

## Funções de Pedotransferência para estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos da Depressão Central do RS.<sup>(1)</sup>

**André da Costa<sup>(2)</sup>; Miriam Fernanda Rodrigues<sup>(3)</sup>; Lilian Alessandra Rodrigues<sup>(4)</sup>;  
Maísa Carina Zardin<sup>(5)</sup>; Jose Miguel Reichert<sup>(6)</sup>; Norton Borges Júnior<sup>(7)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da CAPES, CNPq, da FAPERGS e da empresa Celulose Riograndense (CMPC).

<sup>(2)</sup> Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF); Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Santa Maria, RS; andrecoستا.agro@hotmail.com; <sup>(3)</sup> Doutoranda do PPGEF; Universidade Federal de Santa Maria; <sup>(4,5)</sup> Estudante de Engenharia Florestal; Universidade Federal de Santa Maria; <sup>(6)</sup> Professor titular do Departamento de Solos; Universidade Federal de Santa Maria; <sup>(7)</sup> Pesquisador da Empresa Celulose Riograndense (CMPC).

**RESUMO:** Modelos de simulação para a análise de cenários de uso e manejo do solo demandam conhecimento de atributos físicos do solo. Os objetivos do estudo foram gerar e validar funções de pedotransferência (FPTs) para estimar a retenção e a disponibilidade de água em solos sob cobertura florestal derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas no Rio Grande do Sul. O estudo foi realizado numa bacia hidrográfica localizada em Eldorado do Sul-RS. Foram amostrados horizontes de 30 perfis de solos para determinação da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), conteúdo de água disponível (AD), granulometria, densidade do solo e porosidade total. As FPTs foram geradas pela análise de regressão múltipla e robusta. Conclui-se que a CC, o PMP e a AD são dependentes das frações granulométricas do solo, inclusive pela fração cascalho + calhaus. A acurácia da FPTs para CC e PMP foi elevada e para a AD foi baixa.

**Termos de indexação:** capacidade de campo, ponto de murcha permanente, análise de regressão múltipla.

### INTRODUÇÃO

A utilização de modelos matemáticos de simulação para a análise de cenários de uso e manejo do solo demandam o conhecimento de muitos atributos físicos do solo, especialmente daquelas relacionadas à retenção e disponibilidade de água. Entretanto, à medida direta dos atributos físico-hídricos do solo são demorados, caros e variáveis no tempo. Além disso, em regiões com grande diversidade de tipos de solo, a retenção e a disponibilidade de água variam muito entre solos, o que resulta na carência desse tipo de estudo, principalmente nos países em desenvolvimento e de clima tropical (Hartemink, 2002).

Para minimizar a dificuldade da determinação direta dos atributos básicos e de retenção e

disponibilidade de água para várias classes de solo e ampliar as informações contidas nos bancos de dados, pode-se fazer uso funções de pedotransferência (FPTs) (Bouma, 1989), para possibilitar a estimativa de atributos de mais difícil mensuração e maior custo, com base em outros atributos do solo que estejam disponíveis. Diante do exposto, objetivou-se gerar e validar funções de pedotransferência (FPTs) para estimar a retenção e a disponibilidade de água, em solos sob cobertura florestal derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas no Rio Grande do Sul.

### MATÉRIAL E MÉTODOS

A área em estudo, denominada como Bacia hidrográfica do horto florestal Terra Dura (bacia), possui área de drenagem de 94,46 ha e está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí, em Eldorado do Sul, na região fisiográfica Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

O clima da região, pela classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa - subtropical úmido com verão quente (Moreno, 1961).

O uso predominante do solo consiste no sistema de produção florestal, com povoamentos de eucalipto jovens e antigos (implantados em 1989, 1990, 2001, 2004, 2005, 2007 e 2010), além de áreas de preservação permanente (APP) e estradas.

A geologia da área é composta de rochas ígneas intrusivas, sienogranitos, correspondente à Suíte Intrusiva Dom Feliciano - Litofácies Serra do Herval, do Período Neoproterozóico (2500 Ma) (Ramgrab et al., 2004). As classes de solo que ocorrem no local são Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Amarelo, Planossolo Háplico e Cambissolo Háplico. Foram amostrados horizontes superficiais e subsuperficiais de 30 perfis de solos localizados na área de estudo, totalizando 67 amostras.

A granulometria da fração < 2 mm foi determinada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997). A distribuição granulométrica das frações > 2 mm foi determinada por peneiramento.

As amostras foram preparadas em laboratório, saturadas por capilaridade e pesadas, para determinação da porosidade total (Pt), sendo em seguida, submetidas as tensões de 6 kPa usando coluna de areia para determinação da macroporosidade e microporosidade (Klute, 1986) e a 10 kPa para determinação água retida na capacidade de campo (CC). Ao final, as amostras foram mantidas em estufa a 105 °C até atingirem peso constante, para determinação da densidade do solo (Ds).

A umidade gravimétrica para a tensão de 1500 kPa foi analisada com psicrômetro (WP4 – Dewpoint Potential Meter), utilizando-se amostras com estrutura deformada (Klein et al., 2006). A umidade gravimétrica determinada foi multiplicada pela densidade do solo correspondente à camada amostrada, para obtenção da umidade volumétrica, correspondente ao ponto de murcha permanente (PMP). Devido ao tipo de granulometria do solo, o PMP (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) foi corrigido em função da fração cascalho + calhaus no solo, pela seguinte equação:

$$PMP = u g_{\text{fração} < 2 \text{ mm}} (\psi = -1,5 \text{ MPa}) \times \frac{m_{\text{fração} < 2 \text{ mm}}}{m_{\text{fração} < 200 \text{ mm}}}$$

O conteúdo de água disponível (AD) foi considerado como a volume de água perdido entre as sucções de 10 e 1500 kPa.

Na **Tabela 1** são apresentados os valores mediados, máximos e mínimos dos atributos físicos avaliados.

#### Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, onde se identificou que algumas variáveis não possuíam distribuição normal dos dados. Por isso, realizou-se a análise de correlação de postos de Spearman entre a CC, PMP e AD e as demais atributos físicos dos solos avaliados, para identificação de variáveis preditoras com potencial de uso nas geração das FPTs, método este que não pressupõe a distribuição normal dos dados.

Como uma FPT deve ser gerada a partir de atributos de mais fácil mensuração e menor custo, foram avaliados três conjuntos de variáveis preditoras para a estimativa da CC, PMP e AD, visando avaliar qual a melhoria na acurácia das FPTs com a inclusão de maior número de possíveis variáveis preditoras. Assim, os seguintes conjuntos de variáveis foram utilizados: **Mod. 1:** teores de areia fina, grossa e total, silte e argila (g 100 g<sup>-1</sup>); **Mod. 2:** mod. 1 + teores cascalho + calhaus separados em 5 classes de

diâmetro; e **Mod. 3:** mod. 2 + densidade do solo e porosidade total.

**Tabela 1** – Estatística descritiva de alguns atributos físicos de solos sob cobertura florestal derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas no Rio Grande do Sul.

Atributo	Unidade	Mediana	Mínimo	Máximo
CC	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,25	0,10	0,48
PMP	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,09	0,01	0,33
AD	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,16	0,07	0,35
Argila <sup>1</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	25	8	72
Silte <sup>1</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	21	9	48
Areia fina <sup>1</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	32	4	64
Areia grossa <sup>1</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	16	4	30
Areia total <sup>1</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	50	9	78
Fração < 2 mm <sup>(2)</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	63	16	100
Fração 2,0-2,36 mm <sup>(2)</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	5	0	13
Fração 2,36-2,8 mm <sup>(2)</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	5	0	12
Fração 2,8-3,35 mm <sup>(2)</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	5	0	19
Fração 4-3,35 mm <sup>(2)</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	5	0	10
Fração > 4 mm <sup>(2)</sup>	g cm <sup>-3</sup>	16	0	63
Densidade do solo	g cm <sup>-3</sup>	1,50	1,14	1,73
Porosidade total	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,44	0,30	0,56

<sup>(1)</sup> Obtida em relação a fração de terra fina seca ao ar (fração < 2 mm); <sup>(2)</sup> Obtida em relação a fração de terra fina seca ao ar + fração cascalho e calhaus (frações < 20000 mm); <sup>(3)</sup> θ = umidade volumétrica do solo.

A geração e validação de FPTs para estimativa da CC, PMP e AD foram realizadas a partir da divisão do banco de dados, sendo que a geração foi realizada com 75 % dos horizontes (n=49) e a validação, com os 25 % restantes (n=17).

As FPTs contínuas pontuais para estimativa da CC, PMP e AD foram obtidas por análise de regressão múltipla, usando a opção *stepwise* disponível no procedimento *Proc Reg* do pacote estatístico SAS 9.2 (SAS institute inc., 2010). Essa opção seleciona as principais variáveis, dentre um conjunto de variáveis independentes, a um nível de significância pré-fixado (Prob. ≤ 0,15) e gera um coeficiente para cada uma das variáveis independentes selecionadas. Após a seleção das variáveis preditoras de cada FPT, utilizou-se a análise de regressão robusta, método LTS, por meio do procedimento *proc robustreg* do pacote estatístico SAS 9.2 (SAS Institute inc., 2010), para eliminar os efeitos indesejados dos *outliers* e *leverages* no ajuste dos parâmetros de regressão múltipla de cada FPT.

#### Indicadores Estatísticos

Para cada uma das FPTs foram calculados indicadores estatísticos (a, b, c e d) para compor o banco de dados de geração e de validação das FPTs: a) Raiz do erro quadrático médio (REQM);

b) Erro médio (EM); c) Índice de concordância (d) (Willmott, 1981) e; d) Análise de regressão linear (Willmott, 1981).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) de alguns solos derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas sob cobertura florestal, localizados na Depressão Central do Rio Grande do Sul se correlacionaram com algumas atributos físicos do solo (**Tabela 2**). Em relação às frações granulométricas, observou-se que maiores coeficientes de determinação ocorreram com a utilização das frações de areia fina e areia total, o que comprova o efeito negativo dessas frações na redução da CC e do PMP. Com a fração argila e o percentual da fração < 2 mm observou-se correlação positiva com a CC e PMP. Enquanto que, para a AD obteve-se um menor número de coeficientes de correlação significativos, e estes foram menores, em comparação aos observados para a CC e PMP. Também foram observados coeficientes de correlação com algumas frações com diâmetro > 2 mm para a CC, PMP e AD, o que evidencia a importância das frações cascalho e calhaus na redução da CC e PMP desses solos.

**Tabela 2** – Coeficiente de correlação de postos de Spearman ( $\rho$ ) entre diferentes atributos físicos do solo com capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente, (PMP) e conteúdo de água disponível em solos sob cobertura florestal derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas no Rio Grande do Sul.

Atributo	CC	PMP	AD
Argila	0,59**	0,68**	0,21
Silte	0,23	0,26*	0,21
Areia fina	-0,75**	-0,76**	-0,41**
Areia grossa	-0,43**	-0,47**	-0,09
Areia total	-0,74**	-0,79**	-0,36**
Fração < 2mm	0,26*	0,37**	-0,12
Fração 2,0-2,36 mm	-0,04	-0,13	0,27*
Fração 2,36-2,8 mm	0,03	0,00	0,25*
Fração 2,8-3,35 mm	-0,02	-0,08	0,26*
Fração 4-3,35 mm	-0,04	-0,12	0,23
Fração > 4 mm	-0,28*	-0,37**	0,05
Densidade do solo	-0,32**	-0,26*	-0,13
Porosidade total	0,43**	0,34**	0,27*

(1) Teste H0:  $|\rho| = \text{zero}$ , quando \* = significativo (0,01 < p < 0,05) e \*\* = significativo (p < 0,01).

A estimativa da CC e do PMP através de FPTs teve uma acurácia razoável quando foram utilizadas somente as frações granulométricas < 2 mm para sua estimativa (**Tabelas 3 e 4**). Isto ocorreu porque alguns solos derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas possuem elevados percentuais de cascalho+calhaus, o que

influenciou a importância dos teores de areia, silte e argila sobre a retenção de água no solo. A maior acurácia das FPTs do Mod. 2, em comparação ao Mod. 1, comprovam a importância de avaliação da fração cascalho+calhaus sobre a CC e principalmente para o PMP, o que evidencia a importância de avaliação desta fração para modelar o comportamento físico das variáveis de interesse.

Nas FPT do Mod. 3, quando a estrutura do solo também foi considerada (Ds e Pt), obteve-se FPTs para estimativa da CC, PMP e AD semelhantes àquelas do Mod. 2 no procedimento *proc reg*, indicando que, a melhoria esperada na acurácia das FPTs pela inclusão desses dois atributos não ocorre nestes tipos de solos.

As FPTs para a AD tiveram baixa acurácia, independentemente do conjunto de variáveis preditoras utilizados, principalmente, quando são observados os indicadores estatísticos do banco de validação dessas duas FPTs, pois os coeficientes de determinação foram próximos de zero e a REQM foi superior a metade da AD de muitos solos.

**Tabela 3** – Funções de pedotransferência (FPTs) para estimativa da capacidade de campo (CC,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente (PMP,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e conteúdo de água disponível (AD,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) em solos sob cobertura florestal derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas no Rio Grande do Sul.

Atributo	CC	PMP	AD	CC	PMP	AD
	Modelo 1			Modelo 2		
Intercepto	0,486	0,168	0,221	0,506	0,313	0,208
Silte <sup>(1)</sup>	-	-	-	-	-0,0033	-
Areia Fina <sup>(1)</sup>	-0,0005	-	-0,0019	-	-	-0,0018
Areia Total <sup>(1)</sup>	-0,0039	-0,0016	-	-0,0043	-0,0043	-
Fração < 2 mm <sup>(2)</sup>	-	-	-	-	0,0012	-
Fração > 4 mm <sup>(2)</sup>	-	-	-	-0,0014	-	-
Fração 2,8-3,35 mm <sup>(2)</sup>	-	-	-	-	-	0,0044
<b>R<sup>2</sup> no Robustreg</b>	<b>0,76</b>	<b>0,48</b>	<b>0,36</b>	<b>0,86</b>	<b>0,83</b>	<b>0,36</b>

<sup>(1)</sup> expressa em  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ , obtida em relação a fração de terra fina seca ao ar (fração < 2 mm); <sup>(2)</sup> expressa em  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ , obtida em relação a fração de terra fina seca ao ar + fração cascalho e calhaus (frações < 20.000 mm).

Quando os resultados para avaliação da acurácia das FPTs para estimativa da CC, PMP e AD (**Tabela 4**) foram comparados aos valores observados na literatura, observou-se que a dificuldade na estimativa da AD por meio de outros atributos físicos do solo é amplamente reportada na literatura (Recheirt et al, 2009). Isto ocorre porque este atributo é dependente de vários atributos físicos do solo, principalmente da distribuição e geometria dos poros no solo, bem como da mineralogia (Bruand, 2004) e teor de

matéria orgânica do solo (Rawls, 2003), o que dificulta sua modelagem.

### CONCLUSÕES

A CC, PMP e AD são dependentes das frações granulométricas do solo, sofrendo influência da fração cascalho+calhaus em solos sob cobertura florestal derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas no Rio Grande do Sul;

A CC e PMP podem ser estimados através de FPTs usando as frações areia total, areia fina, silte, fração < 2 mm, fração > 4 mm. Enquanto que, as FPTs para estimativa da AD possuem acurácia muito baixa.

### REFERÊNCIAS

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*, 9:177-213, 1989.

BRUAND, A. Utilizing mineralogical and chemical information in PTFs. In: PACHEPSKY, Y. A.; Rawls, W. J. Ed. Development of pedotransfer functions in soil hydrology. *Development in Soil Science*, 30:153-158, 2004.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPQ, 1997. 212p.

HARTEMINK, A. E. Soil science in tropical and temperate regions - some differences and similarities. *Advances in Agronomy*, 7:269-292, 2002.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M. & REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10:646-650, 2006.

KLUTE, A. Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America Journal, 1986.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, 1961. 42p.

RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W.; LOPES, R. C. et al. Ramdabrazil: folha SH. 22 - Porto Alegre. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S. et al. Eds. Carta geológica do Brasil ao milionésimo, sistema de informações geográficas: programa geologia do Brasil. Brasília, DF: CPRM, 2004. CD-ROM.

RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C. et al. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116:61-76, 2003.

REICHERT, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. et al. Estimation of water retention and availability for Rio Grande do Sul soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1547-1560, 2009.

SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT® 9.22 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2010. 8.445 p.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. *Physical Geography*, 2:184-194, 1981.

**Tabela 4** – Raiz do erro quadrático médio (REQM,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), erro médio (EM,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), índice de concordância (d) de Wilmott (1981), intercepto (a,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as equações ajustadas entre a capacidade de campo (CC,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), ponto de murcha permanente (PMP,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e conteúdo de água disponível (AD,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) medidos e estimados por diferentes FPTs para solos sob cobertura florestal derivados de rochas ígneas intrusivas e metamórficas no Rio Grande do Sul.

Indicador	----- Banco de Geração das FPTs (n=49 <sup>(2)</sup> ) -----						----- Banco de Validação das FPTs (n=17) -----					
	CC	PMP	AD	CC	PMP	AD	CC	PMP	AD	CC	PMP	AD
	----- Modelo 1 <sup>(1)</sup> -----			----- Modelo 2 -----			----- Modelo 1 -----			----- Modelo 2 -----		
REQM	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,08	0,03	0,07	0,07	0,03	0,07
Erro médio	0,01	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00	-0,01
d	0,91	0,68	0,60	0,95	0,94	0,71	0,68	0,80	0,41	0,76	0,91	0,33
a=0 <sup>(3)</sup>	0,09**	0,06**	0,13**	0,06**	0,02*	0,11**	0,18**	0,05**	0,17**	0,13	0,01	0,19**
b=1 <sup>(4)</sup>	0,72**	0,30**	0,22**	0,81**	0,93	0,34**	0,39**	0,43**	-0,02**	0,55*	0,97	-0,07**
R <sup>2</sup>	0,73**	0,59**	0,18**	0,82**	0,80**	0,30**	0,21	0,67**	0,00	0,34*	0,71**	0,02

(1) **Modelo 1:** Textura do solo (teores de areia fina, grossa e total, silte e argila, expressos em  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ); **Modelo 2:** modelo 1 + teores cascalho+calhaus separados em 5 classes de diâmetro. (2) n= número de horizontes em cada banco. (3) Nível de significância do teste F na ANOVA (\* e \*\* significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro "a" da equação da reta não difere de zero. (4) Nível de significância do teste F na ANOVA (\* e \*\* significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro "b" da equação da reta não difere de 1.