



DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL

Viviane Santos Silva Terra¹; Guilherme Kruger Bartels²; Luciana Shigihara Lima³; Gilberto Loguercio Collares⁴

RESUMO --- Os solos, mesmo aqueles considerados homogêneos, exibem alguma variabilidade espacial e temporal em seus atributos físicos, químicos e biológicos. A definição dessa variabilidade é muito importante para um eficiente manejo da bacia hidrográfica. Este trabalho objetivou estudar variabilidade espacial da textura do solo em uma bacia hidrográfica rural, situada entre os municípios de Pelotas e Morro Redondo, no RS, por meio da análise geoestatística. A área foi dividida em 03 (três) transectos com distância igual entre si de 1500 m, sendo que, em cada transecto, os pontos estão espaçados a cada 150 m, totalizando 67 pontos. A coleta de amostras de solo foram realizadas no primeiro semestre de 2014, para determinação dos percentuais de areia, argila e silte, nas camadas de 5-15 cm e 15-25 cm, totalizando 31 amostras. Os dados foram analisados por estatística descritiva e geoestatística. Concluiu-se que a variabilidade do solo, medida pelo coeficiente de variação, mostrou-se baixa para a variável Areia (nas duas camadas) e moderada para Argila e Silte (em ambas as camadas). A maioria das variáveis analisadas seguiu distribuição normal, exceto a Argila (camada 15-25 cm). A análise semivariográfica mostrou que todos os atributos estudados apresentaram-se estruturados espacialmente.

ABSTRACT --- Soils, even those considered to be homogeneous, exhibit some spatial and temporal variability in their physical, chemical and biological attributes. The definition of this variability is very important for effective watershed management. This study aimed to investigate the spatial variability of soil texture in a rural watershed, between the towns of Morro Redondo and Pelotas, Rio Grande do Sul, through geostatistical analysis. The area was divided into three (03) transects with equal distance between them of 1500 m, and in each transect points are spaced every 150 m, totaling 67 points. The collection of soil samples were taken in the first half of 2014, to determine the percentages of sand, silt and clay in layers of 5-15 cm and 15-25 cm, totaling 31 samples. Data were analyzed using descriptive statistics and geostatistics. It was concluded that the soil variability, measured by the coefficient of variation was low for the sand variable (in two layers) and moderate to Clay and Silt (in both layers). Most of the variables followed a normal distribution, except the clay layer (15-25 cm). The semivariográfica analysis showed that all attributes studied are presented spatially structured.

Palavras-chave: geoestatística, variabilidade espacial e bacia hidrográfica.

¹ com Pós-Doc, PPG em Recursos Hídricos - UFPel. Rua Gomes Carneiro, nº 1. Pelotas (RS). email: vssterra@yahoo.com.br

² Mestrando, PPG em Recursos Hídricos - UFPel. Rua Gomes Carneiro, nº 1. Pelotas (RS). email: guilhermehartels@gmail.

³ Graduanda, Engenharia Hídrica – UFPel. Rua Gomes Carneiro, nº 1. Pelotas (RS). email: lushilima@gmail.com

⁴ Professor Titular, Engenharia Hídrica - UFPel. Rua Gomes Carneiro, nº 1. Pelotas (RS). email: gilbertocollares@gmail.com

INTRODUÇÃO

As atividades humanas em bacias hidrográficas contribuem para a quebra do equilíbrio e para a diminuição dos recursos naturais das mesmas. Dentre os principais recursos oferecidos pela natureza, destacam-se o solo e a água, como sendo os de grande importância para o desenvolvimento e manutenção dos demais recursos.

Para a produção de água os principais fatores que contribuem são o clima, a topografia, a cobertura vegetal, classes de solo e uso do solo, além da profundidade do solo e as características das rochas acima do lençol freático, pois esses podem alterar o potencial de recarga dos aquíferos (Arnold *et al.*, 2000). A recarga de água, em bacias hidrográficas, ocorre de forma variada tanto espacial quanto temporal, como consequência das variações climáticas, diferentes uso do solo e heterogeneidade hidrogeológica.

O solo é um recurso natural que também interfere na recarga de água em sistemas conectados, que além de suporte físico é responsável para a ocorrência de várias formas de vida. A falta de um manejo correto do solo expõe esse ambiente à degradação, comprometendo todos os demais recursos da bacia. Um solo bem estruturado permite o movimento de água em seu perfil, além de adequada aeração, disponibilidade de nutrientes, habilidade de resistir à penetração, entre outros. Atributos físicos, tais como a textura do solo, permite identificar essa boa estrutura, além de contribuir para os estudos referentes os fluxos hidráulicos (Reichardt; Timm, 2012).

Nos sistemas fluviais, as partículas de solo são erodidas por efeito de diferentes processos, sendo depois transportadas, até se depositarem em locais onde a energia do escoamento disponível para o transporte é insuficiente. A perda de solo, por erosão hídrica, está intimamente ligada à precipitação, pela capacidade de destacamento das gotas de chuva e pela sua contribuição para o escoamento sobre o terreno.

Com isso, o conhecimento mais detalhado da variabilidade espacial e temporal dos atributos físicos do solo, tais como a textura, poderá servir de subsídio para a determinação de estratégias específicas de manejo em bacias hidrográficas evitando assim, diminuir a perda de solo por erosão hídrica. Entretanto, vários estudos têm demonstrado que a variabilidade das propriedades do solo apresenta dependência espacial, ou seja, o valor em qualquer ponto amostrado depende de algum modo, de seu vizinho (Vieira, 2000; Carvalho *et al.*, 2001).

Para Vieira (2000) a variabilidade espacial do solo sempre existiu e deve ser considerada toda vez que for realizada a amostragem de campo, pois pode indicar locais que necessitem de um manejo diferenciado. Fundamentado neste princípio a geoestatística assume grande relevância, possibilitando determinar a variabilidade espacial e temporal dos atributos físicos do solo em

bacias. Essa é uma importante ferramenta a ser considerada, uma vez que é capaz de propiciar o desenvolvimento de técnicas para a amostragem e descrever a variabilidade das características do meio físico de uma bacia hidrográfica (Libardi *et al.*, 1986).

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de determinar a variabilidade espacial da textura do solo em uma bacia hidrográfica rural, entre os municípios de Pelotas e Morro Redondo, no Rio Grande do Sul, por meio da análise geoestatística.

MÉTODOS E MATERIAIS

Localização da área

A área de estudo possui 16,96 km² e compreende a bacia hidrográfica rural do Arroio do Ouro, que é um afluente do Arroio Cadeia que por sua vez é um afluente do Arroio Pelotas. Encontra-se entre as coordenadas 31°34'17" de latitude sul e 52°33'44" de longitude oeste, estando inserida na região geomorfológica do Escudo Sul-Rio-Riograndense.

Localizada entre os municípios de Pelotas e Morro Redondo-RS (Figura 1), esta sub-bacia possui a ocupação do solo constituída predominantemente pelo cultivo de pêssego, milho e tabaco, além das atividades voltadas para pecuária leiteira e avicultura em propriedades familiares.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo "Cfa", ou seja, temperado úmido com verões quentes. A região possui temperatura e precipitação média anual de 18°C e 1.509,2mm, respectivamente, e umidade relativa média do ar de 78,8%.

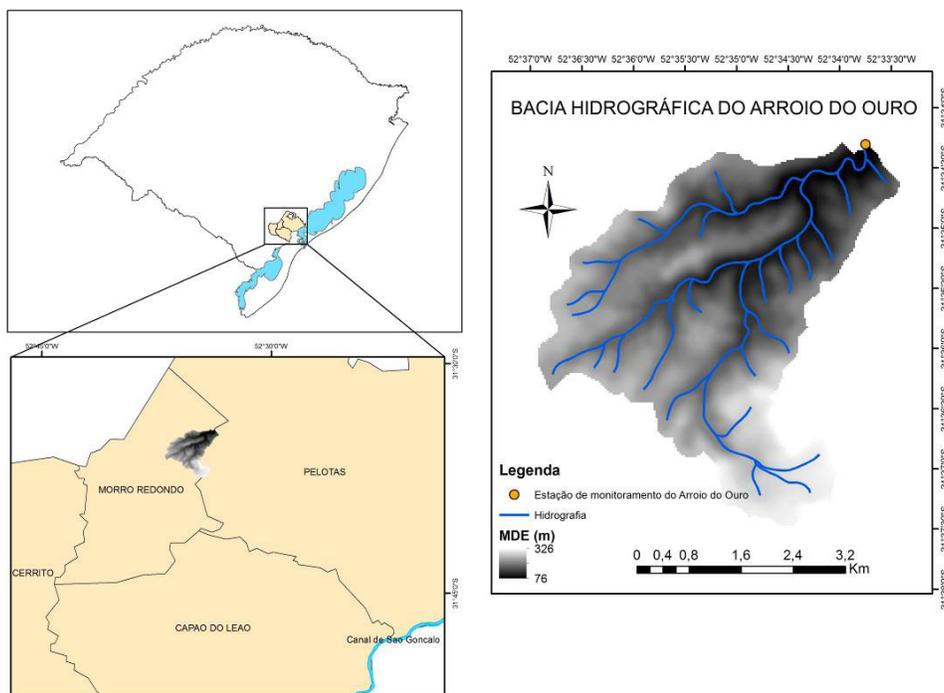


Figura 1 – Localização geográfica e delimitação da área de estudo.

São apresentadas na Tabela 1 algumas das características fisiográficas da bacia hidrográfica rural do Arroio do Ouro, como: área, perímetro, comprimento e largura média, fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de conformação e densidade de drenagem.

Tabela 1 – Caracterização fisiográfica da sub-bacia do Arroio do Ouro.

Características	Valores
Área	16,96 km ²
Perímetro	21,95 km
Comprimento	6,0 km
Largura média	2,72 km
Fator de forma	0,45
Coeficiente de compacidade	1,49
Índice de conformação	0,47
Densidade de Drenagem	1,87 km

Coleta de dados

A área experimental foi dividida em 03 (três) transectos com distância igual entre si de 1500 m, sendo que em cada transectos os pontos estão espaçados a cada 150 m, totalizando 67 pontos, no referido trabalho foram avaliados 31 pontos. Na figura 2, apresenta-se o plano amostral adotado neste estudo.

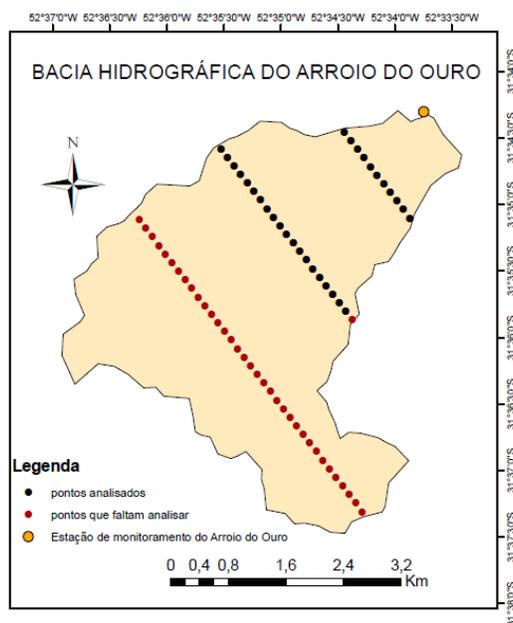


Figura 2 – Localização dos pontos amostrados na bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

As amostras de solo foram coletadas no primeiro semestre 2014, onde foram identificadas e levadas ao Laboratório de Solos e Hidrossedimentologia do Curso de Engenharia Hídrica-UFPel, para serem determinados os percentuais de areia, argila e silte pelo Método da Pipeta (Gee; Or, 2002), nas camadas de 5-15 cm e 15-25 cm.

Foi utilizado o software estatístico SAS (Schlotzhaver; Littell, 1997) para a análise descritiva de todos os atributos avaliados. O coeficiente de variação (CV) foi classificado, segundo Wilding e Drees (1983), como: $CV \leq 15\%$; $15\% < CV \leq 35\%$; $CV > 35\%$, como baixo, médio e alto, respectivamente.

Para testar a hipótese de normalidade da distribuição dos dados, aplicou-se o teste de Shapiro e Wilk (1965) ao nível de 5% de probabilidade.

A análise geoestatística foi aplicada a todos os atributos avaliados utilizando o pacote GEOEST (Vieira *et al.*, 2000), calculando os semivariogramas experimental e teóricos, e os respectivos parâmetros de ajustes (Equação 1). Quando necessário, também foi efetuada a retirada de tendência das variáveis, podendo assim identificar a estrutura de dependência espacial das variáveis em estudo.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

onde: $N(h)$ é o número de pares de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ separados por uma distância h . Ao semivariograma experimental foi ajustado um modelo teórico, onde são obtidos os seus parâmetros de ajuste (C_0 = efeito pepita; C_0+C = patamar; A = alcance).

Todos os modelos de semivariograma foram submetidos à validação pelo método “Jack-Knifing” (Vieira *et al.*, 2000). O grau de dependência espacial (GD) foi classificado segundo Zimback (2001), como: $GD \leq 25\%$; $25\% < GD \leq 75\%$ e $GD > 75\%$, em baixo, moderado e alto, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores da estatística descritiva para os dados referentes a textura do solo, nas camadas de 5-15 cm e 15-25 cm. Observa-se que, em ambas as camadas, os valores da média e mediana das variáveis Areia e Silte são próximos, o que não ocorre com a Argila. Verifica-se ainda na Tabela 1 que a dispersão dos dados em torno da média foi baixa ($CV \leq 15\%$) para a variável Areia nas duas camadas. No entanto, as distribuições das variáveis Argila e Silte (em ambas as camadas) foram classificadas como moderada (Wilding; Drees, 1983).

Tabela 1 – Parâmetros da estatística descritiva para os atributos físicos do solo.

Profundidade 5-15 cm								
Variáveis	Média	Mediana	Variância	D.P.	C.V.	C _s	C _k	SW (p-valor)
Areia	58,67	59	33,9	5,82	9,92	0,24	0,07	>0,100 ^(N)
Argila	17,08	16,8	12,26	3,5	20,49	0,34	0,14	>0,100 ^(N)
Silte	24,25	24,5	15,3	3,91	16,13	0,48	0,28	>0,100 ^(N)
Profundidade 15-25 cm								
Areia	56,05	55,4	32,31	5,68	10,14	0,53	0,11	>0,100 ^(N)
Argila	19,92	19,8	38,74	6,22	31,23	1,22	2,34	0,022 ^(NN)
Silte	24,03	24,25	15,55	3,94	16,41	0,07	0,38	>0,100 ^(N)

DP=desvio padrão; CV=coeficiente de variação (%), C_s=coeficiente de assimetria, C_k=coeficiente de curtose, SW=Teste Shapiro e Wilk, significativo a 5%, N=segue a distribuição normal, NN=não segue a distribuição normal.

As distribuições das variáveis Areia e Silte em ambas as camadas e para Argila na camada de 5-15 cm seguiram a tendência de normalidade pelo teste de Shapiro e Wilk ($p \leq 0,05$), assumindo um comportamento próximo da linha reta, na qual caracteriza a distribuição normal. Já a variável Argila na camada de 15-25 cm, não apresentou a tendência de normalidade, afastando-se mais da linha reta (Figura 3). Vieira *et al.* (2000) estudando um Latossolo Vermelho eutroférico no Estado de São Paulo, constataram quanto à normalidade da textura que alguns resultados não se ajustaram à distribuição normal.

Isaacs & Srivastava (1989) destacam que apesar de importante, a normalidade não é considerada uma exigência para a aplicação da geoestatística, sendo que a média e variabilidade dos dados constantes é mais importante, pois permitem que a krigagem não seja comprometida.

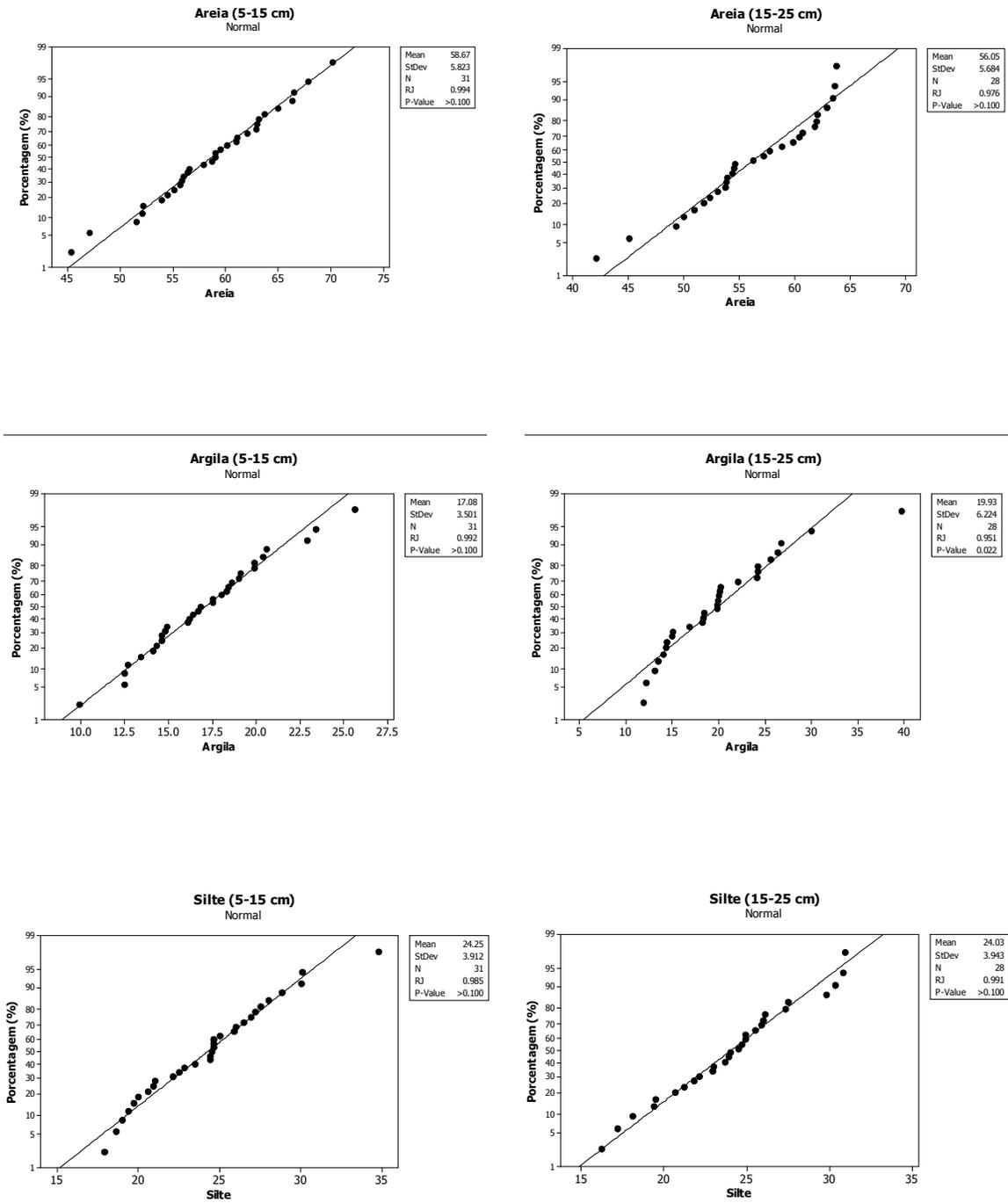


Figura 3 – Teste de normalidade da textura do solo da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

Na Tabela 2 são apresentados os modelos matemáticos dos semivariogramas e respectivos parâmetros de ajustes para os atributos físicos do solo avaliados nas camadas de 5-15 cm e de 15-25

cm. Pode-se observar que, em ambas as camadas, a variável Areia e Argila ajustaram-se aos modelos esférico e exponencial, respectivamente.

O modelo esférico ajustou-se também a variável Silte na camada de 5-15 cm e ao exponencial na camada de 15-25 cm. Para McBratney e Webster (1986) os modelos esféricos e exponenciais são os modelos mais, frequentemente, ajustados aos atributos do solo. Cavalcante *et al.* (2011) também afirmam que em trabalhos direcionados aos atributos físicos do solo, esses modelos são os que melhor se ajustam as variáveis.

Tabela 2 - Modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais e os respectivos parâmetros de ajustes dos atributos físicos do solo, nas camadas de 5-15 cm e de 15-25 cm, grau de dependência espacial (GD) e respectiva classe de acordo com Zimback (2001) estudados na bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

Variável	Unidade	Modelo	C ₀	C	a	GD	Classe
Profundidade 5-15 cm							
Areia	%	Esférico	15	23	780	60,25	Moderado
Argila	%	Exponencial	4	10	750	71,43	Moderado
Silte	%	Esférico	2	17	1000	89,47	Alto
Profundidade 15-25 cm							
Areia	%	Esférico	15	24	950	61,54	Moderado
Argila	%	Exponencial	10	35	660	77,78	Alto
Silte	%	Exponencial	1,5	15	1000	90,91	Alto

C₀=efeito pepita, C=variância estruturada, a=alcance (m), GD=grau de dependência espacial (%).

Observa-se também na Tabela 2, que o grau de dependência espacial (GD), de acordo com a classificação proposta por Zimback (2001), indica que a variável Areia em ambas as camadas apresentou GD classificado como moderado ($25\% < GD \leq 75\%$), assim como para a Argila na camada de 5-15 cm. Os valores de GD foram altos ($GD > 75\%$) para o Silte (em ambas as camadas) e Argila na camada de 15-25 cm (Tabela 2). Essas variações no grau de dependência espacial dos atributos físicos do solo podem ser influenciadas pelos fatores intrínsecos (fatores de formação do solo, material de origem, clima e organismos) e pelos fatores extrínsecos que, normalmente, são ligados as práticas de manejo do solo da bacia hidrográfica.

Na Figura 4 são apresentados os semivariogramas experimentais dos atributos físicos do solo da sub-bacia hidrográfica do Arroio do Ouro para ambas as camadas. Observa-se também, que a faixa de dependência espacial (alcance = a) encontrada para a camada de 5-15 cm, variou de 750 a 1000 m, no entanto na camada de 15-25 cm, o alcance variou de 660 a 1000 cm. Tais valores correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável estudada. Desta forma, todos os vizinhos situados dentro de um círculo com esses raios podem ser usados para

estimar valores para qualquer ponto entre eles (Vieira; Lombardi Neto, 1995). Esses resultados são considerados importantes no planejamento da área experimental, devendo ser levados em consideração nas propostas de manejo e pesquisa, assim como o número de pontos que devem ser amostrados para atingir uma melhor representatividade.

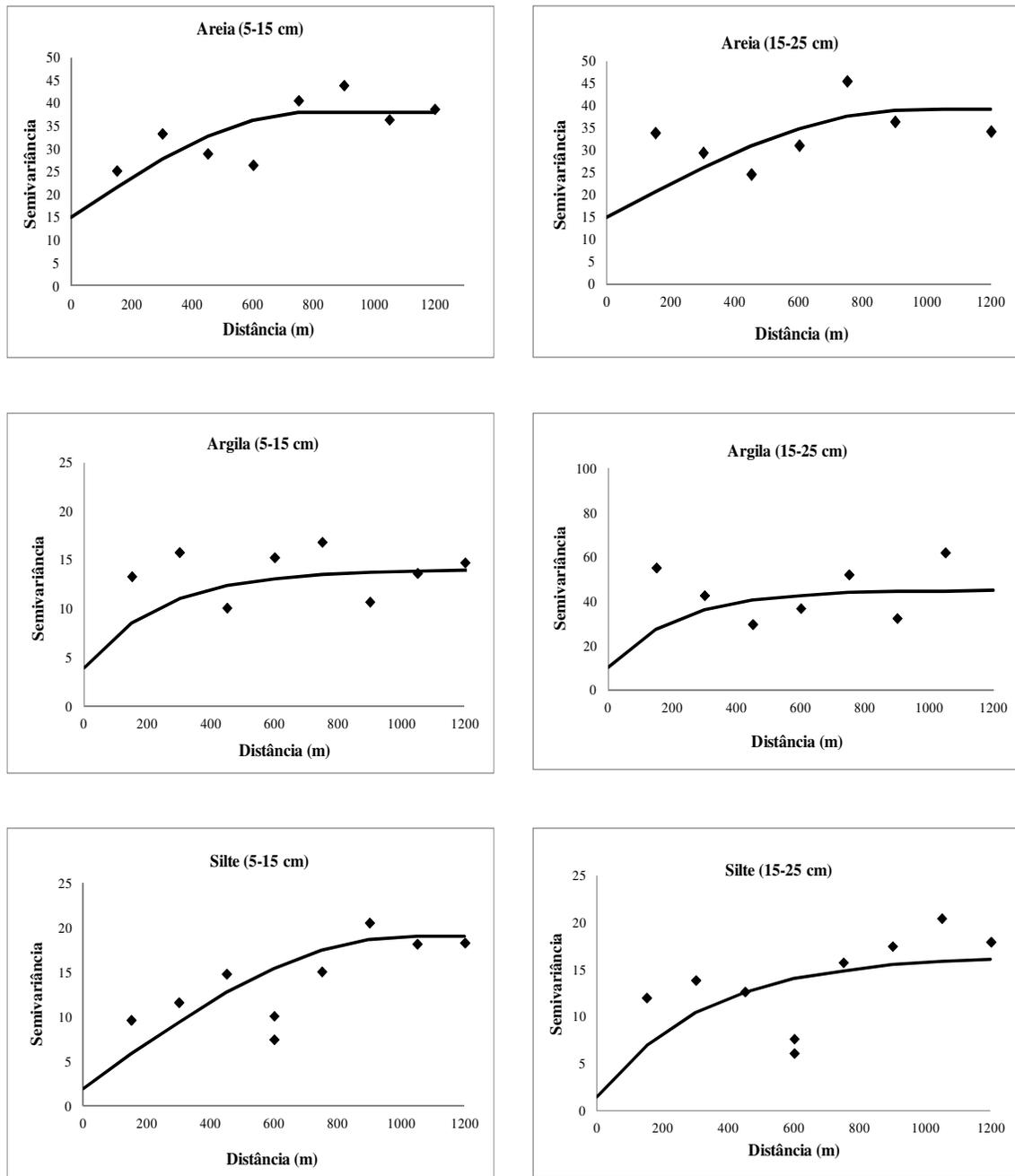


Figura 4 - Semivariogramas experimentais dos atributos físicos do solo nas camadas de 5-15 cm e de 15-25 cm da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

Para os atributos físicos do solo avaliados (areia, argila e silte) houve dependência espacial, como mostram os semivariogramas da Figura 4, sendo possível assim, realizar a interpolação de valores em qualquer posição na área experimental, podendo-se elaborar os mapas por meio da técnica da krigagem. A dependência espacial fornece uma medida quantitativa da variação espacial das propriedades dos solos, a qual é chamada de dissimilaridade. Quanto maior a semivariância, mais dissimilar são as propriedades dos solos em dois locais.

Usualmente, o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção de um modelo de semivariograma e seus parâmetros, desejando-se também prever valores em pontos não amostrados, sobretudo de atributos que sofrem influência para o manejo da bacia hidrográfica.

CONCLUSÕES

A variabilidade do solo, medida pelo coeficiente de variação, é baixa para areia nas duas camadas avaliadas e média para o silte e argila também em ambas as camadas. A maioria das variáveis analisadas segue distribuição normal, exceto a Argila na camada de 15-25 cm. A análise semivariográfica mostrou que todos os atributos estudados apresentaram-se estruturados espacialmente.

AGRADECIMENTOS

A Finep pelo financiamento e CNPq e CAPES pelas bolsas concedidas.

BIBLIOGRAFIA

ARNOLD, J.G. et al. (2000). *Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin*. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.227, n.1, pp.21 – 40.

CARVALHO, J.R.P.; VIEIRA, S.R.; MARINHO, P.R.; DECHEN, S.C.; MARIA, I.C.; POTT, C.A. & DUFRANC, G. (2001). *Avaliação da variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo sob plantio direto em São Paulo – Brasil*. Campinas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, (Comunicado Técnico, 12).

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G. (2011). *Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, pp.237 - 243.

- GEE, G.W.; OR, D. (2002). *The Solid Phase: Particle-Size Analysis*. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part 4. Physical Methods*. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, pp.255 – 293.
- GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. *The Solid Phase: Bulk Density and Linear Extensibility*. (2002). In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.) **Methods of Soil Analysis Part 4. Physical Methods**. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, pp.201 – 228.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University, pp. 51.
- LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E.A. & MORAES, S.O. (1986). *Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção*. R. Bras. Ci. Solo, v.10, pp. 85 - 90.
- REICHARDT, K. & TIMM, L.C. (2012). Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. São Paulo: Manole, pp.524.
- SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. (1997). *SAS System for elementary statistical analysis*. 2.ed. Cary, pp.905.
- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. (1965). *An analysis of variance test for normality: complete samples*. Biometrika, v.52, pp.591 – 611.
- VIEIRA, S.R. (2000). *Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo*. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, A.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R (Eds.) *Tópicos em ciência do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, pp.1 – 54.
- VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. (1995). Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. *Bragantia*. Campinas, v.54, pp. 405 – 412.
- ZIMBACK, C.R.L. (2001). *Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade*. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 114f.
- WILDING, L.P.; DREES, L.R. (1983). *Spatial variability and pedology*. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. (Eds.) *Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions*. New York: Elsevier, pp.83 – 116.