



Variabilidade espacial dos parâmetros da equação de van Genuchten em um Latossolo Vermelho-Amarelo

Spatial variability of parameters of the van Genuchten equation in a Latossolo Vermelho-Amarelo

Jaedson Cláudio Anunciato Mota¹, Paulo Leonel Libardi², Alexsandro Santos Brito³, Sergio Oliveira Moraes⁴, Ícaro Vasconcelos Nascimento^{5*}, Thiago Leite Alencar⁶

Resumo: O conhecimento da variabilidade espacial dos parâmetros da equação de van Genuchten é importante para a interpretação de determinados indicadores de qualidade física do solo, uma vez que alguns índices derivam da curva característica da água no solo. Partindo da hipótese de que mesmo em área considerada homogênea há variabilidade espacial distinta para os parâmetros dessa equação, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a variabilidade espacial dos parâmetros θ_s , θ_r , α , m e n em Latossolo Vermelho-Amarelo. Para esse estudo, estabeleceram-se 60 pontos de amostragem, distanciados 5 m entre si, em uma grade de 10 x 6 pontos (50 x 30 m). Foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em anéis de aço com dimensões de 0,05 m de altura e diâmetro, em cinco repetições na profundidade de 0,80 m, totalizando 300 amostras. Foram avaliados os atributos granulometria, densidade das partículas, densidade do solo e curva característica de água no solo. A curva foi construída considerando as tensões 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 kPa (no funil de Haines) e 30, 50, 70 e 100 kPa (no extrator de placa porosa de Richards). Os dados foram ajustados ao modelo de van Genuchten (1980) com o programa Table Curve 2D, versão trial 5.01, inclusive para a extrapolação da umidade residual. Os parâmetros da equação de van Genuchten foram analisados quanto à variabilidade espacial com uso da técnica da diferença relativa. Concluiu-se que apesar da uniformidade na textura e na densidade do solo, os parâmetros da equação de van Genuchten variam espacialmente de modo que não há um ponto amostral único que represente o valor médio de θ_s , θ_r , α , m e n .

Palavras-chave: Curva característica de água no solo. Amostragem de solo. Agricultura de precisão.

Abstract: The knowledge of the spatial variability of the van Genuchten equation parameters is important for the interpretation of certain indicators of soil physical quality, since some indices derived from the soil water retention curve. Assuming that even in considered homogeneous area there is different spatial variability of parameters of this equation, aimed evaluate the spatial variability of parameters θ_s , θ_r , α , m and n in a Latossolo Vermelho-Amarelo. For this study were established 60 sampling points with distance apart of five meters, in a grid of 10 x 6 points (50 x 30 m). Soil samples were collected with preserved structure, in steel rings with dimensions of 0.05 m high and 0.05 m in diameter, with five replicates collected at a depth of 0.80 m, totaling 300 samples. Was evaluated the attributes grain size, particle density, soil bulk density and soil water retention curve. The soil water retention curve was constructed considering the points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 kPa (in the Haines funnel) and 30, 50, 70 and 100 kPa (in the Richards extractor). The data were adjusted to the van Genuchten model (1980) with the program Table Curve 2D, trial version 5.01, including for extrapolation of residual moisture. The parameters of the van Genuchten equation were analyzed for spatial variability with use relative difference technique. It was concluded that although of the uniformity in the texture and bulk density, the parameters of the van Genuchten equation vary spatially so that there is no single sample point representing the average value of θ_s , θ_r , α , m and n .

Key words: Soil water retention curve. Soil sampling. Precision agriculture.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 07/12/2016 e aprovado em 06/06/2017

¹Professor Doutor da Universidade Federal do Ceará - UFC, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza-CE, Brasil. jaedson.mota@ufc.br

²Professor Doutor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Piracicaba-SP, Brasil. pllibard@usp.br

³Professor Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Guanambi-BA, Brasil. alexsandrobrt@gmail.com

⁴Professor Doutor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Piracicaba-SP, Brasil. somoraes@usp.br

⁵Estudante de Agronomia da Universidade Federal do Ceará - UFC, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza-CE, Brasil. icaro_agro@hotmail.com

⁶Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará - UFC, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza-CE, Brasil. thiagoleitealencar@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A curva característica de água no solo é importante na descrição do comportamento físico-hídrico dos solos não saturados (LUCAS *et al.*, 2011), sendo utilizada em estudos de manejo e de qualidade dos solos (MACHADO *et al.*, 2008). Diversos indicadores de qualidade física e de quantificação de processos dinâmicos da água no solo são obtidos a partir dessa curva, o que justifica a necessidade do seu conhecimento (COSTA *et al.*, 2008).

A curva característica de água do solo também é usada na irrigação, pois fornece informações sobre o conteúdo de água do solo (θ) em diferentes potenciais mátricos (ϕ_m), na capacidade de campo (BRITO *et al.*, 2011), no ponto de murcha permanente, bem como na capacidade de água disponível (COSTA *et al.*, 2008).

Usualmente, a curva é descrita por uma equação empírica, com obtenção dos parâmetros por ajuste não linear. O modelo de van Genuchten (1980), com cinco parâmetros empíricos (θ_s , θ_r , α , m e n), é um dos mais amplamente utilizados por se ajustar com melhor qualidade à curva experimental para uma ampla variedade de solos (XIANG-WEI *et al.*, 2010).

Quanto aos parâmetros da equação de van Genuchten (1980), o θ_s corresponde à umidade do solo na saturação, portanto, no potencial mátrico igual a zero. Sua determinação, segundo van Genuchten (1980), é mais fácil de ocorrer experimentalmente, por exemplo, gravimetricamente pela massa do solo saturado, a partir das densidades do solo e de partículas, ou por regressão a partir da curva característica de água no solo.

O θ_r , que a rigor não pode ser determinado experimentalmente, refere-se à umidade do solo em um potencial mátrico infinitamente negativo, portanto, na situação em que a variação da umidade com a variação do potencial mátrico é igual a zero. Embora conceitualmente distintos, utiliza-se o valor da umidade do solo no potencial mátrico de -1500 kPa (considerado o ponto de murcha permanente para a maioria das espécies cultivadas) para definir o valor da umidade residual θ_r (VAN GENUCHTEN, 1980).

O parâmetro α está associado ao inverso do valor de potencial mátrico em que ocorre a entrada de ar no maior poro do solo. Os demais parâmetros (m e n) não têm significado físico aparente e, por vezes, são considerados interdependentes quando da estimativa da condutividade hidráulica relativa pelo método de Burdine, em que $m = 1 - 2/n$, ou pelo método de Mualem em que $m = 1 - 1/n$. Para van Genuchten (1980), o parâmetro n é um índice da distribuição dos poros por tamanho, portanto relacionado com a inclinação da curva característica de água no solo.

Ressalta-se que os solos agrícolas apresentam heterogeneidade de atributos no tempo e espaço, portanto, o conhecimento dessa variabilidade é importante para a gestão de estratégias de manejo a serem implementadas

em áreas de cultivo, especialmente quando se projeta o cenário da agricultura de precisão (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2014).

O desconhecimento da variabilidade espacial, particularmente dos parâmetros associados à curva característica de água no solo, traz o risco de que as informações dela derivadas não sejam representativas para uma área homogênea e, conseqüentemente, de que as práticas de manejo acarretem superestimativas ou subestimativas, por exemplo, da lâmina de irrigação, tornando os custos de produção elevados com a redução da eficiência do uso da água (BRITO *et al.*, 2011).

Assim, considerou-se a hipótese de que mesmo em área considerada homogênea há variabilidade espacial distinta para os parâmetros da equação de van Genuchten, logo, um ponto amostral único não representa o valor médio de θ_s , θ_r , α , m e n . Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial dos parâmetros θ_s , θ_r , α , m e n em um Latossolo Vermelho-Amarelo em Piracicaba-SP.

MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada, de 1.500 m², está localizada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba-SP. As coordenadas geográficas no centro da área são 22°42’43’’S, 47°37’10’’W, com altitude de 591 m. O solo é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (BRITO *et al.*, 2011).

O relevo apresenta pequenas variações, com depressões em algumas porções da área. Para a demonstração, elaborou-se mapa planialtimétrico (Figura 1), com cota relativa à maior cota verificada na área (591,72 m). A diferença entre a maior e a menor cota na área é de 0,765 m. Os pontos amostrais de números 1, 2, 7, 8, 13, 14, 19, 20, 25, 26, 31, 32, 37 e 38 estão localizados na parte mais elevada, enquanto os pontos amostrais de números 41, 42, 47, 48, 53, 54, 57, 58, 59, e 60 estão posicionados na parte mais baixa.

Para fins do estudo da variabilidade espacial dos parâmetros da equação de van Genuchten (1980), estabeleceram-se 60 pontos de amostragem, distanciados entre si de 5 m, em uma grade de 10 x 6 pontos (50 x 30 m). Foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em anéis de aço com dimensões de 0,05 m de altura e diâmetro, em cinco repetições na profundidade de 0,8 m, totalizando 300 amostras.

Foram avaliados os atributos densidade do solo e curva característica de água no solo. A densidade das partículas (ρ_p) foi determinada por Martins (2009), utilizando a metodologia do deslocamento de gás. A densidade do solo (ρ_s) foi determinada a partir de amostras com estrutura preservada, coletadas em cilindros de volume conhecido, e secas a 105 °C até massa constante. A porosidade do solo

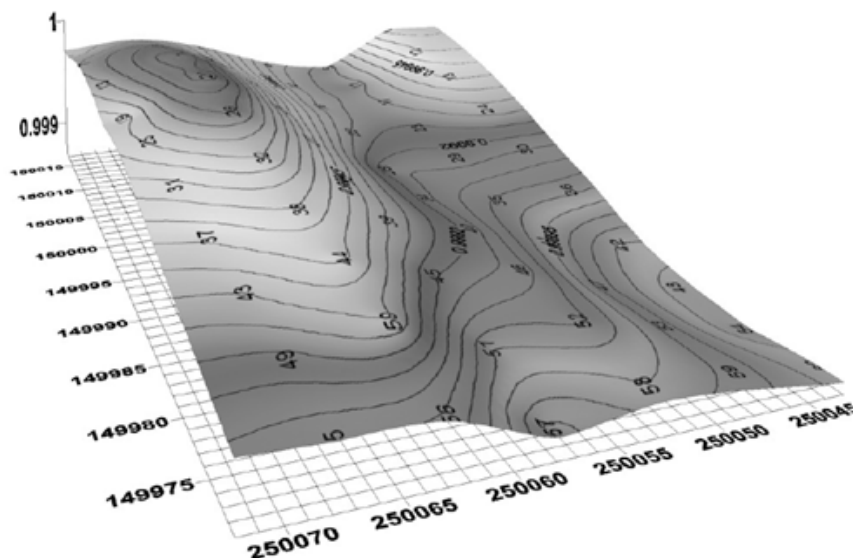


Figura 1 - Mapa planialtimétrico da área estudada.

Figure 1 - Planialtimetric map of the studied area.

foi obtida por $\alpha = [1 - (\rho_s/\rho_p)]$, sendo α a porosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), ρ_p e ρ_s a densidade de partículas e do solo (kg m^{-3}), respectivamente.

A curva característica de água no solo foi obtida a partir das amostras com estrutura do solo preservada. No procedimento, o conteúdo de água na saturação foi considerado igual à porosidade do solo; para os pontos de baixas tensões (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 kPa), o funil de Haines foi utilizado para estabelecer o equilíbrio entre a tensão aplicada e o conteúdo de água no solo; para os demais pontos (30, 50, 70 e 100 kPa), o equilíbrio foi obtido em extrator de placa porosa de Richards (AMARO FILHO *et al.*, 2008; CÁSSARO *et al.*, 2008). Portanto, as curvas características de água no solo foram confeccionadas até a tensão de 100 kPa, contendo 14 pontos de medição. Utilizou-se o modelo de van Genuchten (1980) para o ajuste dos dados,

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\phi_m|)^n]^m}$$

em que θ corresponde ao conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), θ_s e θ_r , respectivamente, aos teores de água residual e de saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), ϕ_m ao potencial mátrico da água no solo (kPa), α ao inverso da pressão de entrada de ar no maior poro do solo, m e n a parâmetros relacionados ao formato da curva. Os parâmetros foram obtidos com o auxílio do programa Table Curve 2D, versão trial 5.01, mantendo fixo apenas o θ_s . Os demais parâmetros, inclusive a umidade residual, foram obtidos utilizando-se o método iterativo de Newton-Raphson, sem dependência do parâmetro m com o n .

Os dados de percentagem de areia, silte e argila, densidade do solo e de partículas, e parâmetros de van Genuchten foram averiguados por estatística descritiva, aplicando-se o

teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade para testar a normalidade, e analisados quanto à variabilidade espacial, para verificar quantos e quais são os locais na área estudada mais adequados para o monitoramento das variáveis analisadas. Para a caracterização da variabilidade espacial, aplicou-se a técnica de Vachaud *et al.* (1985), que consiste na diferença relativa (δ_i) definida pela equação

$$\delta_i = \frac{\bar{\omega}_{ij} - \omega_j}{\bar{\omega}_j}$$

sendo ω_{ij} o valor do parâmetro em cada local amostral i e $\bar{\omega}_j$ o valor médio do parâmetro definido a partir de todos os pontos de monitoramento, isto é,

$$\bar{\omega}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os resultados da granulometria (Figura 2), fica evidenciado que a 0,8 m de profundidade há distribuição uniforme das frações areia, silte e argila, fato decorrente principalmente da homogeneidade dos fatores e processos que atuaram na pedogênese da área em estudo. É importante destacar que o resultado é para um Latossolo, um solo maduro e, portanto, muito estável no ambiente no tocante às variações decorrentes das intempéries (EMBRAPA, 2013).

Por esses resultados, a variabilidade observada para os parâmetros da equação de van Genuchten deve ser associada a outros fatores, como será discutido adiante. Propositamente, definiu-se a profundidade de 0,8 m justamente por as frações

granulométricas estarem distribuídas de modo muito uniforme e, portanto, não serem causa de variação espacial para os parâmetros avaliados. Alie-se também o fato de, nessa profundidade, as ações decorrentes do manejo na superfície do solo, em geral, também não concorrerem para causar variabilidade espacial na estrutura e nos parâmetros da curva característica de água no solo.

Na Tabela 1, são apresentadas a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação para as frações areia, silte e argila, densidade de partículas e do solo e parâmetros da equação de van Genuchten. Com base em Warrick e Nielsen (1980), para classificar os coeficientes de variação (baixo:

< 12 %; médio; de 12 a < 60 %; alto: ≥ 60 %), constatou-se que a variabilidade é baixa para a densidade do solo, θ_s e θ_r , média para α e n e alta para m . Aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p \leq 0,05$), constatou-se que para todas as variáveis analisadas, exceto para α e m , os dados seguiram distribuição normal. Nesse caso, nas situações em que foi constatada distribuição normal se pode assumir os desvios como aleatórios e, por conseguinte, a média como bom estimador da tendência central dos valores observados.

Como apontado anteriormente, era presumível que as frações granulométricas e a densidade de partículas e do solo apresentassem variabilidade espacial muito baixa. A baixa

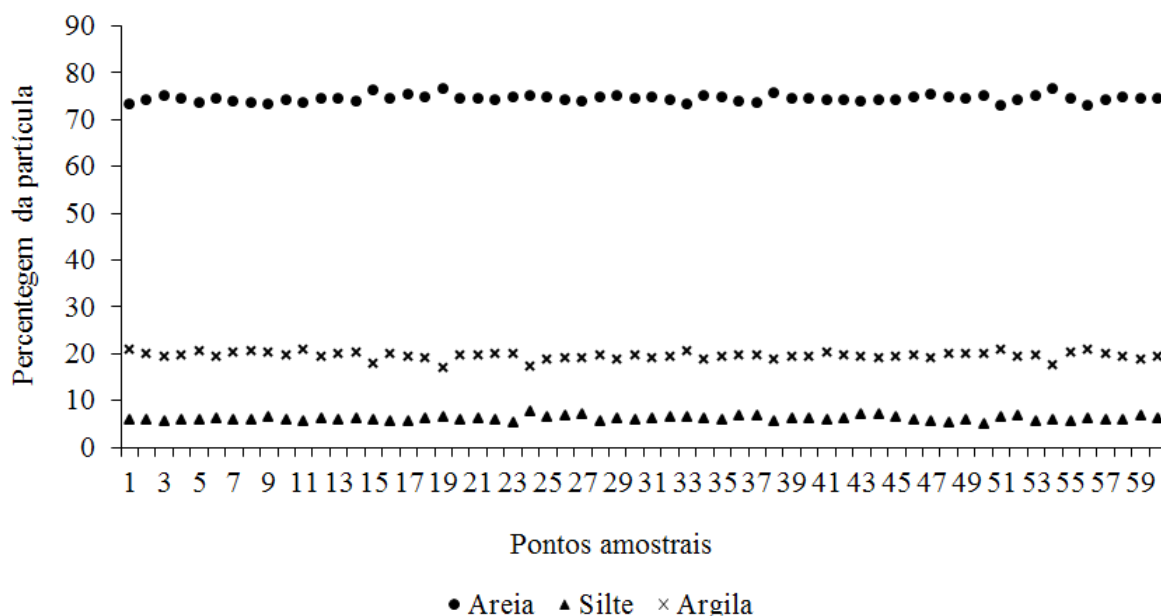


Figura 2 - Percentagem de areia, silte e argila na profundidade de 0,8 m nos 60 pontos amostrais.
Figure 2 - Percentage of sand, silt and clay in the depth of 0.8 m in the 60 sampling points.

Tabela 1 - Média, desvio-padrão e coeficiente de variação para areia, silte, argila, densidade de partículas e do solo e parâmetros da equação de van Genuchten para os 60 pontos amostrais

Table 1 - Average, standard deviation and coefficient of variation for sand, silt, clay, particle and soil density and parameters of the van Genuchten equation for the 60 sampling points

Parâmetro	Mín.	Máx.	Média	DP ¹	CV (%) ²	Teste K-S ³
Areia (%)	72,78	76,55	74,40	0,74	1,0	Sim
Silte (%)	4,93	7,78	6,09	0,47	7,9	Sim
Argila (%)	17,09	20,90	19,50	0,78	4,0	Sim
Densidade do solo (kg m ⁻³)	1419,9	1631,6	1524,0	37,0	2,4	Sim
θ_s (m ³ m ⁻³)	0,314	0,412	0,359	0,020	5,6	Sim
θ_r (m ³ m ⁻³)	0,075	0,147	0,124	0,012	10,0	Sim
α (kPa ⁻¹)	0,066	0,336	0,266	0,049	18,2	Não
M	0,084	1,837	0,341	0,227	66,8	Não
N	1,496	6,122	3,614	0,840	23,2	Sim

¹Desvio-padrão da amostra; ²Coefficiente de variação; ³Teste de Kolmogorov-Smirnov.

¹Standard deviation of the sample; ²Coefficient of variation; ³Kolmogorov-Smirnov test.

variabilidade para o parâmetro θ_s refletiu a uniformidade da estrutura do solo (avaliada em parte pela densidade) dada a dependência dele à porosidade estrutural. Quanto ao parâmetro θ_r , por ser dependente da textura do solo, a baixa variabilidade espacial resultou da distribuição uniforme das frações areia, silte e argila no solo. Com relação ao parâmetro α , restou evidente a elevada sensibilidade decorrente de pequenas alterações na estrutura do solo. O fato de o parâmetro m ter apresentado maior variabilidade espacial que o parâmetro n , inclusive não seguindo distribuição normal, deveu-se a não dependência estabelecida entre eles, visto que ela é necessária somente quando há interesse de se avaliar a condutividade hidráulica relativa.

A caracterização da variabilidade espacial dos parâmetros θ_s , θ_r , α , m e n , segundo o critério da diferença relativa intertemporal proposta por Vachaud *et al.* (1985), encontra-se nas Figuras 3, 5, 7, 9 e 11. Por meio dessa técnica é possível identificar em condições de campo os pontos que representam o valor médio para o parâmetro na área avaliada, bem como os locais que superestimam ($\delta_{ij} > 0$) e subestimam ($\delta_{ij} < 0$) a média quando da amostragem para monitoramento dos parâmetros da equação de van Genuchten.

Ao se analisar a Figura 3 para o parâmetro θ_s , observa-se que os pontos 4 e 38 foram os que mais subestimaram e superestimaram, respectivamente, em 13,1 e 14,0% o valor da umidade na saturação. Tais valores não representam bem o comportamento da área em estudo, uma vez que os pontos a serem escolhidos para fins de futuras observações devem apresentar valores de diferença relativa igual ou muito próximo a zero (SOUZA *et al.*, 2011). Na situação em análise, os pontos 11, 35 e 47 são os mais adequados

para o monitoramento do parâmetro θ_s . Vale ressaltar que dentre os parâmetros estudados, a umidade correspondente à saturação foi a que apresentou menor dispersão em torno da média, com valor não mais que 14%, corroborando a baixa variabilidade medida pelo coeficiente de variação.

Resultados semelhantes foram obtidos por Wang *et al.* (2015) que, ao estudarem a variabilidade dos parâmetros da equação de van Genuchten em escala regional, a partir de 382 locais de amostragem, verificaram 15% de dispersão dos dados de θ_s em torno do valor médio. Moradi *et al.* (2016), em um transecto com 94 pontos ao longo de 30 m em um Inceptisol derivado de rocha calcárea e cultivado com cana-de-açúcar, encontraram variabilidade espacial com coeficiente de variação de no máximo 9,2% para a umidade de saturação.

Quanto à θ_r , observa-se, na Figura 4, que os pontos 1 e 31 foram os que mais superestimaram, em 18,5%, e o ponto 50 o que mais subestimou, com valor de -39,5%. Os pontos 37, 41, 44, 46 e 52 são os mais representativos e, portanto, os indicados para o monitoramento da umidade residual média.

Na Figura 5, os pontos 28 e 32 foram os que mais subestimaram e superestimaram os valores do parâmetro α , com valores 76,1 e 21,7%. Como os dados não seguiram distribuição normal, não há ponto na área estudada que represente bem o valor médio para o parâmetro α , evidenciando a elevada variabilidade espacial para o parâmetro, fato também verificado por Wang *et al.* (2015).

Os valores de α diferiram nas posições da área em estudo e, como dito anteriormente, não podem ser resultantes apenas de atributos texturais do solo. Vale recorrer à afirmação de Coelho *et al.* (1999) de que o parâmetro α está

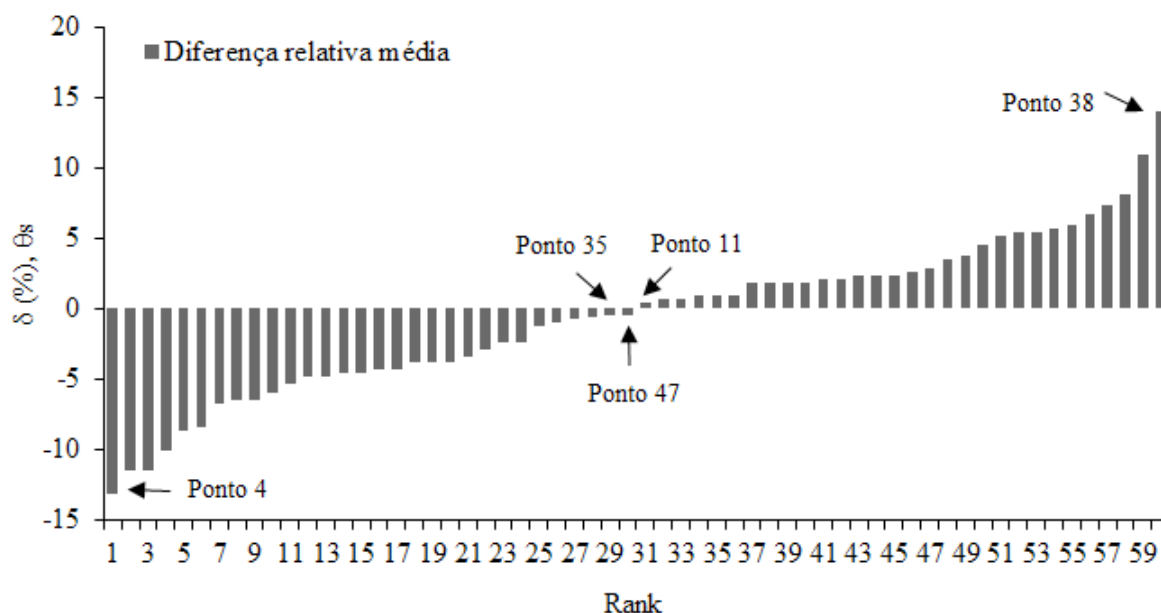


Figura 3 - Diferença relativa média para a umidade de saturação.

Figure 3 - Average relative difference for saturation moisture.

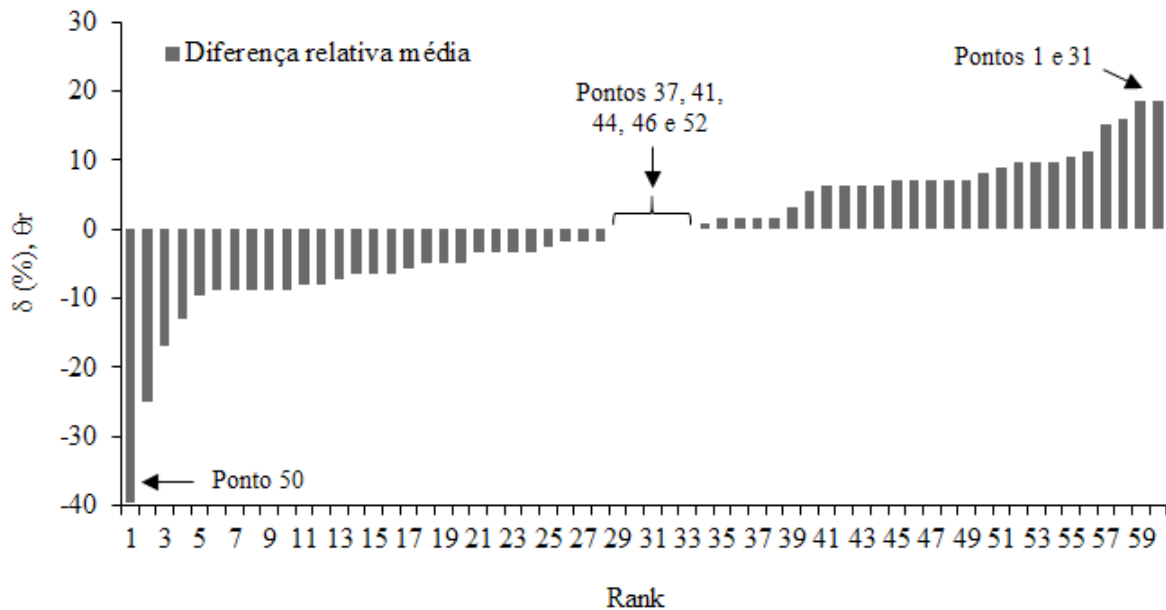


Figura 4 - Diferença relativa média para a umidade residual.
 Figure 4 - Average relative difference for residual moisture.

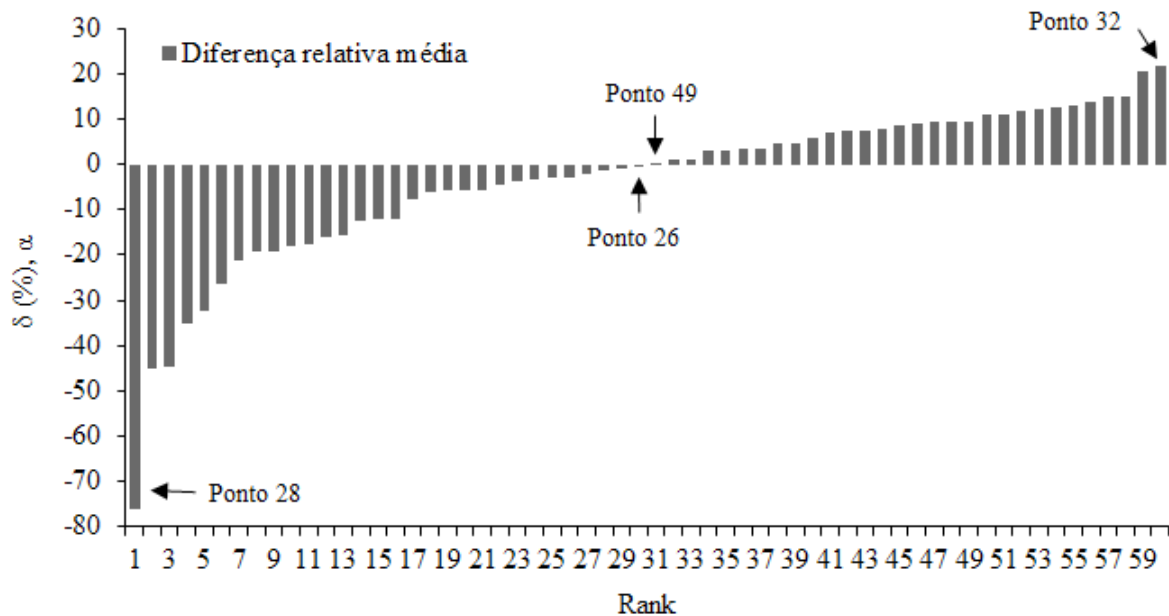


Figura 5 - Diferença relativa média para o parâmetro α .
 Figure 5 - Average relative difference for the parameter α .

associado de maneira inversa com a porosidade de aeração. Nessa perspectiva, α é muito dependente da estrutura do solo e, portanto, pequenas alterações nessa estrutura provocam modificações no valor do parâmetro. Como a entrada de ar no maior poro do solo ocorre em potencial mátrico mais próximo da saturação, isto é, na parte da curva mais dependente da estrutura do solo, pode-se afirmar que dos parâmetros da equação de van Genuchten o α é o mais sensível e que apresenta variabilidade espacial elevada.

Aqui, devem ser incluídos também os erros de laboratório que decorram dos próprios métodos de construção da curva característica de água no solo, como será discutido adiante.

Na Figura 6, o ponto 50 e o ponto 28 foram, respectivamente, os de maior subestimativa e superestimativa do parâmetro m , com valores de 70,5 e 554,6%. É importante ressaltar que esse parâmetro apresentou valores de diferença relativa que ultrapassam 100%, o que, segundo Salvador *et al.* (2012), é um indicativo da sua elevada heterogeneidade

espacial, fato também detectado pelo alto coeficiente de variação (Tabela 1). De modo semelhante ao parâmetro α , não há ponto na área estudada que represente bem o valor médio para o parâmetro m .

Quanto ao parâmetro n (Figura 7), os pontos 24 e 28 foram os que mais superestimaram e subestimaram os resultados na área analisada, com valores 73,7 e 57,5%, respectivamente. Os pontos 6 e 47 são os mais adequados

para seu monitoramento. Como dito anteriormente, a magnitude do parâmetro n está associada diretamente à declividade da curva característica de água no solo. Nesta pesquisa, o fato de os outros parâmetros avaliados não terem sido mantidos fixos impossibilita fazer a interpretação da distribuição dos poros, que se reflete na inclinação da curva, apenas com base nesse parâmetro. A variabilidade dos dados para o parâmetro n foi classificada como média.

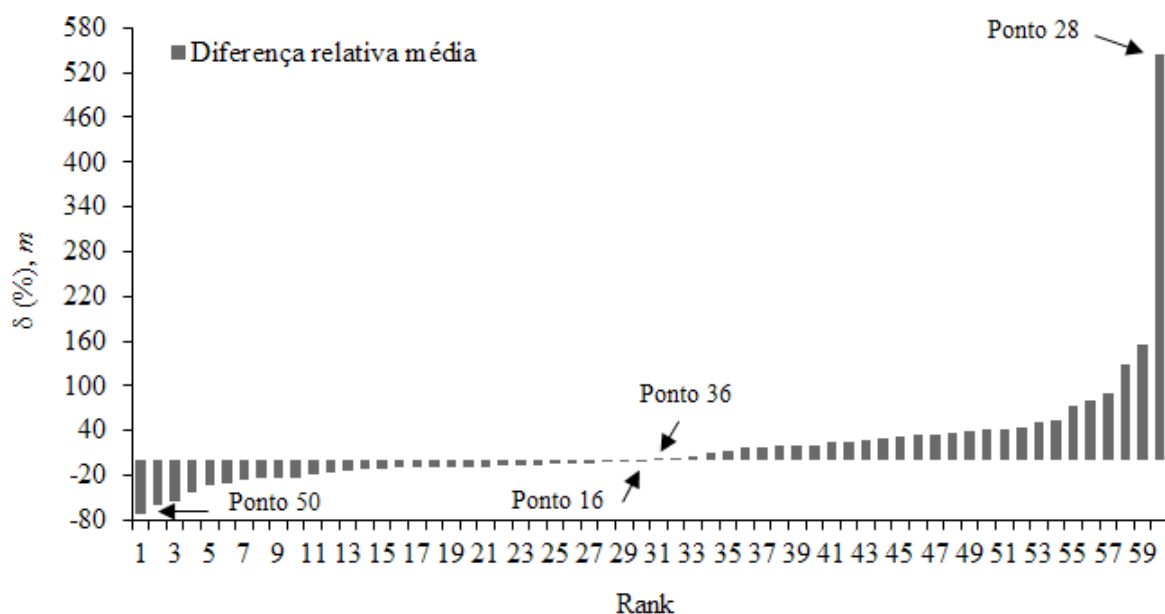


Figura 6 - Diferença relativa média para o parâmetro m .
 Figure 6 - Average relative difference for parameter m .

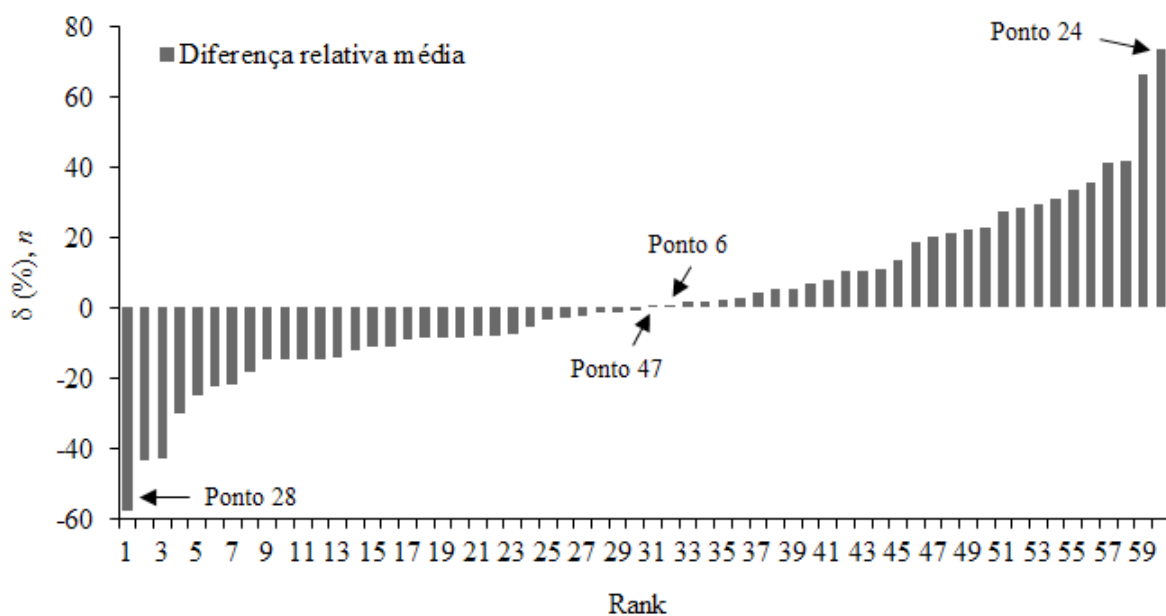


Figura 7 - Diferença relativa média para o parâmetro n .
 Figure 7 - Average relative difference for parameter n .

Observações feitas por Moradi *et al.* (2016), em um solo jovem do Iran, indicaram baixa variabilidade espacial, visto que a dispersão dos dados de n em sua pesquisa em torno do valor médio foi de 11,3%.

Para todos os parâmetros analisados, apesar da homogeneidade nas frações granulométricas e densidade do solo, constatou-se que não ocorreu similaridade de posições que representam as médias de cada um deles. A natureza não linear das relações características de água no solo e diferença nessas relações entre determinados locais explica a falta de similaridade entre as posições. Nesse caso, a não similaridade das posições é importante no que tange ao planejamento da amostragem em sistemas agrícolas, visto indicar maior quantidade de posições para efetuar um plano de monitoramento de água no solo.

A variabilidade espacial encontrada para os parâmetros da equação de van Genuchten se reflete na curva característica de água no solo e, dessa forma, ao se considerar uma curva média para a área avaliada são acrescidos erros na estimativa, por exemplo, de água disponível para as culturas agrícolas, da condutividade hidráulica do solo e, por consequência, na produtividade das culturas e no potencial de poluição por meio de processo de lixiviação.

Pelo exposto, é fato que a 0,8 m de profundidade o solo é uniforme quanto à distribuição das frações granulométricas areia, silte e argila e densidade do solo. Nesse contexto, há que se fazer um comentário a respeito da possibilidade de alterações por que possam passar as amostras de solo desde a coleta até a finalização dos procedimentos em laboratório e, além disso, das próprias condições do ambiente, uma vez que Wang *et al.* (2015) encontraram que os parâmetros do modelo de van Genuchten, na escala regional, demonstraram distintas características de variação espacial, refletindo de forma abrangente os efeitos combinados dos processos envolvendo o solo, a vegetação, a topografia e o clima, bem como os efeitos do uso da terra frequentemente determinados pela atividade humana.

Sabe-se que a microporosidade se modifica com o movimento da água e solutos, intemperismo e outras ações em longo prazo. Quanto à utilização de amostras de solo com estrutura preservada, ainda há dúvidas sobre a formação e a evolução da microporosidade durante o preparo das amostras e processos de umedecimento e secagem envolvendo muitos valores de tensão de equilíbrio na elaboração de curvas de retenção da água no solo (LI; ZHANG, 2009).

Li e Zhang (2009) verificaram que os processos de umedecimento e secagem das amostras de solo provocam modificações nos poros intra-agregados, podendo ocorrer evolução para uma estrutura de porosidade bimodal durante o processo de saturação. Se isso ocorre, há alterações nos valores dos parâmetros de ajuste, no caso em análise, os do modelo de van Genuchten. Na busca de verificar o efeito da ressaturação de amostras de solos durante a construção da curva característica de água no solo, Nascimento *et al.* (2014) concluíram que, apesar de ocorrer perda de argila, o procedimento não provoca alterações significativas na curva característica de água no solo, inclusive na parte mais úmida.

É importante destacar que o conhecimento da magnitude da variabilidade espacial dos parâmetros estudados é essencial para utilização em modelos de simulação de fluxo de água em solos e de predição das relações e do comportamento do sistema solo-planta-atmosfera, uma vez que tais modelos utilizam tais parâmetros como dados de entrada (GHANBARIAN-ALAVIJEH *et al.*, 2010; DETTMANN *et al.*, 2014).

CONCLUSÃO

Apesar da uniformidade na textura e na densidade do solo, os parâmetros da equação de van Genuchten variam espacialmente de modo que não há um ponto amostral único que represente o valor médio de θ_s , θ_r , α , m e n .

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária – Universidade Federal do Ceará. 2008. 290p.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1939-1948, 2011.

CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; SANTOS, R. A.; GIMÉNEZ, D.; REICHARDT, K. Funil de Haines modificado: curvas de retenção de solos próximos à saturação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2555-2562, 2008.

COELHO, E. F.; O. R., D.; SOUZA, V. F. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 651-657, 1999.

- COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 515-523, 2008.
- DETTMANN, U.; BECHTOLD, M.; FRAHM, E.; TIEMEYER, B. On the applicability of unimodal and bimodal van Genuchten-Mualem based models to peat and other organic soils under evaporation conditions. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 103-115, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2013. 353p.
- GHANBARIAN-ALAVIJEH, B.; LIAGHAT, A.; GUANHUA, H.; VAN GENUCHTEN, M. T. Estimation of the van Genuchten soil water retention properties from soil textural data. **Pedosphere**, v. 20, p. 456-465, 2010.
- LI, X.; ZHANG, LM. Characterization of dual-structure pore-size distribution of soil. **Canadian Geotech Journal**, v. 46, p. 129-141, 2009.
- LUCAS, J. F. R.; TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; CÁSSARO, F. A. M. Curva de retenção de água no solo pelo método do papel-filtro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1957-1973, 2011.
- MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção da água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 495-502, 2008.
- MARTINS, M. V. **Influência da distância de instalação de tensiômetros no campo para o cálculo do gradiente de potencial total no método do perfil instantâneo**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em agronomia – Solos e nutrição de plantas) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009.
- MORADI, F.; MOOSAVI, A. A.; MOGHADDAM, B. K. Spatial variability of water retention parameters and saturated hydraulic conductivity in a calcareous Inceptisols (Khuzestan province of Iran) under sugarcane cropping. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 1, p. 1-14, 2016.
- NASCIMENTO, I. V.; ALENCAR, T. L.; SANTOS, C. L. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Curva característica de água no solo: efeito da ressaturação do solo durante o procedimento analítico. In: Encontros Universitários UFC, 33., 2014, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: UFC, 2014. Disponível em: <http://www.prppg.ufc.br/eu/2014/index.php/trabalhos-aceitos>. Acesso em: 11 de fev. 2016.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. S.; SOUZA, E. S.; CORREA, M. M.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, R. M. S.; SILVA FILHO, L. A. Variabilidade espacial de propriedades hidrodinâmicas de um Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 631-639, 2014.
- SALVADOR, M. M. S.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; MOREIRA, N. B. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da distribuição da armazenagem de água no solo numa sucessão feijão/aveia-preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1434-1447, 2012.
- SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural Water Manage**, v. 99, p. 26-32, 2011.
- VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 822-827, 1985.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-897, 1980.
- WANG Y.; SHAO, M.; HAN, X.; LIU, Z. Spatial variability of soil parameters of the van Genuchten model at a regional scale. *Clean - Soil Air Water*, v. 43, p. 271-278. 2015.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL D. ed. 1. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. Cap 13, p. 319-344.
- XIANG-WEI H, MING-NA, S.; HORTON, R. Estimating van Genuchten model parameters of undisturbed soils using an integral method. *Soil Science Society of China*, v. 20, p. 55-62, 2010.