



**ELIDIANE DA SILVA**

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA A  
RETENÇÃO DE ÁGUA DOS PRINCIPAIS  
SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS  
BRASILEIROS**

**LAVRAS – MG**

**2014**

**ELIDIANE DA SILVA**

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA A RETENÇÃO DE  
ÁGUA DOS PRINCIPAIS SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS  
BRASILEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador  
Dr. Nilton Curi

**LAVRAS – MG  
2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Silva, Elidiane.

Funções de pedotransferência para a retenção de água dos  
principais solos dos tabuleiros costeiros brasileiros / Elidiane Silva.

– Lavras : UFLA, 2014.

36 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Nilton Curi.

Bibliografia.

1. Banco de dados. 2. Pedofunções. 3. Ponto de murcha  
permanente. 4. Capacidade de campo I. Universidade Federal de  
Lavras. II. Título.

CDD – 631.4

**ELIDIANE DA SILVA**

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA A RETENÇÃO DE  
ÁGUA DOS PRINCIPAIS SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS  
BRASILEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de dezembro de 2013.

Dr. Mozart Martins Ferreira UFLA

Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato UFLA

Dr. Nilton Curi  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2013**

Aos meus pais, Antônio e Nazaré,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo grande milagre chamado vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela acolhida e oportunidades oferecidas.

Ao CPNq, pela concessão da bolsa de mestrado. Às agências financiadoras CAPES e FAPEMIG.

Ao professor Nilton Curi pelos inestimáveis conhecimentos transmitidos, orientação e amizade.

Ao professor Mozart Martins Ferreira e à pesquisadora Margarete Marin Lordelo Volpato, pelas contribuições no trabalho e participação na banca.

À pesquisadora Marta Vasconcelos Ottoni, ao professor Luciano da Silva Souza, ao professor Fábio Nunes e ao pesquisador José Coelho de Araújo Filho, que gentilmente nos forneceram dados e valiosas informações para compor o banco de dados, além do estimável incentivo à realização deste trabalho.

A todos os funcionários do DCS/UFLA, em especial às secretárias Dirce e Maria Alice, pelo desempenho da função com alegria contagiante.

A todos os colegas de departamento Leandro, Máira, Walbert, Eliete, Sérgio Henrique e Vladimir pela amizade e apoio, tornando o trabalho algo prazeroso de se realizar.

Aos meus pais Antônio e Nazaré, que quiseram fazer a vida diferente e acreditaram que a educação é o melhor caminho para isso. À minha irmã Luciana.

Às amigas hermanas Verônica Bonilla e Isabel Galviz pelos momentos de alegria e descontração.

Ao querido Fábio Gomes, pelo incentivo e amor na realização deste trabalho.

## RESUMO

Funções de pedotransferência (FPTs) são equações usadas para estimar características de solo de difícil determinação a partir de outras mais facilmente obtidas. A retenção de água no solo é utilizada em diversas aplicações agrônômicas e ambientais, porém sua determinação direta é onerosa, com isso as FPTs são alternativas para obtenção dessas informações de forma mais rápida e econômica. Os objetivos deste trabalho foram gerar um banco de dados e desenvolver FPTs para a retenção de água nos potenciais de -33 kPa (capacidade de campo) e -1500 kPa (ponto de murcha permanente) para Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo da região dos Tabuleiros Costeiros brasileiros. Os solos dos Tabuleiros Costeiros são provenientes de sedimentos pré-intemperizados da Formação Barreiras e seus principais usos são cana-de-açúcar, pecuária, silvicultura e fruticultura. O banco de dados para geração das FPTs foi composto a partir da seleção de informações obtidas principalmente de trabalhos de levantamentos de solos da região. Foram geradas FPTs específicas para cada classe de solo (Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo), em seus respectivos horizontes (A e B), e FPTs gerais, por meio de regressão múltipla, através do pacote *stepwise* da linguagem de programação R. Devido à menor variabilidade pedológica e uniformidade mineralógica comumente observada neste ambiente a não estratificação das classes de solos para a geração de FPTs gerais apresentou resultados similares ou superiores em relação às equações específicas para cada classe de solo. O ajuste dos dados demonstrou que os valores de retenção de água nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa podem ser estimados com boa acurácia para os principais solos dos Tabuleiros Costeiros brasileiros por meio de FPTs a partir de dados de textura principalmente e matéria orgânica, secundariamente.

Palavras-chave: Banco de dados. Pedofunções. Ponto de murcha permanente (PMP). Capacidade de campo (CC).

## ABSTRACT

Pedotransfer functions (PTFs) are equations used to estimate soil characteristics difficult to determine from other easily obtained. Water retention in soil is used in several agronomic and environmental applications, but its direct determination is onerous, therefore the PTFs are alternatives to obtaining this information more quickly and economically. The aims of this study were to generate a database and develop PTFs for water retention at potentials of -33 kPa (field capacity) and -1500 kPa (permanent wilting point) for Yellow Argisol and Yellow Latosol the Brazilian Coastal Plains region. The soils of the Coastal Plains are developed from Barreiras formation (sediments pre-weathered) and their main uses are sugarcane, livestock, forestry and fruticulture. The database to generate of PTFs was composed from the selection of information derived mainly from surveys soils of the region. Specific PTFs were generated for each class of soil (Yellow Argisol and Yellow Latosol) in their respective horizons (A and B) and overall PTFs through multiple regression by *stepwise* package of R language programming. Due to smaller pedological variability and mineralogical uniformity usually observed in this environment, the non-stratification of soil classes to generate overall PTFs presented similar or superior results compared to equations for each soil class. The adjustment of the data demonstrated that the water retention values at -33 kPa and -1500 kPa potentials can be estimated with good accuracy for the main soils of the Brazilian Coastal Plains through PTFs from texture mainly and secondarily organic matter data.

Keywords: Database. Pedofunction. Permanent wilting point (PWP). Field capacity (FC).

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	100
<b>2.1</b>	<b>Funções de Pedotransferência</b> .....	100
<b>2.2</b>	<b>Retenção de Água no Solo</b> .....	14
<b>2.3</b>	<b>Tabuleiros Costeiros brasileiros</b> .....	16
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
<b>4.1</b>	<b>Características físicas e retenção de água</b> .....	211
<b>4.2</b>	<b>Geração das Funções de Pedotransferência</b> .....	222
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	29
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	30

## 1 INTRODUÇÃO

A importância do conhecimento das características hídricas do solo se dá pela influência direta no armazenamento de água no solo e sua disponibilidade às plantas. Essas características dos solos são de difícil determinação devido ao elevado custo para realização das análises, demanda de tempo e mão-de-obra. Para facilitar na obtenção do conteúdo de água do solo em determinados potenciais, muitos pesquisadores têm proposto modelos matemáticos para estimar a retenção de água, a partir de parâmetros físicos do solo fácil obtenção. Esses modelos são denominados Funções de Pedotransferência (FPTs). As FPTs permitem que informações básicas de solos sejam transformadas em outras, de obtenção mais difícil e, geralmente, de custo elevado.

No Brasil, o maior entrave ao desenvolvimento de modelos de estimativa das características físico-hídricas do solo é a falta de bancos de dados com informações dessas características de diferentes regiões.

As FPTs dão subsídios para agricultura e silvicultura de precisão e ambiente de modo geral, como uma ferramenta que possibilita a obtenção da capacidade de retenção de água do solo em determinados potenciais nas classes de solos estudadas, embasando assim as previsões de produtividades, extrapolação e espacialização da informação para áreas onde esses dados não estejam disponíveis.

A região dos Tabuleiros Costeiros brasileiros representa uma área estimada em 20 milhões de hectares (SOUZA, 2010). Este ambiente abriga cerca de 50 % da população da região nordeste (JACOMINE, 1996). Os solos dos Tabuleiros Costeiros são provenientes de sedimentos pré-intemperizados da Formação Barreiras e seus principais usos são cana-de-açúcar, pecuária, silvicultura e fruticultura (FONSÊCA et al., 2007). As principais classes de solos desta região são os Argissolos Amarelos e os Latossolos Amarelos (CORRÊA et

al., 2008), ambos apresentando características químicas e físicas restritivas ao uso e manejo. Quimicamente, a restrição refere-se à baixa capacidade de troca de cátions, devido à natureza essencialmente caulínica dos sedimentos da Formação Barreiras, enquanto a restrição física ocorre pela presença de horizontes subsuperficiais coesos e baixa permeabilidade que impedem o aprofundamento radicular das plantas, limitando assim a absorção de água e nutrientes pelas mesmas (FONSÊCA et al., 2007).

Com isso, os objetivos deste trabalho foram: gerar um banco de dados a partir da seleção de perfis de solos de trabalhos e levantamentos de solos da região dos Tabuleiros Costeiros brasileiros e desenvolver FPTs para estimar a retenção de água nos principais solos dos Tabuleiros Costeiros brasileiros a partir de dados de textura e matéria orgânica, tendo-se em mente a reconhecida interdependência entre estas características.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Funções de Pedotransferência**

A expressão Função de Pedotransferência (*Pedotransfer Function - PTF*) foi criada em 1987 por Bouma e van Lanen (STUMPP et al., 2009) e descrevia funções que relacionavam atributos do solo fáceis de mensurar, como textura e matéria orgânica, com as características hídricas do solo com o significado de “transformando dados que possuímos em dados que necessitamos”. Segundo Budiman et al. (2003), FPTs permitem que informações básicas de solo, disponíveis em relatórios de levantamentos de solos sejam transformadas em outras, de obtenção mais laboriosa e mais cara.

O termo Função de Pedotransferência (FPT) refere-se às equações que relacionam características de retenção de umidade ou condutividade hidráulica

com outras características mais facilmente obtidas (PACHEPSKY; RAWLS, 1999). Segundo Oliveira et al. (2002), este termo é empregado num sentido mais abrangente, para designar as equações que estimam características do solo de difícil obtenção a partir de outras mais facilmente obtidas.

As FPTs surgiram no estágio inicial do desenvolvimento da ciência quantitativa do solo, numa tentativa de estimar algumas características do solo a partir de outras, o que tornou-se mais claro a partir da inter-relação características e processos (SHEIN; ARKHANGEL'SKAYA, 2006).

As primeiras FPTs remtam ao estudo de Briggs e Mclane (1907), posteriormente refinado por Briggs e Shantz (1912), quando propuseram a existência de correlação entre o teor de água no solo e a granulometria.

Nos anos de 1950 a 1980, com a introdução do conceito de Capacidade de Campo (CC) e Ponto de Murcha Permanente (PMP) por Veihmeyer e Hendricksen (1927), as pesquisas tentaram correlacionar a distribuição do tamanho das partículas do solo, porosidade, densidade e matéria orgânica, com o conteúdo de água na CC (potencial matricial a  $-33$  kPa), PMP (potencial matricial a  $-1500$  kPa) e a água disponível (AD) às plantas.

As FPTs são amplamente utilizadas na ciência do solo, hidrologia e agrometeorologia para estimar a condutividade hidráulica, curva de retenção e parâmetros relacionados à infiltração de água. Muitos modelos utilizam pedofunções para simular transporte de água, ar e solutos no solo, compactação, estabilidade da estrutura e resistência à penetração, mecânica, química do solo e agricultura de precisão.

Os trabalhos de FPTs são mais difundidos em solos de regiões de clima temperado (WÖSTEN; PACHEPSKY, 2001), os quais apresentam diferenças significativas em relação aos solos tropicais (TOMASELLA; HODNETT; ROSSATO, 2000). Os solos tropicais têm comportamento diferenciado em função da mineralogia, principalmente.

Os primeiros trabalhos sobre FPTs no Brasil começaram na década de 80. Arruda, Zullo Júnior e Oliveira (1987) usaram equações de regressão para estimar água disponível com base na textura do solo. Bernoux et al. (1998) observaram que a densidade do solo poderia ser prevista a partir do teor de argila do solo.

Estimativas de condutividade hidráulica de Latossolos Amarelos caulíníticos da Amazônia, com base em curvas de retenção de água foram obtidas por Tomasella e Hoodnett (1997). A validade dos métodos de FPTs depende de dados diretamente medidos em campo, mais escassos na Amazônia. Amostragem adicional concentrada em áreas específicas foi recomendada nestes casos. Tomasella, Hodnett e Rossato (2000) usaram características do solo como textura, carbono orgânico, umidade equivalente e densidade do solo, disponíveis em relatórios de levantamentos de solos, e estabeleceram relações entre a equação de Van Genuchten e parâmetros de retenção de água.

Para diferentes solos do Rio grande do Sul, Santos et al. (2013) verificaram que dados de retenção de água nos potenciais de -33 e -1500 kPa podem ser estimados a partir de dados de textura e matéria orgânica e que a estratificação por classes de solo aumentou a acurácia das FPTs.

Trabalhos de maior alcance regional, como aqueles de Hodnet e Tomasella (1998) e Tomasella, Hodnett e Rossato (2000), com informações de mais de 500 horizontes de solos de todo o Brasil foram realizadas com o objetivo de subsidiar modelos de circulação atmosférica e mudanças climáticas globais.

Um dos métodos de estimativa de retenção de água no solo por meio de FPT é o método de regressão por parâmetro que descreve a curva de retenção por uma equação empírica (TIETJE; TAPKENHINRICHS, 1993). A FPT paramétrica prediz a relação entre uma variável dependente (y) e variáveis independentes (x), por exemplo, a curva de retenção de água (relação entre o

teor de água e o potencial hidráulico). Nesse método, a vantagem de se utilizar a regressão múltipla é que as características com menor peso podem ser excluídas, utilizando técnica *stepwise*, diminuindo as variáveis independentes e evitando problemas de multicolinearidade.

Segundo Barros (2010), a avaliação de uma FPT se dá por sua validação estatística e por sua validação funcional. A validação estatística é aquela em que se testa o seu nível de predição, as variáveis preditas e os coeficientes de regressão estimados. A validação funcional é definida como um teste estatístico das FPTs no contexto de uma aplicação específica, ou seja, uma avaliação do resultado obtido quando a FPT é introduzida em outros modelos. A validação funcional consiste na utilização de parâmetros preditos por uma FPT num modelo que utiliza esses parâmetros.

Existem duas medidas quantitativas de ajuste, fundamentadas no resíduo estatístico entre valores observados e estimados: a primeira inclui o erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), a soma do quadrado do erro (SQE) e a raiz do erro médio quadrado (REMS); e a segunda é baseada na covariância: coeficientes de correlação (R) e determinação ( $R^2$ ).

Existem três principais fontes de incertezas das FPTs: variabilidade espacial das características do solo utilizadas para desenvolvê-la, teores de areia, silte, argila, matéria orgânica e de densidade do solo; incerteza associada ao uso da FPT para prever as características hídricas; incerteza referente ao modelo que utiliza a FPT (BARROS, 2010).

Uma FPT não deve ser utilizada antes de uma validação funcional, pois embora a avaliação estatística seja importante e necessária, ela não é suficiente (BARROS et al., 2013). Segundo Van Den Berg et al. (1997), algumas FPT podem fornecer um bom ajuste para as curvas de retenção, contudo, podem produzir baixa acurácia em estimativas de conteúdo de água nos modelos, pelo

fato de as relações entre características do solo e suas características básicas serem complexas e dependerem de fatores inter-relacionados.

## **2.2 Retenção de Água no Solo**

A influência direta das características hídricas do solo no armazenamento de água no solo e sua disponibilidade para as plantas é de suma importância. O conhecimento das características da retenção de água no solo é largamente utilizado como critério no dimensionamento de projetos de irrigação e em outros estudos, que incluem estudos de disponibilidade de água às plantas, infiltração de água, drenagem, condutividade hidráulica, estresse hídrico e movimento de solutos no solo (SAXTON et al., 1986; KERN, 1995)

Segundo Libardi (2010), dois são os processos ou mecanismos que explicam a retenção da água num solo não saturado. No primeiro deles, a retenção ocorre nos chamados poros capilares do solo e pode ser ilustrada, por isso, pelo fenômeno da capilaridade, o qual está sempre associado a uma interface da curva água-ar. No segundo processo, a retenção ocorre nas superfícies dos sólidos do solo como filmes presos a ela, pelo fenômeno da adsorção.

No solo, o espaço poroso é bastante semelhante a tubos capilares, surgindo também no fenômeno de retenção de água pelo solo a ação dos fenômenos de capilaridade. A capilaridade atua na retenção de água dos solos na faixa úmida, quando os poros se apresentam razoavelmente cheios de água. Quando o solo seca, os poros esvaziam e os filmes de água recobrem as partículas sólidas. Nestas condições, o fenômeno de adsorção passa a dominar o processo de retenção de água. A energia de retenção de água nestas condições é muito elevada, sendo difícil a retirada da água do solo (FERREIRA et al., 2003).

Segundo Scheinost, Sinowski e Auerswald (1997), a textura é o atributo do solo que mais influencia a retenção de água no solo, pois determina a área de contato entre a água e as partículas sólidas, determinando assim a acomodação das partículas e a distribuição de poros. Centurion e Andrioli (2000) observaram correlações estreitas entre retenção de água, tanto em baixa como em alta tensão, e as frações granulométricas silte e argila, demonstrando o efeito da participação ativa das frações granulométricas mais finas no processo em planta.

De acordo com FERREIRA et al. (2003), a retenção de água à alta sucção (maior que 10 kPa), é dominada pelo fenômeno da adsorção, e influenciada pela textura e superfície específica, sendo que solos argilosos retém mais água que arenosos, e solos com dominância de argilominerais 2:1 como a montmorilonita e a vermiculita, devido às suas características cristalográficas que refletem em maior superfície específica, retém mais água do que solos com predomínio de argilominerais 1:1, como a caulinita e óxidos

Hillel (1998) e Assad et al. (2001) afirmaram que, em baixa sucção, as forças capilares são mais atuantes, sendo a retenção de água influenciada pela estrutura do solo. Porém, em potenciais mais baixos, a retenção de água é mais influenciada pelos fenômenos de adsorção, os quais são mais influenciados pela textura e superfície específica das partículas. Assim, de acordo com esses autores, alguns atributos estruturais do solo apresentam alta correlação com a retenção de água, especialmente em potenciais mais elevados.

Segundo Dias Junior, Bertoni e Bastos (2000), além da textura e da estrutura, o tipo de argila e a matéria orgânica influenciam na retenção de água no solo. A molécula de água apresenta uma distribuição assimétrica de carga, a qual gera um dipolo elétrico que é responsável por uma série de características físico-químicas como, por exemplo, bom solvente, adsorção sobre superfície sólida e hidratação de íons e colóides. Como o solo apresenta cargas elétricas, as moléculas de água se orientam para serem retidas. Nesta interação solo-água,

verifica-se a influência de forças de adsorção (forças de coesão e de adesão) na retenção de água no solo. A matéria orgânica aumenta a capacidade de retenção de água do solo diretamente e indiretamente através da melhoria das condições físicas do solo, devido a sua influência na estrutura do solo.

### **2.3 Tabuleiros Costeiros brasileiros**

Os Tabuleiros Costeiros são formações Terciárias que estão presentes desde o Amapá até o Rio de Janeiro. São planícies litorâneas com elevação média de 200 m acima do nível do mar, onde predominam Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos distróficos ou álicos (JACOMINE, 1996). Uma característica marcante deste ambiente são os horizontes subsuperficiais coesos, que dificultam o aprofundamento do sistema radicular. Horizontes coesos, segundo Lima Neto et al. (2009), são horizontes minerais subsuperficiais de solos que apresentam consistência no mínimo dura, quando secos, e friável a firme, quando úmidos, e baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Embora considerados profundos, grande parte desses solos apresenta profundidade efetiva reduzida por horizontes subsuperficiais coesos, com espessura entre 0,2 e 0,6 m (PORTELA; LIBARDI; JORG, 2001).

A presença dessas camadas endurecidas tem como consequências, o impedimento à circulação de água e ar no solo e à penetração de raízes, além da formação sazonal de lençol de água suspenso, gerando desoxigenação temporária, agravando as limitações agrícolas (CINTRA; LIBARDI; SILVA, 1997). O regime climático que coincide com a geografia desses solos é, muitas vezes, caracterizado pela ocorrência de períodos prolongados de seca, acentuando suas limitações.

O atributo diagnóstico “caráter coeso” está incluído no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) como uma

característica pedogenética (adensamento), típica de horizontes subsuperficiais (BA e, ou, parte do Bw ou do Bt), de textura média, argilosa ou muito argilosa, encontrada normalmente entre 30 e 70 cm de profundidade, muito comum em solos desenvolvidos dos sedimentos terciários da Formação Barreiras.

De acordo com Ribeiro (2001), os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ataque sulfúrico) são inferiores a  $80 \text{ g kg}^{-1}$ , com predomínio de goethita, o que confere aos solos as cores amareladas típicas, geralmente bruno-amareladas, tendendo muitas vezes para cores mais pálidas, bruno-amarelado-claros, bruno-claro-acinzentadas ou brunas no matiz 10YR, com valores 5 e 6 e cromas entre 3 e 6. Segundo Santana et al. (2006), uma característica comum desses solos é o índice Ki (relação molecular  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ ) elevado (normalmente de 1,7 a 2,0).

Segundo Moreau et al. (2006), os baixos valores da relação silte/argila dos Argissolos Amarelos devem-se ao fato deles serem produto da alteração de sedimentos pré-intemperizados e edafizados. De acordo com Jacomine (1996), os Argissolos Amarelos com mudança textural mais pronunciada apresentam o caráter coeso até maiores profundidades.

Os baixos valores de CTC, inferiores a  $7,9 \text{ cmolc kg}^{-1}$ , refletem a mineralogia caulinítica do material de origem dos solos. Os solos de Tabuleiros Costeiros são quimicamente pobres por se desenvolverem de materiais intemperizados (SANTANA et al., 2006).

Segundo Ferreira et al. (1999), óxidos de Al e Fe e a matéria orgânica tendem a desorganizar as partículas do solo em escala microscópica, reduzindo a coesão. A natureza caulinítica da fração argila com valores da relação molecular Ki, em média de 1,7, variando entre 1,1 e 2,0, demonstra mais avançado estágio de intemperismo, sendo confirmado por outros autores (MOREAU, 2001; CORRÊA, 2005).

De acordo com Cintra et al. (2009), as principais classes de solos dos Tabuleiros Costeiros são os Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos, ambos,

em geral, ácidos a fortemente ácidos, com pH em água entre 4,0 e 5,0, são quase sempre álicos e apresentam CTC muito baixa. Os Argissolos Amarelos diferem dos Latossolos Amarelos pelo gradiente textural mais alto, muitas vezes com mudança textural abrupta (JACOMINE, 2001).

Silva e Ribeiro (1998) afirmaram que as camadas endurecidas observadas em solos amarelos dos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo devem-se ao acúmulo de partículas de argila oriundas dos horizontes superiores, as quais preencheriam poros (macro e microporos), aumentando a densidade do solo e tornando o horizonte muito coeso e adensado. Essa hipótese foi posteriormente confirmada pelos estudos micromorfológicos desenvolvidos por Corrêa et al. (2008), não sendo exclusiva pois vários estudos, entre eles os de Ferreira et al. (1999) e Carvalho Filho et al. (2013), apontam para o arranjo face-a-face das placas de caulinita, não desorganizado devido aos baixos teores de óxidos de Al (principalmente) e de Fe (secundariamente) (RESENDE et al., 2011; 2014).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O banco de dados para geração das FPTs foi composto a partir da seleção de dados de perfis de solos de trabalhos e levantamentos de solos da região dos Tabuleiros Costeiros brasileiros. Foram usados 69 perfis, sendo 55 de Argissolo Amarelo e 14 de Latossolo Amarelo, totalizando 138 horizontes (A e B). Na tabela 1 é apresentada a fonte bibliográfica, o número de perfis e de horizontes de solos utilizados neste estudo.

Tabela 1 Fonte bibliográfica, número de perfis e de horizontes de solos usados para elaborar as funções de pedotransferência

Fonte	Nº de perfis	Nº de horizontes
Santos, 2012	22	44
Araújo Filho et al., 1999	16	32
Curi et al., 2004	23	46
Nunes, 2011	8	16
Total	69	138

Foram selecionados trabalhos em que foram utilizadas amostras deformadas em seu estudo, visto que na maioria dos levantamentos de solos a retenção de água no solo é medida em amostras deformadas, pois a coleta de amostras indeformadas demanda um maior tempo e é mais onerosa, além das amostras deformadas apresentarem menor variabilidade nas medidas de retenção de água. É sabido que potenciais maiores como em -33 kPa (Capacidade de Campo – CC) a retenção de água é influenciada pela estrutura (OLIVEIRA et al., 2002) e a CC de amostras de solos deformadas é superestimada para a maioria dos solos, exceto para solos com textura arenosa (BELL; VAN KEULEN, 1995). Ainda assim essa metodologia se justifica pelo processo de desenvolvimento de FPTs buscar, por seu princípio da eficiência, entrada de

dados mais simples e menos onerosa, já que vários pesquisadores e usuários de FPTs em vários países com dados insuficientes de propriedades hidráulicas do solo, caso do Brasil, são constantemente confrontados com situações onde um ou mais parâmetros de entrada das FPTs não estão disponíveis (DASHTAKI; HOMAEE; KHODABERDILOO, 2010). Além do mais, trabalhos como de Oliveira et al. (2002) e Santos et al. (2013) obtiveram bons ajustes de FPTs utilizando amostras de solos deformadas.

Após a fase de levantamento, os dados foram separados pela classe de solo (PA e LA) e por horizontes, (A e B). Os dados foram submetidos à regressão múltipla na linguagem de programação R, por meio do pacote *stepwise*. As variáveis independentes para geração das FPTs foram o teor de areia grossa, areia fina, argila e matéria orgânica do solo e o teor de água estimado nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa, que correspondem, respectivamente, ao teor de água na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1995).

Também foram geradas FPTs sem estratificação por classes de solos para os horizontes A e B separadamente e posteriormente todos foram agrupados para verificar a eficiência da separação dos dados por classes de solos.

O desempenho das FPTs foi avaliado por meio dos seguintes parâmetros estatísticos: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro padrão da estimativa (EPE) e também pela relação 1:1 dos dados estimados versus observados.

O erro padrão da estimativa (EPE) mede o desvio médio entre os valores reais de Y e os valores estimados de Y. Ele informa de modo aproximado a extensão do erro entre os valores estimados e os valores obtidos pelas funções.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características físicas e retenção de água

A tabela 2 apresenta os valores mínimos, máximos e médios das amostras do banco de dados utilizado para gerar as FPTs. Observa-se que há uma grande amplitude nos dados.

A matéria orgânica variou de 0,1 a 8,5 dag kg<sup>-1</sup>. Já a argila, o silte, a areia grossa e fina variaram de 3 a 78; 1 a 43; 1 a 84 e 4 a 72 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Essa substancial amplitude dos dados é favorável e essencial para a geração de FPTs (GIAROLA; SILVA; IMHOF, 2002; PACHEPSKY; RAWLS, 1999).

O conteúdo de água retida nos potenciais de -33 kPa (CC) e -1500 kPa (PMP) variou de 2,6 a 25,8, e de 0,9 a 18,4 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 2 Valores mínimos, máximos e médios das variáveis do banco de dados utilizado para gerar as funções de pedotransferência

Variáveis (dag kg <sup>-1</sup> )	Amostras		
	Mínimo	Máximo	Média
MOS	0,1	8,5	1,5
Argila	3	78	25,9
Silte	1	43	8,1
Areia grossa	1	84	45,4
Areia fina	4	72	26,6
CC	2,6	25,8	14,6
PMP	0,9	18,4	8,8

Nota: MOS – Matéria orgânica do solo; CC – Capacidade de campo (-33kPa); PMP – Ponto de Murcha Permanente (-1500 kPa).

## 4.2 Geração das Funções de Pedotransferência

A tabela 3 apresenta as FPTs para o Argissolo Amarelo (PA), Latossolo Amarelo (LA) e para ambos os solos (Geral), nos horizontes A e B e para ambos horizontes nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e EPE. As equações de regressão múltipla para estimar o conteúdo de água apresentaram  $R^2$  significativo a 5 %. No potencial de -33 kPa observam-se valores  $R^2$  das FPTs entre 0,32 e 0,73. Para -1500 kPa, observam-se valores de  $R^2$  entre 0,12 e 0,75.

Observa-se que os melhores valores para o  $R^2$  ocorreram quando não se diferenciou horizontes A e B, podendo se observar esse comportamento tanto para os solos individualizados quanto para o modelo geral para ambos os solos. Este fato pode ser explicado devido à uniformidade mineralógica comumente observada nos solos (RESENDE et al., 2011; CARVALHO FILHO et al., 2013) e no próprio material de origem dos solos deste ambiente (NASCIMENTO et al., 2010).

Os menores valores encontrados de  $R^2$  para o LA podem ter ocorrido devido ao fato desta classe de solo estar em bem menor número no banco de dados.

As FPTs gerais apresentaram um coeficiente de determinação muito próximo ou superior àquele da estratificação dos dados por classe de solos, devido à menor variação pedológica deste ambiente. As FPTs gerais com a junção dos horizontes (A e B) revelaram alto poder preditivo para a estimativa do conteúdo de água nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa, 73% e 75%, respectivamente.

Os maiores valores de  $R^2$ , seguidos de menores valores de EPE (Tabela 3), observados nas equações preditivas do conteúdo de água para o potencial de -1500 kPa são indicativos das relações entre a retenção de água e a textura dos

solos serem mais bem expressas nas tensões mais elevadas, além da presença de microagregados estáveis, conforme destacado por Oliveira et al. (2002).

Com base nos valores de  $R^2$  (Tabela 3), verifica-se que o modelo geral melhorou substancialmente quando foram incluídos todos os horizontes estudados ( $R^2 = 0,73$  para CC e  $R^2 = 0,75$  para PMP). Estes dados confirmam que o *solum* dos principais solos dos Tabuleiros Costeiros brasileiros são muito homogêneos em suas características (DUARTE et al., 2000) e este aspecto pode ajudar no planejamento amostral de trabalhos futuros.

Tabela 3 Funções de pedotransferência (FPTs) para estimar a umidade do solo nos potenciais de -33 e -1500 kPa

		PA	n	R <sup>2</sup>	EPE
Hor. A	$\hat{U}_{-33}$	5,495 + 0,2152 argila + 0,8054 MOS	55	0,41	0,0311
	$\hat{U}_{-1500}$	1,946+ 0,0037 argila + 0,2231 silte	55	0,75	0,0351
Hor. B	$\hat{U}_{-33}$	0,3071 + 0,2751 argila + 0,0938 silte	55	0,63	0,0413
	$\hat{U}_{-1500}$	2,2397 + 1,581 argila	55	0,67	0,0352
Hor. A + B	$\hat{U}_{-33}$	1,4443 + 0,2486 argila + 0,5221 MOS	110	0,73	0,0418
	$\hat{U}_{-1500}$	0,2583 + 0,084 argila	110	0,75	0,0466
LA					
Hor. A	$\hat{U}_{-33}$	1,854 + 0,2156 argila + 0,8054 MOS	15	0,52	0,0442
	$\hat{U}_{-1500}$	6,7168+ 0,2281 argila	15	0,62	0,0354
Hor. B	$\hat{U}_{-33}$	0,3071 + 0,2751 argila+ 0,0938 silte	15	0,45	0,0347
	$\hat{U}_{-1500}$	8,034 + 1,581 argila	15	0,55	0,0477
Hor. A + B	$\hat{U}_{-33}$	10,9435 + 0,5211 silte - 0,0995 argila	30	0,64	0,0445
	$\hat{U}_{-1500}$	5,4404 + 0,2246 argila	30	0,67	0,0367
Geral					
Hor. A	$\hat{U}_{-33}$	9,3274 + 0,058 MOS + 0,1014 argila	70	0,49	0,0465
	$\hat{U}_{-1500}$	9,23 + 0,2511 silte - 0,074 areia fina	70	0,58	0,0243
Hor. B	$\hat{U}_{-33}$	9,7953 - 2,6231 MOS + 0,0891 argila	70	0,41	0,0364
	$\hat{U}_{-1500}$	9,0821+ 0,3781 argila	70	0,52	0,0332
Hor. A + B	$\hat{U}_{-33}$	11,2394 + 0,0945 argila	140	0,73	0,0354
	$\hat{U}_{-1500}$	0,1781 + 0,2981 argila	140	0,75	0,0434

Nota:  $\hat{U}_{-33}$ : Umidade do solo no potencial de -33 kPa;  $\hat{U}_{-1500}$ : Umidade do solo no potencial de -1500 kPa; PA: Argissolo Amarelo; LA - Latossolo Amarelo; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; EPE: erro padrão da estimativa.

Nas figuras 1, 2 e 3 estão ilustrados os resultados de correlações entre os dados observados e preditos para os modelos do PA, LA e para o modelo Geral, respectivamente. É possível verificar a presença de valores anômalos (pontos distantes da linha principal 1:1). Esses valores contribuíram negativamente para a eficiência das FPTs.

Os resultados encontrados por Santos et al. (2013) para solos do Rio Grande do Sul demonstraram que para regiões onde a variabilidade mineralógica e pedológica é expressiva (STRECK et al. 2008), a estratificação por classes de solos para gerar pedofunções resulta em melhores coeficientes do que pedofunções aonde são compilados dados de todos os solos em um único modelo. Pela menor variabilidade mineralógica e pedológica dos solos no ambiente dos Tabuleiros Costeiros (RESENDE et al. 2011; CARVALHO FILHO et al. 2013), a união de diferentes classes de solos (Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo) e horizontes (A e B) não ocasionou um efeito deletério no coeficiente das pedofunções, constituindo um apoio seguro para futuros trabalhos.

Isto pode ser confirmado pelos coeficientes observados na tabela 3, onde a junção de duas classes de solos aumentou o poder preditivo das equações, possibilitando uma maior entrada de dados para geração das pedofunções.

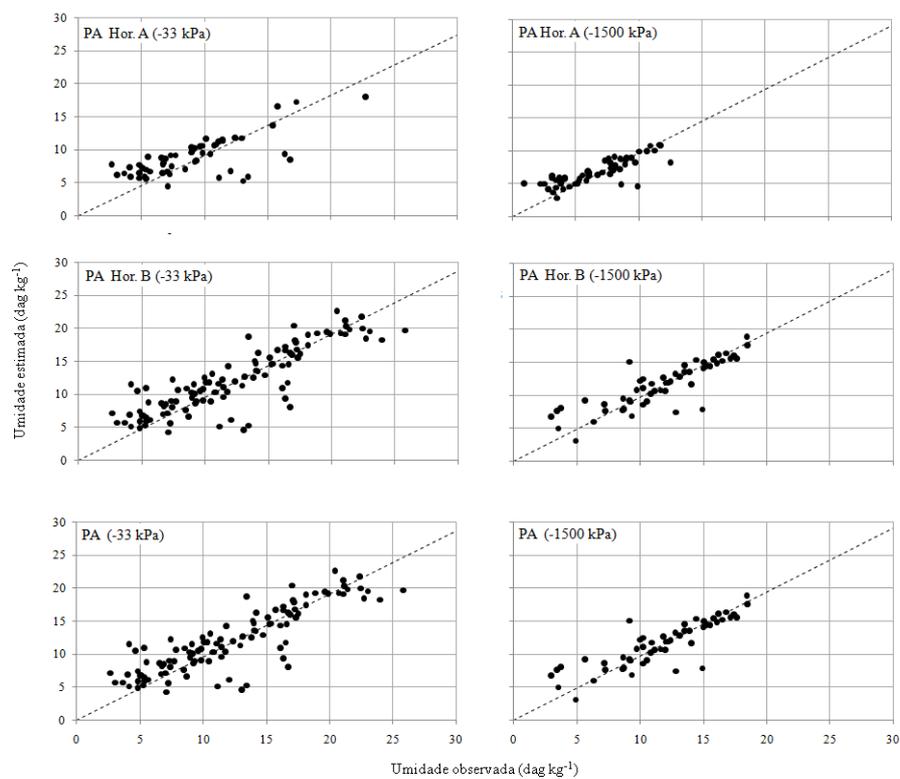


Figura 1 Relação 1:1 entre os valores observados e estimados por meio das funções de pedotransferência (FPTs) geradas para os potenciais de -33 e -1500 kPa, para horizontes A e B e para ambos, no Argissolo Amarelo.

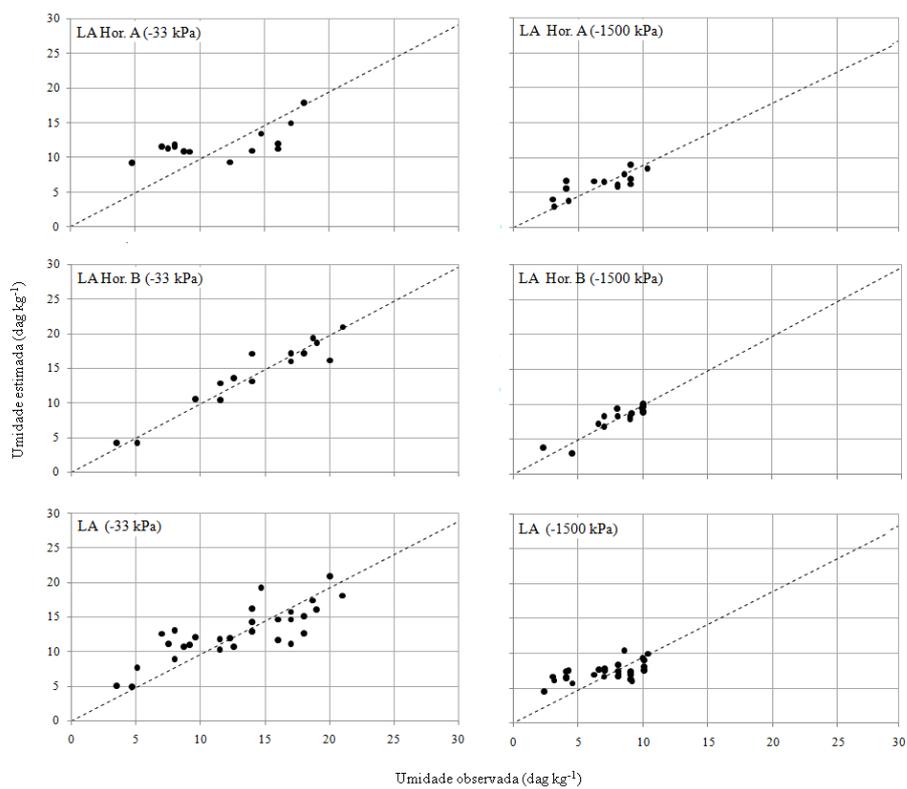


Figura 2 Relação 1:1 entre os valores observados e estimados por meio das funções de pedotransferência (FPTs) geradas para os potenciais de -33 e -1500 kPa, para horizontes A e B e para ambos, no Latossolo Amarelo.

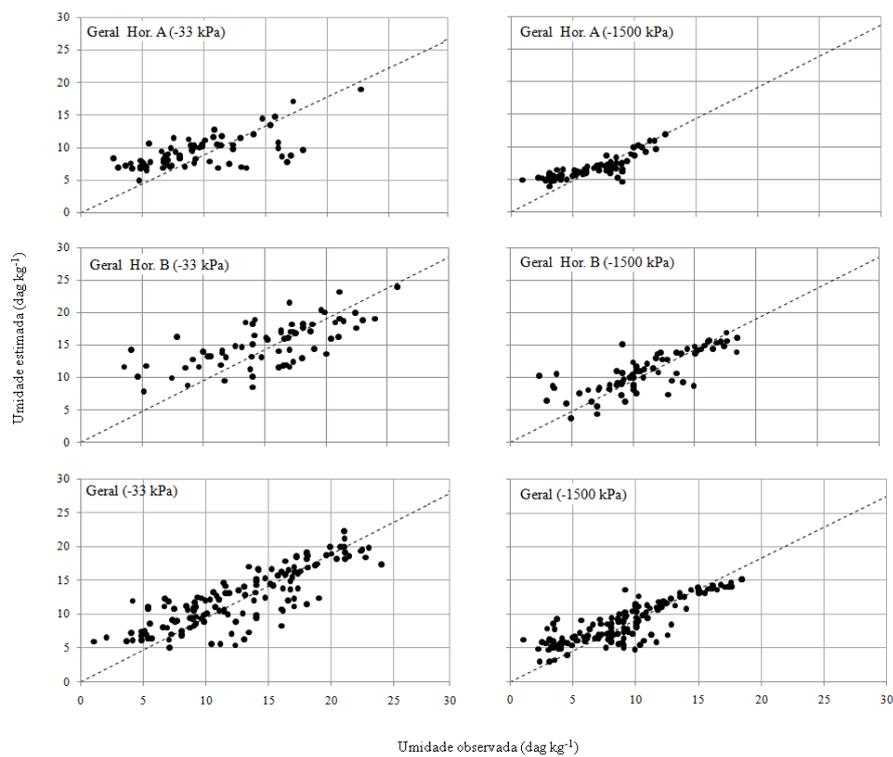


Figura 3 Relação 1:1 entre os valores observados e estimados por meio das funções de pedotransferência (FPTs) geradas para os potenciais de -33 e -1500 kPa, para horizontes A e B e para ambos, no Argissolo Amarelo e no Latossolo Amarelo conjuntamente.

## 5 CONCLUSÕES

O conteúdo de água retida nos potenciais de -33 e -1500 kPa nos principais solos dos Tabuleiros Costeiros brasileiros pode ser estimado, com boa acurácia, a partir de dados de textura principalmente e matéria orgânica, secundariamente.

Devido à menor variabilidade pedológica e à uniformidade mineralógica comumente observada neste ambiente, a não estratificação das classes de solos para a geração de FPTs gera resultados similares ou superiores em relação às equações específicas para cada solo, fornecendo informação valiosa para futuros trabalhos neste ambiente.

As equações com a não estratificação das classes de solos e a não diferenciação de horizontes A e B possibilitam uma maior entrada de dados para a geração das FPTs, o que aumenta seu coeficiente de determinação.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO FILHO, J. C. de et al. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região dos tabuleiros costeiros e da baixada litorânea do Estado de Sergipe**: volume 2. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

ARRUDA, F. B.; ZULLO JÚNIOR, 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**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 11-15, maio/jun. 1987.

ASSAD, M. L. L. et al. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 588-596, dez. 2001.

BARROS, A. H. C. **Desenvolvimento de funções de pedotransferência e sua utilização em modelo agro-hidrológico**. Piracicaba. 2010. 148 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Campinas.

BARROS, A. H. C. et al. Pedotransfer functions to estimate water retention parameters of soils I northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 379-391, 2013.

BELL, M. A.; VAN KEULEN, H. Soil Pedotransfer functions for four Mexican soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, n. 3, p. 865-871, May 1995.

BERNOUX, M. et al. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 3, p. 743-749, May/June 1998.

BOUMA, J.; VAN LANEN, J. A. J. Transfer functions and thresh-old values: from soil characteristics to land qualities. In: BEEK, K. J. (Ed.). **Quantified land evaluation**. Washington: International Institute of Aerospace Survey Earth, 1987. p. 106-110.

BRIGGS, L. J.; MCLANE, J. W. **The moisture equivalent of soils**. Washington: USDA, 1907. (Bureau of Soils. Bulletin, 45).

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient and its indirect measurement. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 53, n. 1, p. 20-37, Jan. 1912.

BUDIMAN, M. et al. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. (Documentos, 45).

CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; FONSECA, S. **Avaliação informatizada e validada da aptidão silvicultural das terras dos Tabuleiros Costeiros brasileiros para eucalipto**. Lavras: Editora UFLA, 2013. 138p.

CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.701-709, 2000.

CINTRA, F. L. D. et al. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos Tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1041-1051, jul./ago. 2009.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Tabuleiros costeiros do nordeste do Brasil: uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas nos solos. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 77-80, 1997.

CORRÊA, M. M. et al. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 297-313, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/28.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2012.

CORRÊA, M. M. **Gênese de horizontes coesos e fragipãs de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros**. 2005. 72 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CURI, N.; KER, J. C. **Levantamento Pedológico de áreas da nos estados da Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais e sua interpretação para o cultivo de eucalipto e para o ambiente em geral**. Aracruz: ARCEL, 2004. 1 CD ROM.

DASHTAKI, S. G.; HOMAEE, M.; KHODABERDILOO, H. Derivation and validation of Pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. **Soil Use and Management**, Malden, v. 26, n. 1, p. 68-74, mar. 2010.

DIAS JUNIOR, M. de S.; BERTONI, J. C.; BASTOS, A. R. R. **Física do solo**. Lavras: UFLA, 2000. (Apostila do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas).

DUARTE, M. N. et al. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, n.6, p.1237-1250, jun. 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: Embrapa, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013.

FERREIRA, M. M. et al. **Física do solo**. Lavras: UFLA, 2003. (Textos Acadêmicos).

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 507-514, 1999.

FONSÊCA, M. H. P. et al. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 368-373, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v11n4/v11n04a04.pdf>>. Acesso em: 13set. 2012.

GIAROLLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 885-893, 2002.

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

HODNETT, M. G.; TOMASSELLA, J. Estimating soil water characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. **Soil Science**, Baltimore, v. 163, n. 3, p. 190-202, 1998.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1996. p.13-24.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 19-45.

KERN, J. S. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, n. 4, p. 1134-1141, May 1995.

LIBARDI, P. L. Água no solo. In: VAN LIER, Q. J. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 103-152.

LIMA NETO, J. D. A. et al. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1001-1011, 2009.

MOREAU, A. M. S. S. **Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do Tabuleiro Costeiro no Sul da Bahia**. 2001. 138 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MOREAU, A. M. S. S. et al. Caracterização de solos de duas topossequências em Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 1007-1019, 2006.

NASCIMENTO, G. D. et al. Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 5, n. 4, p. 560-569, 2010.

NUNES, F. C. **Contando histórias de tabuleiros costeiros: aproximações de sistemas pedológicos e geomorfológicos no litoral norte da Bahia**. 2011. 457 p. Tese (Doutorado em Geologia Costeira e Sedimentar) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

OLIVEIRA, L. B. 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**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 315-323, 2002.

PACHEPSKY, Y. A.; 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. 1748-1756, Nov. 1999.

PORTELA, J. C.; LIBARDI, P. L.; JONG, L. V. Q. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 49-50, 2001.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicações**. 2ª ed. Revisada e ampliada. Lavras: Editora UFLA, 2011. 206 p.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 6ª ed. Revisada e ampliada. Lavras: Editora UFLA, 2014. 378 p.

REZENDE, J.O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI, 2000. (Série Estudos Agrícolas, 1).

RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 161-168.

SANTANA, M. B. et al. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 1-12, 2006.

SANTOS, W. J. R. dos et al. Pedotransfer functions for water retention in different soil classes from the center-southern Rio Grande do Sul State. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 49-60, fev. 2013.

SANTOS, W. J. R. dos. **Funções de pedotransferência para solos do Rio Grande do Sul; mapeamento de solos e caracterização morfométrica de microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo**. 2012. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SAXTON, K. E. et al. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 1031-1036, 1986.

SCHEINOST, A. C.; SINOWSKI, W.; AUERSWALD, K. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, I. developing a new pedotransfer function. **Geoderma**, Amsterdam, v. 78, n. 3-4, p. 129-143, Aug. 1997.

SHEIN, E. V.; ARKHANGEL'SKATA, T. A. S. Pedotransfer functions: state of the art, problems and outlooks. **Eurasian Soil Science**, Moscow, v. 39, n. 10, p. 1090-1099, Oct. 2006.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 291-299, 1998.

SOUZA, L. S. Uso dos Tabuleiros Costeiros. In: Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, 1. 2010, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBCS. 1 CD.

STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. 2ª ed. Revisada e ampliada. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

STUMPP, C. et al. Evaluation of pedotransfer functions for estimating soil hydraulic properties of prevalent soils in a catchment of the Bavarian Alps. **European Journal of Forest Research**, Heidelberg, v. 128, n. 6, p. 609-620, Nov. 2009.

TIETJE, O.; TAPKENHINRICHS, M. Evaluation of pedotransfer functions. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 57, n. 4, p.1088-1095, July/Aug. 1993.

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**, Madisom, v. 64, n. 1, p. 327-338, Jan. 2000.

TOMASELLA, J.; HOODNETT, M. G. Estimating unsaturated hydraulic conductivity of Brazilian soils using soil water retention data. **Soil Science**, Baltimore, v. 162, p. 703-712, 1997.

VAN DEN BERG, M. et al. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 78, n. 1, p. 161-180, 1997.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRIKSON, A. H. The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. In INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 1., 1927, Washington. **Proceedings...** Washington : [s.n], 1927. v. 3, p. 498-513.

WEYNANTS, M.; VERECKEN, H.; JAVAUX, M. Revisiting Vereecken pedotransfer functions: introducing a closed form hydraulic model. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 8, n.1, p. 102-103, Feb. 2009.

WÖSTEN, J. H. M.; PACHEPSKY, Y. A.; Pedotransfer functions bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 251, n.3-4, p. 123-150, Oct. 2001.