



COMPORTAMENTO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM FUNÇÃO DA FORMA DE OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE AJUSTE

PEDRO LUAN FERREIRA DA SILVA¹, FLÁVIO PEREIRA DE OLIVEIRA², WALTER ESFRAIN PEREIRA³, ADRIANA FERREIRA MARTINS⁴, ANDRÉ JULIO DO AMARAL⁵

¹Eng. Agr. Mestrando em Agronomia, UEM, Maringá-PR, pedroluanferreira@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Goiânia/GO – Brasil
02 a 05 de agosto de 2020

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento da curva de retenção de água no solo (CRA) em função da forma de obtenção dos parâmetros de ajuste. Um total de 80 amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas na camada de 0,00-0,10 m em um Planossolo Háplico de textura franco-arenosa na cidade de Alagoinha, PB. As amostras foram saturadas e submetidas aos potenciais matriciais ($\Psi_{\rm m}$) -6, -10, -33, -100, -300, -500, -1000 e -1500 kPa. Foram utilizados os *softwares* SWRC e SWRCfit para modelar os dados de umidade do solo (θ), obter os parâmetros de ajustes (θr , θs , m, n, α) e determinar as variáveis: CRA, índice S, potencial matricial no ponto de inflexão ($\theta_{\rm INFL}$). Verifica-se que a CRA pelo SWRCfit favoreceu maior retenção de água no solo entre -100 e -1500 kPa em comparação ao SWRC. Concluise que parte dos parâmetros de ajustes obtidos com *softwares* SWRC e SWRCfit diferiram entre si a (p<0,001; 0,01; 0,05). O SWRC mostra-se mais adequado para a obtenção do índice S.

PALAVRAS-CHAVE: Água disponível, modelagem, Planossolo Háplico, SWRC, SWRCfit.

BEHAVIOR OF THE WATER RETENTION CURVE IN THE GROUND AS A RESULT OF THE FORM OF OBTAINING THE ADJUSTMENT PARAMETERS

ABSTRACT: The aim of this work was to evaluate the behavior of the soil water retention curve (WRC) as a function of how to obtain the adjustment parameters. A total of 80 soil samples with preserved structure were collected in the 0.00-0.10 m layer in a Planosol with sandy-loam texture in the city of Alagoinha, PB, Brazil. The samples were saturated and submitted to matrix potentials (Ψ_m) -6, -10, -33, -100, -300, -500, -1000 and -1500 kPa. The SWRC and SWRCfit softwires were used to model the soil moisture data (θ), obtain the adjustment parameters (θr , θs , m, n, α) and determine the variables: SWRC, S index, matrix potential at the inflection Ψ_m (i) and humidity at the inflection point (θ_{INFL}). It appears that CRA by SWRCfit favored greater water retention in the soil between -100 and -1500 kPa compared to SWRC. It is concluded that part of the adjustment parameters obtained with SWRC and SWRCfit software differ from each other to (p<0.001; 0.01; 0.05). The SWRC is more suitable for obtaining the S index.

KEYWORDS: Available water, modeling, Planosol, SWRC, SWRCfit.

INTRODUÇÃO

O solo é cada vez mais reconhecido como tendo um importante papel nos ecossistemas, assim como para a produção de alimentos e regulação do clima global, por esse motivo, a demanda por informações relevantes e atualizadas em solos é crescente (Caten et al., 2012). Vários estudos têm utilizado um conjunto de atributos do solo conhecidos como indicadores de qualidade do solo (Valani

²Dr. em Ciência do Solo, Prof. Assoc. CCA, UFPB, Areia-PB, pereira@cca.ufpb.br;

³Dr. em Fitotecnia, Prof. Titular. CCA, UFPB, Areia-PB, walterufpb@yahoo.com.br;

⁴Dra. em Ciência do Solo, PNPD/PPGCS. CCA, UFPB, Areia-PB, biol.adriana@gmail.com;

⁴Dr. em Ciência do Solo, Pesquisador. Embrapa Solos, Recife-PE, andre.amaral@embrapa.br;

et al., 2020) para avaliar a sustentabilidade da produção agropecuária. A curva de retenção de água no solo (CRA) é um indicador que tem sido bastante utilizado para a avaliação da qualidade física do solo (Dexter, 2004), pois através dela é possível estimar o conteúdo de água na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente, a capacidade de água disponível às plantas e a condutividade hidráulica não saturada do solo (Andrade et al., 2013; Carducci et al., 2013).

A CRA é um atributo que depende das características intrínsecas do solo e resulta da ação conjunta dos atributos textura, estrutura, mineralogia e conteúdo de matéria orgânica do solo (Beutler et al., 2002). Ela também tem sido utilizada para calcular o índice *S* do solo (Dexter, 2004), parâmetro este que possui estreita relação com a distribuição de poros do solo e apresenta-se bastante sensível às práticas de manejo (Rossetti & Centurion, 2018). Atualmente vários *softwares* têm sido utilizados no ajuste das curvas de retenção de água no solo empregando-se o modelo matemático não-linear proposto por Van Genuchten (1980), destacando-se o SWRC – *Soil Water Retention Curve* (Dourado Neto et al., 2000), o RETEC – *Retention Curve Computer Program* (Van Genuchten et al., 1990) e o SWRCfit - *a nonlinear fitting program with a water retention curve* (Seki, 2007).

Contudo, entre os modelos citados, pouco sabe-se da existência de diferenças no comportamento da CRA no solo quando se ajusta os mesmos valores de umidade do solo através desses diferentes *softwares*, principalmente para Planossolo Háplico sob condições de semiárido. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento da CRA de um Planossolo Háplico em função da forma de obtenção dos parâmetros de ajuste (θr , θs , α , m, n) utilizando os softwares SWRC e SWRCfit.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado, em julho de 2015, em área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), no município de Alagoinha, Paraíba, Brasil (06° 57' 00" S e 35° 32' 42" W; altitude de 317 metros). O clima do município é caracterizado como tropical quente e úmido, tipo As' segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007), com chuvas de outono-inverno e período chuvoso entre os meses de março e agosto.

A precipitação média anual é de 995 mm, com temperatura variando de 22 a 26 °C e umidade relativa do ar de 65%. O solo da área experimental foi classificado como Planossolo Háplico com horizonte A moderado e de textura franco-arenosa (Santos et al., 2018). Atualmente na área experimental um sistema integração lavoura-pecuária-floresta vem sendo conduzido desde o ano de 2015. Um total de 80 amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas na camada de 0,00-0,10 m com auxílio de cilindros metálicos tipo Uhland com 102,09 cm³ e encaminhadas ao Laboratório de Análises Físicas de Solo da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) para a determinação das seguintes variáveis: Curva de Retenção de Água no solo (CRA), potencial matricial no ponto de inflexão $\Psi_m(i)$, umidade do solo no ponto de inflexão ($\theta_{\rm INFL}$) e índice S.

Para a obtenção da CRA, as amostras de solo foram saturadas com água por um período de 48 horas e logo após foram submetidas aos potenciais matriciais $\Psi_{\rm m}$ (-6 kPa na mesa de tensão), -10, -33, -100, -300, -500, -1000 e -1500 kPa no extrator de Richards com placas porosas. Para a obtenção dos parâmetros de ajustes, os valores de umidade volumétrica (θ) correspondentes aos potenciais matriciais aplicados ($\Psi_{\rm m}$) foram modelados através dos *softwares* SWRC e SWRCfit, utilizando o modelo não-linear proposto por Van Genuchten (1980), com a restrição de Mualem (1976), m=1-1/n, conforme apresentado na equação 1:

$$\theta = \theta \mathbf{r} + (\theta \mathbf{s} - \theta \mathbf{r}) / \left[(1 + (\alpha \Psi)^n)^m \right]$$
 (1)

Em que: θ é o conteúdo volumétrico de água no solo (m³ m³) correspondente ao potencial matricial aplicado (Ψ_m kPa); θ r representa a umidade residual do solo; θ s é a umidade correspondente ao volume de saturação; Ψ é o valor absoluto do potencial matricial (kPa); n, m e α são parâmetros empíricos da curva de retenção, com α expresso em (kPa); n e m são adimensionais. No *software* SWRCfit (Seki, 2007) a equação proposta por van Genuchten (1980) é apresentada da seguinte forma:

$$S_e = \left[\frac{1}{(1 + (\alpha h)^n)} \right]^m$$

$$S_e = \left(\frac{\theta}{\theta} - \frac{\theta}{\theta} \right) / \left(\frac{\theta}{\theta} - \frac{\theta}{\theta} \right) = \frac{\theta}{\theta} + \left(\frac{\theta}{\theta} - \frac{\theta}{\theta} \right) S_e$$
(2)

Em que: S_e é a saturação efetiva do solo; θ é o conteúdo volumétrico de água no solo (m³ m⁻³) correspondente ao potencial matricial aplicado (Ψ m kPa); θ r representa a umidade residual do solo; θ s é a umidade correspondente ao volume de saturação; h é o valor absoluto do potencial matricial (kPa);

n, m e α são parâmetros empíricos da curva de retenção, com α expresso em (kPa); n e m são adimensionais. Salienta-se que o θ r não foi fixado em nenhum dos *softwares* utilizados, extrapolando os limites positivos de umidade do solo (Van Lier & Dourado Neto, 1993). Com os parâmetros de ajustes da CRA, foi possível calcular o potencial matricial do solo no ponto de inflexão (Ψ_m i) através da regra de cadeia de processos de derivação (Dexter & Bird, 2001), utilizando a seguinte equação:

$$\Psi_m(i) = 1/\alpha (1/m)^n \tag{3}$$

Em que: Ψ_m (i) é o potencial matricial no ponto de inflexão (-kPa); α , m e n são parâmetros empíricos da curva de retenção de água no solo. O teor de umidade no ponto de inflexão (θ_{INF}) foi calculado utilizando os parâmetros de ajustes da curva de retenção de água no solo (CRA), conforme descrito por Dexter & Bird (2001):

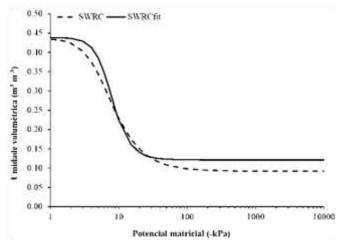
$$\theta_{\text{INFL}} = (\theta s - \theta r) (1 + 1/m)^{-m} + \theta r \tag{4}$$

Em que: θ_{INFL} é o teor de umidade do solo no ponto de inflexão (m³ m³); θ s é o teor de umidade correspondente ao volume de saturação Ψ_m = 0 em (m³ m³); θ r é o teor de umidade residual, correspondente ao potencial matricial Ψ_m = -1500 kPa (m³ m³); m é a constante de restrição (m= 1 – 1/n) Mualem (1976). Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de Tukey (p< 0,001; 0,01; 0.05) com o *software* R (R CORE TEAM, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, verifica-se que o comportamento das curvas de retenção de água no solo indicou maior retenção de água no solo quando os parâmetros foram ajustados pelo SWRCfit, fato esse comprovado pelo distanciamento das curvas entre os potenciais matriciais de -100 e -10000 kPa.

Figura 1. Curvas de retenção de água no solo ajustadas através da modelagem dos dados de umidade nos *softwares* SWRC e SWRCfit.



Quanto ao (θs) , parâmetro que corresponde à umidade no ponto de saturação, verifica-se que os valores foram iguais. Isso se deve ao fato de que a umidade de saturação é um valor fixo, independente do programa que se está utilizando para modelar os dados de umidade do solo, nesse caso, pode-se observar que tanto com o SWRC ou com o SWRCfit, o θs ficou na faixa de 0,40 a 0,45 m³ m³. Observa-se na Figura 1, que houve um decréscimo abrupto no conteúdo de água do solo entre os potenciais de -6 e -10 kPa, estabilizando-se com o aumento da tensão aplicada. Esse comportamento geralmente ocorre em solos que apresentam duas classes de poros bem definidas, uma onde predominam os poros estruturais (macroporos) e a outra onde predominam os poros texturais (mesoporos, microporos e criptoporos) (Carducci et al., 2013; Silva et al., 2017).

A umidade residual, representada pelo (θ r), apresentou um comportamento de equilíbrio a partir do potencial de -33 kPa no SWRCfit, enquanto no SWRC esse mesmo comportamento foi visualizado a partir do potencial de -100 kPa. Outro fato a ser destacado em relação à umidade residual, é que no SWRCfit a umidade permaneceu acima de 0,10 m³ m³ a partir do potencial de -33 kPa mantendo essa tendência até os potenciais maiores de -1500 kPa, já no SWRC, verifica-se que a umidade residual apresentou um acentuado declínio a partir de -33 kPa, tendendo ao equilíbrio quando submetida ao potencial matricial de -500 kPa, com valores de umidade menores que 0,10 m³ m³.

Nesse caso, se fosse levada em consideração a umidade prontamente disponível para as plantas, que corresponde ao intervalo de -6 a -100 kPa, os vegetais teriam menos água disponível no SWRCfit do que no SWRC, pois segundo Reynolds et al. (2007), quando o limite de água no solo estiver igual ou menor que $0.10~\text{m}^3~\text{m}^{-3}$, esse solo passa a ser considerado seco, pois não pode satisfazer as necessidades das plantas por água, estando ela fortemente retida nas partículas de argila do solo. Na Tabela 1, encontram-se apresentados os parâmetros de ajuste da CRA, o potencial matricial do solo no ponto de inflexão da curva ($\Psi_{\rm m}$ i) e a umidade no ponto de inflexão ($\theta_{\rm INFL}$). O parâmetro n foi maior no SWRCfit em relação ao SWRC e o α numericamente próximo.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste da CRA, umidade (θ_{INFL}) e potencial matricial no ponto de inflexão (Ψ_m i) obtidos através da modelagem de dados no SWRC e SWRCfit.

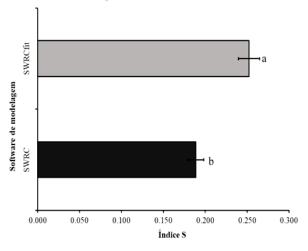
Software	θ s	θ r	$ heta_{ ext{INFL}}$	α	Ψ _m i	n	m	R^2
	m ³ m ⁻³							
SWRC	0,437 a	0,091b**	0,293 a	0,183a***	7,961 a	$2,56 b^{**}$	$0,531b^{**}$	0,96b***
SWRCfit	0,439 a	0,121 a	0,291 a	0,143 b	7,750 a	3,69 a	0,715 a	0,98 a
CV	2,1	9,4	2,4	14,47	3,6	17,6	9,4	0,4
σ	0,009	0,009	0,007	0,023	0,282	0,55	0,058	0,003

 θ s = Umidade de saturação, θ r = umidade residual, (α , n, m) = parâmetros empíricos de ajustes da cura de retenção, CV = coeficiente de variação, σ = desvio padrão. Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,001***; 0,01**; 0.05*).

As diferenças no valor de n podem ter influenciado a distribuição do diâmetro de poros no solo e a declividade da curva, pois, quanto menor o valor de n, melhor será a distribuição de poros no sistema. Esse comportamento influenciou em maior retenção de água através do SWRCfit por ocasião do predomínio de microporos e criptoporos. Em relação à α , valores elevados indicam predomínio de poros de maior diâmetro, o que favorece a secagem mais rápida do solo. O valor significativo de α no SWRC (-0,183 kPa) está relacionado ao predomínio de poros de diâmetro intermediário (macro e mesoporos), confirmado através mudança no padrão de retenção da curva no $\Psi_m >$ -100 kPa.

Quanto ao índice S, verifica-se, na Figura 2, que foi superior no SWRCfit (0,252) em relação ao SWRC (0,189) (p<0,05). Nesse caso, apesar do SWRCfit ter demonstrado um valor que qualifica uma melhor qualidade estrutural do solo S>0,035 (Dexter, 2004), o SWRC mostrou-se mais sensível à obtenção desse índice, aproximando-se da maioria dos valores médios encontrados na literatura. Apesar dos fatores que podem influenciar na obtenção desse índice (Maia, 2011), a modelagem com o SWRC permitiu um valor de S aproximado aos verificados por Dexter (2004), Andrade et al. (2013) e Silva et al. (2017).

Figura 2. Índice *S* obtido através da modelagem de dados nos softwares SWRC e SWRCfit. (*p*<0,05).



CONCLUSÃO

A obtenção dos parâmetros com o SWRCfit favorece maior retenção de água entre -10 e -1500 kPa, menor disponibilidade de água para as plantas e irregularidade na distribuição de poros por

diâmetro. O SWRC demonstrou uma maior sensibilidade na obtenção do índice *S* e na efetiva distribuição de poros por diâmetro, com menor valor de *n*. Conclui-se que o SWRC se adequa melhor às condições de solo ao qual o estudo foi realizado em função de predizer com melhor qualidade os índices relacionados à qualidade estrutural do solo.

REFERÊNCIAS

- Andrade, R. S.; Stone, L.F.; Godoy, S. G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 9, p. 932-937, 2013.
- Beutler, A. N.; Centurion, J. F.; Souza, Z. M.; Andrioli, I.; Roque, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002.
- Carducci, C. E.; Oliveira, G. C.; Zeviani, W. M.; Lima, V. M. P.; Serafim, M. E. Bimodal pore distribution on soils under conservation management system for coffee crop. Engenharia Agrícola, v. 33, n. 2, p. 291-302, 2013.
- Caten, A. T.; Dalmolin, R. S. D.; Santos, M. L. M.; Giasson, E. Mapeamento digital de classes de solos: Características da abordagem brasileira. Ciência Rural, v. 42, n. 11, p. 1989-1997, 2012.
- Dexter, A. R. Soil physical quality part I. Theory, effects, density and organic matter and effects on root growth. Geoderma, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.
- Dexter, A. R.; Bird, N. R. A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. Soil and Tillage Research, v. 57, n. 3-4, p. 203-212, 2001.
- Dourado-Neto, D.; Nielsen, D. R.; Hopmans, J. W.; Reichardt, K.; Bacchi, O. O. S. Software to model soil water retention curve (SWRC version 2.00). Scientia Agricola, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.
- Maia, C. E. Índice S para avaliação da qualidade física de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 10, n. 8, p. 1959-1965, 2011.
- Mualem, Y. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction and formulas. In: Klute, A. Methods of soil analysis: I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, 1976. Cap. 4, p. 799-823.
- Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, n. 11, p. 1633-1644, 2007.
- R Development Core Team. A language and environment for statistical computing. 2013. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available at: https://www.r-project.org/.
- Reynolds, W. D.; Drury, C. F.; Yang, X. M.; Fox, C. A.; Tan, C. S.; Zhang, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam. Soil and Tillage Research, v. 96, n. 1-2, p. 316-330, 2007.
- Rossetti, K. V.; Centurion, J. F. Use of S-index as a structural quality indicator for compacted Latosols cultivated with maize. Revista Caatinga, v. 31, n. 2, p. 455-465, 2018.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. Á.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araújo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.
- Seki, K. SWRCFIT- a non-linear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. Hydrology and Earth Systems Sciences Discussions, v. 4, n. 1, p. 407-437, 2007.
- Silva, É. A.; Benevenute, P. A. N.; Melo, L. B. B. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos de curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e índice S. Tecnologia & Ciência Agropecuária, v. 11, n. 4, p. 49-54, 2017.
- Valani, G. P.; Vezzani, F. M.; Cavalieri-Polizeli, K. M. V. Soil quality: Evaluation of on-farm assessments in relation to analytical index. Soil and Tillage Research, v. 198, n. 1, p. 1-13, 2020.
- Van Genuchten, M. T. A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity on unsaturated soil. Soil Science Society of American Journal, v. 44, n. 3, p. 892-897, 1980.
- Van Genuchten, M. T.; Simunek, J.; Leij, F. J.; Sejna, M. RETC version 6.02. 1990. Disponível em: http://www.pc-progress.com. Acesso em: 4 de outubro de 2009.
- Van Lier, Q. J.; Dourado Neto, D. Valores extremos de umidade do solo referentes ao modelo de Van Genuchten. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 9, n. 2, p. 325-329, 1993.