

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação



SER-300 INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO: GEO-ESTATÍSTICA

Rodolfo Georjute Lotte

Relatório do Laboratório 05 apresentado na disciplina de Introdução ao Geoprocessamento (SER-300) para nota parcial no programa de doutorado em Sensoriamento Remoto (SER/INPE)

São José dos Campos-SP <http://urlib.net/>

LISTA DE FIGURAS

•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
					•	•				
agial por comi										

Pág.

2.1	Estatística descritiva de argila.	6
2.2	Gráfico histograma com (a) 10 classes e (b) 20 classes	7
2.3	Gráfico da probabilidade normal	7
2.4	Janela para configuração da análise da variabilidade espacial por semi-	
	variograma; e gráfico de semivariograma experimental sem alteração dos	
	dados de Lag.	8
2.5	Gráfico de semivariograma experimental após a alteração dos dados de	
	Lag	9
2.6	Modelagem do semivariograma experimental	9
2.7	Diagrama espacial do erro	10
2.8	Histograma do erro.	10
2.9	Estatística do erro.	11
2.10	Diagrama de valores observados versus estimados	11
2.11	Grade de krige agem gerada para a argila	12
2.12	Superfície de argila	12
2.13	Recorte da superfície de argila sobre limite	13
2.14	PI temático resultante do fatiamento da grade do teor de argila. \hdots . \hdots	13
2.15	Gráfico da superfície de semivariograma	14
2.16	Semivariogramas direcionais	15
2.17	Modelagem do semivariogramas direcional de 17°	15
2.18	Modelagem do semivariogramas direcional de 107°	16
2.19	Diagrama espacial do erro	17
2.20	Gráfico histograma e estatísticas do erro	17
2.21	Diagrama de valores Observados versus Estimados	18
2.22	Grade de krige agem gerada para a argila no modelo anisotrópico. $\ . \ . \ .$	19
2.23	Grade recortada sobre a superfície de argila	19
2.24	PI temático após o fatiamento do recorte na grade de Krige agem. $\ .\ .$.	20
2.25	Teor médio de argila para cada classe de solo	20
2.26	Detalhe das classes de teor médio de argila entre as superfícies. $\ .\ .\ .$	21

1 INTRODUÇÃO

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 (Krigeagem ou Simulação).

2 DESENVOLVIMENTO

Após a ativação do banco de dados de São Carlos e projeto Canchim as operações podem ser iniciadas. Neste exercício prático, as seguintes etapas serão realizadas:



2.1 Exercício 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.

2.1.1 Executando estatísticas descritivas

Figura 2.1 - Estatística descritiva de argila.

2.1.2 Executando histograma

Além das estatísticas descritivas utiliza-se também para uma melhor caracterização, os recursos gráficos de Histograma:



Figura 2.2 - Gráfico histograma com (a) 10 classes e (b) 20 classes.

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.

2.1.3 Executando o gráfico da probabilidade normal

Além das estatísticas descritivas utiliza-se também para uma melhor caracterização, os recursos gráficos de Histograma:



Figura 2.3 - Gráfico da probabilidade normal.

2.2 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.

2.2.1 Análise da variabilidade espacial por semivariograma

Arquivo Editar Exibir Im	SPRING-4.3.3 (06/05/2008) -[SER300_BD_SaoCarlos][Canchim] -
🏽 🔟 💆 💋	Acto → 1/ 110819 Instive → 🔟 🔟 + 🤯 🗿 🔍 🗾 🛣 🐼 🐼 🛠 🕱 🎗
	📓 Geração de Semivariograma 🗕 🗆 🗙
Painel de C Categorias (V) Amostras_Campo () Casses_Solo () Imagem (V) Limites () Mapa_Geologia () Mapa_Solos	Pl Atvo: grgls Anilles: Undreconal Anilles: Semivariograma: argila Opples: Semivariograma: argila Pl de Cutzamento Conte:
Paros de Informação () altimetra () altimetra () areis_fina () areis_fina () areis_gross (A) argis () caloo Priotidade: 300	Parametros de Lag 312 No. Lag: Incremetro: Incremetro: Telefancia: Incremetro: # 175 000000 Parametros de Dreção # 175 000000 Ont: 100000 Incremetro: # 175 000000 Parametros de Dreção # 175 000000 Ont: 100000 Incremetro: # 105 Incremetro: # 101: Incremetro: # 102: Incremetro: # 104: Incremetro: # 104:
Exabir: 2 Accoplar: 2 Amplian: 1 0 1 Fechar	Pedronizer Resultado Numérico Variância argila=288.03 // Executar Fechar Ajuda
	Pl: argita

Figura 2.4 - Janela para configuração da análise da variabilidade espacial por semivariograma; e gráfico de semivariograma experimental sem alteração dos dados de Lag.

2.2.2 Modelagem do semivariograma experimental



Figura 2.5 - Gráfico de semivariograma experimental após a alteração dos dados de Lag.



Figura 2.6 - Modelagem do semivariograma experimental.

2.2.3 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 2.7 - Diagrama espacial do erro.



Figura 2.8 - Histograma do erro.

2.2.4 Interpolação por Krigeagem ordinária

Uma vez realizada a validação do modelo, a etapa final do processo geoestatístico consiste na interpolação de *krigeagem*. Na Figura 2.26 é exibida a grade de krigeagem gerada para a argila.



Figura 2.9 - Estatística do erro.

Figura 2.10 - Diagrama de valores observados versus estimados.

2.2.5 Visualização da superfície de argila

<u>.</u>	SPRING-4	3.3 (06/05/2008) -[SER300_BD_SaoCarlos][Canchim]	- • ×
Arquivo Editar Exibir Imagem Temático I	MNT Cadastral Rede Ar	ilise Executar Ferramentas Ajuda	
🎒 🛐 💋 🚺 🛛 Auto 💌 1/ 9	4339 Inativa	🔄 🔟 🗉 🕂 🏘 🔍 🔍 🗶 🕱 🖉 🗢 🛸	8
	+ +	+ + + + + + +	
	29.0 30.0 21	7 22,8 15,2 11,7 14,4 19,0 19,5 18,9	
📓 Painel de C 🗕 🗆 🛛 🛛		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	
Categorias	30.8 29.2 2 + +	15.8 10.5 10.8 15.1 16.7 17.4 16.8	
(V) Limites	34.5 34.6 24	1 16.9 12.6 14.4 16.3 15.9 14.8 21.8	
() Mapa_Geologia () Mapa_Solos	* * /	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + +	
() Mapa_drenagem	30.7 42.7 4	2 33.8 28.8 32.9 25.8 15.2 33.8 20.6	
(V) Superficie	40.7 47.0		
Planos de Informação V	40.5 42.0 X	2 42.0 40.7 40.0 50.8 14.8 14.8 24.2	
() KRIG_ANI_argia	37.1 37.1 3	38.2 46.6 44.3 37.8 22.2 22.5 31.5	
(G) KRIG_ISO_argila			
() KRIG_ISO_argila_KV	41.3 39.1 3	6) 35.6 42.8 45.3 42.4 40.1 <u>36.5</u> 3 8.3	
	41.4 37.0	3 42.7 50.3 50.4 53.4 53.6 46.9 41.2	
Prioridade: 300 CR	+ +	* * * * * * * *	
Amostras 🔽 Isolinhas	30.6 37.3 3	2 45,3 49,7 47,8 50,1 53,2 49,3 41,7	
🔽 Grade 🗖 Texto		. me we we de an an an	
TIN Imagem	°°, °°, °°, °°, °°, °°, °°, °°, °°, °°,	1 34.4 35.6 32.5 40.6 45.8 40.1 42.1	
Selecionar Consultar	39.0 7.1 3	5 34.0 29.0 27.4 36.7 44.0 40.7 41.8	
Ativar • 1 0 2 0 3 0 4 0 5			
	39.2 37.7 3	9 37.9 32.8 32.5 38.7 44.5 45.1 33.8	
	40.5 38.2 3	2 07.4 36.2 33.6 40.6 45.5 45.2 40.8	
Ampliar: 01 C2 C4 C8	+ +	/+ + + + + + + +	
Fechar Ajuda	41.4 \$7.9 3	7 33,8 32,2 36,6 37,1 42,6 45,2 45,2	_
	~	1	<u> </u>
			PI: KRIG_ISO_argila

Figura 2.11 - Grade de krigeagem gerada para a argila.

<u>.</u>	SPRING-4.3.3 (06/05/2008) -[SER300_BD_SaoCarlos][Canchim] –
Arquivo Editar Exibir Imagem Temático MNT Cadastra	al <u>R</u> ede A <u>n</u> álise Exec <u>u</u> tar <u>F</u> erramentas Aju <u>d</u> a
📓 🔟 💋 🗾 🚺 Auto 💌 1/ 99009	Indiva 💌 🔟 + 🏘 🔍 🗶 🕱 🕿 🖉 🖘 🧣
📓 Painel de C 🗕 🗆 🛛 🛛	39.2 29.8 28.2 22.2 14.1 14 14. 19.2 19.4 19.5
Categorias	Te a manufacture of the second s
(V) Limites	31.1 29.8 23.7 14.7 9.6 13.0 16.4 17.0 16.4
() Mapa_Solos () Mapa_drenagem	368 37.0 77 20.0 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
() Mapa_vias (V) Superficie	38.0 44.0 (92.8 39.5 36.6 30.3 12.0 20.5
Planos de Informação	
() IMA_KHIG_ANIS_argila () IMA_KRIG_ISO_argila () REC_IMA_KRIG_ANIS_argila	
() REC_IMA_KRIG_ISO_argia	40.7 37.0 34.2 36.2 42.0 43.8 39.1 30.9 28.0 6 55.3
(M) IM_KRIG_argila	41.7 37.6 33.9 49.0 47.4 50.1 50.7 4996 43.4 40.3
Phondade: 0 CR	38:6 37 37.4 46.0 53.0 51.59 \$2.7 \$5.2 48.0 40.0
M Texto	
	389 374 360 40.5 399 37.5 0176 47.6 488 40.6
Selecionar Consultar	30.0 30.1 35.3 34.0 29.5 27.5 37.3 45.9 36.6 41.8
Controle de Telas	
Abrance 102030405	39.0 37.6 39.8° 37.3 3/9 31.9 38.0 45.3 45.2 33.6
	40.4 38.2 38.4 7.6 35.5 33.2 40.4 45.4 45.2 40.9
Ampliar @ 1 C 2 C 4 C 8	+ + + + + + + +
Ajuda	414 \$ 0 0337 33.8 32.2 38.6 37.1 42.6 45.2 45.2
	42.3 37.2 33.0 32.0 29.7 33.3 34.8 37.2 39.9 42.8
	PI: IM_KRIG_argila

Figura 2.12 - Superfície de argila.

2.2.5.1 Executar Fatiamento e recorte da grade do teor de argila

	SPRING-4.3.3	(06/05/2008) -[SER300_BD_SaoCarlos][Canchim]	- 🗆 ×				
Arquivo Editar Exibir Imagem Temático MNT Cadastral Rede Análise Executar Ferramentas Ajuga							
🗱 🔯 🧟 🖉 🚺 Auto 💌 1/ 99009	Inativa 💌	💹 🗵 + 🏘 0 🗣 🗾 🕾 🖉 🦛 🗏	8				
	+ + +	+ + + + + + +					
🗾 Painel de C – 🗆 🛛	30.2 28.8 28.2	22.2 14.8 11.4 14.2 18.2 18.4 16.9					
Categorias		6 0 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
(V) Imagem	31.1 29.8 23.2	14.7 14.7 14.0 14.0 14.4 17.0 16.4					
(V) Limites () Mapa_Geologia () Mapa_Solos	36.8 37.0 07	200 151 158 151 146 155 215					
() Mapa_drenagem () Mapa_vias •	39.9 44.0 442.8	39.0 35.6 39.6 30.3 15.4 4.9 20.5					
Planos de Informação () IMA_KRIG_ANIS_argila () IMA_KRIG_ISO_argila	38.7 40.9 414	42.7 48.9 52.2 37.3 190 10.6 28.5					
() REC_IMA_KRIG_ANIS_argila () IM_KRIG_argila	40.7 37.0 34.2	36.2 420 43.8 36.1 30.9 28.0 55.3					
(M) REC_IMA_KRIG_ISO_argila	41.7 37.8 33.8	459.0 47.4 50.1 50.7 4990 43.4 40.3					
Prioridade: 0 CR Z	39.6 37 ° 37.4	440 530 515 327 352 480 409					
	30.0 37.4 36.0	40.5 \$ 37.5 0126 47.6 48.8 40.8					
Selecionar Consultar	39.0 37.1 35.3	34.0 29.5 9 27.5 37.3 45.9 36.6 41.8					
Ativar: © 1 C 2 C 3 C 4 C 5	39.0 37.6 39.8	32.3 34.9 34.9 34.0 45.3 45.2 33.6					
	40.4 30.2 0 30.4	A 355 332 404 454 452 409					
Amples 6 1 C 2 C 4 C 8	+ + +						
Fechar Ajuda	41.4	33.8 32.2 38.6 37.1 42.6 45.2 45.2					
	40.3 37.2 30.0	32.0 29.7 33.3 34.5 37.2 39.9 42.8					
			PI: REC_IMA_KRIG_ISO_argila				

Figura 2.13 - Recorte da superfície de argila sobre limite.



Figura 2.14 - PI temático resultante do fatiamento da grade do teor de argila.

2.3 Caso Anisotrópico

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

2.3.1 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 2.15 mostra o gráfico de superfície de semivariograma, demonstrando que a presença da anisotropia é evidente, em que é possível identificar as direções da anisotropia.



Figura 2.15 - Gráfico da superfície de semivariograma.

2.3.2 Geração dos semivariogramas direcionais

O Figura 2.21 o acima ilustra três semivariogramas: um relativo à direção de maior continuidade (17°) , outro à direção de menor continuidade (107°) e o semivariograma omnidirecional.



Figura 2.16 - Semivariogramas direcionais.

2.3.3 Modelagem dos semivariogramas direcionais



Figura 2.17 - Modelagem do semivariogramas direcional de $17^\circ.$



Figura 2.18 - Modelagem do semivariogramas direcional de $107^\circ.$

2.3.4 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.

2.3.5 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 2.19 - Diagrama espacial do erro.

Figura 2.20 - Gráfico histograma e estatísticas do erro.

2.3.6 Interpolação por Kregeagem ordinária

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

2.3.7 Visualização da superfície de argila oriunda do modelo anisotrópico



Figura 2.21 - Diagrama de valores Observados versus Estimados.

2.3.7.1 Executar recorte na imagem oriunda do modelo anisotrópico



Figura 2.22 - Grade de krigeagem gerada para a argila no modelo anisotrópico.

	SPRING-4.3.3 (06/05/2008) -[SER300_BD_SaoCarlos][Canchim]	- 🗆 🗙
Arquivo Editar Exibir Imagem Temático MNT Cadastra	ral <u>R</u> ede A <u>n</u> álise Exec <u>u</u> tar <u>F</u> erramentas Aju <u>d</u> a	
💓 🖬 🗲 🖉 🚮 Auto 💌 1/ 99009	hativa 🔽 🔟 🛨 🕂 🚱 🗣, 🗾 🕱 🛠 🛠 🛠 😵	
	+ + + + + + + + + +	
🗾 Painel de C 🗕 🗆 🛛 🛛	32,6 39,2 28,1 23,8 15,5 15,5 29,7 25,4 28,5 32,3	
Categorias		
() Classes_Solo	310 320 241 173 101 132 240 139 241 300	
() Fatamento_vrgila (V) Imagem	37.5 35.0 18 20.8 17.3 72.3 75.6 16.7 18.3 28.5	
(V) Limites		
() Mapa_Geologia () Mapa_Solos	34.1 38.0 37.2 26.2 38.7 39.0 11.3 14.3 6.3 29.8	
Planos de Informação		
() IMA_KRIG_ANIS_arglia () IMA_KRIG_ISO_arglia		
() IM_KRIG_argita () REC_IMA_KRIG_ISO_argita	36.3 38.3 35.8 36.4 46.8 46.2 38.7 33.6 26.3 94.8	
() IM_KRIG_ANI_argla	36.6 37.3 32.5 39.5 50.2 48.2 47.2 485 37.1 34.7	
	37.4 38. 33.1 41.3 49.4 45.7 80.5 J48.5 40.1 35.1	
	38.0 38.7 34.2 41.6 41.8 38.0 44.8 43.8 37.7 38.0	
Selecionar Consultar	36.3 37.8 34.5 39.0 20.9 29.3 39.4 39.8 37.9 36.0	
Controle de Telas	· · ·	
	364 364 367 383 328 263 359 341 379 361	
	37.0 37.8 35.8 38.8 34.3 34.1 35.9 38.2 38.0 38.0	
Amplian C1 C2 C4 C8		
Fechar Ajuda	36.2 66.7 $\bullet,35.4$ 36.0 36.4 36.9 36.5 36.6 39.1 37.8	
	39.4 37.4 36.9 36.9 35.1 36.4 37.5 36.9 39.1 37.8	
	PI: REC_IMA_KRIG_ANIS_argila	

Figura 2.23 - Grade recortada sobre a superfície de argila.

2.3.7.2 Executar Fatiamento e recorte na grade de Krigeagem oriunda do modelo anisotrópico.



Figura 2.24 - PI temático após o fatiamento do recorte na grade de Krigeagem.

2.4 Análise dos resultados

A partir das superfícies isotrópicas e anisotrópicas, é calculado o teor médio de argila para cada classe do solo:



Figura 2.25 - Teor médio de argila para cada classe de solo.



Figura 2.26 - Detalhe das classes de teor médio de argila entre as superfícies.