

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CECA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CRISTHOPHER MICKAEL GOMES GALVÃO

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE NA CAPACIDADE DE CAMPO POR
DIFERENTES PEDOFUNÇÕES EM ÁREAS IRRIGÁVEIS DE ALAGOAS**

Rio Largo – Brasil

2022

CRISTHOPHER MICKAEL GOMES GALVÃO

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE NA CAPACIDADE DE CAMPO POR
DIFERENTES PEDOFUNÇÕES EM ÁREA IRRIGÁVEIS DE ALAGOAS**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do curso de Agronomia do Centro
de Engenharia e Ciências Agrárias- CECA, da
Universidade Federal de Alagoas – UFAL como
requisito para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.**

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Sampaio Reis

Rio Largo – Brasil

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

G182d Galvão, Cristhopher Mickael Gomes

Determinação da umidade na capacidade de campo por diferentes pedofunções em áreas irrigáveis de Alagoas. / Cristhopher Mickael Gomes Galvão. – 2022.

28f.: il.

Orientadora: Lígia Sampaio Reis.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2022.

Inclui bibliografia

1. Argissolos. 2. Capacidade de Campo. 3. Ponto de Murcha. I. Título.

CDU: 631.67: 631.457

FOLHA DE APROVAÇÃO

CRISTHOPHER MICKAEL GOMES GALVÃO

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE NA CAPACIDADE DE CAMPO POR DIFERENTES PEDOFUNÇÕES EM ÁREA IRRIGÁVEIS DE ALAGOAS

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do curso de Agronomia do Centro
de Engenharia e Ciências Agrárias- CECA, da
Universidade Federal de Alagoas – UFAL como
requisito para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.**

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Sampaio Reis

APROVADA em: 10/01/2023

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **LIGIA SAMPAIO REIS**
Data: 20/12/2022 17:54:12-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a. Dr.^a. Lígia Sampaio Reis
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **RILBSON HENRIQUE SILVA DOS SANTOS**
Data: 19/12/2022 16:41:13-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

**Doutorando Rilbson Henrique Silva dos
Santos**
Examinador interno

Documento assinado digitalmente
 **MIRANDY DOS SANTOS DIAS**
Data: 25/01/2023 10:57:43-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

**Doutorando Mirandy dos Santos
Dias**
Examinador externo

Dedico este trabalho aos meus pais
Maria Rosemere Gomes e Célio
Alves Galvão, pelo amor, criação e
por todo ensinamento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, e por me guiar nesse caminho, me dando força para superar todos os obstáculos até a conclusão dessa etapa. Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais Célio Alves Galvão e Maria Rosemere Gomes, por todo apoio e dedicação, e por nunca medirem esforços para que eu tivesse uma educação de qualidade.

Agradeço ao meu irmão Thiago Gomes Galvão, pelo companheirismo de sempre. Agradeço a minha noiva, Jéssica Maria do Nascimento, por estar comigo desde o começo dessa jornada, me apoiando e me incentivando, por todo companheirismo e por todo amor e carinho dedicados a mim.

Agradeço a minha orientadora, Dr^a. Lígia Sampaio Reis, por todo ensinamento, atenção disponibilizada e orientação. Agradeço pela forma como me acolheu desde o início.

Aos meus amigos de graduação, Dalmo, João Pedro, José Kevin e Túlio, pela amizade sincera, por todo apoio e pelos momentos de descontração.

À Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade de realização da minha graduação. A Fapeal, pelo suporte financeiro.

E a todos que de forma direta e indireta que contribuíram para realização desse trabalho e minha formação acadêmica.

RESUMO

A determinação da capacidade de campo de forma indireta, principalmente a partir de propriedades físicas do solo, é objeto de várias pesquisas tendo em vista que o manejo adequado de sistemas de irrigação depende das características físicas e químicas do solo. A interação da água com essas características manifesta propriedades como o limite superior de umidade que determinado solo apresenta, também denominada capacidade de campo. Embora se saiba que o método *in situ* é insubstituível as dificuldades práticas do procedimento *in situ*, têm motivado as tentativas de se correlacionar empiricamente o teor de água na capacidade de campo com outros atributos do solo, como textura, estrutura, teor de matéria orgânica, ou com propriedades físicas do solo, utilizando funções de pedotransferência, onde existem os métodos diretos e indiretos, sendo o gravimétrico o mais utilizado, trabalhos. O objetivo, com este trabalho, foi avaliar diferentes metodologias para determinar a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha (θ_{PM}) a partir de equações e suas correlações com atributos físico-hídricos e dados de textura e matéria orgânica, para solos argilosos. Os perfis de estudados mostram uma predominância de Argissolos. O conteúdo de água retida nos potenciais de -33 e -1.500 kPa nos solos estudados, pode ser estimado, com precisão razoável, a partir de dados de argila ou areia, ou de argila ou areia mais silte.

Palavras-chaves: Argissolos; Capacidade de campo; Ponto de murcha.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização dos pontos onde os solos foram coletados.....	15
FIGURA 2 – Pesagem e preparação das amostras de solo	17
FIGURA 3 – Analise de componentes principais.....	22

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Localidade, tipo de solo e coordenadas geograficas dos pontos de coleta de solo utilizadas no estudo.....	16
TABELA 2 - Equações de regressão para predição do conteúdo de água obtidas para as propriedades físicas do solo.....	16
TABELA 3 - Atributos químicos e Físicos dos solos do Estado de Alagoas	18
TABELA 4 – Análise de variância para capacidade de campo, onde σ^2 = Variância, σ = Desvio padrão, CV = Coeficiente de variação e Sx = Erro padrão da média.....	19
TABELA 5 - Análise de variância para ponto de murcha, onde σ^2 = Variância, σ = Desvio padrão, CV = Coeficiente de variação e Sx = Erro padrão da média.....	19
TABELA 6 - Análise de variância para água disponível, onde σ^2 = Variância, σ = Desvio padrão, CV = Coeficiente de variação e Sx = Erro padrão da média.....	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 OS METODOS DE DETERMINAÇÃO DE UMIDADE DO SOLO.....	12
2.2 ATRIBUTOS FISICOS DO SOLO	12
2.3 CAPACIDADE DE CAMPO	13
2.4 FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA.....	13
2.5 CARCTERISTICAS DOS ARGISSOLOS	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 COLETA DE DADOS	15
3.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	25

1 INTRODUÇÃO

Estudo realizado pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e Fundação para Alimentação e Agricultura (FAO) das Nações Unidas (ONU), estima que a população mundial deva crescer de 7,3 bilhões de pessoas em 2022 para 8,1 bilhões em 2025 (Oecd/Fao, 2015). Além do crescimento populacional, o êxodo rural também contribuirá para o aumento da demanda por alimentos, visto que a população do meio rural produz parte dos alimentos para subsistência, o que não ocorre nos centros urbanos.

A produtividade, que hoje é uns dos destaques alcançados pelos produtores de commodities agrícolas, pode ser uns dos empecilhos. Afinal os métodos adotados para elevar os níveis de produtividade têm alto impacto nos investimentos financeiros, recursos naturais e ambientais. Segundo Girardello et al. (2014) a compactação do solo sob sistema de plantio direto tem influência na produtividade e no custo de produção das culturas anuais. Sendo assim, a provável justificativa para esse efeito é a redução da capacidade de água disponível devido a diminuição entre os limites de capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha (θ_{PM}).

A determinação da capacidade de campo de forma indireta, principalmente a partir de propriedades físicas do solo, é objeto de várias pesquisas. Isto se explica pelas dificuldades práticas do procedimento *in situ*. Hollis et al. (1977) observaram uma correlação entre os conteúdos de argila, silte, silte + argila e carbono orgânico, e a umidade volumétrica na fração fina do solo na tensão de 5 kPa. Saxton et al. (1986) e Arruda et al. (1987) trabalharam com funções matemáticas, denominadas pedofunções, relacionando a retenção de água a diversas tensões, com a textura, densidade do solo e teor de matéria orgânica. Vale ressaltar que nos perfis arenosos os valores da capacidade de campo em laboratório (a partir de um nível de tensão preestabelecido) podem ser altamente dependentes do teor de argila (Petersen et al., 1968). Mais recentemente, visando determinar a curva característica de retenção hídrica dos solos, tem-se testadas pedofunções que admitem, também, como variáveis de entrada, um ou dois valores de umidade correspondentes a níveis preestabelecidos de tensão (Williams et al., 1992; Basted et al., 1998). A θ_{CC} engloba a faixa de conteúdo de água vital para desenvolvimento das plantas e qualquer alteração no seu valor, seja pela forma de se obter, ou pelas variações metodológicas, interfere no conteúdo de água estimado no solo (Veihmeyer e Hendrickson, 1955). O entendimento da θ_{CC} permite a utilização de um manejo, baseado na quantidade de água no solo, na condição que o desenvolvimento radicular e a absorção de água

sejam favorecidos, já que em todo ciclo de desenvolvimento a planta precisa de água em abundância.

Nos períodos secos, algumas plantas tem a capacidade de diminuir o seu potencial hídrico a níveis inferiores ao solo, ativamente, fazendo com que a água penetre na planta gastando mais energia para extrair ao máximo a água armazenada no solo. Nesse contexto, objetivou-se avaliar diferentes metodologias para determinação da umidade na capacidade de campo, ponto de murcha e o teor de água disponível em diferentes tipos de solos, comparando os resultados com métodos tradicionais utilizados na sua determinação

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE UMIDADE DO SOLO

A importância da determinação da umidade no solo em cultivos agrícolas foi descoberta há muito tempo. O desenvolvimento e a produtividade das plantas, talvez tenha maior relacionamento com a umidade no solo que qualquer outro aspecto meteorológico isolado (BAIER; ROBERTSON, 1968). Segundo Matos et al. (2017), o conhecimento da umidade do solo é muito importante para a tomada de decisão de quando e quanto irrigar. De acordo com Buske (2013), a determinação do teor de água no solo é fundamental para avaliar o momento certo de operações mecanizadas e planejar o correto manejo da irrigação. Nesse sentido, a agilidade na determinação do teor de umidade é importante para tomada de decisão de forma rápida.

Existem métodos diretos e indiretos de determinação de umidade do solo, dentre os métodos diretos o gravimétrico é o mais utilizado onde se baseia na determinação do conteúdo de água no solo através da pesagem de amostras de solo antes e após sofrerem um processo de secagem e saturação da amostra, sendo o método padrão de calibração dos métodos indiretos, o qual consiste em estimar a umidade a partir da medição de propriedades do solo a ela relacionada (MIRANDA et al., 2007).

Como métodos alternativos ao método convencional existem a técnica do forno micro-ondas, forno elétrico e método das pesagens.

2.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Os atributos físicos do solo estão em conjunto ao arranjo das partículas e do meio poroso do solo, abrangendo: densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrostamento superficial e capacidade de armazenagem de água, pois cogitam barreiras ao desenvolvimento radicular, à emergência das plântulas, à infiltração e ou movimento da água na dinâmica do perfil do solo, compreendendo sua disponibilidade às plantas (SILVA, 2016). Em ambientes naturais, as propriedades físicas do solo são as que menos recebem interferência ao longo do tempo, porém, há necessidade da interferência de intempéries climáticas por longos períodos para que aconteça alterações significativas em sua estrutura. Contudo, com a interferência antrópica, essas modificações tornam-se mais rápidas, influenciando em pequeno

espaço de tempo na resposta que este solo pode oferecer no sistema produtivo (GIMENES, 2012). Dessa forma, as características dos atributos físicos do solo (espessura e distribuição dos horizontes, cor, textura, estrutura, porosidade) demonstram sua constituição e as condições de origem as quais ele foi formado, permitindo ter noções do comportamento referente às práticas de manejo que lhe são trabalhadas e, especialmente, quanto àquelas relacionadas à drenagem, compactação e capacidade de armazenamento de água (RIBEIRO et al., 2012).

2.3 CAPACIDADE DE CAMPO

A combinação da água com as características físicas manifesta propriedades como o alcance superior de umidade que determinado solo, também conhecido como capacidade de campo, de ampla importância nos procedimentos de armazenagem e disponibilidade de água para as plantas. Veihmeyer & Hendrickson (1949), definem a capacidade de campo como “a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente o que ocorre, porém, dois a três dias após uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniforme”. Segundo Andrade; Stone (2011), a capacidade de campo é um processo dinâmico, não uma característica da matriz do solo, que depende de interesses específicos de cada situação.

A determinação da tensão matricial de água no solo entre -10 kPa e -33 kPa como adequada à capacidade de campo, tem apresentado divergências entre pesquisadores (REICHARDT, 1985). Em campo, a obtenção da capacidade de campo prever gasto de tempo e custos. No entanto, a avaliação, por modelos matemáticos pode ser uma escolha econômica, em curto espaço de tempo e de reconhecida viabilidade técnica (OLIVEIRA et al., 2002).

2.4 FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

O termo função de pedotransferência (FPT) foi descrito por Bouma (1989). A FPT procura apresentar a relação estatística vivente entre os atributos do solo de simples determinação com propriedades hídricas do solo. Dessa forma, pesquisadores sugeriram modelos matemáticos que aferem a retenção de água, referente a parâmetros físicos do solo facilmente adquiridos e prontamente nas análises de rotina dos laboratórios ou em levantamento de solos (MICHELON et al., 2010).

Kayser (2019), cita a existência de métodos alternativos para caracterização das propriedades físicos-hídricas, nas quais as funções de pedotransferência se enquadram nos métodos de estimativas indiretas. Estes métodos possibilitam a avaliação das propriedades hidráulicas por meio de informações prontamente mensuradas ou prontamente disponível. É tendência o emprego de funções de pedotransferência que aproveitam a análise textural para avaliação dos parâmetros empíricos dos modelos. Entre os modelos, destaca-se o de Van Genuchten por proporcionar uma boa adequação à curva experimental para uma ampla variedade de solos (VAN GENUCHTEN, 1980; XIANG-WEI et al., 2010). As funções de pedotransferência admitem a previsão dos parâmetros hidráulicos e da condutividade hidráulica saturada por meio da utilização de informações texturais dos solos como início, virando assim, um instrumento benéfico para os locais com limitações de dados (BRUNING et al., 2019).

2.5 CARCTERÍSTICAS DOS ARGISSOLOS

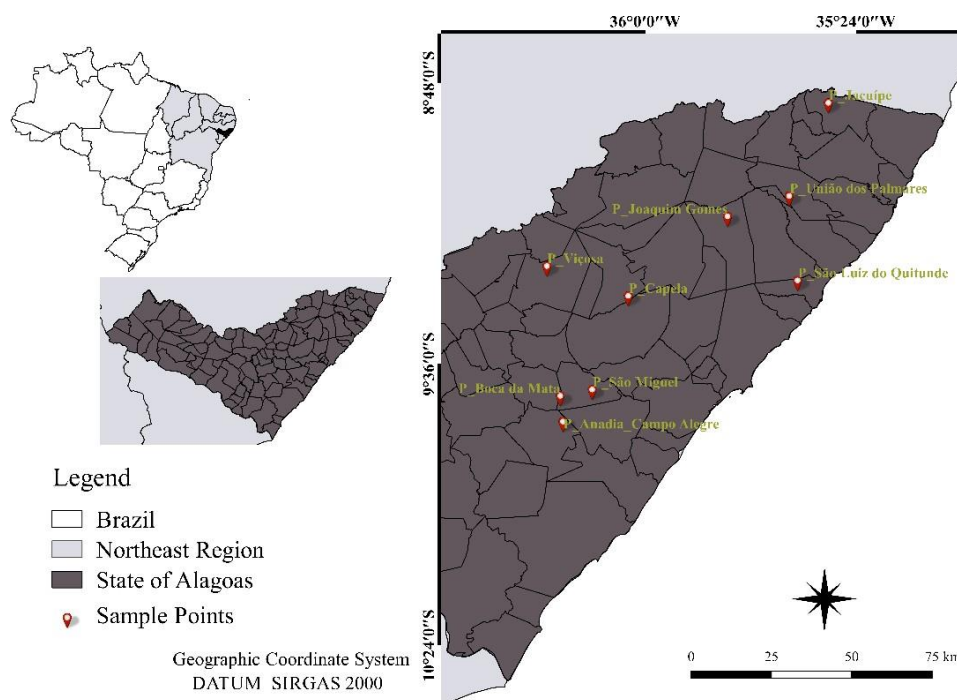
A classe dos Argissolos é caracterizada principalmente pela presença do horizonte diagnóstico B textural, o qual tem acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo. Apresentam baixa atividade da argila (CTC), são solos susceptíveis a erosão podendo ser alíticos (altos teores de alumínio), distróficos (baixa saturação de bases) ou eutróficos (alta saturação de bases), sendo normalmente ácidos (Embrapa, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DE DADOS

Os pontos para coletas de amostras de solos foram escolhidos em áreas de mata natural ou na ausência desta, com ação antrópica desprezível como determinado no item 2 do Anexo I da Resolução CONAMA 420/2009.

Figura 1. Localização dos pontos onde os solos foram coletados



Fonte: (Autor, 2022).

Tabela 1 - Localidade, tipo de solo e coordenadas geográficas dos pontos de coleta de solo utilizadas no estudo.

Pontos	Local	Solo	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
1	São Luiz do Quitunde	Argissolos	09° 21' 16.1"	35° 34' 00.8"	34
2	Porto Calvo	Argissolos	09° 03' 31.2"	35° 21' 09.1"	80
3	Jacuípe	Argissolos	08° 50' 58.1"	35° 28' 46.1"	125
4	Joaquim Gomes	Argissolos	09° 10' 21.3"	35° 45' 58.3"	180
5	União dos Palmares	Argissolos	09° 11' 53.1"	36° 02' 02.8"	175
6	Capela	Argissolos	09° 23' 53.9"	36° 02' 55.2"	190
7	Viçosa	Argissoloso	09° 18' 49.0"	36° 16' 48.4"	485
8	São Miguel dos Campos	Argissolos	09° 39' 52.6"	36° 09' 04.6"	170
9	Boca da Mata	Argissolos	09° 40' 57.5"	36° 14' 31.7"	159
10	Maribondo	Argissoloso	09° 34' 47.2"	36° 19' 43.1"	220
11	Anadia/Campo Alegre	Argissoloso	09° 45' 21.2"	36° 14' 04.2"	163

Fonte: (Autor, 2022).

Os tratamentos consistiram da coleta de solo em nove municípios do Estado e Alagoas para predição do conteúdo de água no solo, seguindo cinco equações de, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Equações de regressão para predição do conteúdo de água obtidas para as propriedades físicas do solo.

Autores	Equações
1- Arruda et al. (1987)	$CC = 3,1 + 0,629 \times (\text{argila} + \text{silte}) - 0,00346 \times (\text{argila} + \text{silte})^2$ $PM = 398,9 \times (\text{argila} + \text{silte}) / 1308,1 + (180) (\% \text{argila} + \text{silte})$
2- Lal (1978)	$CC = 0,33 - 0,003 \times \% \text{areia total}$ $PM = 0,247 - 0,003 \times \% \text{areia total}$
4- Giarola et al. (2002)	$CC = 0,081 + 0,005 \times \% \text{Silte} + 0,004 \times \% \text{argila}$ $PM = -0,031 + 0,005 \times \% \text{Silte} + 0,003 \times \% \text{argila}$
5- Nascimento et al (2010)	$CC = 0,0409 + 0,000377 \times \% \text{argila} + 0,000108 \times \% \text{silte}$ $PM = 0,0221 + 0,000288 \times \% \text{argila}$

Fonte: (Autor, 2022).

As amostras coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Solo da Universidade Federal de Alagoas, e postas para secar em estufa de ventilação forçada à temperatura de 30 °C. Em seguida foram passadas em peneira de 2,00 mm de abertura de malha (ABNT 10) para a obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA), quarteadas manualmente para a

obtenção das alíquotas e acondicionadas em sacos plásticos, para posterior envio das amostras para determinações físicas e químicas.

Figura 2 – Pesagem e preparação das amostras de solos



Fonte: (Autor, 2022).

Para a análise de fertilidade de solo, foram utilizados os métodos propostos pela Embrapa (2009) para a obtenção dos valores de pH em água, P, K, Ca, Mg, Al, H, Matéria Orgânica, Soma de Bases, Capacidade de Troca de Cátions, Saturação por Bases e Saturação por Alumínio. Os teores de P, K e Na foram determinados com o extrator Mehlich⁻¹, via colorimetria para o P e fotometria por emissão de chama para K e Na. Os teores de Ca e Mg trocáveis foram determinados com KCl 1 mol L⁻¹ via espectrometria de absorção atômica. Os teores de H + Al foram determinados via titulação com hidróxido de sódio 0,025 mol L⁻¹ em uma solução extratora de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹. Para a determinação do Al trocável, foi feita a titulação do extrato de KCl 1 mol L⁻¹ com hidróxido de sódio 0,025 mol L⁻¹. A matéria orgânica foi calculada via método colorimétrico com uma solução de dicromato de sódio em ácido sulfúrico. Com esses resultados obtidos, foram calculados posteriormente os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions total (T), saturação por bases (V%) e saturação por Al (m). As análises foram feitas segundo os procedimentos descritos pelas Embrapa (1997) e Embrapa (2009).

Os dados referentes aos atributos físicos e químicos, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Atributos químicos e físicos dos solos coletados do estado de Alagoas

Amostra	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	Mat.Org	Areia	Silte	Argila
	Água	-----mg dm ⁻³ ----			-----cmolc dm ⁻³ -----					-----%-----			g kg ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----		
1	4,7	4	38	25,0	0,20	0,10	1,40	4,30	0,51	4,81	11	73	21,3	630	210	160
2	4,8	3	23	20,0	0,90	0,40	0,80	4,60	1,45	6,05	24	36	23,4	810	30	160
3	4,7	3	68	30,0	0,60	0,30	0,90	6,30	1,20	7,50	16	43	33,9	630	90	280
4	4,6	4	58	30,0	0,90	0,50	1,30	8,50	1,68	10,18	16	44	44,5	400	140	460
5	5,3	7	54	25,0	1,80	0,80	0,30	4,90	2,85	7,75	37	10	29,5	460	200	340
6	4,5	6	37	30,0	0,30	0,20	1,10	5,50	0,73	6,23	12	60	25,6	650	110	240
8	4,8	5	40	25,0	1,00	0,50	1,00	4,80	1,71	6,51	26	37	26,3	650	90	260
9	4,8	7	44	25,0	2,70	1,50	0,80	10,40	4,42	14,82	30	15	52,7	510	220	270
10	5,7	4	122	35,0	2,80	1,50	0,00	6,00	4,76	10,76	44	0	41	800	160	40
11	4,4	6	59	30,0	0,50	0,30	1,80	7,10	1,08	8,18	13	62	36,8	540	180	280

Fonte: (Autor, 2022).

Para avaliar o desempenho das pedofunções na estimativa das umidades equivalentes à capacidade de campo (θ_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) no processo de validação, foram utilizados estatística descritiva para a obtenção das médias, medianas, valores mínimos e máximos, desvio-padrão e coeficiente de variação. Uma análise multivariada por meio de análise de componentes principais (ACP) também foi empregada. A ACP foi obtida a partir do pacote FactoMineR (Factor Analysis e Data Mining com R) (LÊ et al., 2008) no software R versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019).

3.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Dados obtidos por meio de estatística descritiva, onde foram avaliados as equações de Arruda (1987), Lal (1987) e Giarola (2002). As equações de Nascimento (2010) não foram avaliadas devido a irrealidade dos dados, onde apresenta-se médias, medianas, valores mínimos e máximos, desvio-padrão e coeficiente de variação.

Tabela 4 – Análise de variância para Capacidade de Campo, onde σ^2 = Variância, σ = Desvio padrão, CV = Coeficiente de variação e S_x = Erro padrão da média.

Localidade	Estimativas da capacidade de campo (%)			Análise estatística					
	Arruda et al. (1987)	Lal (1987)	Giarola et al. (2002)	Média	σ	σ^2	CV (%)	S_x	Amplitude
São Luiz do Quitunde	21,64	20,60	25	22,41	2,29	5,29	10,26	1,33	4,4
Porto Calvo	13,80	26,49	16	18,76	6,78	45,99	36,14	3,92	12,69
Jacuípe	21,64	20,60	23,8	22,01	1,63	2,66	7,41	0,94	3,20
Joaquim Gomes	28,38	13,08	33,5	24,99	10,62	112,88	42,52	6,13	20,42
União dos Palmares	26,98	15,04	31,7	24,57	8,59	73,73	34,94	4,96	16,66
Capela	20,88	21,26	23,2	21,78	1,24	1,55	5,71	0,72	2,32
São Miguel	20,88	21,26	23	21,71	1,13	1,28	5,21	0,65	2,12
Boca da Mata	25,61	16,68	29,9	24,06	6,74	45,49	28,03	3,89	13,22
Maribondo	14,30	26,16	17,7	19,39	6,11	37,29	31,5	3,53	11,86
Anadia/Campo Alegre	24,71	17,66	28	23,46	5,28	27,91	22,52	3,05	10,34
Viçosa	24,71	17,66	28,3	23,56	5,41	29,3	22,98	3,13	10,64

Fonte: (Autor, 2022).

Tabela 5 – Análise de variância para ponto de murcha, onde σ^2 = Variância, σ = Desvio padrão, CV = Coeficiente de variação e S_x = Erro padrão da média.

Localidade	Estimativas do ponto de murcha (%)			Análise estatística					
	Arruda et al. (1987)	Lal (1987)	Giarola et al. (2002)	Média	σ	σ^2	CV (%)	S_x	Amplitude
São Luiz do Quitunde	3,52	5,80	12,2	7,17	4,5	20,25	62,73	2,59	8,68
Porto Calvo	7,90	0,40	3,2	3,83	3,79	14,36	98,87	2,19	7,5
Jacuípe	6,55	5,80	9,8	7,38	2,13	4,52	28,79	1,23	4,00
Joaquim Gomes	6,88	12,70	17,7	12,43	5,42	29,32	43,58	3,13	10,82
União dos Palmares	4,96	10,90	17,1	10,99	6,07	36,85	55,25	3,5	12,14
Capela	5,49	5,20	9,6	6,76	2,46	6,05	36,39	1,42	4,40
São Miguel	6,29	5,20	9,2	6,90	2,07	4,28	29,98	1,19	5,87
Boca da Mata	4,27	9,40	16	9,89	5,88	34,58	59,46	3,39	11,73
Maribondo	2,59	0,70	6,1	3,13	2,74	7,51	87,55	1,58	5,40
Anadia/Campo Alegre	5,41	8,50	13,7	9,20	4,19	17,55	45,52	2,42	8,29

Fonte: (Autor, 2022).

Viçosa	4,74	8,50	14,3	9,18	4,82	23,19	52,46	2,78	9,56
---------------	------	------	------	------	------	-------	-------	------	------

Tabela 6 – Análise de variância para Água disponível, onde σ^2 = Variância, σ = Desvio padrão, CV = Coeficiente de variação e S_x = Erro padrão da média.

Localidade	Água disponível			Análise estatística					
	Arruda et al. (1987)	Lal (1987)	Giarola et al. (2002)	Média	σ	σ^2	CV (%)	S_x	Amplitude
São Luiz do Quitunde	18,12	14,80	12,8	15,24	2,69	7,22	17,63	1,55	5,32
Porto Calvo	5,90	26,09	12,8	14,93	10,26	105,31	68,74	5,92	20,19
Jacuípe	15,09	14,80	14	14,63	0,56	0,32	3,86	0,33	1,09
Joaquim Gomes	21,50	0,38	15,8	12,56	10,93	119,39	86,99	6,31	21,12
União dos Palmares	22,02	4,14	14,6	13,59	8,98	80,69	66,12	5,19	17,88
Capela	15,39	16,06	13,6	15,01	1,27	1,62	8,47	0,73	2,46
São Miguel	14,58	16,06	13,8	14,81	1,15	1,32	7,75	0,66	2,26
Boca da Mata	21,34	7,28	13,9	14,17	7,03	49,48	49,63	4,06	14,06
Maribondo	11,71	25,46	11,6	16,26	7,97	63,53	49,03	4,6	13,86
Anadia/Campo Alegre	19,30	9,16	14,3	14,25	5,07	25,71	35,57	2,93	10,14
Viçosa	19,98	9,16	14	14,38	5,42	29,38	37,69	3,13	10,82

Fonte: (Autor, 2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O conteúdo de água retida nos potenciais de -33 e -1.500kPa e o de água disponível (AD) variou de 0,00590 a 0,02202 (Arruda, 1987) 0,00038 a 0,02609 (Lal, 1987) 0,0116 a 0,0158 (Giarola, 2002), de (CC) 0,01380 a 0,02838 (Arruda, 1987) 0,01308 a 0,02649 (Lal, 1987) 0,016 a 0,0335 (Giarola, 2002), e (PM) 0,00259 a 0,0790 (Arruda, 1987) 0,0004 a 0,01270 (Lal, 1987) 0,0032 a 0,0177 (Giarola, 2002) kg kg^{-1} , respectivamente conforme as Tabela 4. 5 e 6.

A classe textural dos solos utilizados variou de arenosa a muito argilosa, embora predominasse a textura franco-argiloarenosa e franco-arenosa, A utilização das pedofunções apresentaram uma variação de acordo com os parâmetros utilizados. Berg et al (1997) observaram que a argila e o silte foram responsáveis por 84% da variância do conteúdo de água a -10 kPa e 80% para -1.500 kPa. Ao incluir o teor de carbono orgânico na avaliação, verificou-se um aumento de 86% para -10 kPa.

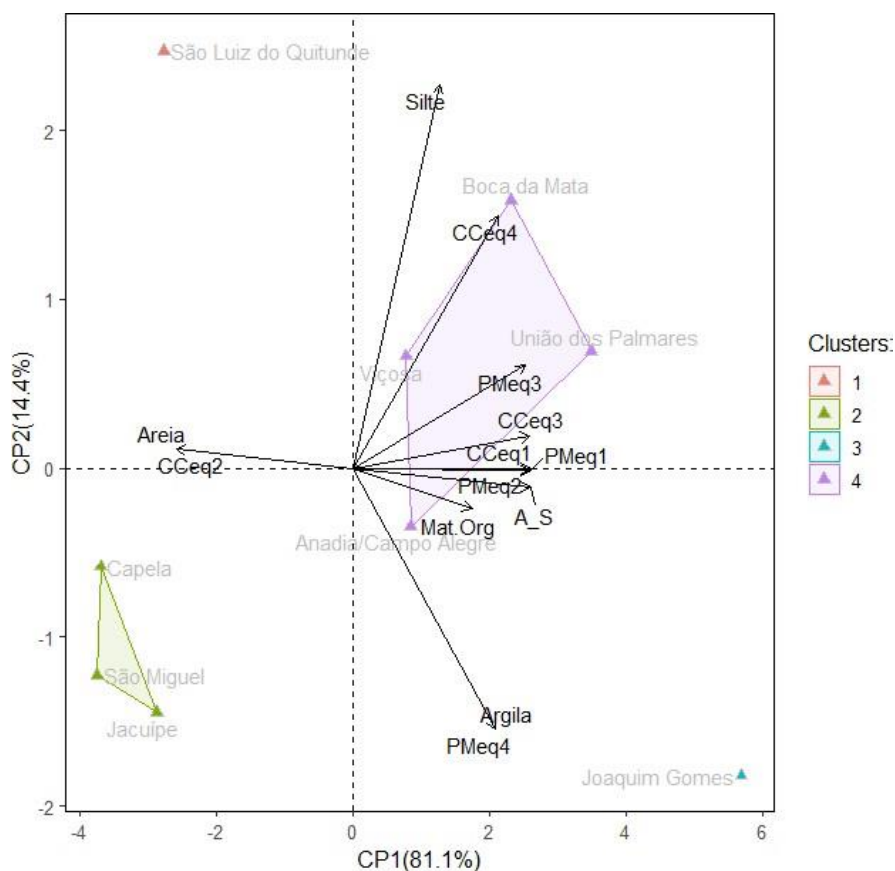
A determinação adequada da θ_{CC} e θ_{PM} é fundamental para o manejo eficiente das culturas agrícolas, principalmente em áreas irrigadas (Brito et al., 2011). Por isso, estimar esses valores pode ser uma alternativa viável, porém não deve comprometer a confiabilidade da informação. Um valor determinado ou estimado de maneira equivocada pode prejudicar a produção por déficit hídrico, causar lixiviação de nutrientes. Para solucionar esse problema é possível utilizar pedofunções, estas tem sido utilizada para estimar θ_{CC} e θ_{PMP} (Givi et al., 2004). Desta maneira é possível utilizar o conhecimento sobre a disponibilidade de água, proporcionando melhor aproveitamento da água.

Essa mesma conclusão de Oliveira (2005), apontando para o bom potencial estimador da pedofunção de CC in situ a partir da microporosidade, confirma os trabalhos de Fabian e Ottoni Filho (2000), bem como Macedo et al. (2002).

De acordo com Rawls et al. (1991), a água retida no solo sob baixos potenciais matriciais é intimamente relacionada à presença de capilares e ao 35 arranjo de partículas, os quais sabidamente variam em função da textura e conteúdo de carbono orgânico no solo. Conforme o solo seca, a retenção de água deixa de depender da sua estruturação e passa a ser mais relacionada a sua matriz, expressa pela granulometria, mineralogia e superfície específica para adsorção de água (Machado et al., 2008; Carducci et al., 2011), o que explica as altas correlações e inclusão de areia total e argila na pedofunção obtida para θ_{PMP}

A análise de componentes principais explicou 95,5% da variância original dos dados em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2). No eixo 1, que aglutinou 81,1% da variância, observa-se a associação significativa ($p < 0.001$) e positiva das equações de determinação de murcha permanente PMeq1 ($r = 0,99$)(Arruda, 1987), PMeq2 ($r = 0,99$) (LAL, 1978), PMeq3 ($r = 0,97$)(Giriola, 2002) e PMeq4 ($r = 0,80$)(Nascimento, 2010), bem como das equações de capacidade de campo CCeq1 ($r = 0,99$)(Arruda, 1987), CCeq3 ($r = 0,99$)(Giriola, 2002) e CCeq4 ($r = 0,81$)(Nascimento, 2010), com os teores de argila ($r = 0,80$), matéria orgânica ($r = 0,67$) e argila + silte ($r = 0,99$). Em contraste, essas equações são influenciadas negativamente pelo teor de areia ($r = -0,99$), que é responsável por melhor desempenho da determinação da capacidade de campo pela equação 2 ($r = -0,99$) (LAL, 1978). Ainda, observa-se que o silte isoladamente não influencia em nenhuma das equações em estudo nas condições dos solos analisados, com influência significativa ($p < 0.001$) apenas no eixo 2 ($r = 0,87$), que aglutinou 14,4% da explicação original dos dados.

Figura 4 - Análise de Componentes Principais (ACP).



Fonte: (Autor, 2022).

A ACP permitiu ainda a formação de 4 clusters distintos (C1, C2, C3 e C4). No C1, agrupou-se o argissolo coletado em São Luiz do Quitunde, que se destacou por apresentar altos teores de areia e silte, alta capacidade de campo obtida através da equação de Lal (1978) e os menores valores de argila entre todos os solos analisados. No C2, aglutinaram-se os argissolos com altos teores de areia, baixos valores de silte e maiores valores de capacidade de campo obtidos pela equação de Lal (1978). Lal. Em suma, os resultados observados nesses dois clusters demonstram que em argissolos com maiores teores de areia, como os observados em Capela, Jacuípe, São Luiz do Quitunde e São Miguel, deve-se realizar a determinação da capacidade de campo por meio da equação de (LAL, 1978).

No C3, observa-se isoladamente o município de Joaquim Gomes, que se caracterizou por apresentar os maiores valores de argila dentre todos os argissolos amostrados, assim como, exibiu os maiores valores de ponto de murcha permanente obtidos através da equação de (Nascimento, 2010) (PMeq4). O cluster C4 agrupou os argissolos dos demais municípios em estudo, que se caracterizaram por apresentar percentuais de areia inferiores a 60%, alta proporção argila+silte, e maior desempenho das equações de determinação de ponto de murcha permanente PMeq1, PMeq3 e PMeq3, bem como das equações de determinação de campo CCeq1, CCeq3, CCeq4.

Os resultados estimados pelas equações e observado pelo método de padrão gravimétrico demonstra que o observado foi superior as equações 1, 2 4 5 e inferior a equação 3. Esses resultados diferem dos encontrados por Nascimento et al. (2010) que analisando a contribuição de cada variável independente na previsão da variável dependente, foi possível constatar que as variáveis argila ou areia, tomadas isoladamente, são as que melhor explicam as variações do conteúdo de água retida pelo solo nos potenciais especificados. Esse resultado permite afirmar que, nos solos estudados, é possível desenvolver equações preditivas do conteúdo de água no solo, (exceto para AD) apenas com a variável argila ou areia. Este resultado é explicado pela natureza dos solos de Tabuleiro, uma vez que os teores de silte são muito baixos, predominando a fração argila seguida da areia.

5 CONCLUSÃO

Foi possível constatar que as variáveis argila ou areia, tomadas isoladamente, são as que melhor explicam as variações de conteúdo de água retida pelos solos, permitindo afirmar que nos solos estudados, é possível desenvolver equações preditivas de conteúdo de água no solo (exceto para AD) apenas com a variável argila ou areia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R.S. & STONE, L.F., **Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental ,Campina Grande, PB. v.15, n.2, p.111–116, 2011

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, Campinas, v.11, p.11-15, 1987

BAIER, W.; ROBERTSON, G. W. **The performance of soil moisture estimates as compared with the direct use of climatological data for estimating crop yields**. *Agricultural Meteorology*, v. 5, p. 17-31, 1968.

BRITO, A.S. et al. **Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 6, 2011.

BRUNING, J., ROBAINA, A. D. , PEITER, M. X. , BOSCAINI. R. , CONCEIÇÃO, C.G. , GOLLO, E. A. **ESTIMATIVA DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO POR FUNÇÃO DE PEDOTRANSFERÊNCIA**, Cultura Agrônômica, Ilha Solteira, v.28, n.1, p.97-110, 2019.

BUSKE, T.C. **Comportamento da umidade do solo determinada por método expeditos** . Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria-RS. 2013. 68p.

CARDUCCI, C. E. et al. **Modeling the water retention curve in oxisols using the double van genuchten equation**. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2011.

COSTA, A.C.S. da & COELHO, S.M.R. **Manejo do solo e seus efeitos nas suas características físicas e hídricas**. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DA UEM, 3, 1989, Maringá. Anais... Maringá: Fuem.

ELRICK, D.E.F., & TANNER, C.B. **Influence of sample pretreatment on soil moisture retention.** Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 10:124-135, 1955.

COSTA, A.C.S. da **Iron oxide mineralogy of soils derived from volcanic rocks in the Paraná River Basin, Brazil.** Columbus, 1996. Tese (Ph.D. em Agronomia) - The Ohio State University.

COSTA, A.C.S. da. LIBARDI, P.L, MORAES, S.O. & REICHARDT, K. **Retenção e movimento da água de um solo Terra Roxa Estruturada.** In: ENCONTRO CIENTÍFICO DA UEM, 3, 1989, Maringá. Anais... Maringá: Fuem, 1989.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Boletim Técnico,** (57):791, 1984.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo.** Rio de Janeiro, 1979.

GIMENES, F. H. S. **Curva de retenção na avaliação da qualidade física do solo.** Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012. 69p.

GIRARDELLO, V. C. et al. **Soil penetration resistance, Efficiency of mechanical chisel plowing and soybean grain yield in a clayey oxisol under long-term no-till.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

GIVI, J.; PRASHER, S. O.; PATEL, R. M. **Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point.** Agricultural Water Management, v. 70, n. 2, p. 83-96, 2004/11/25/ 2004.

HAISE, H.R., HAAS, H.J. & JENSEN, L.R. **Soil moisture studies of some great plains soils.** II. Field capacity related to 1/3 atmosphere percentage and minimum point related to 15 and 26 atmosphere percentages. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 10:20-25, 1955.

HOLLIS, J.M.; JONES, R.J.A.; PALMER, R.C. **The effects of organic mater and particle size on the water retention properties of some soils in the west midlands of England.** Geoderma, Amsterdam, v.17, p.225-238, 1977 .

KAYSER I.P. **Estimativa dos parametros de funcoes de pedotransferencia para os solos do Rio Grande do sul Curva de retenção na avaliação da qualidade física do solo.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria-RS. 2019. 85p.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

KUMAR, S., MALIK, R.S. & DAHIYA, I.S. **Influence of different organic wastes upon water retention, transmission and contact characteristics of sandy soils.** J. Soil Res., 23:131-136, 1985. 844

LAL, R. **Physical properties and moisture characteristics of some Nigerian soils.** Geoderma, 21:209-223, 1979.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

MACHADO, J. L. et al. **Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 2, 2008.

MICHELON C. J. Carlesso, R., Oliveira Z. B. Knies, A. E. , Petry. M. T., Martins, J.D. **Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul** *Ciência Rural*, v.40, n.4, abr, 2010.

MILLAR, A. **Manejo racional da irrigação: Uso de informações básicas sobre diferentes culturas.** Brasília, II. CA, 1984. (Série Publicações Miscelâneas, n. 461). OBI, A.O. The wilting point and available moisture in tropical forest soils of Nigeria. *Exp. Agric.*, 10:305-312, 1974.

MIRANDA, Cristiana do Couto, CANELLAS, Luciano Pasqualoto NASCIMENTO, Marcelo Trindade, **Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em**

plantios abandonados de eucalipto *Química e mineralogia do solo* • Rev. Bras. Ciênc. Solo 31 (5) 2007

OLIVEIRA, L.B. & QUEIROZ, E.M. de **Moisture tension curves of North Eastern Brazil**. *Pesq. Agrop. Bras.*, 10:69-75, 1975.

PEREIRA, H.C. **Field measurement of water use for irrigation control in Kenya**. *Emp. J. Exp. Agric.*, 49:459-467, 1957.

PETERSEN, G.W.; CUNNINGHAM, R.L.; MATELSKI, R.P. **Moisture characteristics of Pennsylvania soils. I. Moisture retention as related to texture**. *Soil Science Society of America. Proceedings, Madison*, v.32, p.271-275, 1968.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2019. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 de dezembro de 2021.

RAWLS, W. J.; GISH, T. J.; BRAKENSIEK, D. L. **Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics**. *Adv. Soil Sci*, v. 16, p. 213-234, 1991.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985.

RIBEIRO K. D. . SOUZA, L. K , **Limites de Atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos**. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering* v. 12(2): 185-196, 2018.

RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. **Caracterização morfológica do solo**. In: KER, J. C. CUR, N; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDALTORRADO, P. *Pedologia: Fundamentos*. Viçosa-mg: SBCS, 2012. p. 81-146.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S.; PADENDICK, R.I. **Estimating generalized soil-water characteristics from texture**. *Soil Science Society of America. Journal, Madison*, v.50, p.1031-1036, 1986.

SILVA, M. J. R.; MIRANDA, J. B. **A matéria orgânica e sua influência nas frações granulométricas do solo e nos limites de Atterberg.** In: I Congresso Internacional de Ciências Agrárias. 2016.

UEHARA, G. & GILLMAN, G. The Mineralogy, **Chemistry and Physics of Tropical Soils with Variable Charge Clays.** Colorado: Westview Tropical Agriculture, 1981.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H.. **Does transpiration decrease as the soil moisture decreases?** Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 36, n. 3, p. 425-448, 1955.

WALKLEY, A. **A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. Effect of variation in digestion conditions and of inorganic soil constituents.** Soil Sci., 63:251-264, 1947.

XIANG-WEI, H.; MING-NA, S.; HORTON, R. **Estimating Van Genuchten model parameters of undisturbed soils using an integral method.** Pedosphere, Nanjing, v. 20, n. 1, p.55-62, 2010.