

Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul

Pedotransfer functions to estimate the water retention in some soils of Rio Grande do Sul state, Brazil

Cleudson Jose Michelin* Reimar Carlesso¹ Zanandra Boff de Oliveira¹
Alberto Eduardo Knies¹ Mirta Teresinha Petry¹ Juliano Dalcin Martins¹

RESUMO

As propriedades hidráulicas do solo são determinações consideradas caras e de difícil obtenção. O uso de funções de pedotransferência (FPTs) consiste em uma alternativa para a obtenção dessas informações de forma mais fácil e com menor custo. O objetivo desse estudo foi desenvolver e validar FPTs para estimar a retenção de água em alguns solos do Estado do Rio Grande do Sul (RS). O trabalho foi realizado utilizando-se dados de análises físicas de solos pertencentes ao banco de dados do Laboratório do Sistema Irriga, Universidade Federal de Santa Maria. Este banco de dados é composto por informações de textura do solo (areia, silte e argila), densidade (do solo e de partículas), porosidade do solo (macro, micro e total), além das informações do conteúdo de água nos potenciais matriciais de 0, -1, -6, -33, -100, -500 e -1500kPa de amostras coletadas na camada superficial de solos irrigados por aspersão, das regiões do planalto, missões e fronteira oeste do RS. As variáveis foram submetidas a um teste de correlação e, posteriormente, foram realizadas análises de regressão múltipla para a obtenção das FPTs, utilizando a opção stepwise do programa estatístico SAS. As FPTs obtidas indicaram associações apenas de atributos estruturais do solo com a retenção de água em potenciais mais elevados (0 e -1kPa) e de atributos texturais e estruturais, nos potenciais mais baixos (-33, -100, -500 e -1500kPa). As FPTs apresentaram alta precisão na estimativa da retenção de água nos potenciais considerados.

Palavras-chave: conteúdo de água no solo, pedofunções, atributos físicos do solo.

ABSTRACT

Soil physical hydraulic properties are determinations considered expensive and difficult to obtain. The use of pedotransfer functions (PTFs) is an alternative for obtaining such properties more easily and practically costless.

The objective of this study was to develop and validate PTFs to estimate soil water retention of different textural soil classes in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. The research was carried out using data from physical analysis of soils belonging to the database of Sistema Irriga laboratory, Universidade Federal de Santa Maria. This database consists of soil texture information (sand, silt and clay), density (of soil and of particles), soil porosity (macro, micro and total), besides of water content information at the matrix potential of 0, -1, -6, -33, -100, -500 e -1500kPa. Soil samples were collected on the surface layer of cultivated soils of RS. The variables were submitted to a correlation test, and were subsequently analyzed in multiple regressions test to obtain the PTFs, using the stepwise option of the SAS statistical program. The generated PTFs showed greater associations of soil attributes only related to soil structure such as soil water retention for higher potential (0 and -1kPa) and textural and structural attributes for lower potential (-33, -100, -500 e -1500kPa). The PTFs showed high accuracy in estimating soil water holding capacity of the considered potentials.

Key words: water content, pedofunctions, soil physical attributes.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das características físico-hídricas do solo é importante, pois elas influenciam diretamente o armazenamento de água no solo e sua disponibilidade às plantas. A determinação da capacidade de retenção de água de um solo é importante para resolução de problemas envolvendo irrigação, uma vez que permitem conhecer a variação do potencial de água no solo, na faixa de água disponível às plantas, e

¹Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: cleudsonjose@gmail.com. *Autor para correspondência.

nos estudos de movimento de água no solo, pois fornece o teor de água do solo em diferentes tensões (COSTA et al., 2008). Propriedades físicas como a textura, distribuição e diâmetro médio de poros e estrutura do solo estão diretamente ligadas à variação na quantidade de água armazenada no solo (PETRY, 2000). Entre os vários fatores que afetam a retenção de água no solo, o principal, de acordo com SCHEINOST et al. (1997), é a textura do solo, pois ela determina a área de contato entre a água e as partículas sólidas, determinando assim a acomodação das partículas e a distribuição de poros. CENTURION & ANDRIOLI (2000), observaram correlações estreitas em retenção de água tanto em baixa como em alta tensão das frações granulométricas silte e argila, demonstrando o efeito da participação ativa das frações granulométricas mais finas.

As propriedades hidráulicas dos solos são, em geral, de difícil determinação devido ao elevado custo para realização das análises, demanda de tempo e mão-de-obra e ao reduzido número de laboratórios especializados. Para facilitar a obtenção do conteúdo de água do solo em determinados potenciais, muitos pesquisadores propuseram modelos matemáticos que estimam a retenção de água, a partir de parâmetros físicos do solo facilmente obtidos e determinados nas análises de rotina dos laboratórios ou em levantamento de solos. Esses modelos são denominados funções de pedotransferência ou pedofunções (FPTs). As FPTs permitem que informações básicas de solo, sejam transformadas em outras, de obtenção mais difícil e, geralmente, de custo elevado.

No Brasil, a maior limitação ao desenvolvimento de modelos de estimativa das propriedades hidráulicas do solo é não a existência de banco de dados com informações de características físico-hídricas dos solos de diferentes regiões. O Sistema Irriga é um sistema de manejo e monitoramento de irrigação desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria, que possui atualmente mais de seis mil amostras processadas com informações de características físico-hídricas de solos irrigados de diversas regiões brasileiras. O presente estudo teve como objetivo desenvolver e testar funções de pedotransferência com base em atributos físico-hídricos do solo, para estimar a retenção de água de solos irrigados de algumas regiões do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando o banco de dados de análises físicas de áreas irrigadas por aspersão, das regiões do planalto, missões e fronteira

oeste do Estado do Rio Grande do Sul, pertencente ao Laboratório do Sistema Irriga da Universidade Federal de Santa Maria. Foram utilizadas 1200 amostras de solo, coletadas na profundidade de 12,5cm, correspondendo à porção mediana da camada superficial (0 - 25cm) do perfil do solo.

Coletaram-se amostras de estrutura preservada, com auxílio de anel volumétrico de volume conhecido, para a determinação da porosidade do solo, densidade do solo e teor de água nos potenciais matriciais de 0, -1, -33, -100, -500 e -1500kPa. Para as análises granulométricas e de densidade de partículas foram coletadas amostras com aproximadamente 1000 gramas de solo, com estrutura deformada, na mesma profundidade do perfil do solo. As determinações analíticas de textura, densidade de partículas, densidade do solo e porosidade foram realizadas conforme métodos descritos pela EMBRAPA (1997). A densidade de partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. A porosidade total (Pt) foi calculada a partir da densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp), através da expressão $Pt = (Dp - Ds) / Dp$, e a macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

No laboratório, as amostras indeformadas foram saturadas e pesadas. Após isso, foram postas sobre a mesa de tensão às tensões de 1kPa e 6kPa por um período de 48 horas em cada tensão. A diferença entre a massa da amostra indeformada a 6kPa de tensão e a massa do solo seco correspondeu ao percentual de microporos da amostra. Posteriormente, as amostras seguiram para o aparelho extrator de água idealizado por RICHARDS (1949), onde se obteve o teor de água para os potenciais de -33kPa e -100kPa. Na câmara de Richards as amostras permaneceram por 96 horas, em cada tensão, sendo posteriormente determinadas as suas massas e colocadas em estufa a temperatura de 105°C para secagem, até massa constante.

O teor de água nos potenciais de -500 e -1500kPa foi determinado através de psicrometria, utilizando amostras com estrutura deformada, em câmaras de um potenciômetro de ponto de orvalho, WP4 *dewpoint potentiometer* (DECAGON, 2000).

O banco de dados foi dividido aleatoriamente, utilizando-se parte dele para gerar as FPTs (60% do total, equivalendo a 720 amostras) e parte dele para validar as FPTs obtidas (40% do total, equivalendo a 480 amostras). Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o pacote estatístico SAS onde, primeiramente, foi realizada a análise de correlação simples entre todas as variáveis. Após identificar os parâmetros mais significativos,

realizou-se análise de regressão múltipla por meio da opção *stepwise*, do programa estatístico SAS, para obter as equações de pedotransferência. As variáveis independentes utilizadas foram: teor de areia, silte, argila, densidade do solo, densidade de partículas, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, incluídas no modelo, a 5% de probabilidade de erro.

O desempenho das FPTs foi analisado graficamente pela relação 1:1 dos dados estimados versus os dados observados e por meio dos indicadores estatísticos como o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio (ME) e a raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE). O ME e o RMSE foram obtidos através das seguintes equações:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ei - mi) \quad [1]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ei - mi)^2} \quad [2]$$

onde: n - número de observações; *ei* - valor estimado pela FPT da variável de interesse; *mi* - valor medido da variável de interesse

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 é apresentada a descrição estatística simples, incluindo os valores máximos,

mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as FPTs. Os dois conjuntos de amostras apresentaram dados semelhantes, algo esperado devido ao fracionamento aleatório do banco de dados original. As amostras utilizadas apresentaram teores médios aproximados de 25, 21 e 52 dag kg⁻¹ para as frações texturais areia, silte e argila, respectivamente (Tabela 1). Os valores médios das demais variáveis analisadas encontram-se em faixas normais esperadas para solos que apresentam textura argilosa.

A correlação entre os atributos físico-hídricos do solo e a retenção de água nos potenciais matriciais de 0, -1, -33, -100, -500, -1500kPa é apresentada na tabela 2. Observa-se que a porosidade total foi o atributo que melhor correlacionou-se com a umidade de saturação (0kPa) e que, de maneira geral, o atributo microporosidade apresentou as melhores correlações com a retenção de água, especialmente em potenciais mais elevados (até -100kPa). Pode-se destacar ainda, a elevada correlação da densidade do solo com a retenção de água nos potenciais 0 e -1kPa (Tabela 2).

Nos potenciais mais baixos (-500 e -1500kPa), as frações texturais argila e areia, juntamente com a microporosidade foram os atributos que melhor se correlacionaram com a retenção de água (Tabela 2). As frações texturais areia fina e areia grossa apresentaram correlação negativa e a argila correlação positiva com a retenção de água (Tabela 2). Observa-

Tabela 1 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferência. Santa Maria, RS, 2009.

Variáveis	-----Banco utilizado para gerar as FPTs-----			-----Banco utilizado para validar as FPTs-----		
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
Ds	1,77	0,97	1,40	1,77	1,00	1,40
Dp	2,96	2,34	2,72	2,96	2,36	2,71
Macro	0,24	0,002	0,08	0,28	0,001	0,08
Micro	0,57	0,16	0,40	0,52	0,17	0,40
Pt	0,61	0,30	0,48	0,64	0,30	0,48
AGr	45,74	0,66	9,47	42,83	0,60	9,48
AF	72,07	1,02	16,42	70,12	0,93	16,33
Si	56,53	1,49	21,32	50,34	1,49	21,83
Arg	83,69	1,26	52,79	84,82	5,03	52,36
θ_0	0,703	0,30	0,517	0,754	0,325	0,519
θ_{-1}	0,591	0,262	0,454	0,560	0,271	0,454
θ_{-33}	0,499	0,112	0,369	0,487	0,122	0,368
θ_{-100}	0,485	0,069	0,349	0,475	0,101	0,348
θ_{-500}	0,415	0,042	0,260	0,400	0,053	0,257
θ_{-1500}	0,334	0,032	0,226	0,330	0,039	0,223

Em que: FPTs - funções de pedotransferência; Ds - densidade do solo (g cm⁻³); Dp - densidade de partículas (g cm⁻³); Macro - macroporosidade (dm³ dm⁻³); Micro - microporosidade (dm³ dm⁻³); Pt - porosidade total (dm³ dm⁻³); AGr - areia grossa (dag kg⁻¹); AF - areia fina (dag kg⁻¹); Si - silte (dag kg⁻¹); Arg - argila (dag kg⁻¹); $\theta_0, \theta_{-1}, \theta_{-33}, \theta_{-100}, \theta_{-500}, \theta_{-1500}$ - umidade volumétrica nos potenciais matriciais de 0, -1, -33, -100, -500 e -1500kPa, respectivamente.

Tabela 2 - Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potenciais das amostras utilizadas para gerar as funções de pedotransferência. Santa Maria, RS, 2009.

Variável	-----Potencial, kPa-----					
	0	-1	-33	-100	-500	-1500
Ds	-0,75	-0,67	-0,45	-0,44	-0,28	-0,31
Dp	0,46	0,49	0,47	0,46	0,52	0,56
Macro	0,16	-0,04	-0,35	-0,35	-0,22	-0,20
Micro	0,77	0,89	0,96	0,94	0,72	0,74
Pt	0,82	0,77	0,58	0,56	0,46	0,50
AGr	-0,62	-0,64	-0,65	-0,65	-0,68	-0,74
AF	-0,67	-0,71	-0,73	-0,73	-0,73	-0,79
Si	0,32	0,30	0,38	0,38	0,31	0,34
Arg	0,68	0,72	0,71	0,71	0,75	0,82

Em que: Ds - densidade do solo (g cm^{-3}); Dp - densidade de partículas (g cm^{-3}); Macro - macroporosidade ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$); Micro - microporosidade ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$); Pt - porosidade total ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$); AGr - areia grossa (dag kg^{-1}); AF - areia fina (dag kg^{-1}); Si - silte (dag kg^{-1}); Arg - argila (dag kg^{-1}).

se que, a correlação das frações texturais areia e argila aumentam com a redução no potencial matricial (Tabela 2), destacando a importância da área superficial das partículas na retenção de água em potenciais mais baixos.

Analisando a tabela 2 verifica-se que, além da composição granulométrica, alguns atributos estruturais do solo apresentam alta correlação com a retenção de água, especialmente em potenciais mais elevados. Resultados semelhantes também foram encontrados por HILLEL (1998) e ASSAD et al. (2001). Segundo estes autores, em elevados potenciais matriciais, as forças capilares são mais atuantes e, nesses potenciais, a retenção de água é influenciada pela estrutura do solo. Por outro lado, em potenciais mais baixos, a retenção de água no solo depende dos fenômenos de adsorção, os quais são mais influenciados pela textura e superfície específica das partículas.

Alguns autores, como OLIVEIRA et al. (2002), SOLANO PERAZA (2003) e URACH (2007), verificaram que a composição granulométrica do solo é a característica que melhor descreve a retenção de água no solo. Entretanto, esses autores trabalharam com banco de dados de amostras de solo com estrutura deformada. Isso, provavelmente, influenciou na baixa correlação dos atributos estruturais com a retenção de água. Pelos resultados apresentados na tabela 2 é possível afirmar que, ao se utilizar de banco de dados com amostras de estrutura preservada, a modelagem da estimativa da retenção de água nos solos deve considerar além da textura, os parâmetros estruturais do solo.

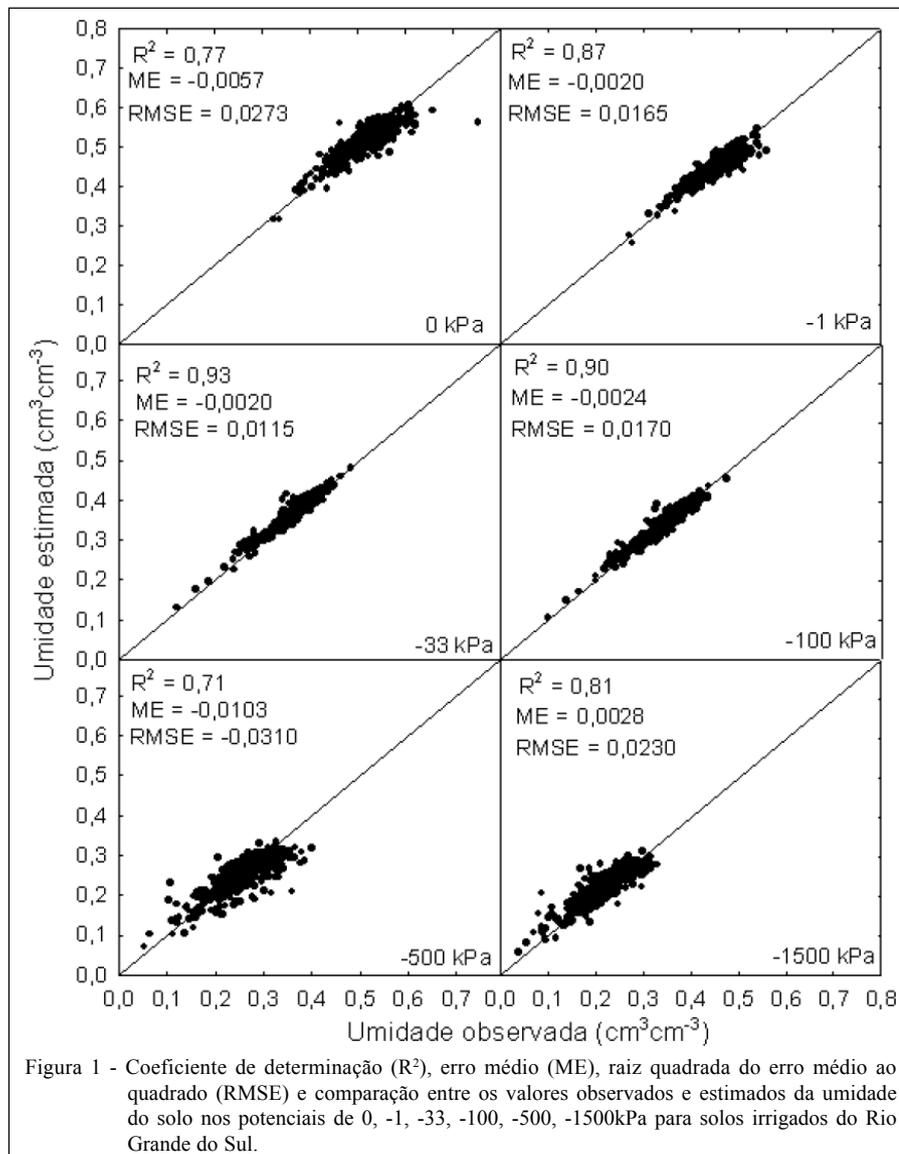
Na tabela 3 são apresentadas as FPTs obtidas para estimar a retenção de água nos potenciais de 0, -1, -33, -100, -500, -1500kPa e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2). Nos potenciais mais elevados (0 e -1kPa), observa-se que apenas atributos estruturais do solo estiveram presentes na composição das FPTs. Nas FPTs obtidas para a estimativa dos potenciais matriciais mais baixos (-33, -100, -500, -1500kPa), observou-se a presença de atributos estruturais e texturais do solo. Estes resultados estão de acordo com aqueles apresentados na tabela 2, que destaca a maior correlação dos atributos estruturais com a retenção de água em elevados potenciais matriciais e dos atributos texturais nos potenciais matriciais mais baixos. SOLANO PERAZA (2003) e URACH (2007) trabalhando com FPTs em solos do RS, também encontraram a presença de atributos estruturais e texturais nas FPTs geradas para a estimativa do teor de água no potencial de -33kPa. Nestes trabalhos a microporosidade foi excluída dos modelos de estimativa e houve contribuição significativa da areia e da Ds nas FPTs geradas. BRUAND et al. (2003) e MAJOU et al. (2008) encontraram que, as FPTs constituídas por atributos texturais e estruturais do solo obtiveram os melhores desempenhos na estimativa da retenção de água do solo, quando comparadas a FPTs constituídas apenas por atributos texturais do solo, reforçando a importância dos atributos estruturais na estimativa da retenção de água dos solos.

A relação 1:1 dos dados observados e estimados pelas FPTs obtidas, juntamente com os indicadores estatísticos R^2 , ME e RMSE, são apresentados na figura 1. A melhor estimativa foi

Tabela 3 - Funções de pedotransferência para a estimativa da retenção de água em diferentes potenciais matriciais de solos irrigados do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2009.

Equação	R ²
$\theta_0 = 0,2255 - 0,0804Ds + 0,5122Micro + 0,4115Pt$	0,77
$\theta_{-1} = 0,1398 - 0,0409Ds + 0,2069Macro + 0,8809Micro$	0,87
$\theta_{-33} = -0,0789 + 0,0362Ds + 1,0011Micro - 0,0004AF$	0,93
$\theta_{-100} = -0,1014 + 0,0430Ds + 0,9891Micro - 0,0006AF$	0,90
$\theta_{-500} = -0,4888 + 0,2307Ds + 0,2807Macro + 0,6468Micro + 0,0010Si + 0,0022Arg$	0,71
$\theta_{-1500} = -0,1974 + 0,1093Dp - 0,3050Macro + 0,0011Si + 0,0024Arg$	0,81

Em que: Ds - densidade do solo (g cm⁻³); Dp - densidade de partículas (g cm⁻³); Macro - macroporosidade (dm³ dm⁻³); Micro - microporosidade (dm³ dm⁻³); Pt - porosidade total (dm³ dm⁻³); AF - areia fina (dag kg⁻¹); Si - silte (dag kg⁻¹); Arg - argila (dag kg⁻¹); $\theta_0, \theta_{-1}, \theta_{-33}, \theta_{-100}, \theta_{-500}, \theta_{-1500}$ - umidade volumétrica nos potenciais de 0, -1, -33, -100, -500 e -1500kPa, respectivamente.



observada para o potencial de -33kPa (Figura 1). Com exceção da FPT obtida para estimar o potencial de -1500kPa, as demais FPTs apresentaram o resultado do indicador estatístico ME negativo, indicando que essas FPTs subestimaram a umidade do solo. Entretanto, os resultados dos indicadores estatísticos (valores de R^2 elevados, ME e RMSE próximos a zero) e a dispersão homogênea dos pontos em relação à linha 1:1 indicam que, as FPTs obtidas apresentaram boa precisão na estimativa da umidade do solo nos potenciais avaliados.

Os valores do ME para a estimativa da umidade do solo nos potenciais de 0, -1, -33, -100, -500, -1500kPa foram -0,0057, -0,0020, -0,0020, -0,0024, -0,0103 e 0,0028 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$, respectivamente (Figura 1). Esses erros, transformados em lâminas de água armazenadas no perfil do solo (multiplicados pela espessura da camada), representam -1,42, -0,5, -0,5, -0,6, -2,57 e 0,7mm, respectivamente. Em termos práticos esses valores de ME significam que, a utilização das FPTs apresentadas (Tabela 3) para estimar o armazenamento de água, na camada superficial do perfil do solo, resulta em subestimativas de 1,42, 0,5, 0,5, 0,6 e 2,57 mm no armazenamento de água do solo, nos potenciais de 0, -1, -33, -100 e -500kPa, respectivamente e superestimativa de 0,7mm no armazenamento de água do solo no potencial de -1500kPa quando comparado ao armazenamento que seria obtido medindo em laboratório a umidade do solo nesses potenciais. Para fins de manejo de irrigação, esses erros podem ser considerados desprezíveis, podendo-se afirmar que as FPTs geradas apresentaram bom desempenho e podem ser utilizadas para estimar, com precisão, a umidade do solo nos potenciais considerados.

CONCLUSÕES

A curva característica de água de solos irrigados do Rio Grande do Sul pode ser estimada com precisão, por pedofunções, a partir dos seguintes atributos do solo: areia fina, silte, argila, densidade do solo, densidade de partículas, macroporosidade, microporosidade e porosidade total.

REFERÊNCIAS

- ASSAD, M.L.L. et al. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.588-596, 2001.
- BRUAND, A. et al. Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves. **Soil Use and Management**, v.19, p. 232-242, 2003. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-2743.2003.tb00309.x>>. Acesso em: 13 jan. 2010. doi: 10.1079/SUM2003196.
- CENTURION, J.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.701-709, 2000.
- DECAGON DEVICES. **Operator's manual version 1.3 WP4 dewpointmeter**. USA: Decagon devices, 2000. 70p
- COSTA, W.A. et al. 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. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000200006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 21 jan. 2010. doi: 10.1590/S0100-06832008000200006.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. Massachusetts: Academic, 1998. 771p.
- MAJOU, H.A. et al. Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. **Soil Use and Management**, v.24, p.383-391, 2008. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-2743.2008.00180.x>>. Acesso em: 13 jan. 2010. doi: 10.1111/j.1475-2743.2008.00180.x.
- OLIVEIRA, L. et al. 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.
- PETRY, M. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 2000. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- RICHARDS, L.A. Methods of measuring moisture tension. **Soil science**, v.58, p.95-112, 1949.
- SCHEINOST, A. et al. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, I. Developing a new pedotransfer function. **Geoderma**, v.78, p. 129-143, 1997. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706197000475>>. Acesso em 24 nov. 2009. doi: 10.1016/S0016-7061(97)00047-5.
- SOLANO PERAZA, J.E. **Retenção de água e pedofunções para solos do Rio Grande do Sul**. 2003. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- URACH, F. **Estimativa da retenção de água para fins de irrigação**. 2007. 78f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, RS.