



VARIABILIDADE ESPACIAL EM MICRO-ESCALA DE DENSIDADE DE SOLO

João Herbert M. Viana¹, Eder Rafael Pereira Fernandes², Flávio Augusto Rodrigues Correa³

PALAVRAS-CHAVE: FÍSICA DE SOLO, ÁGUA NO SOLO, GEOESTATÍSTICA

SUMMARY

The spatial variability of the soil porosity and its relation to water availability were evaluated in an experimental area in the Embrapa Milho e Sorgo experiment station. The mapping of the soil density was performed by soil core sampling and the water availability was estimated by the obtainment of the retention curves of soil bulk samples and the estimation of a regression curve for available water as a function of soil density. The results indicate high heterogeneity of the available water, which may affect the analyses of the experiments for water stress response conducted in that area.

INTRODUÇÃO

Os solos apresentam naturalmente variação espacial de seus atributos, sendo função da variação dos processos naturais de formação dos solos (Webster, 2000). A atividade humana também introduz variabilidade (Nkedi-Kizza et al., 1994; Couto et al., 1997), sendo os atributos do solo alterados em função de manejos anteriores, com variações decorrentes de tratamentos diferenciais, que podem ocorrer nas áreas localizadas em estações experimentais. São descritas variações até a escala métrica (Solie et al., 2001), devendo-se ter em conta que estas microvariações podem ocasionar problemas na análise e interpretação dos resultados de um sítio experimental. Ainda não se dispõe desse conhecimento detalhado e de sua quantificação, no entanto, sendo esta informação indispensável para a correta avaliação dos fatores que afetam os resultados de áreas experimentais. No Brasil, os trabalhos dessa natureza ainda são pontuais. Trabalhos, como os de Silva et al. (2003), estudaram a variabilidade espacial de alguns atributos de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico, encontrando de moderada a forte dependência espacial. Já Vieira e Gonzalez (2003) avaliaram a variabilidade espacial de atributos químicos de uma Latossolo Vermelho Amarelo e de

¹ Pesquisador D.Sc., Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – MG jherbert@cnpmc.embrapa.br

² Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri

³ Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Itajubá

um Latossolo Vermelho, verificando a existência de dependência espacial e variação com o tempo da relação entre os fatores que afetam a produtividade. A densidade de solo tem importantes implicações agronômicas, afetando de várias formas o desenvolvimento das plantas. Dentre outros fatores, a densidade do solo pode afetar a disponibilidade hídrica, em função das alterações da porosidade total e das proporções relativas de macro e microporos. Dessa forma, o conhecimento detalhado dessa variável é importante para se controlar a disponibilidade hídrica, especialmente em áreas experimentais.

Nesse trabalho, foi estudada a variabilidade espacial de densidade em uma área experimental utilizada em um experimento de fenotipagem para tolerância a stress hídrico de genótipos de milho, em Sete Lagoas – MG, para se estimar sua influência na disponibilidade hídrica para a cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas em uma área experimental de 1.312 m², na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas - MG. Nessa área estão implantados experimentos de fenotipagem para resistência à seca de genótipos de milho. O solo na área é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argiloso (Panoso et al., 2002). Foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos de 100 cm³ nas parcelas e nas bordaduras da área em três profundidades, 0 a 5 cm, 10 a 15 cm e 25 a 30 cm, totalizando 288 amostras. As posições de coleta das amostras foram medidas com trena e as coordenadas da área georreferenciadas.

A densidade foi determinada pelo peso das amostras secas em estufa a 105°C dividido pelo volume dos anéis, conforme Embrapa (1997). As curvas de retenção foram determinadas a partir de três amostras indeformadas para cada profundidade, sendo determinados os pontos de 2, 4, 6, 8, 10 kPa em mesa de tensão (Eijkelkamp Agrisearch Equipment BV) e 30, 50, 70, 100, 500 e 1.500 kPa em extrator de placa porosa (modelos 1500 e 1600, Soilmoisture Equipment Corp.). A água disponível foi estimada a partir da curva de retenção, usando-se os valores de 30 e 1.500 kPa como limites. Usando-se os valores de densidade e água disponível para as nove amostras, foi calculada uma equação de regressão e estimada a água disponível para as demais amostras, sendo gerados os mapas de distribuição espacial da água disponível potencial.

A análise geoestatística foi feita pelo programa Geovisual (Yamamoto, 2002), sendo calculados os semivariogramas e produzidos os mapas de distribuição espacial da densidade de solo. A análise estatística dos dados de densidade e de água disponível foi

feita por meio de testes de médias entre os valores medidos, usando-se o programa Sisvar 4.3 (Built 43) (Ferreira, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das medidas de densidade do solo indicam que houve diferença estatística significativa a 1% de probabilidade pelo teste T entre as três profundidades, sendo que as maiores densidades foram medidas na profundidade de 10 a 15 cm, com médias de 1,031, 1,146 e 1,089 para as três profundidades, respectivamente (Tabelas 1, 2 e 3). Isso representa aproximadamente 7% de redução da porosidade em relação à camada superior, sendo a densidade de partícula (média de três repetições) desse solo de 2,598, 2,685 e 2,295 para as três profundidades, respectivamente.

Na área foi detectada forte heterogeneidade em relação à distribuição espacial da densidade, com faixas de densidade bem mais altas em relação ao conjunto, especialmente na profundidade de 10 a 15 cm (Figuras 1, 3 e 5). As análises geoestatísticas indicaram que não foi detectada uma dependência espacial do tipo normal, inferida pela ausência de uma curva ascendente seguida de patamar estável nos semivariogramas (figuras 2, 4 e 6). No entanto, uma dependência espacial do tipo pseudo-periodicidade pode ser observado, com pseudo-ciclo de aproximadamente 5 metros, correspondentes a uma alternância de valores altos e baixos no semivariograma, em função da distância entre pares. Esse resultado sugere que a variabilidade espacial na porosidade está possivelmente relacionada ao manejo anterior da área ou à influência de antigos experimentos montados no local, uma vez que esse padrão não é aparente nas medidas e não tem relação com as dimensões das parcelas do experimento atual ou com o seu manejo.

As curvas características indicam que as amostras de 0 a 5 cm e 25 a 30 cm têm comportamento semelhante, e se distinguem da curva de 10 a 15 cm, o que está associado à redução do espaço poroso, especialmente dos macroporos nessa camada (Figura 7). No entanto, não foi detectada diferença estatística significativa para a água disponível entre as camadas (Tabelas 4, 5 e 6). Os efeitos da redução de porosidade nesse caso podem ter afetado as faixas de tensão de maneira uniforme, o que é sugerido pela posição da curva, deslocada para a direita em relação às outras camadas.

A água disponível em volume para as demais amostras (AD_v) foi estimada por meio de uma equação de regressão não linear dos valores de água disponível obtidos das nove amostras indeformadas. Foi utilizado o modelo empírico de função sinusoidal abaixo, com um coeficiente de correlação de 0,7764,

$$AD_V = a + b \times \cos(c \times D_S + d)$$

em que:

a, *b*, *c* e *d* são constantes,

D_S é a densidade de solo.

Com base nos valores estimados por essa equação, foram traçados os mapas de variabilidade espacial de água disponível (Figuras 8, 9 e 10), que indicam forte anisotropia na distribuição dessa variável. Isso traz implicações práticas importantes, pois pode ser um fator de variação não ponderado na análise de experimentos de sensibilidade à deficiência hídrica conduzidos na área, especialmente no caso das parcelas submetidas ao stress.

CONCLUSÕES

A área em estudo apresenta diferenças expressivas na disponibilidade hídrica, baseada na estimativa da água disponível, em função da alta variabilidade espacial da porosidade de solo. Essas diferenças podem ter efeito em experimentos conduzidos na área, onde os efeitos de stress sejam objeto de estudo, necessitando, portanto, observação e avaliação cuidadosas na condução destes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COUTO, E. G.; STEIN, A.; KLAMT, E. **Large area spatial variability of soil chemical properties in Central Brazil. *Agricultural Ecosystems & Environment*, 66: 139-152. 1996.**
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2ª edição. Rio de Janeiro, EMBRAPA CNPS. 1997. 212 p.
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In...45a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p.255-258.
- LEMONS, R. C. e SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. SBCS e Embrapa CNPS, Viçosa. 2002. 83 p.
- NKEDI-KIZZA, P.; GASTON, L. A.; SELIM, H. M. **Extrinsic spatial variability of selected macronutrients in a sandy soil. *Geoderma*, 63: 95-106. 1994.**
- PANOSO, L.A.; RAMOS, D. P.; BRANDÃO M. **Solos do Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo: suas características e classificação no novo**

- sistema brasileiro. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 5. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 2002. 92 p.
- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1013-1020. 2003.
- SOLIE, J. B.; RAUN, W. R.; STONE, M. L. Submeter spatial variability of selected soil and Bermuda grass production variables. *Soil Sci. Soc. America J.*, 63: 1724-1733. 2001.
- VIEIRA, S. R.; GONZALEZ, A. P. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia*, 62:127-138. 2003.
- WEBSTER, R. Is soil variation random? *Geoderma*, 97: 149-163. 2000.
- YAMAMOTO, J. K. Guia do usuário. Sistema Geovisual 2.0. 2002. 69 p.

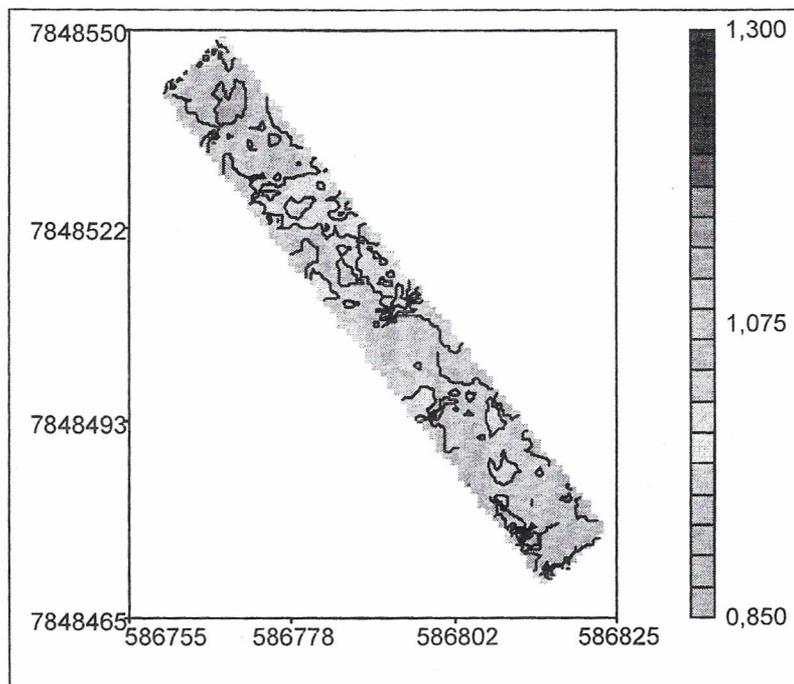


Figura 1 – Densidade de solo na profundidade de zero a 5 cm. Coordenadas em UTM (23 K, datum SAD 69).

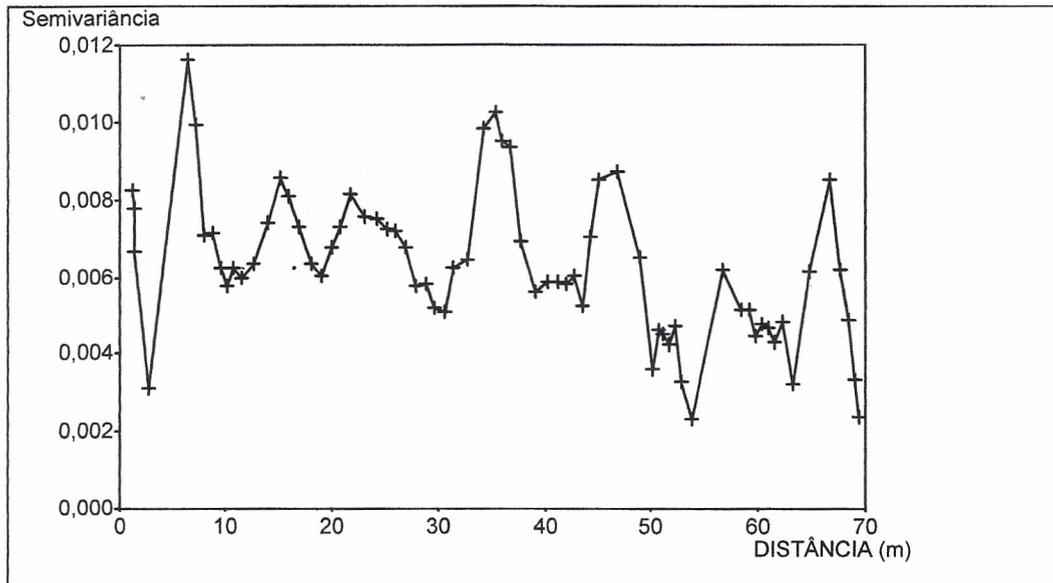


Figura 2 – Semivariograma da densidade de solo na profundidade de zero a 5 cm, na direção de 135° de azimute.

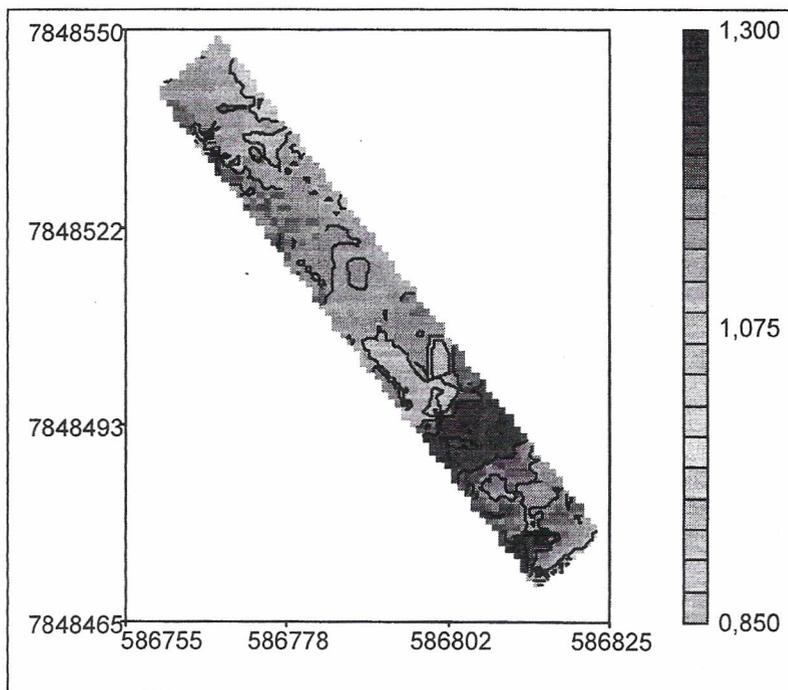


Figura 3 – Densidade de solo na profundidade de 10 a 15 cm. Coordenadas em UTM (23 K, datum SAD 69).

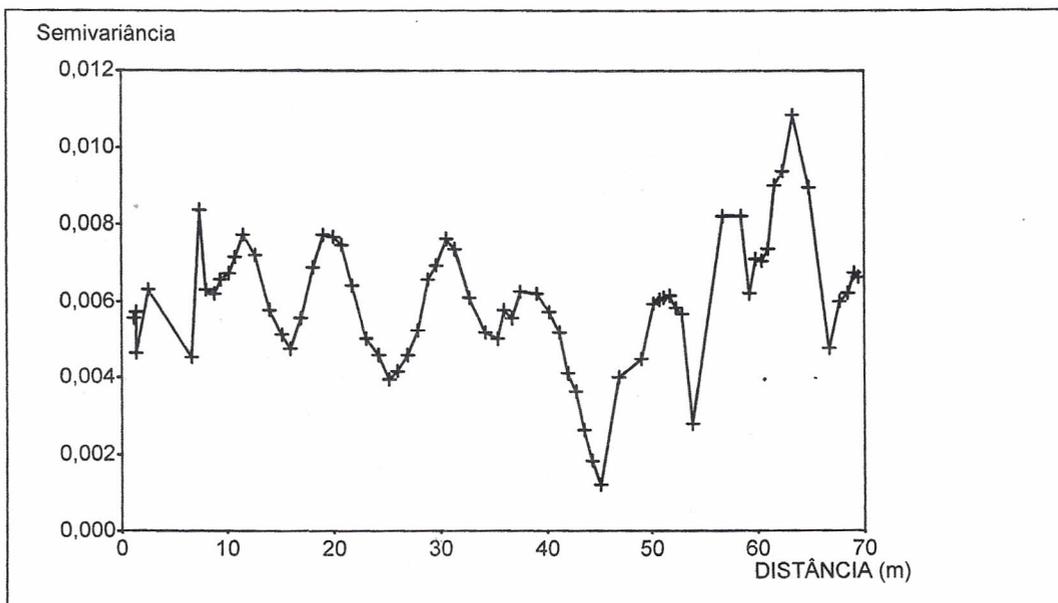


Figura 4 – Semivariograma da densidade de solo na profundidade de 10 a 15 cm, na direção de 135° de azimute.

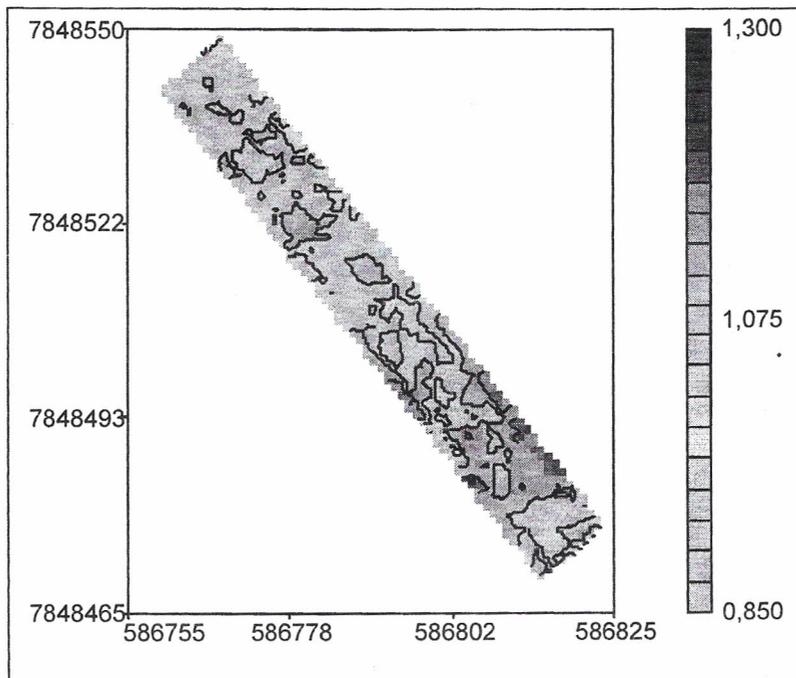


Figura 5 – Densidade de solo na profundidade de 25 a 30 cm. Coordenadas em UTM (23 K, datum SAD 69).

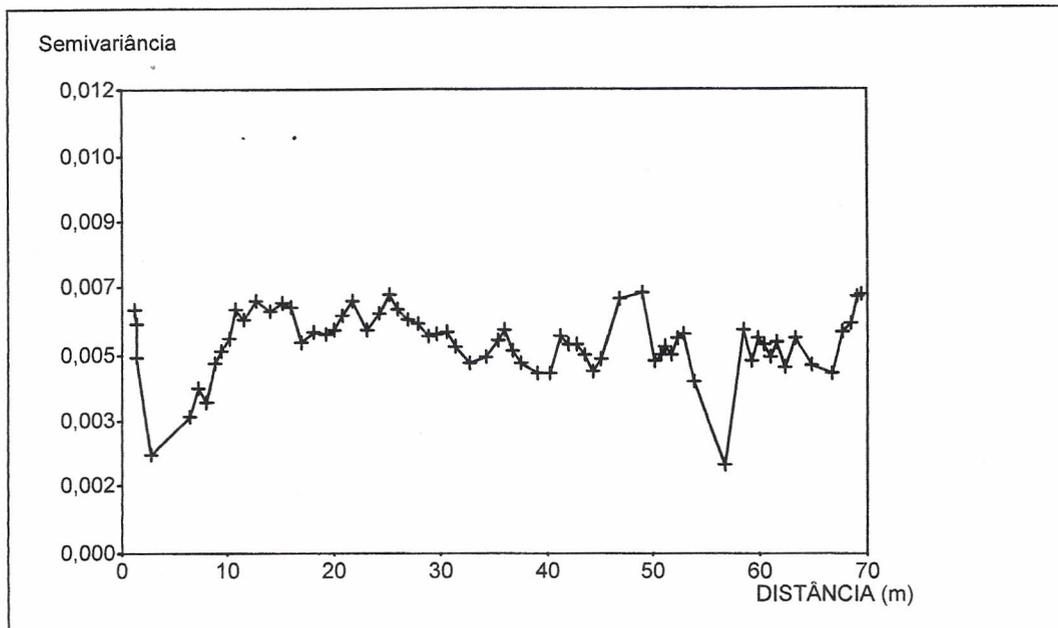


Figura 6 – Semivariograma da densidade de solo na profundidade de 25 a 30 cm, na direção de 135° de azimute.

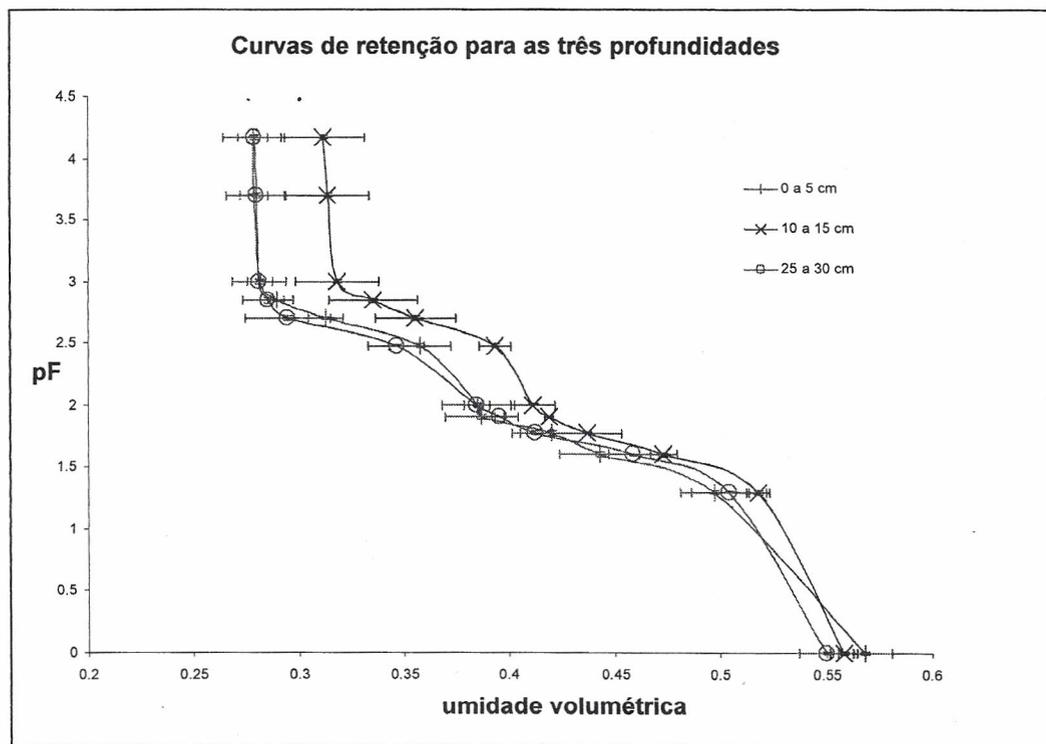


Figura 7 – Curvas de retenção para as três profundidades. Os valores de umidade estão em base volumétrica e a tensão em “ $-\log(\text{kPa})$ ”, e as barras horizontais representam um desvio padrão.

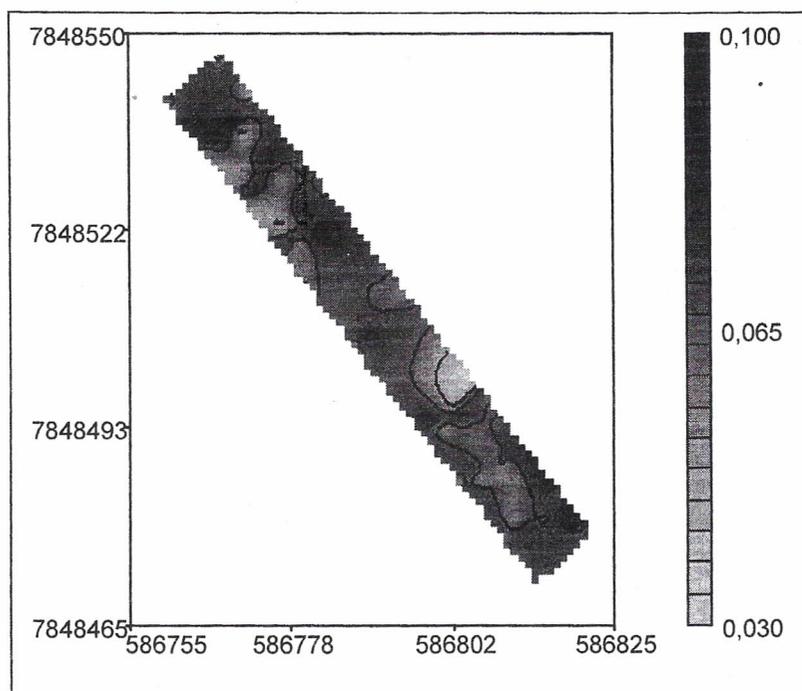


Figura 8 – Distribuição espacial da água disponível em base volumétrica na profundidade de zero a 5 cm.

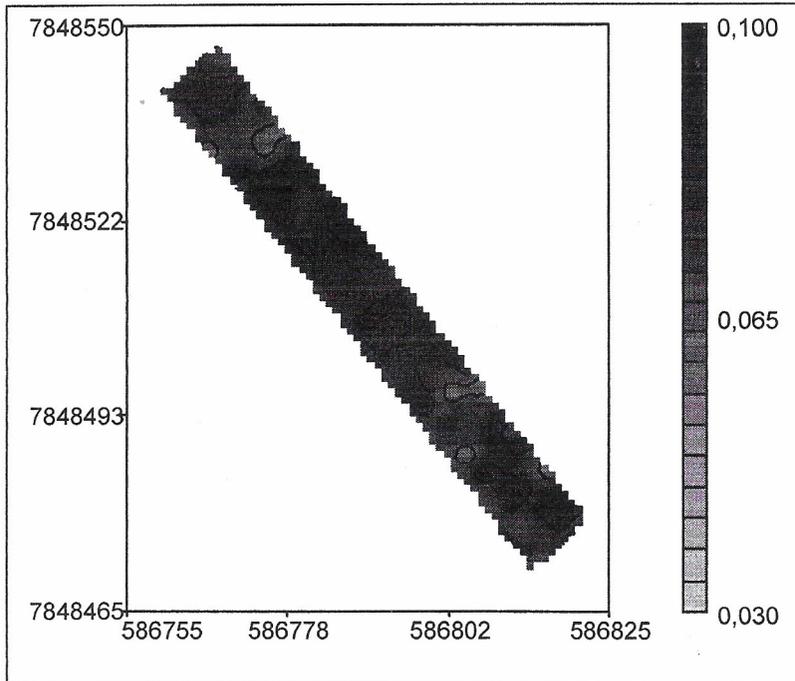


Figura 9 – Distribuição espacial da água disponível em base volumétrica na profundidade de 10 a 15 cm.

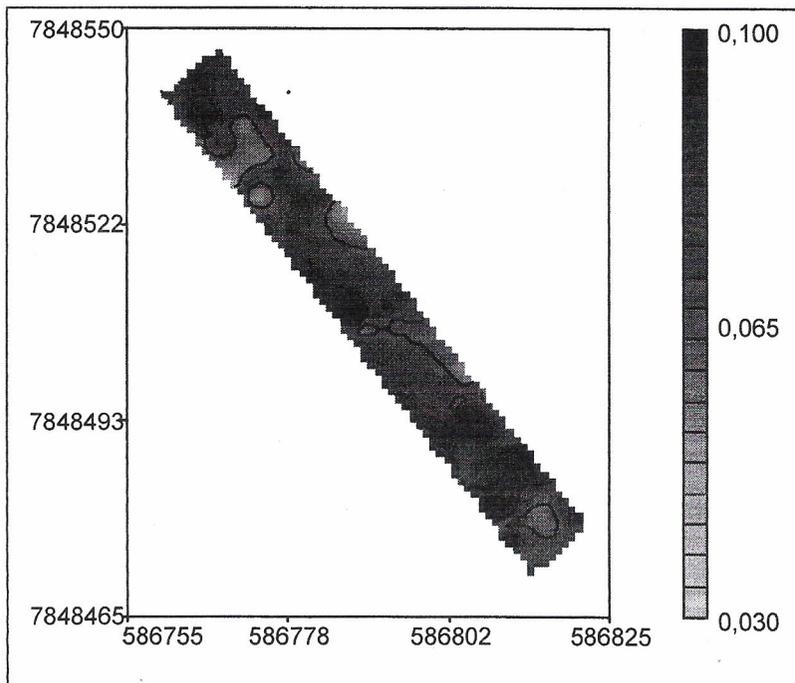


Figura 10 – Distribuição espacial da água disponível em base volumétrica na profundidade de 25 a 30 cm.

Tabela 1

Teste de Hipóteses sobre diferenças de médias de densidade de solo entre 5 e 15 cm			
Estatísticas amostrais			
Pop.	Média	Variância	Tamanho da amostra
5 cm	1.031294	0.007560	96
15 cm	1.146076	0.007754	96
Teste da hipótese de igualdade das variâncias populacionais (1 e 2)			
Fc=	1.026	V1= 95	V2= 95
P(F* >	1.026)=	0.4510	
Ao nível de 5% de significância as variâncias podem ser consideradas iguais			
Situação em que as variâncias são consideradas homogêneas			
Estimativa por ponto de m1-m2:		-0.11478	
Variância combinada (pooled):		0.007657	
Graus de liberdade:		190	
Nível de significância:		1.00000%	
Teste da hipótese: Ho: m1-m2 =		0.000000	
t calculado: tc =		-9.087932	
Probabilidade: P(t> tc =		0.000000	
Rejeita-se Ho ao nível de 1.00% de probabilidade			

Tabela 2

Teste de Hipóteses sobre diferenças de médias de densidade de solo entre 5 e 30 cm			
Estatísticas amostrais			
Pop.	Média	Variância	Tamanho da amostra
5 cm	1.031294	0.007560	96
30 cm	1.088570	0.006678	96
Teste da hipótese de igualdade das variâncias populacionais (1 e 2)			
Fc=	1.132	V1= 95	V2= 95
P(F* >	1.132)=	0.2733	
Ao nível de 5% de significância as variâncias podem ser consideradas iguais			
Situação em que as variâncias são consideradas homogêneas			
Estimativa por ponto de m1-m2:		-0.05728	
Variância combinada (pooled):		0.007119	
Graus de liberdade:		190	
Nível de significância:		1.00000%	
Teste da hipótese: Ho: m1-m2 =		0.000000	
t calculado: tc =		-4.703096	
Probabilidade: P(t> tc =		0.000005	
Rejeita-se Ho ao nível de 1.00% de probabilidade			

Tabela 3

Teste de Hipóteses sobre diferenças de médias de densidade de solo entre 15 e 30 cm			
Estatísticas amostrais			
Pop.	Média	Variância	Tamanho da amostra
15 cm	1.146076	0.007754	96
30 cm	1.088570	0.006678	96
Teste da hipótese de igualdade das variâncias populacionais (1 e 2)			
Fc=	1.161	V1= 95	V2= 95
P(F* >	1.161)=	0.2340	
Ao nível de 5% de significância as variâncias podem ser consideradas iguais			
Situação em que as variâncias são consideradas homogêneas			
Estimativa por ponto de m1-m2:			0.05751
Variância combinada (pooled):			0.007216
Graus de liberdade:			190
Nível de significância:			1.00000%
Teste da hipótese: Ho: m1-m2 =			0.000000
t calculado: tc =			4.690137
Probabilidade: P(t> tc)=			0.000005
Rejeita-se Ho ao nível de 1.00% de probabilidade			

Tabela 4

Teste de Hipóteses sobre diferenças de médias de água disponível entre 5 e 15 cm			
Hipóteses sobre diferenças de médias			
Estatísticas amostrais			
Pop.	Média	Variância	Tamanho da amostra
1	0.079480	0.000088	3
2	0.081690	0.000145	3
Teste da hipótese de igualdade das variâncias populacionais (1 e 2)			
Fc=	1.653	V1= 2	V2= 2
P(F* >	1.653)=	0.3769	
Ao nível de 5% de significância as variâncias podem ser consideradas iguais			
Situação em que as variâncias são consideradas homogêneas			
Estimativa por ponto de m1-m2:			-0.00221
Variância combinada (pooled):			0.000117
Graus de liberdade:			4
Nível de significância:			1.00000%
Teste da hipótese: Ho: m1-m2 =			0.000000
t calculado: tc =			-0.250640
Probabilidade: P(t> tc)=			0.814441

Não existe evidências para rejeitar H_0 ao nível de 1.00% de probabilidade

Tabela 5

Teste de Hipóteses sobre diferenças de médias de água disponível entre 5 e 30 cm			
Hipóteses sobre diferenças de médias			
Estatísticas amostrais			
Pop.	Média	Variância	Tamanho da amostra
1	0.079480	0.000088	3
2	0.067609	0.000004	3
Teste da hipótese de igualdade das variâncias populacionais (1 e 2)			
$F_c =$	22.965	$V_1 =$	$2 V_2 =$ 2
$P(F^* >$	22.965)	$=$	0.0417
Ao nível de 5% de significância as variâncias podem ser consideradas iguais			
Situação em que as variâncias são consideradas homogêneas			
Estimativa por ponto de $m_1 - m_2$:		0.01187	
Variância combinada (pooled):		0.000046	
Graus de liberdade:		4	
Nível de significância:		1.00000%	
Teste da hipótese: $H_0: m_1 - m_2 =$		0.000000	
t calculado: $t_c =$		2.145790	
Probabilidade: $P(t > t_c) =$		0.098446	
Não existe evidências para rejeitar H_0 ao nível de 1.00% de probabilidade			

Tabela 6

Teste de Hipóteses sobre diferenças de médias de água disponível entre 15 e 30 cm			
Hipóteses sobre diferenças de médias			
Estatísticas amostrais			
Pop.	Média	Variância	Tamanho da amostra
1	0.081690	0.000145	3
2	0.067609	0.000004	3
Teste da hipótese de igualdade das variâncias populacionais (1 e 2)			
Fc=	37.964	V1=	2 V2= 2
P(F* >	37.964)=	0.0257	
Ao nível de 5% de significância as variâncias podem ser consideradas iguais			
Situação em que as variâncias são consideradas homogêneas			
Estimativa por ponto de m1-m2:		0.01408	
Variância combinada (pooled):		0.000075	
Graus de liberdade:		4	
Nível de significância:		1.00000%	
Teste da hipótese: Ho: m1-m2 =		0.000000	
t calculado: tc =		1.996253	
Probabilidade: P(t> tc =		0.116615	
Não existe evidências para rejeitar Ho ao nível de 1.00% de probabilidade			