

DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA REGIÕES DO NORDESTE BRASILEIRO

ALEXANDRE HUGO CEZAR BARROS¹, QUIRIJN DE JONG VAN LIER², ALINE DE HOLANDA NUNES MAIA³, FÁBIO VALE SCARPARE⁴

RESUMO – Modelos para simulação do fluxo de água no solo e previsão de produtividade de culturas requerem informações sobre parâmetros das curvas de retenção e condutividade hidráulica do solo. Funções de pedotransferência (PTFs) se constituem numa alternativa para obtenção dessas informações, a partir de dados de textura e estrutura disponíveis em levantamentos de solos. Neste trabalho, foram ajustadas PTFs para os parâmetros do modelo de van Genuchten (vG), utilizando dados de 838 curvas de retenção de diferentes locais do Nordeste. As PTFs apresentaram boa qualidade de ajuste para os parâmetros θ_r e θ_s em contraste com a baixa capacidade preditiva para $\log a$ e n . Tais resultados sugerem a viabilidade do seu uso em modelos de simulação do balanço hídrico simplificado e para algumas aplicações práticas de irrigação. No entanto, para uso em modelos complexos de fluxo de água é importante avaliar a sensibilidade das variáveis prognósticas (produtividade agrícola, concentração de solutos) a variações nos parâmetros de vG. A alta variabilidade observada tanto nas propriedades morfológicas como nos parâmetros de vG para a região de estudo sugere o agrupamento dos dados em classes texturais ou tipos de solos.

Palavras-Chave: pedotransferência, curva de retenção, textura do solo, regressão múltipla, dinâmica da água no solo

Introdução

Em simulações dos processos da dinâmica da água no solo e seu impacto no rendimento agrícola, as curvas de retenção de água e a condutividade hidráulica do solo são informações essenciais. No entanto, há pouca informação disponível sobre essas características, devido ao custo elevado e o tempo necessário para obtenção de dados confiáveis, o que se torna uma limitação para simular o armazenamento e o monitoramento da água no solo.

Essa deficiência pode ser contornada pelo uso de funções de pedotransferência (PTF, Tomasella *et al.*, 2000). As PTFs são modelos empíricos que relacionam informações relacionadas à textura e estrutura do solo com a retenção de água no solo e sua condutividade.

Em geral, três diferentes métodos podem ser utilizados para estimar retenção de água no solo: a) modelos não lineares que relacionam potencial matricial com umidade volumétrica, a partir de

estimativas obtidas em laboratório (curvas de retenção), b) modelos físicos e c) modelos de regressão múltipla para estimar parâmetros das curvas de retenção (PTFs paramétricas).

No Brasil, o método das PTFs é uma ferramenta ainda pouco utilizada. As principais contribuições são Tomasella e Hodnett (1998), van den Berg (1998) e Tomasella *et al.*, (2000, 2008) que desenvolveram PTFs utilizando as equações de Brooks-Corey e/ou van Genuchten (1980). Rossato, (2001) e Tomasella *et al.*, (2008), utilizaram parâmetros hidráulicos estimados com PTFs em modelos de simulação de armazenamento de água.

O uso adequado de PTFs depende da escala e do objetivo do estudo. Essa ferramenta é recomendada para uso em grandes áreas, onde as propriedades físicas dos solos sejam semelhantes às dos conjuntos de dados empregados para seu desenvolvimento. A utilização de PTFs deve ser feita após calibrações locais porque, em geral, equações obtidas de outras localidades demonstraram baixa capacidade preditiva (Coelho *et al.*, 1998). Nesse sentido, uma das limitações para o uso dessas funções é que a grande maioria das PTFs disponíveis é oriunda de regiões temperadas. Tomasella *et al.*, (2008) mostrou que PTFs para solos tropicais diferem das desenvolvidas em regiões temperadas (Wösten *et al.*, 1999, 2001), devido à mineralogia, e consequentemente, há limitações no seu uso em condições tropicais.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar funções de pedotransferência (PTFs) para serem utilizadas em modelos de simulação da dinâmica da água no solo e do crescimento e desenvolvimento de culturas na região Nordeste do Brasil.

Material e Métodos

A. Dados

As informações sobre a granulometria (teor de areia, silte e argila) e estrutura (teor de matéria orgânica e densidade do solo) foram obtidas de levantamentos de solos e os dados para ajuste de curvas de retenção de diversos estudos realizados por universidades, Embrapa e Codevasf, totalizando 838 locais de coleta na região Nordeste do Brasil (Figura 1).

B. Análise exploratória dos dados

Os dados oriundos dos 838 locais foram alocados aleatoriamente em dois subconjuntos disjuntos: um

^{1,4} Doutorando do curso de pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. - alex@cnps.embrapa.br, fvscarpa@esalq.usp.br

² Professor Associado do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. - qdvlier@esalq.usp.br

³ Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente - ahmaia@cnpma.embrapa.br

subconjunto com 75% dos dados, para uso na estimação das PTFs e outro com os 15% restantes, para validação. Foram calculadas estatísticas descritivas e feita a classificação textural dos solos representados pelos respectivos locais de coleta para os dois subconjuntos de dados. Para cada local, foram ajustadas as curvas de retenção de água do solo e estimados os parâmetros do modelo de van Genuchten (vG): umidade residual (θ_r) e de saturação (θ_s), α e n (parâmetros adicionais de ajuste). Os modelos foram ajustados pelo método de quadrados mínimos não lineares, utilizando o programa computacional SWRC (Dourado-Neto *et al.*, 2000).

As estimativas das propriedades relacionadas à textura e estrutura e dos parâmetros de vG são apresentados em *box-plots* para visualização da sua variabilidade e presença de valores extremos. No modelo de regressão esses valores extremos foram considerados, por se tratar de dados que podem perfeitamente ocorrer em condições naturais.

C. Ajuste e validação dos modelos de regressão múltipla (PTFs)

As PTFs foram estimadas de acordo com as seguintes etapas:

1) Ajuste de modelos de regressão linear múltipla para descrever cada parâmetro do modelo de vG, como função de propriedades do solo (frações de areia grossa, silte e argila, teor de matéria orgânica e densidade do solo), utilizando dados de 75% dos locais de coleta.

3) As variáveis independentes foram selecionadas pelo procedimento *forward*.

4) Para avaliar a qualidade de ajuste dos modelos de regressão foram utilizadas as seguintes medidas: coeficiente de determinação (R^2), índice confiança (I_c) e a raiz do erro quadrático médio (REQM);

5) Validação das PTFs utilizando dados que não foram incluídos no processo de estimação (dados de 15% dos locais).

Resultados

Na Tabela 1, são apresentadas estatísticas descritivas das propriedades morfológicas dos solos para os subconjuntos de dados utilizados para estimar (subconjunto A) e validar (subconjunto B) as funções de pedotransferência. As classes texturais dos solos correspondentes aos dois subconjuntos de dados estão representadas na Figura 2. A variabilidade das estimativas das propriedades relacionadas à textura e estrutura do solo e dos parâmetros do modelo de van Genuchten, oriundas de diferentes locais são apresentadas em *box-plots* (Figura 3).

As estimativas dos coeficientes dos modelos de regressão múltipla (PTFs) utilizados para estimar os parâmetros do modelo de van Genuchten, utilizando os dados do subconjunto A, são apresentadas na Tabela 2; as medidas de adequação das PTFs ajustadas, na Tabela 3.

Discussão

Observa-se que nos solos, de um modo geral, a fração granulométrica maior é a da areia, característica da região Nordeste, onde predominam solos rasos e intemperizados (Figura 2).

A alta variabilidade observada tanto nas propriedades relacionadas à granulometria e estrutura do solo, como nos parâmetros de vG (Figura 3), sugere que análises específicas para diferentes estratos homogêneos de textura ou tipo de solos resultariam em melhor qualidade de ajuste das PTFs com consequente melhoria da precisão das estimativas das curvas de retenção.

Os modelos de regressão utilizando propriedades relacionadas à granulometria e estrutura do solo como preditoras dos parâmetros da curva de retenção de vG, em solos do Nordeste do Brasil, apresentaram boa qualidade de ajuste para parâmetros θ_r e θ_s ($R^2=0,84$ e $0,70$, respectivamente) em contraste com a baixa capacidade preditiva para $\log \alpha$ e n ($R^2=0,24$ e $0,33$, respectivamente). Os índices de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997) que refletem de modo conjunto a precisão e magnitude do viés das estimativas foram $0,28$ e $0,29$, (péssimos); $0,88$ (ótimo) e $0,75$ (muito bom) para $\log \alpha$, n , θ_r e θ_s , respectivamente.

Os erros médios quantificados (REQM= $0,038 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e EM= $-0,002 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) foram consistentes com as magnitudes observadas em diversos trabalhos (Tomasella *et al.*, 2000, 2008). Os valores máximos encontrados foram no intervalo de 6 ($0,070 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) a 10 kPa ($0,060 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Os erros médios (EM) das estimativas das curvas de retenção nos diferentes potenciais (entre 10 e 100 kPa) foram da ordem de $0,020 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $-0,050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Foi observada uma tendência de subestimação dos valores de umidade, tanto para o desenvolvimento ($-0,0013 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), como para a validação ($-0,0024 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Esse comportamento foi verificado também por Oliveira (2005), analisando curvas características de retenção de umidade de solos do Nordeste, principalmente com Argissolos e Latossolos.

A relação $\theta-h$ pode ser afetada por diversas características do solo que não foram consideradas no desenvolvimento das PTFs. Para melhorar a qualidade dos PTFs são necessários mais estudos sobre a) métodos alternativos para ajuste de PTFs, como redes neurais e modelos não lineares b) uso de outros atributos do solo como variáveis preditoras; e c) desenvolvimento de PTFs específicas para estratos homogêneos de solos (Minasny, 1999).

Conclusões

A capacidade preditiva dos PTFs desenvolvidas para a região nordeste do Brasil foi boa para os parâmetros θ_r e θ_s e fraca para os parâmetros $\log \alpha$ e n , viabilizando seu uso em modelos de simulação do balanço hídrico simplificado e para algumas aplicações práticas de irrigação.

As maiores incertezas para as estimativas de umidade volumétrica ocorrem para as tensões entre 10 a 100 kPa em consequência da baixa capacidade preditiva das PTFs para os parâmetros α e n .

Sendo assim, dependendo do grau de sensibilidade de modelos para os parâmetros, o emprego de PTFs para estimar os dados de entrada pode ficar prejudicado.

A alta variabilidade observada tanto nas propriedades morfológicas como nos parâmetros de vG para a região de estudo sugere o agrupamento dos dados em classes texturais ou tipos de solos.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e ao Departamento de Engenharia Rural da Esalq/USP pelo apoio.

Referências

Camargo, A.P.; Sentelhas, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997

Dourado-Neto, D.; Nielsen D. R.; Hopmans J. W.; Reichardt, K.; Bacchi, O. O. S. N. - Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00) *Sci. agric.* vol.57 n.1 Piracicaba Jan./Mar. 2000

Tomasella, J.; Hodnett, M.G. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Sci.*, 163:190-202, 1998.

Tomasella, J., Hodnett, M. E., Rossato, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 64, n. 1, p. 327-338, Jan-Feb. 2000.

Tomasella, J.; Hodnett, M. G.; Cuartas, L. A.; Nobre, A.D.; Waterloo, M.J.; Oliveira, S.M. The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behavior *Hydrological Processes*, vol. 22, issue 13, pp. 2133-2147, 2008.

van den Berg, M., Klamt, E., van Reeuwijk, L.P., Sombroek, W.G., 1997. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferrasols and related soils. *Geoderma* 78, 161– 180.

van Genuchten, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:892-898, 1980.

Rossato, L. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil / L. Rossato. – São José dos Campos: INPE, 2001.mestrado 145p. – (INPE-8915-TDI/809).

Coelho, E.F.; Conceição, M.A.; Souza, V.A.B. Estimativa dos limites de disponibilidade de água em função da densidade global e da textura do solo. *Revista Ceres*, v. 45, p. 183-192, 1998

Wösten, J.H.M.; Lilly, A.; Nemes, A.; Bas, C.L. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*, 90:169-185, 1999.

Wösten, J.H.M.; Pachepsky, Y.A.; Rawls, W.J. Pedotransfer functions: BRIDGIN REYNOLDS. The gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hidrol.*, 251:123-150, 2001

Oliveira, L.B.; Ribeiro, M.R.; Jacomine, P.K.T.; Rodrigues, J.J.V.; Marques, F.A Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 315-323, 2002.

Minasny, B.; Mcbratney, A.B.; Bristow, K. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. *Geoderma*, 93:225-253, 1999

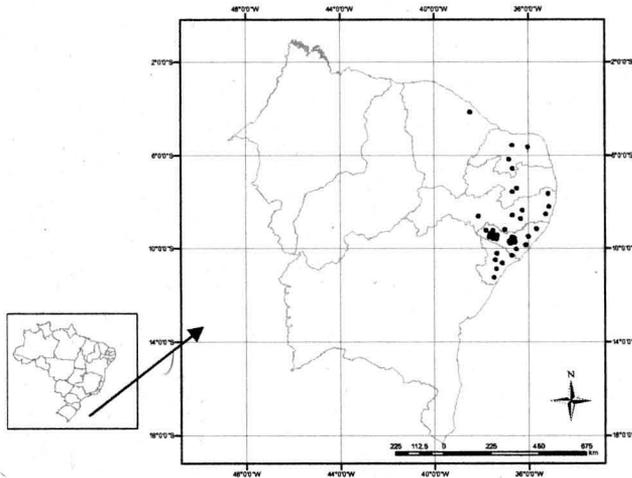


Figura 1. Localização dos pontos de coleta de informações sobre propriedades do solo, utilizadas para o ajuste de funções de pedotransferência no Nordeste do Brasil, com destaque para o estado de Alagoas.

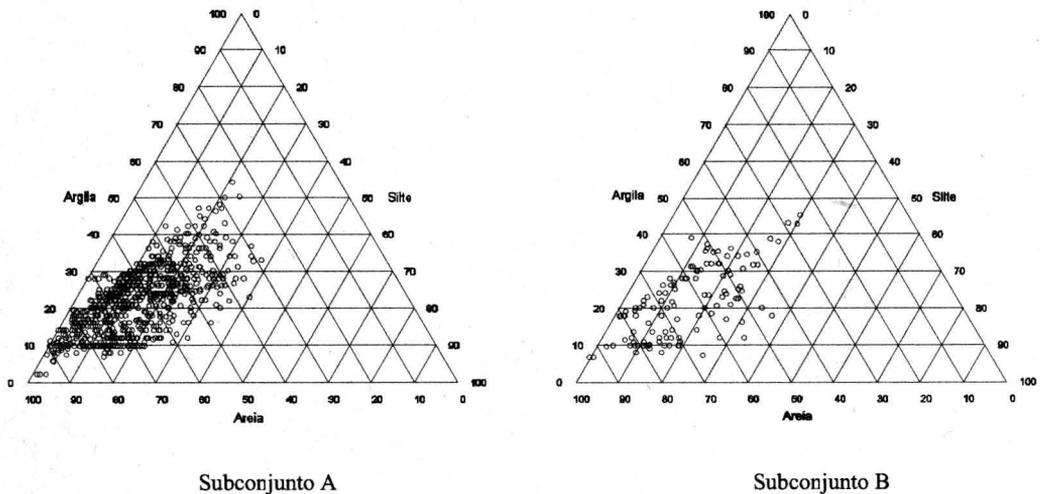


Figura 2. Classificação textural das amostras de solo utilizadas pra estimação (A) e validação (B) das PTFs

Tabela 1. Estatísticas descritivas das propriedades morfológicas dos solos nos pontos de coleta utilizados para estimar (subconjunto A) e validar (subconjunto B) as funções de pedotransferência.

Subconjunto	Estatística	Matéria orgânica	Areia	Silte	Argila	Densidade do solo
		(kg/kg)	(kg/kg)	(kg/kg)	(kg/kg)	(kg/m ³)
A (Estimação)	Média	0,006	0,431	0,148	0,216	1.686
	Máximo	0,027	0,796	0,406	0,542	1.980
	Mínimo	0,000	0,122	0,002	0,020	1.170
	Desvio Padrão	0,004	0,123	0,079	0,091	135
B (Validação)	Média	0,006	0,431	0,150	0,215	1.697
	Máximo	0,023	0,685	0,367	0,451	1.930
	Mínimo	0,001	0,131	0,000	0,064	1.210
	Desvio Padrão	0,004	0,127	0,082	0,095	127

Tabela 2. Estimativas dos coeficientes dos modelos de regressão múltipla utilizados para descrever a relação entre cada um dos parâmetros do modelo de van Genuchten e propriedades relacionadas à textura e estrutura do solo.

Variável independente	Parâmetro do modelo de van Genuchten			
	Log α (kPa ⁻¹)	n (-)	Θ_r m ³ m ⁻³	Θ_s m ³ m ⁻³
----- Estimativas dos coeficientes dos modelos -----				
Intercepto	0,07137	3,3973	-0,468672	-0,111423
MO (kg/kg)	-8,55067	-10,8817	2,458937	
Areia (kg/kg)	-0,37505	-1,7155	0,056250	-0,429744
Silte (kg/kg)	-1,09739	-1,8595	0,364833	
Argila (kg/kg)	-0,73148	-2,4905	0,939939	0,605051
Densidade do solo kg/m ³	-0,000274		0,0002138	0,0003682

Tabela 3. Medidas de adequação dos modelos de regressão múltipla (PTFs) utilizados para estimar parâmetros do modelo de van Genuchten utilizando como preditores propriedades relacionadas à textura e estrutura solo.

Parâmetro do modelo de van Genuchten	R ² * Modelo	R ² Validação	Índice de confiança (Ic)
Log α [a em cm ⁻¹]	0,24	0,12	0,28 (Péssimo)
n	0,33	0,21	0,29 (Péssimo)
Θ_r	0,84	0,87	0,88 (Ótimo)
Θ_s	0,70	0,69	0,75 (Muito Bom)

Quadrado do coeficiente de correlação entre valores observados e preditos pelos respectivos modelos de regressão múltipla.

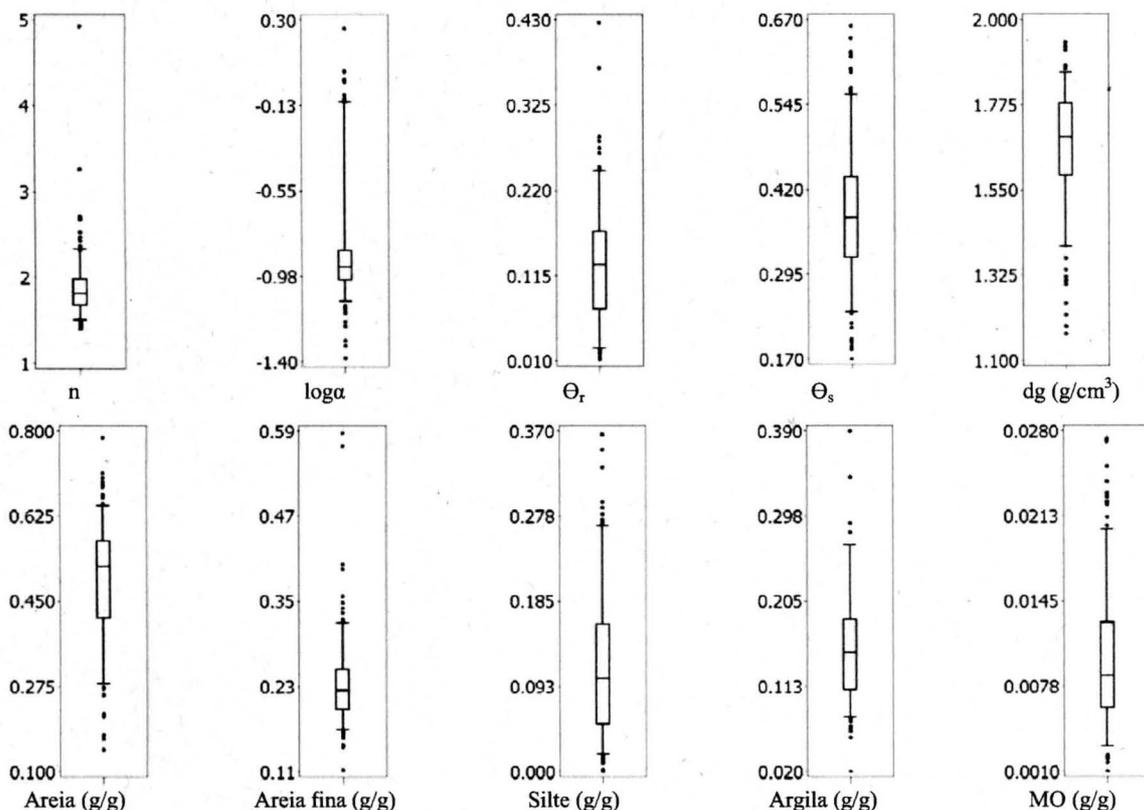


Figura 3. Box-plots das estimativas das propriedades do solo relacionadas à granulometria e estrutura e dos parâmetros do modelo de van Genuchten para os diferentes locais de coleta (n=838).