

Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros

Relationship between soil water retention and amount of sand in brazilian soils

Maria Leonor Lopes Assad¹, Luiz Marcelo Aguiar Sans²,
Eduardo Delgado Assad³ e Jurandir Zullo Jr.⁴

Resumo - A água retida no solo é fundamental para a modelagem do funcionamento do sistema solo-água-plantas. Essa variável é de difícil obtenção e a relação entre retenção de água e características de solo é complexa. O objetivo desse trabalho foi estimar, por meio de funções de pedotransferência (PTFs), os limites superior (-10 kPa) e inferior (-1.500 kPa) de água disponível a partir do conteúdo de areia total, que constitui um dado de fácil determinação e presente em levantamentos de solos. Foram desenvolvidas PTFs para estimar a umidade volumétrica a -10 kPa (q_{10}) e -1.500 kPa (q_{1500}), e o conteúdo de água disponível para as plantas, determinado em amostras indeformadas de vários solos brasileiros usando equações de regressão estabelecidas a partir da areia total. A precisão dos modelos desenvolvidos foi avaliada por meio de análise de variância, do erro padrão e do coeficiente de determinação (r^2). A confiabilidade foi testada em dados independentes. As discrepâncias entre os valores estimados e os medidos são, provavelmente, devidas às diferenças na distribuição granulométrica da fração areia e à quantidade de matéria orgânica.

Palavras-chave: retenção de água, função de pedotransferência, solos altamente intemperizados, balanço hídrico, Brasil.

Abstract - Soil water content at different retention by matric potential is a very important data for soil-water-plant modelling purposes. However most of data required are not available and the relation of water retention and soil parameters are quite complex. The purpose of this study is to estimate, by pedotransfer function (PTF), the upper (-10 kPa) and lower (-1500 kPa) limits of available water by total sand, an easily measurable data found on soil surveys. PTFs to estimate the volumetric water content at -10 kPa (q_{10}) and -1500 kPa (q_{1500}) were developed using regression equations relating the amount of sand to volumetric soil water content at those tensions, determined on undisturbed soil samples, for various Brazilian soils classes. The PTF accuracy has been characterized by analysis of variance, of fit standard error and coefficient of determination (r^2). The models were tested against independent data. The discrepancies between observed and predicted values could be attributed to the differences in sand size distribution and organic matter amount, among soils.

Key words: water retention, pedotransfer function, high weathered soils, water balance, Brazil.

¹ Professora da UnB/Instituto de Geociência, Campus Universitário Asa Norte, CEP 70910-900 Brasília, DF. E-mail: assad@unb.br

² Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

³ Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

⁴ Pesquisador da Unicamp, Campinas, SP. Bolsista do CNPq-PQ.

Introdução

A diminuição de impactos e de riscos decorrentes da atividade agropecuária auxilia na definição de políticas públicas, tanto em nível nacional, quanto estadual e municipal. A adoção de medidas mitigadoras deve ser feita com base na estimativa do comportamento do solo. Essa estimativa exige a compreensão dos processos naturais e a definição de modelos de previsão do funcionamento de solos cultivados e da relação solo-água-planta. Esses modelos, que envolvem funções de transferência de massa de água através de poros do solo, incluem parâmetros que são de difícil mensuração. BOUMA (1989) introduziu o termo "pedotransfer functions" (PTFs) para designar as relações de dependência de parâmetros de transferência de massa por meio de dados de solos disponíveis em levantamentos normalmente realizados.

Inúmeras PTFs têm sido propostas visando estimar a água disponível a partir de propriedades físicas do solo (RAWLS et al., 1991) sendo a textura, um dos elementos mais utilizados (OSTERVELD & CHANG, 1980; SAXTON et al., 1986; ARRUDA et al., 1987; VAN DEN BERG et al., 1997; TOMASELLA et al., 2000). Em geral, dois tipos de modelos são empregados, ambos utilizando análises de regressão: a estimativa de valores de retenção de água e a estimativa de parâmetros para cálculo da retenção de água (RAWLS et al., 1991). Em potenciais mais elevados (> -10 kPa), a quantidade de água retida depende da porosidade, da estrutura e da densidade do solo. À medida que a umidade diminui, a adsorção de água tende a prevalecer e a quantidade de água retida passa a ser cada vez mais dependente de propriedades relacionadas com a superfície específica do solo, tais como: textura, conteúdo de matéria orgânica e mineralogia da fração argila (WILLIAMS et al., 1983). Os valores limitantes de condutividade hidráulica, associados a um potencial matricial ou a umidade seriam melhores indicadores da qualidade físico-hídrica de um solo (JONG VAN LIER, 2000), no entanto, poucos são os dados disponíveis para solos brasileiros que permitem a avaliação do grau de confiabilidade desses modelos.

A quantidade de água disponível (AD) constitui uma variável de grande importância na caracte-

terização da necessidade de água e da eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas. A AD tem sido representada pela quantidade de água existente no solo em potenciais compreendidos entre -6 kPa e -33 kPa (considerados como limites superiores da água disponível ou capacidade de campo), e -1.500 kPa (considerado como limite inferior da água disponível ou ponto de murcha permanente). As inúmeras dificuldades na determinação precisa da AD, tornam esta variável de difícil quantificação, apesar de seu indiscutível significado para soluções práticas na agricultura. Além disso, a retenção de água, relacionada com o conteúdo e o potencial da água no solo, não é estática e é afetada por inúmeros fatores de ambiente (RAWLS et al., 1991).

O movimento da água no solo apresenta um comportamento bimodal, ou seja, é fortemente dependente dos teores de areia, quando a água do solo se encontra sob baixas tensões, e dos teores de argila quando as tensões de água são mais elevadas (solos secos). Assim, pode-se esperar uma resposta satisfatória de modelos de estimativa da umidade do solo baseados na textura do solo. O intenso intemperismo a que estão submetidos os solos tropicais tende a propiciar o desenvolvimento de perfis com conteúdos variados de argilominerais, em geral de baixa capacidade de adsorção e elevados teores de minerais cimentantes (óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de ferro e de alumínio) que favorecem o desenvolvimento de agregados muito pequenos e porosidade relativamente alta (SANCHEZ, 1976). As condições bioclimáticas da zona intertropical favorecem a decomposição da matéria orgânica do solo.

O grau de intemperismo contribui também para um elevado grau de flocculação de solos tropicais, que nos horizontes Bw de Latossolos pode atingir 100%. Em conseqüência, os teores de argila obtidos em análises granulométricas, são por vezes subestimados e os teores de silte são superestimados (DONAGEMMA, 2000), quando são usados dispersantes fracos (ex: hidróxido de sódio). Em trabalho anterior, com amostras deformadas de solos do estado de São Paulo, ARRUDA et al. (1987) observaram que os teores de argila + silte apresentavam melhores correlações com a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente do que com os teores de argila ou

silte considerados separadamente. Como os teores de argila + silte são complementares aos de areia total, quando indicados em porcentagem ou em $g\ kg^{-1}$, a água disponível no solo pode ser estimada assumindo como variável dependente o teor de areia total, obtido facilmente por meio de uma peneira de 0,05 mm. Nos recentes estudos de zoneamentos de riscos climáticos (SANS & SANTOS, 1992; MEIRELES *et al.*, 1995; SILVA *et al.*, 1997), são considerados três tipos de solos: com alta, com média e com baixa capacidade de água disponível, parâmetro este dependente da água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. Os valores adotados são considerados médios, em função da profundidade efetiva das raízes e do teor de argila. Assim, é preciso buscar estimadores mais precisos, como o aqui proposto, para melhor representar a grande variação da textura nos solos, além de verificar o seu reflexo na capacidade de água disponível e conseqüentemente aperfeiçoar a definição de datas de semeadura. As datas normalmente são obtidas por simulação do balanço hídrico, cuja sensibilidade depende da boa estimativa da água disponível no solo.

Este trabalho tem por objetivo estabelecer um modelo simplificado de estimativa da água disponí-

vel em solos agrícolas brasileiros, a partir do teor de areia total, visando contribuir para os estudos de riscos climáticos em escala regional.

Material e métodos

Dados de água retida no solo em diferentes tensões determinadas em amostras indeformadas de horizontes e camadas de solos do Brasil foram compilados, com ênfase naqueles para os quais dispunha-se de resultados analíticos de granulometria da fração fina (areia total, silte e argila) e de densidade do solo. Após uma avaliação dos métodos analíticos empregados, foram selecionados dois conjuntos de dados (Tabela 1) que incluíam diversos perfis de solos mais utilizados em sistemas de produção agrícolas brasileiros; o primeiro, com dados de 228 horizontes e camadas, constituiu a base para definição do modelo e o segundo, com dados de 135 horizontes e camadas, constituiu a base independente para teste do método.

A curva característica de umidade foi estabelecida em laboratório, em amostras indeformadas pelo método da membrana em diferen-

Tabela 1. Dados utilizados na simulação e na validação do modelo.

Local	Solos ¹	Fitofisionomia	Perfis	Curvas	Referência
Simulação					
Alto São Francisco, MG e BA	C, LA, LE, LV, PV	caatinga e mata, mesofítica	6	25	Laboratório de Física do Solo da Embrapa Milho e Sorgo
Médio São Francisco, MG	PV, LA, PL, RU, LV, LE, A, AV, AQ, C	floresta tropical, caducifólia	21	80	idem
Capinópolis, MG	LR	floresta tropical, subperenifólia	1	1	idem
Cascavel e Londrina, PR	LR	floresta subtropical, subperenifólia	2	8	idem
Felixlândia, MG	LV	Cerrado subcaducifólio	1	6	idem
Guanhuns, MG	LA	floresta tropical, subperenifólia	3	9	idem
Jafba, MG	AQ, A, C, LV, LE	floresta tropical, caducifólia, mata mesofítica e caatinga	7	33	idem
Linhares, ES	PV	floresta tropical, subcaducifólia	1	4	idem
Piracicaba, SP	TR	floresta tropical, subcaducifólia	1	4	idem
Sete Lagoas, MG	LE	cerrado e mata mesofítica	17	68	idem
Total			54	238	idem
Validação					
São Carlos, SP	LE, LV, LR, TR, e AQ	floresta tropical subcaducifólia e cerrado subcaducifólio	27	135	Embrapa (1996)

¹ Parte dos dados foram obtidos a partir de levantamentos feitos antes da publicação do atual Sistema de Classificação (Embrapa, 1999) e foram mantidas as classes de solos conforme classificação em uso.

tes tensões. Para efeito de definição e teste do modelo foram consideradas as tensões de -10 kPa (q10) como limite superior de água disponível e -1.500 kPa (q1.500) como limite inferior de água disponível. A análise granulométrica foi realizada pelo método do densímetro, com quantificação de teores de argila (< 0,002 mm), silte (entre 0,002 e 0,05 mm) e areia (entre 0,05 e 2 mm). As amostras indeformadas foram utilizadas também para determinação da densidade global do solo, nos horizontes amostrados. Os valores de média, desvio padrão, mediana, valor máximo e valor mínimo foram calculados (Tabela 2) para avaliar a consistência na distribuição dos valores de areia, silte, argila, q10 e q1500 nos dois conjuntos de dados utilizados neste trabalho.

A determinação da água disponível, em porcentagem de volume, foi feita em duas etapas: inicialmente, foram ajustadas equações para determinação da umidade volumétrica, em %, nas tensões -10 kPa (q10) e -1.500 kPa (q1.500) em função do conteúdo de areia total (AT). Em seguida, determinou-se a quantidade de água disponível por meio de dois procedimentos distintos: no primeiro, a AD estimada (AD est.) foi calculada pela diferença entre q10 e q1.500, obtidos pelas respectivas equações de ajuste; no segundo, ajustou-se um modelo de equação para os dados de AT e AD disponíveis.

Para o ajuste dos dados foram testadas 107 funções matemáticas, todas pertencentes a famílias de curvas lineares, potenciais, exponenciais, logarítmicas e suas diferentes combinações. As funções que melhor se ajustavam aos dados em análise foram selecionadas com base na coerência do tipo de curva com o processo em estudo; no valor de r^2 e no valor do erro padrão de ajuste. Foram determinados os estimadores dos parâmetros das funções para o conjunto de dados de simulação (Tabela 3) e as equações que foram aplicadas aos dados independentes de areia total usados na validação do modelo.

Resultados e discussão

a) Características gerais dos dados utilizados

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes de estudos de solos desenvolvidos em dife-

rentes locais e apresentam em comum, o emprego de amostras indeformadas para determinação da curva característica de umidade. A distribuição geográfica dos dados (Tabela 1) foi limitada às regiões Sudeste e Sul, concentrando-se no estado de Minas Gerais. Entretanto, uma das características de MG é ser um estado síntese, onde podem ser encontrados diversos domínios morfoclimáticos (AB'SABBER, 1970). Os 54 perfis utilizados na simulação encontravam-se em diferentes províncias vegetacionais e correspondem aos solos mais utilizados na agricultura de sequeiro. Assim, pode-se estimar que a base utilizada para definição da função de pedotransferência possui perfis de solo de representatividade ecológica. Os 27 perfis usados na validação do modelo são restritos a uma microbacia hidrográfica do município de São Carlos, SP, mas apresentam como importante vantagem, além da qualidade do estudo feito, o fato de se dispor de diferentes tipos de solos sob diferentes condições de uso. Foram selecionadas inicialmente 238 curvas de retenção para simulação e 135 para validação do modelo.

PACHEPSKY et al. (1999), destacaram que as funções de pedotransferência desenvolvidas a partir de dados regionais apresentam bons resultados em regiões com solos e paisagens similares. Assim, os dados usados na validação do modelo abrangem teores de argila, silte e areia compatíveis com os utilizados na simulação (Tabela 2). A ampla faixa de frações da terra fina permite estimar que o modelo gerado possa ser aplicável em diferentes solos brasileiros. Os dados utilizados na validação estão distribuídos em uma faixa mais restrita de teores de areia, silte e argila, e envolvem, principalmente, solos cuja textura é mais problemática na avaliação da água disponível, entre 30% e 60% de argila + silte, conforme destacam ARRUDA et al. (1987).

Determinação das funções de ajuste de umidade volumétrica a -10 kPa e a -1.500 kPa e da água disponível com o teor de areia total.

A PTF derivada que melhor estimou o conteúdo volumétrico de água no solo no potencial de -10 kPa para os dados de simulação foi:

$$y = a + bx^c \quad (1)$$

onde:

y é o conteúdo de água volumétrica a -10 kPa

x é o conteúdo de areia total

a, b e c são parâmetros de ajuste.

A melhor estimativa do conteúdo volumétrico de água no solo no potencial de -1.500 kPa para os dados de simulação foi dada pela equação:

$$y = a + bx \cdot \ln x \quad (2)$$

onde:

y é o conteúdo de água volumétrica a -1.500 kPa

x é o conteúdo de areia total

a e b são parâmetros de ajuste.

No cálculo da água disponível, expresso em porcentagem do volume, tem-se:

$$AD \% \text{ vol} = q_{10} - q_{1.500} \quad (3)$$

A estimativa da água disponível feita por meio de ajuste de dados de areia total e água disponível calculada a partir de dados medidos, apresentou melhor resultado com a equação:

$$y = a + bx^3 \quad (4)$$

onde:

y é o conteúdo volumétrico de água disponível

x é o conteúdo de areia total

a e b são parâmetros de ajuste.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos das bases de dados de solo usadas na definição de funções de estimativa da umidade volumétrica a -10 kPa (q_{10}) e a -1.500 kPa ($q_{1.500}$) a partir do conteúdo de areia total (AT).

	Areia total %	Silte %	Argila %	Ds g cm ⁻³	q -10 volume %.....	q -1.500 volume %.....	AD
Dados de simulação							
Máximo	92	56	86	1,70	67,68	39,96	33
Mínimo	2	0	5	0,85	6	2,24	1,75
Mediana	30,86	16,6	49,3	1,10	32,15	19,7	11,50
Média	39,01	17,33	43,75	1,18	29,82	17,72	12,10
Desvio padrão	26,02	09,84	22,13	0,25	10,22	7,76	5,36
Dados de validação							
Máximo	83,4	30,6	75,4	1,61	40	26	21,84
Mínimo	9,5	0	13,9	1,03	12	5	7,2
Mediana	62,9	5,4	33,1	1,36	20	10	12,69
Média	55,24	8,15	36,59	1,36	21,87	12,19	13,08
Desvio padrão	18,95	7,18	13,35	0,14	6,66	4,92	3,17

Tabela 3. Valores médio, mínimo, máximo e do erro médio de estimativa dos parâmetros de ajuste de umidade volumétrica a -10 kPa (q_{10}) e -1.500 kPa ($q_{1.500}$) e de água disponível, com o teor de areia total.

Parâmetro	Valor	Erro Padrão	Valor t	Intervalo de Confiança (95%)	
$q_{10} = a + b \cdot (AT)^c$					
a	39,07988535	0,839457810	46,55372177	37,42478477	40,73498593
b	-0,04098682	0,027244120	-1,50442819	-0,09470216	0,01272851
c	1,455456594	0,147542597	9,86465348	1,16455712	1,74635607
$q_{1500} = a + b \cdot (AT) \cdot \ln(AT)$					
a	26,16995195	0,455024161	57,5133239	25,27291396	27,06698993
b	-0,05451078	0,002342889	-23,2664805	-0,05912957	-0,04989199
$AD = a + b \cdot (AT)^3$					
a	12,76278562	0,303132225	42,10303151	12,16474170	13,36082954
b	-9,8726 e-06	1,31503 e-06	-7,50752964	-1,2467 e-05	-7,2782 e-06

A Figura 1 (a, b e c) mostram a representação gráfica dos valores estimados de q_{10} , $q_{1.500}$ e AD, respectivamente, em função do teor de areia total. Observa-se que a dispersão de pontos é relativamente alta em particular para a curva (Figura 1c), o que impõe uma avaliação detalhada da precisão do modelo.

b) Avaliação da precisão do modelo

A avaliação de precisão do modelo (Tabela 4), foi dada por meio da determinação do quanto da precisão é preservada nas equações definidas quando são suprimidos, sucessivamente, os dígitos usados nos coeficientes de ajuste. O erro é medido em termos de valores mínimo, médio e máximo de AT, respectivamente, $x_{min.}$, $x_{med.}$ e $x_{max.}$ A

Tabela 4 mostra também o impacto causado pela remoção de cada parâmetro de ajuste nas duas equações lineares propostas ($q_{1.500}$ e AD). Constatou-se que o modelo mantém elevada precisão usando-se três dígitos, sendo que a supressão de decimais é sempre maior nos valores mais elevados de q_{10} , $q_{1.500}$ e AD. Observa-se também que a supressão de parâmetros de ajuste causa efeito negativo na precisão do modelo. O erro padrão para cada parâmetro de ajuste das três equações propostas (Tabela 5) pode ser considerado baixo e compatível com os objetivos deste trabalho.

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos na análise de variância do modelo, que foi o segundo instrumento utilizado na avaliação de sua precisão. Constatou-se que na estimativa da umidade volumétrica a -10 kPa e a -1.500 kPa, a soma dos

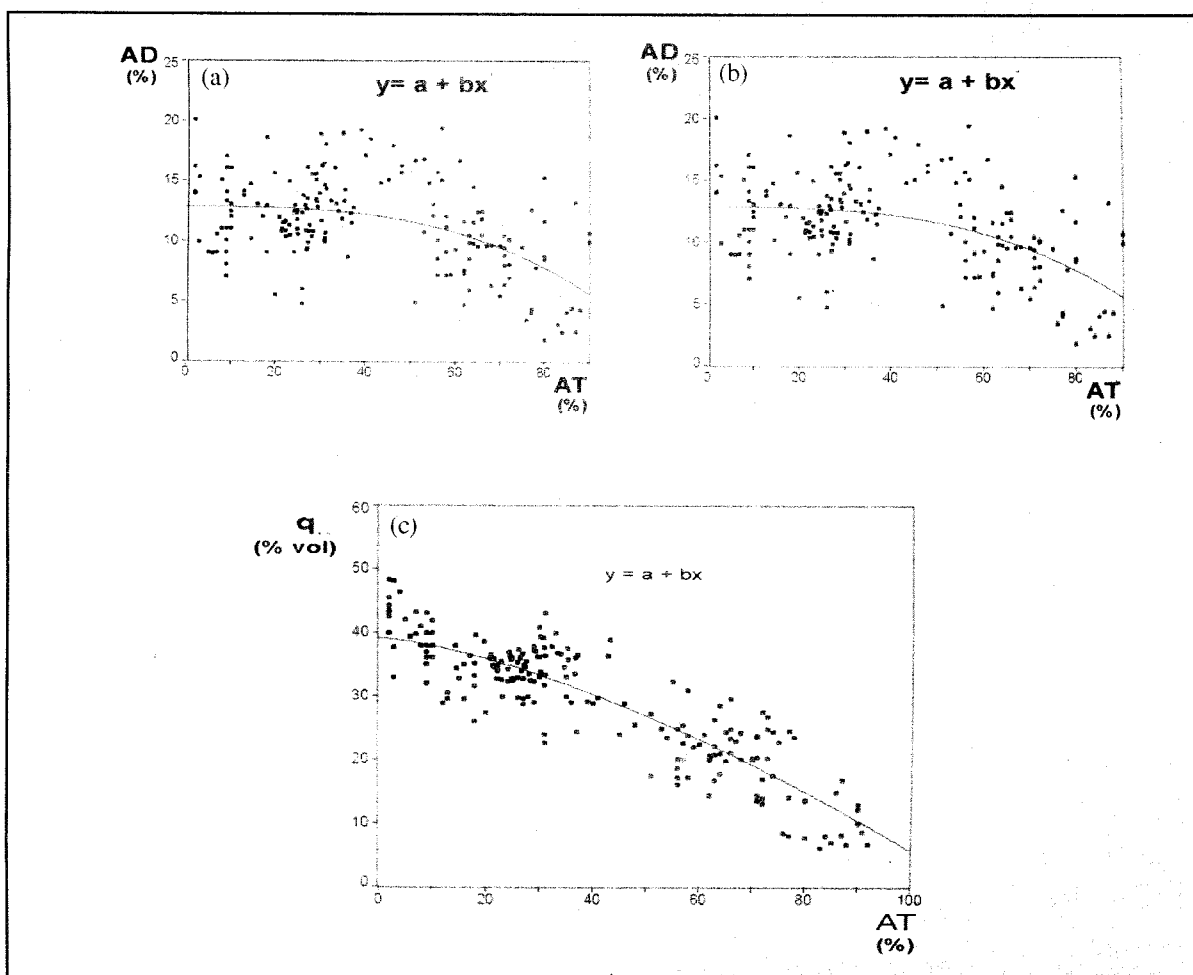


Figura 1. Curva obtida a partir do ajuste dos dados utilizados na simulação do modelo para estimativa da umidade volumétrica a -10 kPa (q_{10} - a) e a -1.500 kPa ($q_{1.500}$ - b) e da água disponível no solo (AD - c), em função do teor de areia total (AT).

quadrados (SQ) dos resíduos é menor do que a SQ da regressão, e que os valores de F conferem elevada precisão do modelo. Os valores de erro padrão obtidos na estimativa de q10 e de q1.500 em função de AT (Tabela 4) são relativamente baixos e compatíveis com os registrados na literatura (PACHEPSKY *et al.*, 1999). Os coeficientes de determinação (r^2) indicados na Tabela 5 confirmam a boa precisão do modelo na estimativa de q10 e q1.500, que explica, respectivamente, 88% e 84% da variação.

O mesmo não pode ser dito da estimativa de água disponível. A regressão explica apenas uma parte das fontes de variação do modelo proposto, e a SQ dos resíduos é alta, com valor de F relativamente baixo. Os valores de 'r' obtidos nos dois procedimentos adotados foram inferiores a 0,5. No caso da estimativa feita por meio de ajuste de valores de água disponível determinados a partir de dados medidos e teor de areia total, o valor de 'r' foi superior (0,48) ao valor do coeficiente de correlação entre dados de água disponível calculados pela subtração dos conteúdos de água volumétrica a -10 kPa e -1.500 kPa, medidos e estimados. No entanto, o erro padrão obtido para água disponível em função de areia total atende às necessidades dessa proposta, situando-se em torno de 3,31% em volume, que corresponde 0,331 mm de água por cm de solo.

c) Validação do modelo

Os dados indicados na Tabela 6 permitem afirmar que os modelos propostos na estimativa de q10 e q1.500 são bastante confiáveis pois explicam respectivamente, 86% e 95% da variação de q10 e de q1.500 em determinados solos independentes daqueles utilizados na simulação do modelo. Confirmando a ausência de significado físico do termo água disponível, e a baixa precisão do modelo na estimativa de AD a partir de AT, os valores de r^2 são baixos, mas compatíveis com aqueles obtidos na simulação. Isto corrobora a confiabilidade do modelo embora com baixa precisão.

Segundo PACHEPSKY & RAWLS (1999), a definição de PTFs para grupo de solos aumenta a precisão do modelo, provavelmente devido a similaridades dentro de cada grupo. No entanto, esses mesmos autores destacam que a confiabilidade do modelo não aumenta quando se estima uma PTF para cada grupo de solos. Assim, um modelo para estimar separadamente, quantidade de água retida no solo a diferentes tensões, a partir da combinação de diferentes ordens de solo parece satisfatório. E atende às necessidades práticas do presente trabalho, ao menos em escala regional de planejamento.

Tabela 4. Valores obtidos na avaliação da precisão da estimativa dos parâmetros do modelo.

	Nº de dígitos			Removendo	
	6	3	2	A	b
y=a+bx					
Erro em xmin	3,71E-07	0,000506	-0,00214	-	-
Erro em xmédio	-2,90E-06	-0,00416	-0,05261	-	-
Erro em xmax	-4,50E-05	-0,06345	-0,70344	-	-
y=a+bxlnx					
Erro em xmin	1,84E-06	0,001152	-0,00654	-1,0029	0,002896
Erro em xmédio	2,47E-06	0,001726	-0,01314	-1,42955	0,42955
Erro em xmax	1,14E-05	0,009886	-0,10691	-7,49164	6,491643
y=a+bx³					
Erro em xmin	1,13E-06	0,002916	0,018587	-1,00001	6,19E-06
Erro em xmédio	1,20E-06	0,003079	0,019399	-1,0514	0,051401
Erro em xmax	3,00E-06	0,00703	0,039035	-2,29314	1,293138

Tabela 5. Precisão das funções de pedotransferência (PTFs) geradas para estimativa da umidade volumétrica a -10 kPa (q10), -1.500 kPa (q1.500) e da água disponível (AD), em % volume.

ANOVA	G.L.	SQ	MQ	F
q10				
Regressão	2	14546,618	7273,309	365,106
Resíduo	207	4123,662	19,921	
Total	209	18670,280		
q1500				
Regressão	1	9025,945	9025,945	541,329
Resíduo	211	3518,145	16,674	
Total	212	12544,090		
AD				
Regressão	1	617,860	617,860	56,363
Resíduo	187	2049,923	10,962	
Total	188	2667,783		
Estatística de Regressão				
		r ²	r	Erro Padrão
q10 x AT		0,779	0,883	4,463
q1500 x AT		0,720	0,848	4,083
AD 'medido' x AT		0,232	0,480	3,311
AD 'medido' x AD estimado p/subtração			0,400	

Tabela 6. Validação das funções de pedotransferência para estimativa da água volumétrica a -10 kPa (q10) e -1.500 kPa (q1.500) e da água disponível (AD), por meio da aplicação das equações em dados não utilizados na simulação.

	Máximo	Mínimo	Mediana	Média	Desvio padrão	Coefficiente de correlação
Areia (%)	83,40	9,50	62,90	55,24	18,95	-
Ds (g/cm ³)	1,610	1,03	1,36	1,36	0,13	-
q10 (% vol)	48,60	17,28	27,37	29,23	7,43	-
q10 est (% vol)	37,99	13,45	22,08	24,44	6,49	Q10 med x est = 0,86
q1.500 (% vol)	30,82	7,75	14,52	16,15	5,50	-
q1.500 est (% vol)	25,00	6,06	11,97	13,89	4,96	Q1.500 med x est = 0,95
AD 'med' (% vol)	21,84	7,20	12,69	13,08	3,17	-
AD est (% vol)	13,01	7,39	10,11	10,54	1,56	AD 'med' x est = 0,36
AD eq (% vol)	12,75	7,04	10,31	10,58	1,51	AD 'med' x eq = 0,34

Conclusões

- As funções de pedotransferência (PTFs) definidas para estimar a umidade volumétrica nos limites superior (-10 kPa) e inferior (-1.500 kPa) de água disponível apresentaram precisão compatível com os citados na literatura e são de fácil utilização;
- os problemas de dispersão nas análises granulométricas ficam, praticamente, eliminados pelo fato de se usar teor de areia total, que é comple-

mentar ao teor de argila + silte, quando expressos em % ou em g kg⁻¹;

- o conteúdo de areia total explica cerca de 48% da retenção de água mas o erro padrão de ajuste mantém-se aceitável para os objetivos deste trabalho (3,31% de vol. ou 0,331 mm cm⁻¹); e
- o modelo apresenta elevada confiabilidade na estimativa da umidade volumétrica quando testado em dados independentes (r² = 0,98), tornando-o compatível com estudos em escala regional.

Referências bibliográficas

- AB'SABBER, A.N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, v.20, p.1-26, 1970.
- ARRUDA, F.B., ZULLO Jr., J., OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.1, p.11-15, 1987.
- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Sciences**, New York, v.9, p.177-213, 1989.
- DONAGEMMA, G.K. Mineralogia da fração silte de latossolos submetida a dispersões sucessivas. 2000, 88p. Dissertação (Mestrado), Viçosa, 2000.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento semidetalhado da Fazenda Canchim, São Carlos, estado de São Paulo**. 1996. 261p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 1999. 412p.
- JONG VAN LIER, Q. Índices da disponibilidade de água para as plantas. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.1, p.95-106, 2000.
- MEIRELES, E.J.L., SILVA, S.C., ASSAD, E.D. **Zonamento agroclimático para o arroz de sequeiro no estado do Tocantins**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP/APA, 1995. 18p. (Documentos, 58).
- OSTERVELD, M., CHANG, C. Empirical relations between laboratory determinations of soil texture and moisture retention. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v.22, p.149-151, 1980.
- PACHEPSKY, Y., RAWLS, W.J. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, n.6, p.1748-1757, 1999.
- PACHEPSKY, Y., RAWLS, W.J., TIMLIN, D.J. The current status of pedotransfer functions: their accuracy, reliability, and utility in field and regional-scale modeling. In: CORVWIN, D.L., LOAGUE, K., ELLSWORTH, T.R. (Eds.) **Assesment of non-point source pollution in the vadose zone**. Geophysical monograph. Washington: American Geophysical Union, 1999. p.223-234.
- RAWLS, W.J.T., GISH, T.J., BRAKENSIEK, D.L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Sciences**, New York, v.16, p.213-234, 1991.
- SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley, 1976. 618p.
- SANS, L.M.A., SANTOS, N.C. Resposta de cultivares de milho a variações climáticas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19., 1992, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1992.
- SAXTON, K.E., RAWLS, W.J., ROMBERGER, J.S. et al. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, n.4, p.1031-1036, 1986.
- SILVA, S.C. da, MEIRELES, E.J.L., ASSAD, E.D. et al. **Caracterização do risco climático para a cultura do arroz de terras altas no Estado de Mato Grosso**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1997. 18p. (Documentos, 76).
- TOMASELLA, J., HODNETT, M.G., ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.1, n.2, p.327-338, 2000.
- VAN DEN BERG, M., KLAMT, E., VAN REEUWIJK, L.P. et al. Pedotransfer functions for the estimation of moisture and retention characteristics of Ferralsols and related soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.78, p.161-180, 1997.
- WILLIAMS, J.R., PREBBLE, E., WILLIAMS, W.T. et al. The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v.21, n.1, p.15-31, 1983.