

USO DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA ESTIMATIVA DA RETENÇÃO DE ÁGUA EM UM LATOSSO NO ESTADO DE RONDÔNIA

Use of pedotransfer functions for estimation of the water retention in Oxisol on the Rondônia state.

Petrus Luiz de Luna Pequeno¹, Flávio de Paula Fagundes², Raiany Cardoso dos Santos², Cláudio Luiz do Amaral Santini³, Marcelo Augusto Rambo⁴, Jairo André Schlindwein⁵

Recebido em 05 de fevereiro de 2018; aceito em 15 de maio de 2018; disponível on-line em 26 de julho de 2018.



PALAVRAS CHAVE:

Solo e água;
Capacidade de retenção;
FPT;
Variáveis Texturais;
Variáveis estruturais;

KEYWORDS:

Soil and Water;
Retention capacity;
PTF;
Textural variables;
Structural variables.

RESUMO: A presente pesquisa objetivou testar funções de pedotransferência desenvolvidas para as condições brasileiras identificando a de melhor ajuste para determinação da retenção de água de um Latossolo do município de Porto Velho-RO. O banco de dados inicial constou de resultados analíticos do RADAMBRASIL e SIGTERON, onde a classe de solo Latossolo Vermelho Amarelo foi escolhida. Para melhorar a qualidade do banco de dados, foram coletadas amostras indeformadas de solo, e nestas determinados atributos físicos do solo, tais como: granulometria, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, além do conteúdo volumétrico de água retido nas tensões de -0,006 e -0,01 MPa utilizando-se mesa de tensão. Os dados determinados (observados) e os preditos (por meio das funções de pedotransferências - FPT) foram comparados graficamente através da relação 1:1, também por meio dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação de Pearson (r^2), erro médio (ME) e raiz quadrada do erro médio (RMSE). As FPT desenvolvidas por Pequeno (2016) apresentaram acurácia regular para predição do conteúdo de água retido. As funções de pedotransferências desenvolvidas por Urach (2007) foram as que melhores se ajustaram para predição do conteúdo e água retido nas condições edafoclimáticas analisadas. Considerando o comportamento dos modelos testados, a qualidade dos dados obtidos, as peculiaridades regionais, este trabalho possibilitou a observância da necessidade de desenvolvimento e validação de modelos específicos para as condições edafoclimáticas locais, o que poderá mostrar melhores ajustes e precisão para uso na estimativa da retenção de água no solo.

ABSTRACT: The present research aimed to test pedotransfer functions developed for the Brazilian conditions identifying the model of the best adjustment in the determination of water retention on the Ferrasol of the municipality of Porto Velho-RO. The initial database consisted of the analytical results of RADAMBRASIL and SIGTERON, where was chosen the Ferrasol soil class. In order to improve the quality of the database, undisturbed soil samples were collected and in these samples physical attributes of the soil was determined: granulometry, soil density, total porosity, macroporosity and microporosity, as well as water volumetric content retained at -0.006 And -0.01 MPa using tension table. The determined (observed) and predicted (through pedotransfer function - FPT) data were compared graphically through the 1:1 ratio, as well as through statistical indicators: Pearson correlation coefficient (r^2), mean error (ME) and root-mean-square error (RMSE). The pedotransfer function developed by Pequeno (2016) showed a regular accuracy to predict the water content retained. The pedotransfer function developed by Urach (2007) were the best fit for predicting the content and water retained in the edaphoclimatic conditions analyzed. Considering the behavior of the models tested, the quality of the data obtained, the regional peculiarities, this work allowed for the observance the need for development and validation of specific models for the local edaphoclimatic conditions, which may will show better adjustments and accuracy for to use on the estimating water retention on soil.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: petrusdeluna@unir.br (P. L. L. PEQUENO)

Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor/Pesquisador, Fundação Universidade Federal de Rondônia/NT/DECIV.

² e-mail: engenharia.flaviofagundes@gmail.com (F.P. FAGUNDES) e (R. C. dos SANTOS)

Graduandos em engenharia civil pela Universidade Federal de Rondônia, UNIR.

³ e-mail: santini@unir.br (C. L. A. SANTINI)

Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor/Pesquisador, Fundação Universidade Federal de Rondônia/NT/DECIV.

⁴ e-mail: rambo@unir.br (M. A. RAMBO)

Engenheiro Civil, Especialista, Professor/Pesquisador, Fundação Universidade Federal de Rondônia/NT/DECIV

⁵ e-mail: jairojas@unir.br (J. A. SCHLINDWEIN)

Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor/Pesquisador, Fundação Universidade Federal de Rondônia/NCT/DEQUI

1. INTRODUÇÃO

A capacidade de retenção de água pelo solo é influenciada por atributos estruturais e granulométricos do solo, além do sistema de uso e manejo. Modelos matemáticos têm sido utilizados na estimativa tendo como variáveis atributos de fácil determinação e que fazem parte da rotina de análise físico-mecânica do solo.

No desenvolvimento desses modelos, a necessidade de um banco de dados específico é destacada na literatura, principalmente no concernente ao tipo de amostragem do solo, onde a preservação da estrutura do solo no momento da coleta tornar-se importante para compreensão dos fenômenos que ocorrem nesse processo. De acordo com Barros & Jong Van Lier (2014), um dos fatores limitantes na geração de funções de pedotransferência (FPT), bem como na acurácia das mesmas está na desuniformidade dos bancos de dados existentes, uma vez que os mesmos não foram construídos para essa finalidade.

No Brasil, Arruda et al. (1987) foram pioneiros com ajuste de 17 modelos para estimativa do conteúdo de água na capacidade de campo e outros 17 para retenção de água no ponto de murcha permanente, utilizando amostras deformadas de solo. Para a região Amazônica, Bernoux et al. (1998), Tomasella e Hodnett (1998) e Benites et al. (2007) desenvolveram funções de pedotransferência para estimativa da densidade do solo utilizando atributos físicos e químicos do solo.

No estado do Rio Grande do Sul, Michellon (2010) desenvolveu e testou FPT contendo variáveis granulométricas e estruturais, determinadas em amostras de solo deformadas e indeformadas coletadas na própria região. Os resultados preditos com as FPT comparados aos determinados apresentaram acurácia e bons ajustes, o que segundo os autores, permitem que o quantitativo de água retido pelos solos daquela região possa ser estimado a partir dos modelos desenvolvidos, uma vez que os mesmos apresentaram uma boa precisão.

De acordo com Looy et al. (2017), para se entender os impactos na mudança climática e no uso da terra é necessário a utilização de processos do solo e formas confiáveis que representem a heterogeneidade espacial da superfície terrestre, o que, na maioria das vezes, parâmetros essenciais do solo, como os que controlam o fluxo de água, energia e gás estão indisponíveis em virtude da impossibilidades especiais e temporais para realização de medições. Nesse sentido, a obtenção de informações precisas, principalmente para a hidrologia, reduz a incerteza na previsão.

Baseado então em informações precisas da granulometria do solo, pode-se desenvolver modelos capazes também de predizerem mudanças de volume no solo, imprescindíveis para engenharia, a exemplo de Tall et al. (2017) que observaram essas mudanças através de FPT desenvolvidas para determinar o coeficiente de extensibilidade linear (COLE). Os autores verificaram a dependência desse coeficiente dos teores de argila do solo, bem como alta confiabilidade nas estimativas nas FPT desenvolvidas, externadas pelo elevado r^2 (0,937) e baixo erro médio (0,01%).

No estado de Rondônia-Brasil, a utilização de modelos para predição do conteúdo de água retido no solo ainda é bastante incipiente, principalmente pela também desuniformidade dos bancos de dados existentes e, também, devido as rotinas dos laboratórios associadas à maioria das demandas não conterem a capacidade de retenção de água no solo como um dos parâmetros de análise, uma vez que a mesma requer tempo para determinação superior àquelas de rotina, além de mão de obra especializada.

Nesse sentido, esta pesquisa objetivou melhorar e ampliar o bando de dados já existente referente aos atributos físicos do solo, em especial de um Latossolo, bem como testar funções de pedotransferência desenvolvidas para as condições brasileiras, identificando a de melhor ajuste para estimativa da retenção de água em um Latossolo do município de Porto Velho-RO.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no laboratório de geotecnia do curso de Engenharia Civil da Fundação Universidade Federal de Rondônia no período de junho de 2016 a julho de 2017. Considerando a abrangência estadual da classe de solo Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA-SNLCS, 2013), aproximadamente 58% da área do Estado, corroborado por sua ocorrência no município de Porto Velho, optou-se pela coleta local, cuja unidade representativa está localizada em área de mata dentro do Campus Ribeiro Filho, no município de Porto Velho, estado de Rondônia (Figura 1).

Com base em Pequeno (2016), Barros & Jon Van Lier (2014), Michellon (2010) e Urach (2007) foram escolhidas funções de pedotransferência desenvolvidas para às condições brasileiras com especificidade para as tensões de -0,006 e -0,01 MPa (Tabela 1).

Inicialmente, foram feitas pesquisas nos bancos de dados existentes no boletim técnico da Embrapa Rondônia (1983, datilografado), Sigteron (Cochrane, 1998), e do projeto

Radambrasil folha SC-20 (BRASIL, 1978). Após consolidação dos dados secundários obtidos, observou-se a necessidade de uma complementação do banco de dados com informações específicas referentes a atributos físicos do solo que são exigidos nos modelos preditivos utilizados, sendo eles: porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, granulometria e fracionamento da fração areia, argila natural e grau de flocculação.

Nesse sentido, na área correspondente Inicialmente (2,25 ha), foram abertas cinco minitrincheiras nas dimensões de 0,50 m x 0,50 m x 0,50 m e nelas coletadas 4 amostras indeformadas de solo utilizando anel volumétrico, sendo uma por profundidade (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm), totalizando 04 por minitrincheira e 20 amostras no total, necessárias para determinação dos atributos densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total.

Para caracterização granulométrica, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-40 cm, sendo uma por minitrincheira, totalizando 5 amostras.

TABELA 1: Funções de pedotransferências selecionadas para aplicação.

Autor	Modelo
PEQUENO (2016)	$\hat{Y}_{-0,006} = 0,0479 + 0,00048447AG - 0,00036446AME + 0,57311MICP$ $\hat{Y}_{-0,01} = 0,03426 - 0,00022009AF + 0,00065648AMF + 0,30762MICP$
URACH (2007)	$\hat{Y}_{-0,006} = 0,45862 - 0,00167*Ar + 0,00062*Arg - 0,03332*Ds$ $\hat{Y}_{-0,01} = 0,40971 - 0,00268*Ar - 0,00123*Si + 0,00084*Ds$

FONTE: Autoria própria.



FIGURA 1. Croqui de localização das minitrincheiras na área experimental.

Fonte: Imagem Google Earth (2017).

2.1. ATRIBUTOS FÍSICOS DETERMINADOS

2.1.1 Granulometria

A granulometria do solo foi determinada por meio do método do densímetro – Hidrômetro de Bouyoucos (Donagema et al., 2011), utilizando o NaOH 1N como dispersante químico. Para esse ensaio utilizou-se 20 gramas de TFSA (terra fina seca ao ar) de cada amostra resultante de tamizagem em malha de 2,00 mm, 10 mL de NaOH 1N e 150 ml de água destilada e deixadas em repouso por 24h.

A leitura densimétrica correspondente a silte+argila foi realizada aos 40 segundos após o início da sedimentação (1ª leitura). De acordo com a metodologia, neste período estima-se que tenha ocorrido desagregação das partículas e que toda fração areia, em função de sua maior densidade, tenha sedimentado durante esse tempo, ficando apenas as partículas de silte+argila em suspensão. Transcorridas 2 horas do início da sedimentação, realizou-se uma segunda leitura com o densímetro, levando-se em consideração que as partículas de areia e silte já sedimentaram e ocuparam a parte inferior da proveta, enquanto que as partículas de argila estavam na máxima suspensão no líquido.

Em seguida, o conteúdo de cada proveta foi passado e lavado em peneira de 0,053 mm com jato de água, removendo o silte e argila, restando apenas a fração areia. Em seguida, o conteúdo de cada peneira foi posto em estufa a 105 °C por 24 horas para quantificação da massa de solo seco total (mss). A separação da fração areia foi feita através de peneiragem via seca, utilizando um vibrador produtest A 10.000 RPM com tamiz nas aberturas de 2,00 mm, 1,00 mm, 0,500 mm, 0,250 mm, 0,125 mm e 0,106 mm, originando as subfrações areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), Areia média (AME), areia fina (AF) e areia muito fina (AMF). Para determinação dos quantitativos das frações granulométricas, foram utilizadas as Equações 01 a 05:

$$LC = La - Lab \quad \text{Eq. [01]}$$

$$Si + Arg = \frac{Lc_{40s} \times 1000}{mss} \quad \text{Eq. [02]}$$

$$Arg = \frac{Lc_{2hs} \times 1000}{mss} \quad \text{Eq. [03]}$$

$$Si = (Si + Arg) - Arg \quad \text{Eq. [04]}$$

$$AT = AMG + AG + AME + AF + AMF \quad \text{Eq. [05]}$$

Sendo: LC – leitura corrigida; La – leitura densimétrica da amostra; Lab – leitura densimétrica da amostra em branco; Si – silte; Arg – argila; Lc_{40s} – leitura densimétrica 40 segundos após o início de sedimentação; Lc_{2hs} – leitura densimétrica duas horas após o início de sedimentação; mss – massa de solo seco em estufa; AT – areia total; AMG – areia muito grossa; AG – areia grossa; AME – areia média; AF – areia fina; AMF – areia muito fina.

2.1.2 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo

As amostras coletadas com anéis volumétricos tiveram uma de suas faces a colocação de um tecido poroso preso por um elástico e em seguida foram colocadas em recipiente contendo água com altura de 75% da altura total dos anéis, por um período de 24 horas para promover saturação por capilaridade, em seguida pesadas (P1).

Após a pesagem foram colocadas em mesa de tensão para determinação da macroporosidade e microporosidade do solo, segundo REICHARDT (1987) e DONAGEMA et al (2011). Para completa retirada da água retida pela macroporosidade (poros com diâmetro $\varnothing \geq 0,05$ mm), foi utilizado o nível de sucção correspondente a 60 cm de altura de coluna de água (-0,006 MPa) por um período de 24 horas,

após o qual as amostras foram novamente submetidas a pesagem (P2). Para obtenção do volume de água retido à tensão correspondente a -0,01 Mpa, as amostras foram submetidas a um nível de sucção correspondente a 100 cm de altura de coluna de água. Em seguida, foram pesadas e levadas à estufa a 105° C por 24 h e novamente pesadas (PS). O cálculo da macro e microporosidade foi realizado através das Equações 06 e 07:

$$Mi = \frac{(P1 - P2)}{V} \quad \text{Eq. [06]}$$

$$Ma = (Pt - Mi) \quad \text{Eq. [07]}$$

Em que:

Ma = macroporosidade, (m³ m⁻³);

Mi = microporosidade, (m³ m⁻³);

P1 = peso do solo saturado com água (em g);

P2 = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna d'água (em g);

Pt = peso da amostra seca em estufa a 105° C (em g);

V = volume do cilindro, cm³.

A porosidade total do solo foi determinada como sendo o volume total de saturação, correspondendo a diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105°C.

2.1.3 Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico (Kopecky) conforme Donagema et al. (2011). Utilizou-se as amostras oriundas da determinação da porosidade do solo, após a secagem em estufa (Equação 08):

$$Ds = \frac{mss}{V} \quad \text{Eq. [08]}$$

Sendo:

Ds = densidade do solo em g cm³;

mss = massa de cada amostra seca em estufa (g);

V = volume interno do anel (cm³).

2.2.4 Avaliação da eficiência das funções de pedotransferência.

A avaliação da eficiência das FPT seguiu os padrões internacionais, cuja metodologia é descrita por Michellon (2010) e Pequeno (2016), uma vez ser esse através da relação 1:1 dos dados estimados versus os observados e por meio dos indicadores estatísticos: R² - Coeficiente de determinação (avalia o ajuste do modelo, onde quanto mais próximo da unidade melhor o ajuste) com significância P ≤ 0,05; ME - Erro médio (indica a exatidão da estimativa, revelando a tendência da FPT superestimar (se positivo) ou subestimar (se negativo) os valores determinados, sendo quanto mais próximo de zero for o ME, maior a acurácia da FPT) e; RMSE - raiz quadrada do erro médio (indica a dispersão dos valores medidos e estimados em torno da reta 1:1, onde quanto mais próximo de zero melhor o ajuste entre dados).

Para obtenção dos valores de ME e RMSE foram utilizadas as Equações 09 e 10:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - mi) \quad \text{Eq. [09]}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - mi)^2} \quad \text{Eq. [10]}$$

Em que:

n = número de observações;

e_i = valor estimado pela FPT da variável de interesse;

m_i = valor medido da variável de interesse (observado).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica revelou teores médios das frações argila variando de 35 a 36%, areia 45 a 47% e silte de 17 a 19%. Klein e Klein (2015) ressaltam a importância da maior influência

da textura do solo na retenção de água por ser a propriedade que não se modificada com o tempo, exceto se considerar milênios de anos e a ação do intemperismo, onde diferenças na mesma, na cobertura, espécies vegetais utilizadas, quantidade de água recebida (precipitação/irrigação), exercem influência na dinâmica da água no solo, especialmente em ambientes semiáridos, mas as respostas no armazenamento de água são modificadas pela época do ano e profundidade do perfil.

3.2 DENSIDADE DO SOLO E POROSIDADE DO SOLO

A Tabela 2 apresenta os valores médios de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo. Observa-se que houve uma tendência de aumento com a profundidade no que concerne a densidade do solo, com variação muito pequena dentro de cada profundidade, comportamento semelhante a porosidade, em cujas houve uma redução com o aumento da densidade do solo.

Os valores da macroporosidade refletem os resultados granulométricos, onde há um predomínio da fração mais grosseira do solo (areia) em todas as profundidades seguidos da

fração argila, cujos valores variaram entre 35 e 36% em relação as demais frações. Segundo Pequeno (2016), a densidade do solo é um atributo dinâmico importante por influenciar diretamente nos atributos estruturais responsáveis pela condução de gases e percolação e armazenamento de água. Em geral, aumenta com a profundidade do perfil devido às pressões exercidas pelas camadas superiores provocando a compactação, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores (eluviação) também contribui para a redução dos espaços porosos aumentando a densidade do solo dessas camadas.

A Tabela 3 apresenta uma descrição simples dos valores máximos, médios e mínimos das variáveis constantes no banco de dados para utilização com as funções de pedotransferências selecionadas da literatura. As variáveis granulométricas apresentaram variações muito baixas em seus valores, o que não se verificou com às estruturais, e conseqüentemente com os valores referentes a retenção de água nos potenciais -0,006 e -0,01 MPa, os quais são influenciados tanto pelos granulométricos, quanto pelos estruturais, sendo com mais significatividade por esses últimos.

TABELA 2: Valores médios de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade e respectivas variações determinados no Latossolo Vermelho Amarelo em quatro profundidades.

Profundidade	Densidade do solo	Porosidade total	Microporosidade	Macroporosidade
cm	g cm^{-3}	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$		
0-10	$1,35 \pm 0,09$	$0,517 \pm 0,03$	$0,117 \pm 0,03$	$0,400 \pm 0,04$
10-20	$1,54 \pm 0,12$	$0,480 \pm 0,04$	$0,106 \pm 0,02$	$0,374 \pm 0,05$
20-30	$1,53 \pm 0,09$	$0,496 \pm 0,03$	$0,092 \pm 0,04$	$0,404 \pm 0,07$
30-40	$1,47 \pm 0,15$	$0,513 \pm 0,06$	$0,138 \pm 0,02$	$0,375 \pm 0,04$

FONTE: Autoria própria.

TABELA 3: Valores máximos, médios e mínimos observados das variáveis utilizadas na avaliação das funções de pedotransferências.

Variáveis	Máximo	Médio	Mínimo
AMG	28	28	28
AG	130	129	129
AME	145	144	143
AF	128	127	127
AMF	37	37	37
AREIA T	468	466	463
SILTE	179	177	173
ARGILA	360	358	353
DS	1.53	1.35	1.10
PT	0.5911	0.5017	0.4322
MACP	0.1674	0.1133	0.0539
MICP	0.4885	0.3884	0.3246
$\Psi_{-0,006}$	0.27714	0.24205	0.18390
$\Psi_{-0,01}$	0.27370	0.23991	0.18091

Onde: AMG - areia muito grossa; AG - areia grossa; AME - areia média; AF - areia fina; AMF-areia muito fina; AREIA T - areia total; DS - densidade do solo; PT - porosidade total; MACP - macroporosidade; MICP - microporosidade; $\Psi_{-0,006}$ - umidade volumétrica no potencial -0,006 MPa; $\Psi_{-0,01}$ - umidade volumétrica no potencial -0,01 MPa.

FONTE: Autoria própria.

A Tabela 4 apresenta a análise de correlação entre as variáveis preditoras e com o conteúdo de água retido no solo nas tensões - 0,006 e -0,01 MPa. Observou-se que a influência dos atributos granulométricos na retenção de água foi muito baixa, já explicado por Reichardt (1987) e Hillel (1988), segundo os quais apenas nos potenciais mais baixos (mais negativos) é que se verifica a influência das forças eletrostáticas ou adesão na retenção de água no solo. Klein et al (2010), Michellon et al (2010) e Pequeno (2016) corroboram com esse entendimento, tendo esse último verificado esse comportamento avaliando

quantitativo de água retido em diferentes potenciais matriciais utilizando funções de pedotransferência.

A correlação positiva da densidade do solo (DS) com a retenção de água ocorreu provavelmente pela sua dinâmica em variar com as condições estruturais do solo, onde o aumento desta afetou negativamente o espaço poroso, expressado pelos valores elevados e negativos verificados na porosidade total (PT) e microporosidade (MICP), conseqüentemente, influenciando na retenção de água nos potenciais estudados, uma vez que nos mesmos a influência estrutural é maior, através das forças capilares.

TABELA 4: Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis estruturais e granulométricas com o conteúdo de água retido nos potenciais matriciais $-0,006$ e $-0,01$ MPa

Variáveis	$\Psi_{-0,006}$	$\Psi_{-0,01}$
AMG	0.07	0.05
AG	0.07	0.05
AME	0.07	0.05
AF	0.07	0.05
AMF	0.07	0.05
AREIA T	0.07	0.05
SILTE	0.13	0.12
ARGILA	-0.15	-0.13
DS	0.86	0.88
PT	-0.86	-0.88
MACP	-0.10	-0.09
MICP	-0.69	-0.72

FONTE: Autoria própria.

3.3 FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

A Figura 2, apresenta a análise comparativa através da relação 1:1 entre os conteúdos de água observados, determinados através de mesa de tensão e os preditos através da FPT desenvolvida por Pequeno (2016), nos potenciais matriciais $-0,006$ MPa e $-0,01$ MPa.

A disposição dos dados estimados em torno da reta mostra uma dispersão ocorrida em relação aos observados, corroborado pelos valores de RMSE e R^2 , onde no potencial $-0,006$ MPa o modelo subestimou o quantitativo retido e no potencial $-0,01$ MPa ocorreu uma superestimativa. Considerando que Pequeno (2016) desenvolveu banco de dados para um Latossolo com teores médios da fração argila de 15,6% e da fração areia de 65,5%, aliada as condições estruturais do solo, o modelo desenvolvido se ajustou bem àquelas condições, enquanto que no solo em estudo os teores médios dessas frações foram de 36% e 47%, respectivamente. Nesse sentido, considerando a quantidade e a influência da superfície específica das argilas na formação estrutural do solo, além da

matéria orgânica, há de se supor que as variáveis preditivas presentes nos dois modelos, com exceção da microporosidade (MICP), são de baixa correlação com a retenção de água no solo, o que é corroborado pelos valores de r da Tabela 4. Para os dois modelos testados e nos dois potenciais, 48% das variações não são explicadas e ocorreram sob influência de outras variáveis não presentes, enquanto que 52% são de responsabilidade das variáveis preditoras presentes. Assim, os modelos de Pequeno (2016) apresentaram uma capacidade preditiva regular de retenção de água para o solo estudado.

A análise comparativa através da relação 1:1 entre os conteúdos de água observados e os preditos através da FPT desenvolvida por Urach (2007), nos potenciais matriciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$, como também análise através dos indicadores estatísticos R^2 , ME e RMSE são verificados na figura 3.

Observou-se uma tendência a subestimativa dos conteúdos de água retidos em ambos os modelos e nos dois potenciais, demonstrado pelos valores negativos de ME.

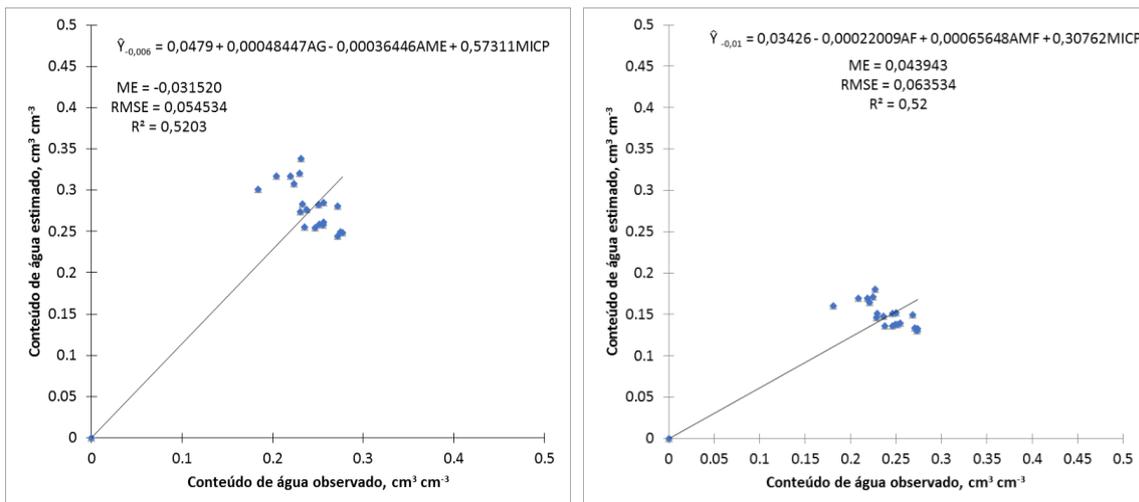


FIGURA 2. Comparação entre valores estimados através da FPT de Pequeno (2016) e valores observados do conteúdo de água retido nos potenciais matriciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$ MPa em Latossolo Vermelho Amarelo no município de Porto Velho-RO. **FONTE:** Autoria própria.

No potencial $\Psi_{-0,006}$, o valor de ME atribuiu a FPT uma acurácia satisfatória, enquanto que o RMSE indicou uma pequena dispersão entre os valores estimados e observados. O resultado da normalização do RMSE, através da razão entre o valor deste e a média dos valores observados, que originou o CV_{RMSE} igual a 42% expressa a variabilidade entre os dados, corroborando para o valor moderado de R^2 , cujo valor indica que 76,45% das variações ocorridas são explicadas pelo modelo e os outros 23,55% dependem de outras variáveis que não as utilizadas no mesmo.

No potencial $\Psi_{-0,01}$ a tendência a subestimativa pelo modelo foi ainda mais acentuada, verificada pelo valor negativo de ME =

-0,123258 cm^3cm^{-3} e seu distanciamento da unidade. A dispersão verificada entre os dados estimados em relação aos observados em torno da reta 1:1 (RMSE = 0,165605 cm^3cm^{-3}) indicam que outras variações ocorreram que não sob dependência das variáveis utilizadas, sendo reforçado pelo valor de R^2 que permitiu verificar que 68,93% dessas variações são dependentes das variáveis constantes no modelo.

Nesse sentido, com base nos indicadores estatísticos, as FPT utilizadas para predição dos conteúdos de água retidos nos potenciais -0,006 MPa e -0,01 MPa apresentaram acurácia regular na estimativa de retenção de água pelo solo.

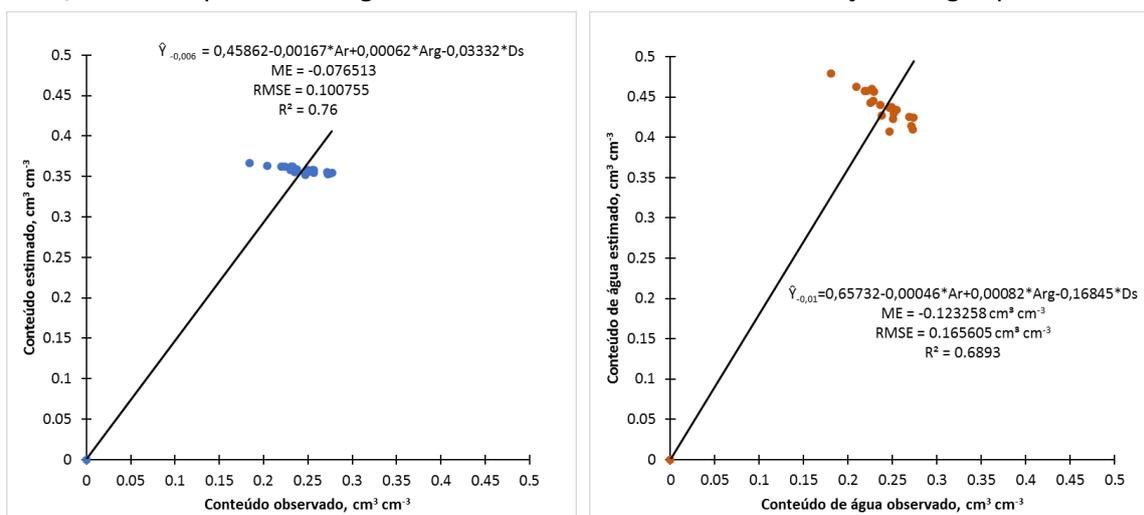


FIGURA 3: Comparação entre valores estimados através da FPT de Urach (2007) e valores observados do conteúdo de água retido nos potenciais matriciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$ MPa em Latossolo Vermelho Amarelo no município de Porto Velho-RO. **FONTE:** Autoria própria.

As diferenças nos resultados de predição do conteúdo de água retido obtidos através das FPT desenvolvidas por Urach (2007) e as de Pequeno (2016) se deram inicialmente pela diferença na granulometria dos solos utilizados pelos dois autores, uma vez que o primeiro utilizou solos argilosos e o segundo, solos francos arenosos. Assim, as características do banco de dados gerados na pesquisa, solo de textura argilo-arenosa, se aproximaram daquelas que geraram as FPT do primeiro autor, corroborando nas menores variações e melhores R^2 , o que é destacado por Bernardes (2010), segundo o qual a eficiência das equações está vinculada à aplicação em solos de natureza similar.

Considerando-se que nestes potenciais a influência estrutural na retenção de água sob forças capilares é maior, observou-se que a influência das variáveis granulométricas é muito pouca, podendo ser atribuído a densidade do solo as maiores variações em função de sua relação direta com a porosidade do solo, pressupondo-se que caso houvesse alguma componente estrutural, como a microporosidade, as variações poderiam ser menores, uma vez que segundo Klein e Libardi (2002) a retenção de água depende da estrutura do solo, onde os microporos exercem papel primordial, associados ao estado de agregação.

4. CONCLUSÕES

Para as condições em que a pesquisa foi desenvolvida pôde-se concluir que:

A diferença entre a composição granulométrica dos solos utilizados pelos autores na formação dos bancos de dados geradores das funções de pedotransferência estudadas, contribuiu para menor eficiência (solos arenosos) e maior eficiência (solos argilosos) na predição do conteúdo volumétrico de água retido no Latossolo Amarelo nas condições edafoclimáticas de Porto Velho-Rondônia.

As funções de pedotransferências desenvolvidas por Urach (2007) para os potenciais

-0,006 e -0,01 MPa foram as que melhores se ajustaram para predição do conteúdo e água retido nas condições edafoclimáticas analisadas.

Considerando o comportamento dos modelos testados, a qualidade dos dados obtidos, as peculiaridades regionais, este trabalho possibilitou a observância da necessidade de desenvolvimento e validação de modelos específicos para as condições edafoclimáticas locais, o que poderá mostrar melhores ajustes e precisão para uso na estimativa da retenção de água no solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, F. B.; ZULLO JUNIOR, 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**, v. 11, p. 11-15, 1987.
- BARROS, A. H. C.; JONG van LIER, Q. Pedotransfer for Brazilian soils. IN: TEIXEIRA, W. G. et al. Application of soil physics in environmental Analysis: measuring, modelling and data integration. **Progress in soil science**. Switzerland: Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-06013-26. p. 131-162, 2014.
- BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 139, p. 90–97, 2007.
- BERNARDES, R. S. **Funções de pedotransferência e qualidade física de três solos do norte fluminense para a cultura do coqueiro anão**. 2010. 140p. (Tese de Doutorado).Rio de Janeiro: UENF, 2010.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOFF, B.; JOLIVET, C. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 743–749, 1998.
- BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto **RADAMBRASIL**. Porto Velho: Folha SC-20. 668 p., Rio de Janeiro, 1978.
- COCHRANE, T. T. SIGTERON – Sistema de informação geográfica para terrenos e solos do estado de Rondônia, Brasil. Porto Velho: Tecnosolo / DHV Consultants BV, 184 p., 1998.

DONAGEMA, G. K., CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. Rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos, Documentos, 132).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013, 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia-CPAFRO. **Levantamento de solos do estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 1983, (Datilografado), 307 p.

GOOGLE. Google Earth. Version 7.1.8.3036 (32-bit). 2017. Porto Velho-RO. Disponível em: <https://support.google.com/earth/answer/40901?hl=pt#7.1.8.3036>. Acesso em: 11 de abril de 2017.

HILLEL, D. Environmental soil physics. Massachusetts: **Academic**, 1998. 771p.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e a disponibilidade de água no solo. Santa Maria: **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, p.21-29, 2015.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. UFRSM: **Ciência Rural**, v. 40, p. 1550-1556, 2010.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**, v.30, p.959-964, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-84782000000600006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt.

LOY, K. V.; BOUMA, J.; HERBST, M.; KOESTEL, J.; MINASNY, B.; MISHRA, U. MONTZKA, C.; NEMES, A.; PACHEPSKY, Y. A.; PADARIAN, J.; SCHAAP, M. G.; TÓTH, B.; VERHOEF, A.; VANDERBORGHT, J.; VAN DER PLOEG, M. J.; WEIHERMULLER, L.; ZACHARIAS, S.; ZHANG, Y.; VERECKEN, H. Pedotransfer Functions in Earth System Science: Challenges and Perspectives. 2017, **Reviews of Geophysics**, 10.1002/2017RG000581, p. 1199 – 1256. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017RG000581>

MICHELON, C. J. **Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do Sul irrigados por aspersão**. 2010, 111p. (Tese de Doutorado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

PEQUENO, P. L. L. **Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em solos da mesorregião do Agreste Paraibano**. 2016, 213 p. (Tese de Doutorado). Areia: Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - Universidade Federal da Paraíba.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: **Manole**, 1987. 188p.

TALL, A.; GOMBOS, M.; KANDRA, B.; PAVELKOVÁ, D. Pedotransfer function for calculating the potential of volume changes in soils. IN: 1st International Conference on Advances in Environmental Engineering (AEE 2017). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 92 (2017) 012067. doi :10.1088/1755-1315/92/1/012067. Disponível em <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/92/1/012067/pdf>.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. ROSSATO, L. Pedotransfer funtions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 327-338, 2000.

URACH, F. L. **Estimativa de retenção de água em solos para fins de irrigação**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 81 p. (Dissertação de Mestrado).