

Workshop de Simulação de Fluxos de Água e Solutos no Solo

Embrapa Solos e Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Ajuste de equações de retenção de água em solos do Sudoeste da Amazônia

Fitting soil water retention equations to soil in the southwestern of Amazon

Wenceslau Geraldes Teixeira⁽¹⁾; Fernando Igne Rocha⁽²⁾; Gabriela Dias⁽³⁾; Leticia Guimarães Pimentel⁽⁴⁾; Aline P. de Oliveira⁽¹⁾; Ederson C. Jesus⁽⁵⁾

(1) Pesquisador - Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ wenceslau.teixeira@embrapa.br; (2) Doutorando em Agronomia – Ciência do Solo / UFRRJ, Seropédica, RJ. (3) Graduanda Ciência Ambiental - UFF - Bolsista Pibic- Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, (4) Mestranda Programa PEAMB-UERJ - Bolsista Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ (4) Pesquisador - Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

RESUMO: A avaliação da curva característica de retenção de água de um solo fornece informações para a avaliação de sua aptidão agrícola, de risco climático e orienta o manejo mais adequado, assim como possibilita estudos de modelagem hidrológica, da produtividade de cultivos e em estudos geotécnicos e ecológicos de distribuição da vegetação. O objetivo deste estudo foi estimar os valores de água disponível e ajustar a curva de retenção de água de horizontes selecionados de três áreas com predomínio de Luvissole Háplico, Plintossolo Argilúvico e Argissolo Amarelo localizadas no município de Bujari - Acre, para as equações de van Genuchten e Durner. Os Luvissoles Háplicos e Plintossolos Argilúvicos apresentam valores muito altos de água disponíveis nos horizontes superficiais. O Argissolo Amarelo tem valores reduzidos principalmente nos horizontes subsuperficiais. Os resultados mostraram que os solos apresentaram um bom ajuste para curvas unimodais para o Luvissole e Plintossolo e uma melhoria significativa no ajuste bimodal para o Argissolo. A curva de retenção de água (CRA) dos solos estudados pode ser descrita razoavelmente pelo modelo unimodal de van Genuchten, exceto os horizontes subsuperficiais do Argissolo Amarelo.

Palavras-chave: Curva de retenção da água no solo; água disponível; modelagem hidrológica.

ABSTRACT: The evaluation of the soil water retention curve provides information for the evaluation of its agricultural aptitude, and of climatic risk and guides, the most appropriate management, as well as allows studies of hydrological modeling, the productivity of crops, and geotechnical and ecological studies of vegetation distribution. The objective of this study was to estimate the values of available water and to adjust the water retention curve of selected horizons of three areas with a predominance of Luvissole Háplico, Plintossolo Argilúvico e Argissolo Amarelo located in the municipality of Bujari - Acre, for the van Genuchten and Durner equations. The Luvissole Háplico and

Plintossolo Argilúvico have very high values of available water in the surface horizons. The Argissolo Amarelo has reduced values mainly in the subsurface horizons. The results showed that the soils showed a good fit for unimodal curves for Luvissole and Plintossolo and a significant improvement in the bimodal fit for Argissolo. The water retention curve (WRC) of the studied soils can be reasonably described by the unimodal van Genuchten model, except for the subsurface horizons of the Argissolo Amarelo.

Keywords: Soil water retention curve; available water; hydrological modeling.

INTRODUÇÃO

São extremamente escassas as informações sobre a retenção de água dos solos do sudoeste da Amazônia, em especial do estado do Acre. Dentre os raros estudos, destacam-se os trabalhos de Kotlar et al. (2020) e Portugal (2000). A avaliação da capacidade de retenção de água de um solo contribui com a avaliação de sua aptidão agrícola, de risco climático e orienta o manejo mais adequado; assim como possibilita estudos de modelagem hidrológica, da produtividade de cultivos e estudos geotécnicos e ecológicos de distribuição da biodiversidade da flora e fauna. Valores obtidos das umidades volumétricas de determinados solos na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e das estimativas da água disponível (AD) são parâmetros essenciais no manejo da irrigação e no zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) (Assad et al., 2008). A disponibilidade de água no solo passível de ser absorvida pelas plantas assim como os potenciais para estimativas da CC e PMP para diferentes espécies e solos são motivos de debate e interpretações (Bonfante; Bouma, 2015). Há muitos anos modelos matemáticos e técnicas de simulação são utilizados para descrever de forma dinâmica a natureza da água no sistema solo-planta. A capacidade de um solo em reter água e disponibilizá-la para as plantas é

representada pela curva de retenção de água (CRA), a qual relaciona a fração volumétrica de água (θ) a uma dada tensão matricial (h) (Jorge, et al. 2010). Portanto, um aumento da tensão matricial significa uma redução da água presente no solo (Hillel, 1998).

Muitos modelos matemáticos foram elaborados para descrever a CRA. Contudo, o modelo proposto por van Genuchten (1980) continua sendo o mais utilizado, uma vez que ele consegue representar essa função para a maioria dos solos estudados. Entretanto, o modelo de van Genuchten não é capaz de se ajustar adequadamente a solos com distribuição bimodal de poros, estes solos se ajustam melhor a modelos bimodais como o proposto por Durner (1994). Apesar do conhecimento de que vários solos do Brasil apresentam destruição de poros bimodal estes modelos ainda são pouco utilizados para ajustes de solos do Brasil (Carducci et al., 2011; Teixeira et al., 2001).

O objetivo deste trabalho foi ajustar e comparar os modelos uni modal (van Genuchten) e bimodal (Durner) que descrevem a retenção de água em função do potencial matricial (CRA) de três áreas com predomínio de Luvisolo Háptico, Plintossolo Argilúvico e Argissolo Amarelo descritos e amostrados no município de Bujari - Acre.

MATERIAL E MÉTODOS

Perfis de solo representativos dos solos predominantes do sudoeste da Amazônia. Os solos amostrados para a avaliação da retenção de água em diferentes potenciais foram de três classes de solo: uma área de Luvisolo Háptico sob pastagem com predomínio da espécie *brachiaria* (*Urochloa brizantha*) com aproximadamente sete anos de plantio. Uma área com Plintossolo Argilúvico sob pastagens com cerca de 25 anos de plantio, e uma área de floresta primária com predomínio de Argissolo Amarelo. Foram coletadas amostras de solos indeformadas em triplicata, em três horizontes de cada classe de solo, todas as áreas amostradas na Fazenda Leblon, no município de Bujari – AC. Detalhes e caracterização dos perfis e áreas amostras estão disponíveis em Rocha (2022). As análises de retenção de água foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus. As umidades volumétricas do solo foram determinadas por gravimetria após atingir o equilíbrio nas tensões matriciais de 0; 1; 3; 6; 10 kPa em mesa de tensão. Posteriormente as amostras foram submetidas às tensões de 33; 110 e 500 kPa e 1500 kPa em câmaras de Richard, segundo os procedimentos descritos em Teixeira e Bhering (2017). Calculou-se a AD no solo subtraindo o valor da umidade na capacidade de campo (10 kPa) da umidade no ponto de murcha permanente (1500 kPa) para cada área com diferentes solos nos diferentes

horizontes. Os pares de umidade (volumétrica – $m^3 m^{-3}$) e tensões de equilíbrio foram ajustados às equações de van Genuchten (1980) com a restrição de Mualem (1976), descrita abaixo:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha|h|)^n\right]^m}, m = 1 - 1/n$$

Em que θ_s e θ_r são, respectivamente, o volume de água na saturação e residual ($m^3 m^{-3}$); h é a tensão matricial da água no solo (cm de água – em módulo); α , n e m são parâmetros empíricos do modelo.

E a equação bimodal de Durner (1994):

$$\theta(h) = (\theta_s - \theta_r) \sum_{i=1}^k w_i \left[1 + (\alpha|h|)^n\right]^{-m} + \theta_r, m = 1 - 1/n$$

Os parâmetros da Equação de Durner são como definidos previamente, sendo k o número de sub curvas (modas) e w_i é um fator de peso dado para cada moda, satisfazendo $0 < w_i < 1$. Para o ajuste de ambas as equações, denominadas de curva de retenção de água (CRA) foi utilizado o software HYPROP (2019). Os dados de tensão potencial matricial são apresentados e plotados em \log_{10} cmH₂O, denominado de unidade pF. Foi utilizado como critério para qualidade e comparação dos ajustes das equações uni (vG) e bimodal (Durner) os menores valores da raiz do erro quadrático médio (RMSE).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das umidades volumétricas do solo nos diferentes potenciais avaliados (Tabela 1) mostram elevada capacidade de retenção de água em baixos potenciais (até pF 2.5) para os horizontes do Luvisolo e Plintossolo estudados, que apresentam textura fina (Tabelas 1 e 2). O Argissolo estudado apresenta uma menor retenção de água em baixos potenciais (por ex. pF 2) o que reflete em baixos valores de AD neste solo.

Os valores médios da água retida nos potenciais (pF 2; 2,5; 3) apresentaram baixa redução da água ou mesmo mantiveram o valor apesar do aumento da tensão. Este fenômeno é raramente reportado, sendo a explicação física é que a água retida estava em poros que somente drenam em potenciais maiores (por exemplo pF 4.2). Alterações bruscas de temperaturas e procedimentos no laboratório que podem determinar esta ocorrência (Teixeira et al., 2021; Moraes et al., 1993a, b). Amostras com argilas ativas como dos solos encontrados no sudoeste da Amazônia, apresentam um longo tempo para o equilíbrio ser atingido e procedimentos laboratoriais inadequados (p. ex., perda de contato com as placas ou mesa de tensão, uso de diferentes equipamentos) (Ball; Hunter, 1988) podem causar erros nas

determinações do potencial de equilíbrio e da umidade das amostras.

Os valores de AD foram classificados (Teixeira et al., 2002) entre valores muito altos para o horizonte AB do Luvissole Háplico, e valores muito baixos nos horizontes AB e Bt do Argissolo Amarelo (Tabela 2).

Os coeficientes das equações de van Genuchten e Durner (Tabela 2) mostram que a retenção da água em diferentes potenciais, para maioria dos horizontes estudados pode ser descrita pelo modelo unimodal, exceto os horizontes AB do Luvissole Háplico, e os horizontes AB e Bt do Argissolo Amarelo, indicado pelos menores valores do RMSE. As CRA de todos os solos e seus horizontes são apresentados nas Figuras 1 e 2. A seleção de modelos que apresentam uma melhor descrição da relação entre a umidade e potencial próximo a saturação (potenciais menores que pF 2) é fundamental para estudos de simulação de fluxos em áreas de alta pluviosidade como na Amazônia, pois estas incertezas na descrição próxima da saturação do solo se refletem de forma exponencial na equação que descreve a condutividade hidráulica em função do potencial (Durner, 1994, van Genuchten, 1980).

CONCLUSÕES

Os Luvissoles Háplicos e Plintossolos Argilúvicos do sudoeste da Amazônia apresentam valores muito alto de água disponível nos horizontes superficiais.

O Argissolo Amarelo apresentou valores baixos de AD principalmente nos horizontes subsuperficiais.

A curva de retenção de água (CRA) pode ser descrita razoavelmente pelo modelo unimodal de van Genuchten. Entretanto, para estudos que envolvam cálculos de fluxos de água derivados da CRA se recomenda o uso da equação bimodal para os horizontes subsuperficiais do Argissolo Amarelo.

AGRADECIMENTOS

A USAID/NAS (PEER Project 4-299, USAID agreement AID-OAA-A-11-00012) pelo financiamento do projeto. Ao CNPq pela bolsa de produtividade de ECJ e WGT, e pela bolsa de estudo de doutorado na FIR. A CAPES/PDSE, pela concessão da bolsa de doutorado-sanduiche ao primeiro autor.

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/14Uk4naEIBxoZoibDtEgMV44U0KcsVwRKYcrf9TrB-30/edit?usp=sharing>

REFERÊNCIAS

BALL, B. C.; HUNTER, R. The determination of water release characteristics of soil cores at low suctions. *Geoderma*, 43: 1952-212, 1988.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. In: *Advances in Soil Science*. Springer. New York, 1989. p. 177-213.

BONFANTE, A.; BOUMA, J. The role of soil series in quantitative Land Evaluation when expressing effects of climate change and crop breeding on future land use. *Geoderma*. 259-260, 2015. p. 187-195.

CARDUCCI, C. E. OLIVEIRA, G. C. SEVERIANO, E. C. ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:77-86, 2011.

CARDUCCI, C. E., et al. Retenção de água e distribuição bimodal de poros em solos sob sistema intensivo de manejo. *Engenharia Agrícola*. 2016. 33. 291 – 296.

DURNER W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research*. 30: 211-223, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília, 2006. 412p.

KOTLAR, A. M.; VAN LIER, Q J.; SOUZA BRITO, E. de. Pedotransfer functions for water contents at specific pressure heads of silty soils from Amazon rainforest. *Geoderma*, v. 361, p. 114098, 2020.

MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. BACCHI, O. O. S. Heterogeneidade dos pontos experimentais de curvas de retenção da água no solo. *Scientia Agricola*, 50(3), 393-403. 1993a.

MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L. Variabilidade da água disponível de uma Terra Roxa Estruturada Latossólica. *Scientia Agricola*, 50(3), 404-412. 1993b.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Res. Res.*, 12;513-522, 1976.

PORTUGAL, A. F. Juruá dry land and wet land geoenvironments, northwest of Acre state. 2009. 148 f. (Tese Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. 148 p.

Rocha, F. I., Ribeiro, T. G., Fontes, M. A., Schwab, S., Coelho, M. R. R., Lumberras, J. F., ... & Jesus, E. D. C. Land-Use System and Forest Floor Explain Prokaryotic Metacommunity Structuring and Spatial Turnover in Amazonian Forest-to-Pasture Conversion Areas. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, p. 909, 2021.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, A. L. da S.; LUMBRERAS, J. F. Retenção de água em amostras de solos da XIII RCC, estado do Maranhão. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 14.

TEIXEIRA, W. G.; BHERING, S. B. Retenção de água no solo pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017, p. 34-46.

SCHINDLER, U. METER Group AG: HYPROP-FIT. Versão 4.2.2.0 [S.l.], 2019. Disponível em: <https://www.metergroup.com/>. Acessado em: 09 de setembro de 2022.

TEIXEIRA, W. G. Land use systems effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey Ferralsol in the Central Amazon. Bayreuther Bodenkundliche Berichte. Bayreuth, v.72, 1-255 p

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. 44: 892-898, 1980.

Tabela 1. Umidades volumétricas do solo [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$] retidas em amostras de três perfis de solo localizados no sudoeste da Amazônia após equilíbrio a oito diferentes potenciais [$\text{pF} - \log_{10} \text{cm}$]

Classe de Solo	Horizonte	Espessura	ED	0	1	1,5	1,8	2	2,5	3	4,2	AD
-		cm		θ [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$]								
Luvissolo Háplico	AB	5-20	Média	0,48	0,45	0,44	0,43	0,35	0,34	0,33	0,21	0,14
			DP	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
	Bt1	20-35	Média	0,49	0,45	0,42	0,40	0,32	0,30	0,29	0,21	0,10
			DP	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	Bt2	35-65	Média	0,49	0,46	0,43	0,41	0,36	0,35	0,34	0,28	0,07
			DP	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Plintossolo Argilúvico	A	5-23	Média	0,48	0,44	0,41	0,38	0,31	0,29	0,27	0,17	0,14
			DP	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00
	AB2	23-33	Média	0,44	0,40	0,38	0,36	0,30	0,29	0,29	0,24	0,05
			DP	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	2Btgf2	45-76	Média	0,43	0,37	0,36	0,35	0,30	0,30	0,30	0,25	0,05
			DP	0,07	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Argissolo Amarelo	A	0-12	Média	0,46	0,42	0,38	0,34	0,22	0,21	0,21	0,13	0,09
			DP	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04
	AB	12-30	Média	0,46	0,43	0,38	0,34	0,19	0,18	0,18	0,16	0,03
			DP	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	Bt	48-57	Média	0,48	0,41	0,32	0,27	0,15	0,15	0,15	0,13	0,02
			DP	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01

AD – Água Disponível; DP – Desvio Padrão; ED – Estatística Descritiva;

Tabela 2. Parâmetros das funções de retenção de água de van Genuchten e Durner de três perfis de solo localizados no sudoeste da Amazônia

Parâmetros	Luvissolo Háplico			Plintossolo Argilúvico			Argissolo Amarelo		
	FAS	A	AS	FA	FA	A	F	FAA	FA
Classe textural	5-20	20-25	35-65	5-23	23-33	45-76	0-12	12-30	48-57
Função unimodal - van Genuchten									
θ_s ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,479	0,491	0,494	0,485	0,440	0,440	0,456	0,424	0,467
θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,000	0,161	0,238	0,032	0,224	0,202	0,142	0,172	0,129
α (cm^{-1})	0,054	0,075	0,109	0,102	0,092	0,500	0,038	0,015	0,048
n	1,114	1,255	1,228	1,155	1,323	1,167	1,612	7,182	1,986
RMSE	0,020	0,017	0,011	0,015	0,014	0,013	0,027	0,021	0,024
Função bimodal – Durner									
θ_s ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,457	0,499	0,485	0,483	0,446	0,442	0,471	0,462	0,481
θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,000	0,000	0,247	0,000	0,178	0,000	0,000	0,167	0,141
α_1 (cm^{-1})	0,000	0,013	0,000	0,014	0,500	0,500	0,014	0,094	0,105
n1	1,305	15,000	7,535	15,000	1,129	1,517	15,000	1,741	2,233
W1	0,752	0,129	0,338	0,097	0,805	0,140	0,264	0,465	0,602
α_2 (cm^{-1})	0,014	0,351	0,046	0,146	0,014	0,500	0,500	0,014	0,014
n2	8,823	1,079	1,719	1,111	15,000	1,046	1,100	15,000	15,000
W2	0,248	0,871	0,662	0,903	0,195	0,860	0,736	0,535	0,398
RMSE	0,010	0,007	0,009	0,010	0,007	0,013	0,011	0,004	0,005

Classes texturais - A= Argila; F = Franca; FA = franco-arenosa; FAA = franco-argilo-arenosa; FAS = franco-argilo-siltosa. FA = Franco-arenosa. RMSE = Raiz do erro quadrático médio).

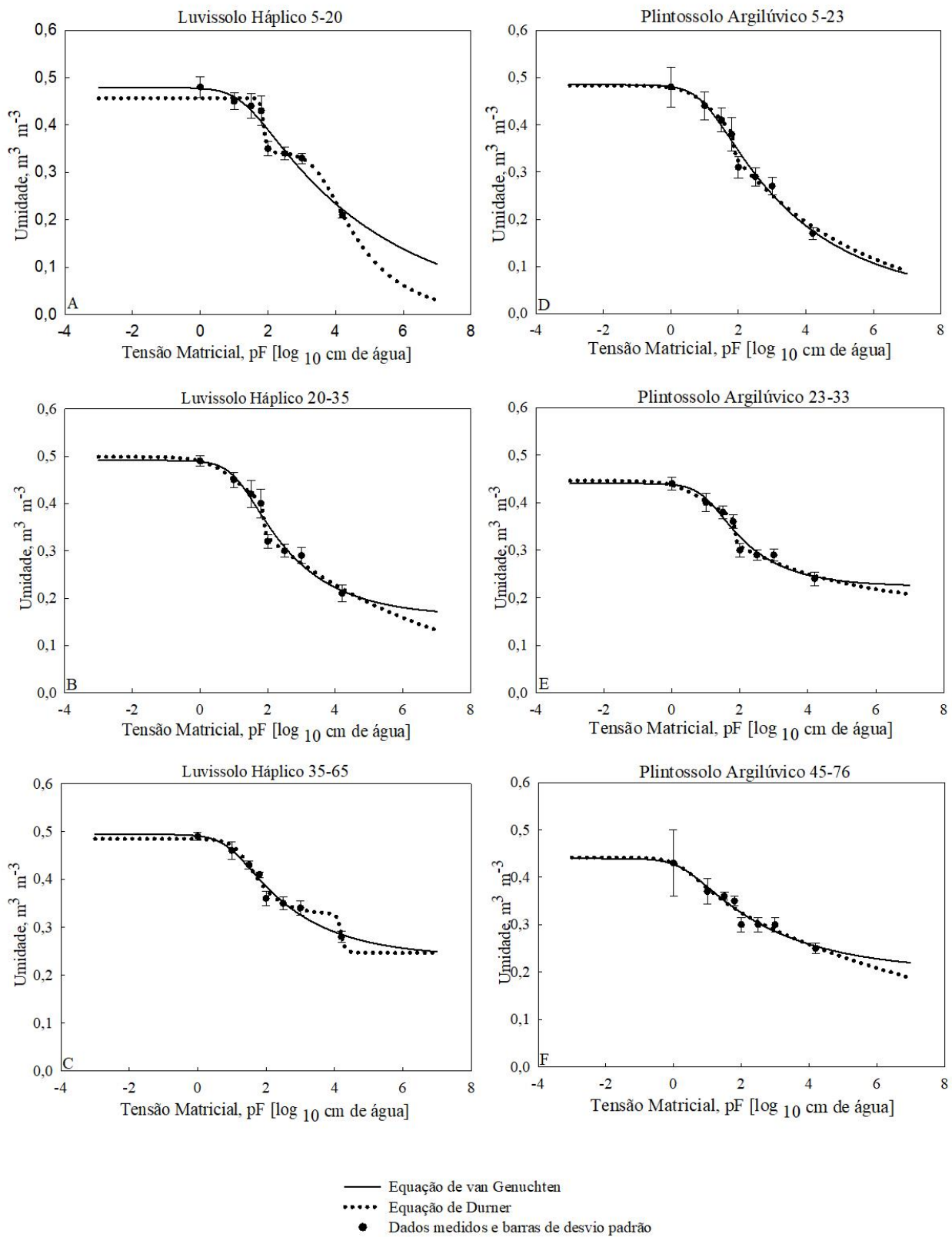


Figura 1. Funções de retenção da água ajustadas para amostras de Luvisolo Háplico (Pasto Novo) nos horizontes BA, Btg1 e Btg2 e para amostras de Plintossolo Argilúvico (Pasto Velho) nos horizontes AB, Bt1gf e Bt3gf para os modelos unimodal (van Genuchten, 1980) e bimodal (Durner, 1994).

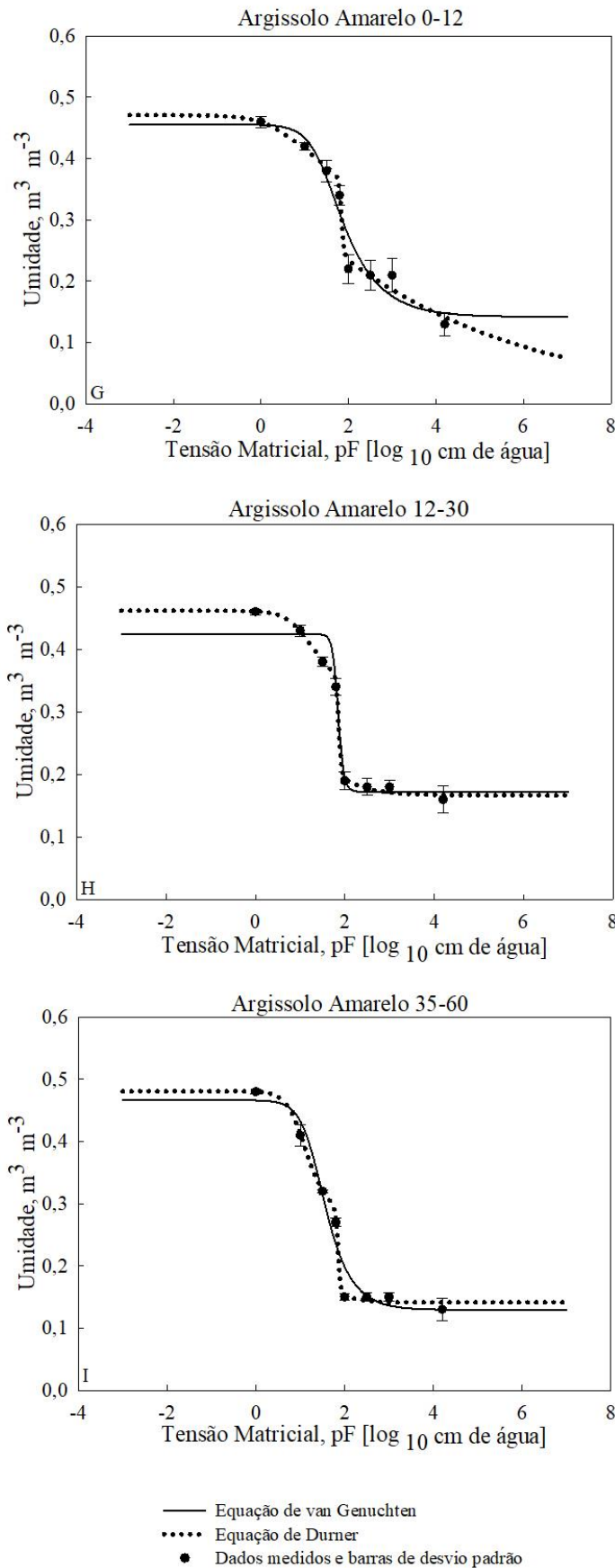


Figura 2. Funções de retenção da água ajustadas para amostras de Argissolo Amarelo em área de floresta nos horizontes A, AB e Bw2 para os modelos unimodal (van Genuchten, 1980) e bimodal (Durner, 1994).