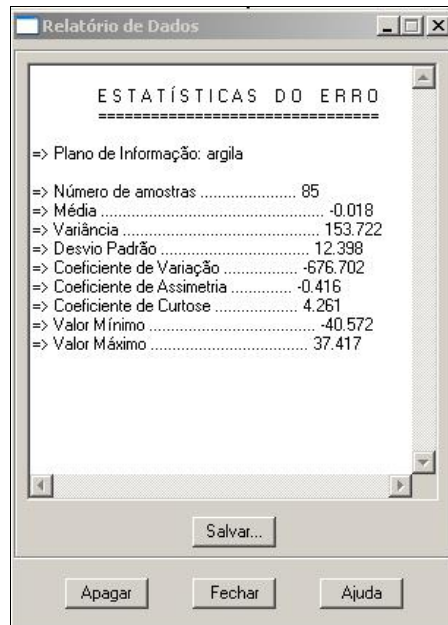
O processo de validação do modelo de ajuste é uma etapa que precede as técnicas de krigeagem. Seu principal objetivo é avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos (Figura 11).



(a)



(b)



(c)

Figura 11. (a) Diagrama espacial do erro (b) Histograma do erro (c) Estatísticas do erro

3.5 Interpolação por krigagem ordinária

Uma vez realizada a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de krigagem. A Figura 12 mostra os resultados da interpolação levando em conta o ângulo de anisotropia e a geração do mapa temático contendo as classes de argila.

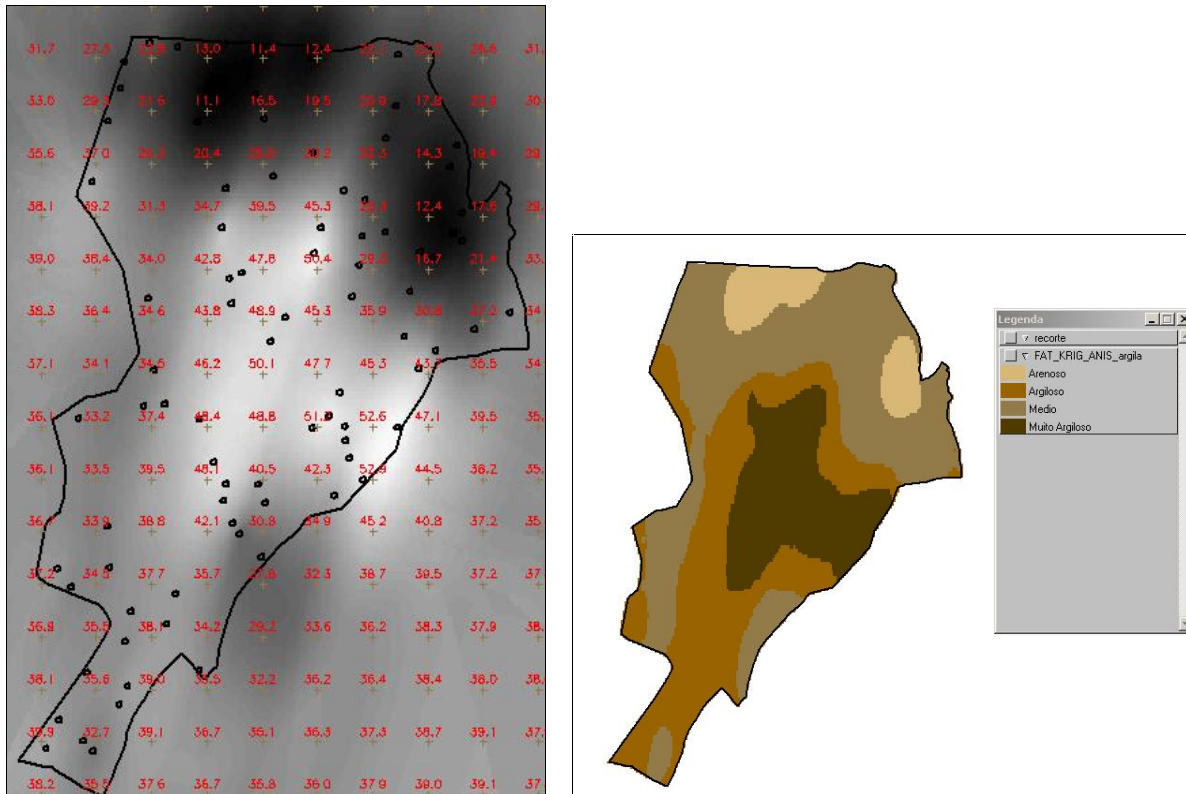


Figura 12. Interpolação considerando os ângulos de anisotropia.

4 Comparação de resultados entre a krigeagem isotrópica e anisotrópica.

A Figura 13 mostra os resultados da interpolação levando em conta o ângulo de anisotropia e a geração do mapa temático contendo as classes de argila.

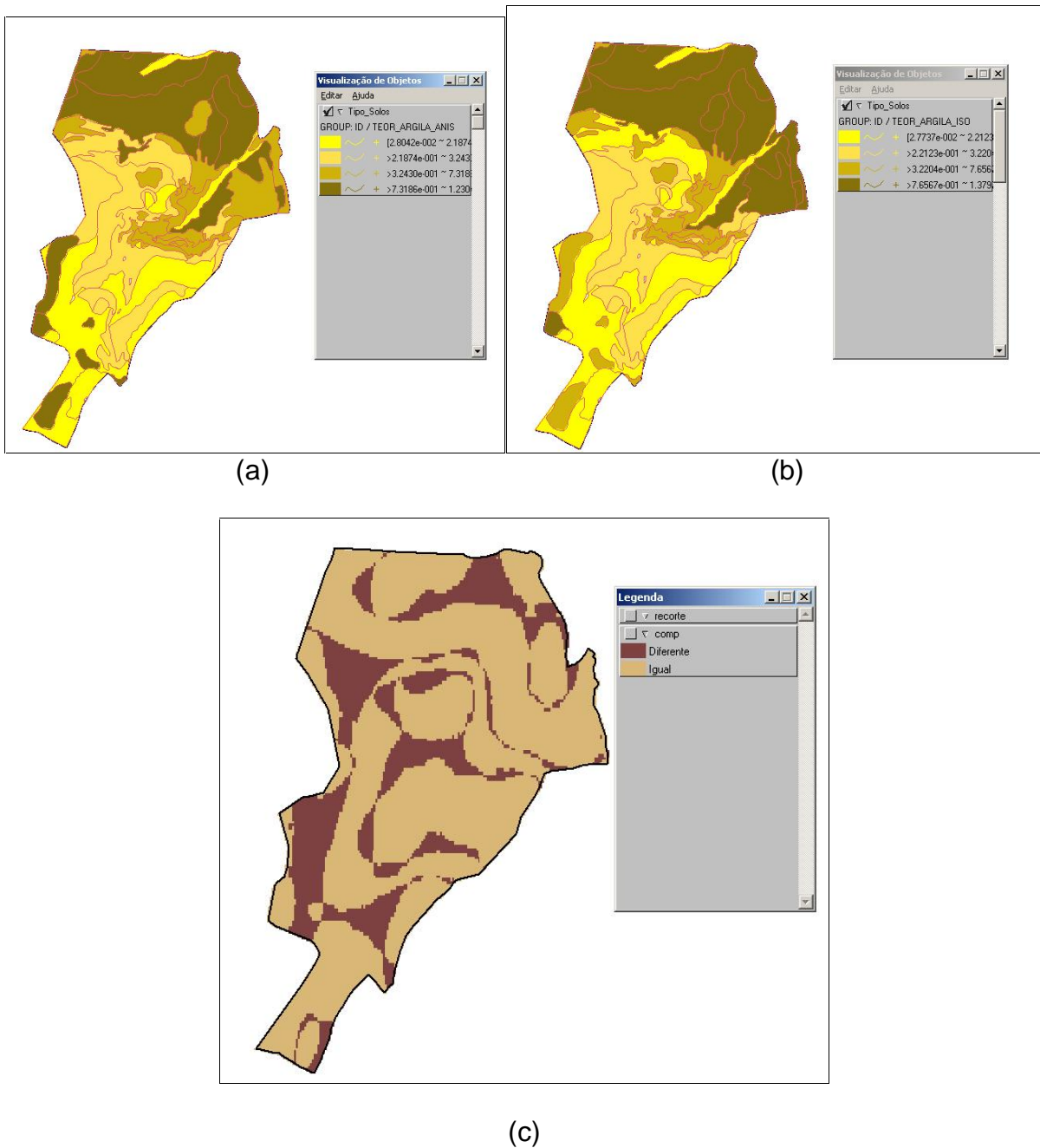


Figura 13. Teores de argila obtidos pela krigeagem a) anisotrópica e b) isotrópica e c) comparação das classificações temáticas