



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

ARILENE FRANKLIN CHAVES

**VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO DE LABORATÓRIO ALTERNATIVO À
ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CAMPO *IN SITU***

**FORTALEZA
2017**

ARILENE FRANKLIN CHAVES

VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO DE LABORATÓRIO ALTERNATIVO À ESTIMATIVA
DA CAPACIDADE DE CAMPO *IN SITU*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Área de concentração: Manejo do solo e da água.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior

FORTALEZA
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C438v Chaves, Arilene Franklin.
Validação de um método de laboratório alternativo à estimativa da capacidade de campo *in situ* / Arilene Franklin Chaves. – 2017.
63 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Junior.
1. Umidade do solo. . 2. Redistribuição de água. . 3. Bulbo úmido.. I. Título.

CDD 631.4

ARILENE FRANKLIN CHAVES

VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO DE LABORATÓRIO ALTERNATIVO À ESTIMATIVA
DA CAPACIDADE DE CAMPO *IN SITU*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Área de concentração: Manejo do solo e da água.

Aprovada em: 24/03/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Carlos de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Limeira da Silva
Instituto federal do Ceará (IFCE)

Aos meus pais: Ariston Brito Chaves e
Marilene Franklin Chaves.

Aos meus filhos: Maria Eduarda Chaves
Rocha e Ian Carlos Chaves Holanda.

Ao meu companheiro Harlan Carlos Holanda

AGRADECIMENTOS

A Deus, energia maior do universo, pela vida e pela paz nos momentos em que me encontrei incapaz de prosseguir, momentos que não foram raros no decorrer do doutorado;

Aos meus pais: minha mãezinha de saúde frágil e espírito forte, se fez presente em todos os momentos acolhendo-me como nos tempos de infância; meu pai pelas palavras de incentivo e força nos momentos mais difíceis;

Aos meus irmãos pelos encontros e apoio incondicional;

A Harlan Carlos Holanda, companheiro de todas as horas, pelo apoio, compreensão, incentivo e cuidado aos filhos durante todo o período de doutoramento;

Aos pais de Harlan, pelo auxílio na educação de Ian Carlos;

Aos meus amados filhos: Maria Eduarda, grande companheira e incentivadora de meus projetos pessoais, muito obrigada por conduzir seus estudos e suas responsabilidades, o que amenizou em muito minhas preocupações; e Ian Carlos, que apesar da pouca idade, compreendeu ao seu modo o “trabalho da mamãe”, mantendo-se alegre e forte, o que fez com que a ausência fosse menos percebida;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – Campus de Limoeiro do Norte, representado pelo diretor geral, José Façanha Gadelha, pela permissão legal concedida, disponibilidade de utilização das infraestruturas de campo e laboratório, confiança e amizade, o que possibilitou pleno desenvolvimento das atividades acadêmicas a mim conferidas. O agradecimento é extensivo à sua esposa, Valneide Barros Gadelha, pelos vários momentos de acolhimento em seu lar, carinho e atenção dispensada;

As diretoras de ensino Antônia Lucivânia de Sousa Monte e Germana Conrado, pela confiança e colaboração em todos os momentos;

Aos coordenadores do curso de agronomia e agropecuária: Raimundo Ivan Remígio e Rodrigo Gregório; Cleilson Uchôa e Kleber, respectivamente, pelo apoio, atenção dispensada e amizade;

Aos amigos do IFCE: Cleilson Uchôa, Evando Coelho, Fátima Martins, Francisco Limeira, Francisco Sildemberny dos Santos, Luis Alberto, Keline Albuquerque, Marlene Nunes, Raimundo Ivan Remígio, Roberto Maia, Rodrigo Gregório, e Solerne Caminha, pela confiança depositada, pelas experiências compartilhadas e acima de tudo, a amizade;

Aos amigos que fazem o laboratório de análises de solo, água e tecidos vegetais

(LABSAT) do IFCE, Campus Limoeiro do Norte: Ana Maria, Clarice Barros, Esiana Almeida, Márcia Raulino, Natanael Santiago e Silveira Santos, pelo acolhimento em todas as horas, por concederem o uso do laboratório, adaptando as atividades de rotina para realização de parte das análises laboratoriais e sobretudo a amizade;

Aos funcionários da Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE), Antônio, Danilo, Dedé, João Paulo, Jurandir, Vando e Valdir, pela disponibilidade, acolhimento e amizade, em especial Jurandir pela instalação dos perfis instantâneos e auxílio na condução do ensaio.

Aos alunos que durante todo o período de doutoramento se fizeram presentes com apoio e amizade, em especial a Ana Maria, aluna querida, pela colaboração nas coletas de campo e análises laboratoriais, a qual se fez presente com seu jeito peculiar de ser;

À Universidade Federal do Ceará, através do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, representada pelos Coordenadores do programa no período de doutoramento: Raimundo Nonato de Assis Junior e Mirian Cristina Gomes Costa;

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio, durante parte do doutoramento;

Ao Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior, querido orientador, que desde os tempos de graduação se disponibilizou a me ensinar, por ser um grande incentivador da minha carreira acadêmica; pela paciência e presteza dispensada em todos os momentos de que dele precisei; pela compreensão do meu tempo de aprender; pela condução do processo de ensino-aprendizado percebido claramente na sua dedicação em sala de aula; pelo despertar da confiança na condução dos trabalhos e tomada de decisões, pelos aconselhamentos sempre que necessário; pela idealização do trabalho, apoio nos momentos difíceis e amizade ao longo dessa jornada, minha profunda gratidão;

Ao Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra pela concessão da área para instalação de parte dos ensaios, pela confiança em disponibilizar o laboratório de hidráulica, bem como pelos incentivos ao longo do curso;

Ao Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota, por acreditar em mim, pelas valiosas contribuições, rigor profissional, convívio e amizade, acolhendo-me como um irmão em todos os momentos;

Ao Prof. Dr. José Carlos de Araújo, pela generosidade em seus atos, colaboração no trabalho com correções e sugestões, convivência agradável e acima de tudo pela amizade demonstrada em muitos momentos;

Ao Prof. Dr. Ricardo Luiz Lange Ness, amigo e também grande incentivador

desde os tempos de graduação, por se fazer presente em todas as etapas de minha formação acadêmica transmitindo confiança e acolhendo-me com muito carinho e paciência; pela confiança demonstrada no chamado para fazer parte de sua equipe; pela oportunidade em aprender na prática como ser educadora; por se fazer presente sempre que necessário com seus ensinamentos ímpares, minha profunda gratidão;

Aos professores (titulares e suplentes) participantes das bancas do projeto, qualificação e tese, muito obrigada pelo tempo dispensado a leitura do trabalho, bem como pelas sugestões, que em muito contribuiu para a evolução do trabalho;

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo que contribuíram para o meu aprimoramento pessoal e profissional com exemplos, convivência e amizade;

Aos professores externos ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, em especial, José Carlos de Araújo, Marcos Esmeraldo e Raimundo Nonato Távora, pelas disciplinas ministradas com maestria;

Aos colegas de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo aprendizado que me proporcionaram;

Aos colegas que fazem a Física do solo, sob a orientação do Prof. Assis Júnior, pelo apoio, convivência, e sugestões recebidas;

Aos colegas que fazem o grupo de estudos, coordenado pelo Prof. Jaedson Cláudio, por compartilhar momentos de aprendizados, amizade e descontração;

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo pela convivência harmônica, em especial a Francisca Helena Oliveira dos Santos, pelo zelo e carinho em preparar um ambiente limpo e agradável para desenvolvermos nossas atividades;

Aos amigos Débora Camila, Hildernando Barreto e Ronimeire Torres, minha gratidão pelo apoio e companheirismo;

Aos amigos Izabel Almeida e Regis dos Santos, pelo acolhimento caloroso no início do curso e pela confiança demonstrada em todos os momentos;

Aos amigos Ícaro Vasconcelos e Thiago Leite, pelo incentivo, amizade, boa convivência e contribuição ímpar na realização desse trabalho, minha gratidão por se fazerem presentes em todas as etapas (campo, laboratório e discussões) bem como na elaboração dos mapas das áreas de estudo;

À amiga Ana Letice de Farias, pelo acolhimento e amizade, por todo o período de convivência e estada em sua casa;

Ao Sr. Marcelo Marques, por todo auxílio prestado no período do experimento

em campo, em Fortaleza;

Aos meus tios, Antônio Deusimar (*in memoriam*) e Ana Rosa, pela confiança e incentivo, demonstrados em todos os momentos; pelo abraço acolhedor e pelas palavras doces em momentos difíceis;

Em especial a todos que ao longo da minha qualificação profissional tornaram-se obstáculos para a realização desse trabalho, pois contribuíram para que a minha vontade de vencer se tornasse cada dia mais forte;

A todos que de algum modo contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho se tornasse uma realidade visível, minha profunda gratidão.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.
(Martin Luther King)

RESUMO

O conhecimento da umidade do solo na capacidade de campo é determinante para programas racionais e eficientes de irrigação. A estimativa da umidade na capacidade de campo *in situ* pelo procedimento do perfil instantâneo é onerosa, laboriosa operacionalmente e demanda tempo para obtenção dos resultados. É usual estimar a umidade do solo correspondente à capacidade de campo por procedimentos realizados em laboratório, operacionalmente mais rápidos, sendo o método do extrator de Richards o mais utilizado. A inconveniência verificada nesse procedimento é a presunção de que a água, à capacidade de campo, está sob potencial mátrico fixo, independente das características do solo. Um procedimento alternativo, realizado em laboratório, foi apresentado por Ribeiro (2000), denominado de bulbo úmido, no qual a busca pela condição de equilíbrio solo-água é feita pela adição de pequena quantidade de água à amostra de solo, sem a fixação de potencial mátrico. A hipótese do trabalho é que o equilíbrio energético (e por consequência, quantitativo) da relação solo-água ocorre de modo semelhante, quer se inicie o procedimento com solo saturado, quer com qualquer outra quantidade de água; que ocorre em menos tempo quando a quantidade inicial de água é menor que a de saturação; que num dado tempo, a quantidade de água no equilíbrio é igual àquela obtida no procedimento realizado em campo. Dessa forma, objetivou-se estimar a umidade do solo na capacidade de campo usando os métodos de campo e bulbo úmido, comparar os resultados e verificar se há um tempo comum no qual ocorre a igualdade das estimativas pelos dois procedimentos, para qualquer textura de solo. A umidade *in situ*, foi estimada pelo procedimento do perfil instantâneo. Em laboratório, o método do bulbo úmido foi realizado com dois volumes e quatro tempos de redistribuição de água, em cinco classes texturais. Os dados foram analisados considerando o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4 x 5 com um tratamento controle (*in situ*). Verificou-se a normalidade dos dados e aplicou-se o teste F para a análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Concluiu-se com o trabalho que no método do bulbo úmido, a utilização dos volumes de 1 e 2 mL com tempo de 10 minutos para redistribuição de água, substitui, em laboratório, o procedimento *in situ* nas classes texturais analisadas.

Palavras-chave: Umidade do solo. Redistribuição de água. Bulbo úmido.

ABSTRACT

The knowledge of soil moisture in field capacity is determinant for rational and efficient irrigation programs. The estimation of the *in situ* field capacity moisture by the instant profile procedure is costly, operationally laborious and takes time to obtain the results. It is usual to estimate the soil moisture corresponding to the field capacity by laboratory procedures, operationally faster, and the Richards extractor method is the most used. The inconvenience observed in this procedure is the presumption that the water, at the field capacity, is under fixed maximum potential, independent of soil characteristics. An alternative procedure, performed in a laboratory, was presented by Ribeiro (2000), called a wet bulb, in which the search for the soil-water equilibrium condition is done by adding a small amount of water to the soil sample, without the fixation of Potential. The hypothesis of the work is that the energy (and hence quantitative) equilibrium of the soil-water relationship occurs in a similar way, whether the procedure is started with saturated soil or with any other amount of water; which occurs in less time when the initial amount of water is less than that of saturation and that at a given time, the amount of water in equilibrium is equal to that obtained in the field procedure. Thus, the objective was to estimate the soil moisture in the field capacity using the field and wet bulb methods, to compare the results and to verify if there is a common time in which the equality of the estimates by the two procedures occurs, for any soil texture. *In situ* moisture was estimated by the instant profile procedure. In the laboratory, the wet bulb method was performed with two volumes and four times of redistribution of water, in five textural classes. The data were analyzed considering the completely randomized design, in a 2 x 4 x 5 factorial scheme with a control treatment (*in situ*). The data were normal and the F test was applied for analysis of variance. The means were compared by the Dunnett test at 5% significance. It was concluded that in the wet bulb method, the use of the 1 and 2 mL volumes with a time of 10 minutes for water redistribution replaces the *in situ* procedure in the textural classes analyzed.

Keywords: Soil moisture. Water redistribution. Wet bulb.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização do perfil situado no ARGISSOLO VERMELHO AMARELO.....	29
Figura 2	Localização dos perfis situados no CAMBISSOLO HÁPLICO.....	30
Figura 3	Preparo do perfil e construção do dique de terra com a colocação da lona plástica.....	31
Figura 4	Disposição dos tensiômetros nos perfis instantâneos.....	31
Figura 5	Diagrama esquemático com de um tensiômetro construído com sistema de leitura de manômetro de mercúrio acoplado em um tubo de PVC.....	32
Figura 6	Perfis cobertos com lona plástica.....	33
Figura 7	Adição de água no vaso com pipeta automática.....	36
Figura 8	Ilustração da coleta do bulbo úmido.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Curva de ajuste de umidade volumétrica média em função do tempo de redistribuição de água no solo da classe textural areia-franca, ensaio no PVA.....	38
Gráfico 2	Curvas de ajustes de umidades volumétricas médias em função do tempo de redistribuição da água no solo das classes texturais franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, argilo arenosa e argila, respectivamente, dos ensaios do Cx.....	38
Gráfico 3	Curva de ajuste do tempo de obtenção da estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo da classe textural areia-franca.....	40
Gráfico 4	Curvas de ajustes do tempo de obtenção da estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo das classes texturais areia-franca, franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, argilo-arenosa e argila, respectivamente.....	40
Gráfico 5	Representação gráfica da análise de sensibilidade.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Atributos físicos dos solos PVA e Cx.....	30
Tabela 2	Tempo de obtenção para a capacidade de campo <i>in situ</i> em todas as classe texturais.....	33
Tabela 3	Valores médios de umidade volumétrica correspondente à capacidade de campo <i>in situ</i> em comparação com o método do bulbo úmido.....	42
Tabela 4	Valores de capacidade de campo e parâmetros da Equação 3. O valor de μ corresponde à média absoluta das diferenças.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Conceituação da Capacidade de Campo	18
2.2	Estimativas da umidade correspondente à capacidade de campo	20
2.2.1	<i>Métodos diretos para estimar capacidade de campo</i>	20
2.2.2	<i>Métodos indiretos de estimar capacidade de campo</i>	23
2.3	Redistribuição da água no solo	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Locais dos ensaios	29
3.2	Procedimento in situ	31
3.2.1	<i>Instalação do perfil instantâneo</i>	31
3.2.2	<i>Tempo do ensaio no campo</i>	33
3.2.3	<i>Drenagem insignificante</i>	34
3.2.4	<i>Avaliação da capacidade de campo pela equação da curva logística</i>	36
3.3	Método do bulbo úmido	35
3.4	Análise estatística dos dados	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Tempo do ensaio no campo e drenagem insignificante	39
4.2	Avaliação da capacidade de campo pela equação da curva logística	45
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A – DADOS DE UMIDADES VOLUMÉTRICAS DAS CLASSES TEXTURAIS COLETADAS <i>IN SITU</i>.	56
	APÊNDICE B – DADOS DE UMIDADES VOLUMÉTRICAS DAS CLASSES TEXTURAIS OBTIDAS PELO MÉTODO DO BÚLBO ÚMIDO.	59
	APÊNDICE C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS DE UMIDADES VOLUMÉTRICAS DAS CLASSES TEXTURAIS OBTIDAS PELO MÉTODO DO BÚLBO ÚMIDO.	61

1 INTRODUÇÃO

O solo desempenha, entre outras funções, o papel de reservatório de água para as plantas. Quando ocorre infiltração da água no solo, logo após uma chuva ou irrigação, a água armazenada após a drenagem livre do excesso é considerada umidade correspondente à capacidade de campo.

O conhecimento da umidade do solo correspondente à capacidade de campo é determinante para programas de irrigação, o que permite que tal atividade agrícola seja econômica e ecologicamente correta. Economicamente, por orientar a administração de água ao solo evitando perdas por drenagem profunda, diminuindo o custo unitário desse insumo; ecologicamente, evitando a poluição de aquíferos.

A quantificação da água no sistema solo-planta-atmosfera é bastante complexa e pode ser feita em termos de teor, energia e fluxos. Esse conjunto de mensurações permite, dentre outras coisas: obter o volume de água armazenada no solo, inferir sobre o movimento de água no sistema, calcular o balanço hídrico, quantificar o estado hídrico do solo, das plantas e da atmosfera.

É consenso entre pesquisadores da física do solo que a estimativa da capacidade de campo seja mais apropriada quando realizada pelo procedimento *in situ*, por medir a umidade nas condições reais de campo. Esse procedimento, porém, é demorado e operacionalmente laborioso.

Dessa forma, é usual estimar a umidade do solo correspondente à capacidade de campo por procedimentos realizados em laboratório, operacionalmente mais rápidos, sendo o método do extrator de Richards o mais utilizado. A inconveniência verificada nesse procedimento é a presunção de que a água, à capacidade de campo, está sob potencial mátrico fixo, independente das características do solo.

Um procedimento alternativo, realizado em laboratório, foi apresentado por Ribeiro (2000), denominado de bulbo úmido, no qual a busca pela condição de equilíbrio solo-água é feita pela adição de pequena quantidade de água à amostra de solo, sem a fixação de potencial mátrico.

Nesta pesquisa ampliamos o campo de investigação de Ribeiro (2000), incluindo diferentes condições de textura do solo. As hipóteses aventadas são: o equilíbrio energético (e por consequência, quantitativo) da relação solo-água ocorre de modo semelhante, quer se inicie o procedimento com solo saturado, quer com qualquer outra quantidade de água; que ocorre em menos tempo quando a quantidade inicial de água é

menor que a de saturação; que num dado tempo, a quantidade de água no equilíbrio é igual àquela obtida no procedimento realizado em campo.

Para testar as hipóteses apresentadas, os objetivos da pesquisa foram: estimar a umidade do solo na capacidade de campo usando os métodos de campo e bulbo úmido, comparar os resultados e verificar se há um tempo comum no qual ocorre a igualdade das estimativas pelos dois procedimentos, para qualquer textura de solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conceituação da Capacidade de Campo

O teor de água no solo controla o ambiente físico das raízes das plantas e as condições biológicas e químicas do solo. O armazenamento da água no solo é regido pela sua dinâmica no sistema solo-água e requer o entendimento de parâmetros físico-hídricos de difícil obtenção. Muitas pesquisas foram realizadas na busca de entender esse processo.

O equivalente de umidade de Briggs e McLane (1907), posteriormente modificado por Briggs e McLane (1910), foi a primeira investigação sobre a quantificação da umidade do solo e pode ser entendido como a fração de água que um solo pode reter contra uma “força centrífuga” de 1.000 vezes a “força da gravidade” por 30 minutos (MEYER; GEE, 1999).

Segundo Briggs e McLane (1910), o equivalente de umidade representava as condições fieis da textura dos solos. Baseados nessa afirmação, alguns trabalhos relacionaram o equivalente de umidade com outros métodos analíticos de estimativa da umidade (BRIGGS; SHANTZ, 1912; ALWAY; McDOLLE, 1917; SMITH, 1917; MIDDLETON, 1920). Outros pesquisadores sugeriram relação funcional entre o equivalente de umidade e a quantidade de água que o solo poderia reter contra a gravidade (capacidade de campo) (RUSSELL; BURR, 1925; VEIHMAYER; HENDRICKSON, 1931; PIPER, 1933).

Desses trabalhos, várias denominações para a água armazenada pelo solo foram propostas, a saber: retenção específica, capacidade máxima de retenção de água, capacidade de carregamento de campo, capacidade de campo normal e capacidade capilar. Esse fato fez com que, ao longo do tempo, fossem introduzidos conceitos não rigorosamente corretos, mas aceitáveis do ponto de vista prático (REICHARDT, 1988).

Veihmeyer e Hendrickson (1931), na tentativa de unificar equivalente de umidade e capacidade de campo, apresentaram à comunidade acadêmica o conceito de capacidade de campo como sendo “ a quantidade de água retida pelo solo após o excesso de água ter drenado e a taxa de movimento descendente ter decrescido acentuadamente, ocorrendo geralmente em dois ou três dias após uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniformes”. Gardner (1960) conceitua capacidade de campo como o teor de água abaixo do qual a condutividade hidráulica é suficientemente pequena, que a redistribuição de água no solo pode ser desconsiderada.

Segundo Brito *et al.* (2011), esse conceito foi apresentado para oferecer maior

aplicabilidade ao conceito “equivalente de umidade” introduzido por Briggs e McLane. E para Miller e McMurdie (1953), “o sistema hidráulico de água no solo na capacidade de campo não é bem compreendido”, o que faz o conceito permanecer ambíguo.

O conceito de capacidade de campo é mais apropriado para solos de textura arenosa (HILLEL, 1980), pois nesses solos a condutividade hidráulica decresce rapidamente; em solos de texturas média a fina, ao contrário, a identificação de um ponto que represente a capacidade de campo é de difícil definição.

O conceito de capacidade de campo, para Reichardt (1988), não oferece precisão, além de ser inapropriado para a compreensão de processos dinâmicos que ocorrem no solo. No entanto, reconhece que é um conceito prático para manejar culturas pela técnica da irrigação. Jury e Gardner (1991) corroboram essa ideia afirmando que o conceito de capacidade de campo não envolve o sistema poroso do solo como todo.

Segundo de Jong Van Lier (2000), o conceito de capacidade de campo é de indiscutível utilidade, umidade máxima do solo na qual a perda de água por drenagem é irrisória, e afirma (de JONG Van LIER, 2010) que o conceito de umidade correspondente à capacidade de campo requer critérios adicionais. Não define os critérios, mas sugere: rever o significado de ‘drenagem insignificantes’; substituição do critério ‘tempo de redistribuição’ por um critério dinâmico.

Reichardt e Timm (2012) mencionam que o conceito de capacidade de campo foi publicado como se fosse uma constante da água do solo, idealizado como característica física do mesmo, o que pode ter comprometido o surgimento de uma definição clara de capacidade de campo.

Assim como ocorreu com o conceito de umidade equivalente, o conceito clássico de Veihmeyer e Hendrickson (1931) também foi seguido de diversos trabalhos que buscaram compreender melhor o conceito e propor novos métodos de estimar capacidade de campo. Esses estudos envolveram relação da capacidade de campo com a curva de retenção da água do solo, textura do solo e matéria orgânica (ANDRADE; STONE, 2011); fluxo de drenagem, a partir de um valor fixado (NACHABE, 1998); pela utilização de câmara de fluxo *in situ* e por funções de pedotransferência (FABIAN; OTTONI FILHO, 2000); pela análise matemática da natureza dinâmica da capacidade de campo (TWARAKAVI et al., 2009).

Muitos desses questionamentos poderiam ser elucidados e simplificados se houvesse um entendimento acerca da capacidade de campo enquanto grandeza física. o conceito de capacidade de campo, apesar de contestado, não passou por modificações ou

melhoramentos significativos, o qual se manteve subjetivo e impreciso, principalmente quanto à escolha do critério a ser adotado para a sua estimativa. Essa estimativa pode ser realizada a partir de parâmetros estáticos ou dinâmicos (ASSOULINE; OR, 2014), sem padronizações, o que, muitas vezes, compromete a comparação dos resultados.

2.2 Estimativas da umidade correspondente à capacidade de campo

As estimativas da umidade correspondente à capacidade de campo podem ser realizadas por métodos direto e indiretos.

2.2.1 Métodos diretos para estimar capacidade de campo

O método do perfil instantâneo é o procedimento mais usual para estimativa da capacidade de campo *in situ*. Porém outros métodos também são utilizados para tal fim: câmara de fluxo (FABIAN; OTTONI FILHO, 1997); drenagem de infiltrômetro de duplo anel, no teste de infiltração (OTTONI FILHO *et al.*, 2014) e lisímetros (CRUZ, 2005; ASCHONITIS *et al.*, 2013).

A estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo *in situ* pelo método do perfil instantâneo é descrita em Embrapa (1997), podendo ser encontrado também em Cassel e Nielsen (1986) e mais detalhado em Klute e Dirksen (1996) e Libardi (2012).

Esse método requer monitoramento da drenagem interna de um perfil, que esteja inicialmente saturado de maneira uniforme e que o fluxo seja unidimensional, o que capacita o uso da equação de Richards para a drenagem vertical (PREVEDELLO; ARMINDO, 2015).

A condução do método do perfil instantâneo pode ser tanto em ensaios de laboratório quanto em campo. Em laboratório foi utilizado pela primeira vez por Richards e Weeks (1953) com o objetivo de medir fluxo de drenagem, o qual foi modificado por Watson (1966) que introduziu avanços metodológicos.

No trabalho de Watson o método das diferenças infinitas no tempo e em profundidade é substituído por um método do perfil instantâneo mais refinado, o que possibilitou medições simultâneas do potencial matricial e do teor de água no solo.

Relatos da literatura apontam que Richards; Gardner e Ogata (1956) foram os primeiros a utilizar o método intitulado de perfil instantâneo, *in situ*, com a finalidade de

estimar o teor de água. Nesse estudo a evaporação e drenagem do solo ocorriam após o procedimento de saturação. Van Bavel; Stirk e Brust (1968) o consideraram como método padrão *in situ* para estimativa da umidade.

Ogata e Richards (1957) reproduziram o método de campo com modificações. Eles evitaram que a evaporação ocorresse, para isso cobriram a superfície do solo. Essa forma de evitar perdas por evaporação, no perfil instantâneo, é o procedimento mais utilizado em condições de campo até os dias atuais. Outras modificações foram sugeridas: Hillel; Krentos e Stilianov (1972) apresentaram um roteiro simples e completo do procedimento *in situ*; Libardi *et al.* (1980) introduziram o gradiente unitário.

A estimativa da capacidade de campo *in situ* pelo procedimento do perfil instantâneo, apesar de fornecer a umidade nas condições reais de campo, é considerado muito trabalhoso, demanda longo tempo para a realização e não pode ser realizado quando o lençol freático elevado, pois interfere no fluxo da água no perfil e nem em áreas com declives, pois ocorre problemas com o fluxo lateral (BIASSUSI, 2001).

Estudos foram realizados com o objetivo de propor novas estimativas da umidade na capacidade de campo, (RICHARDS, 1947; FERNANDES; SYKES, 1968; AHUJA; NAMEY e WILLIAMS, 1985; WAGENET; BOUMA e GROSSMAN, 1991; FABIAN; OTTONI FILHO, 2000; VAN DAM *et al.*, 2008; BERNARDES, 2010; NASCIMENTO *et al.*, 2010; SCARPARE, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2012; ASCHONITIS *et al.*, 2013; de JONG VAN LIER; WENDROTH e VAN DAM, 2015).

Entretanto alguns relatos enfatizam que nenhum outro procedimento retrata o que verdadeiramente acontece no perfil do solo (REICHARDT, 1988; SOUZA; REICHARDT, 1996; ANDRADE *et al.*, 1998; de JONG VAN LIER, 2000), mesmo assim as pesquisas avançam no sentido de substituir o método de campo para uma condição de laboratório, devido ser o método do perfil instantâneo um procedimento trabalhoso, demorado e oneroso.

Outras dificuldades associadas ao método do perfil instantâneo estão relacionadas ao atendimento do conceito, principalmente aquelas relacionadas ao tempo de duração do teste e da obtenção do fluxo desprezível.

Cassel e Nielsen (1986) compreendem a dificuldade de se estabelecer um valor que seja considerado ideal para representar o momento no qual ocorre o equilíbrio entre o potencial gravitacional e mátrico, ou seja, uma taxa de drenagem padrão estabelecida que seja considerada negligenciável. Souza e Reichardt (1996) atribuem essa dificuldade à mensuração da drenagem interna, tendo em vista ser um processo que depende da

condutividade hidráulica e do gradiente de potencial total.

Bernardo *et al.* (2006) afirmam que a umidade na capacidade de campo não pode ser determinada com precisão, devido não se ter estabelecido ainda o tempo em que a intensidade de drenagem pode ser considerada nula, e que o conceito de capacidade de campo pode ser compreendido quando estudado em condição de drenagem livre.

Twarakavi *et al.* (2009) também questionam o tempo estabelecido por Veihmeyer e Hendrickson (1931) para que o movimento descendente seja considerado nulo, três dias para solos de textura arenosa e em seis dias ou mais para solos de textura média e argilosa.

O tempo de obtenção do equilíbrio para que se tenha atingido a umidade correspondente a capacidade de campo, é considerado em estudos desde o início das discussões sobre capacidade de campo: Marshall e Stirk (1949) estimaram a umidade para solos arenosos em 28 horas, solos areno-argilosos em 45 horas e solos argilosos em 120 horas. Para Salter e Haworth (1961) adotaram 68 horas independentemente do solo; Rivers e Shipp (1971) consideraram 48 horas como critério de campo.

Outros trabalhos abordam o critério da drenagem interna e a densidade de fluxo. Carvalho *et al.* (1995) estabeleceram um valor D para a derivada ($\partial\theta/\partial t$), igual a $0,0001 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ para representar a condição de equilíbrio entre os potenciais matricial e gravitacional. Nachabe (1998) utilizou em seu trabalho um fluxo de $0,05 \text{ mm d}^{-1}$, o qual justifica ser ideal por considerá-lo de duas ordens de grandeza menor do que a evapotranspiração potencial média das culturas.

Meyer e Gee (1999) assumem fluxo desprezível entre $0,01$ e $1,0 \text{ mm d}^{-1}$. Essa taxa também foi considerada em por (Twarakavi *et al.* 2009). Casaroli e de Jong Van Lier, (2008) no estudo por critérios para a estimativa da capacidade de vaso estabeleceram taxas de decréscimo do teor de água no momento em que $\partial\theta/\partial t$ atinge $0,01$, $0,001$ e $0,0001 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$. Entretanto os autores não explicam quando cada caso se aplica e nem porque adotou esses valores.

Segundo Prevedello e Armindo (2015), o tempo ideal para estimar a umidade na capacidade de campo é função do objetivo do estudo, pois se o interesse for de irrigação a capacidade de campo deve ser estimada em dois a três dias para ter proximidade com o turno de rega adotado para as culturas; porém, se desejamos estudar o processo de lixiviação, a estimativa deve considerar tempos mais longos.

Percebe-se que o tempo estabelecido para obtenção da umidade correspondente a capacidade de campo, será diferente para cada situação dependendo do critério adotado.

2.2.2 Métodos indiretos de estimar capacidade de campo

Várias são as maneiras de estimar a capacidade de campo de forma indireta. Em laboratório, com aplicação de tensões: funil de Haines (HAINES, 1930); mesa de tensão (LEAMER; SHAW, 1941); extrator de Richards (RICHARDS, 1949); e psicrômetro WP4-T (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

O funil de Haines foi idealizado para encontrar a umidade que permanece em uma amostra de solo após a aplicação de uma determinada tensão, e é usado para determinação da parte mais úmida da curva de retenção com valores de tensão menores que 10 kPa (LIBARDI, 2012). Apresenta a desvantagem de permitir o uso de apenas uma amostra de solo por vez, o que torna necessário o emprego de vários funis para agilizar a determinação da curva de retenção, o que encarece o processo.

A mesa de tensão proposta por Leamer e Shaw (1941) e, no Brasil, por Oliveira (1968), foi idealizada para o uso de várias amostras, em que a tensão fosse aplicada diretamente em um papel do tipo mata-borrão. Apresenta como principal desvantagem a necessidade da troca constante do papel, além de não suportar a aplicação de altas tensões, funcionando, confiavelmente, até tensões próximas a 10 kPa.

Em ambos os métodos, em função da tensão de funcionamento dos equipamentos, há uma restrição de utilização para solos que atingem a umidade correspondente à capacidade de campo em tensões mais altas.

O extrator de Richards, embora não tenha restrições sobre aplicações de altas tensões, oferece dificuldades para o estabelecimento do ponto de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água drenada, exigido longo tempo para os ensaios, além do alto custo do equipamento (TAVARES *et al.*, 2008).

Porém, em laboratório, o método considerado para rotina do laboratório, utilizado universalmente é o extrator de Richards, descrito originalmente por Richards (1949), o qual relacionou o estado de energia potencial matricial da água no solo com a umidade na capacidade de campo, por aplicação de uma tensão de 33 kPa. Vale ressaltar que Colman (1946) foi o pioneiro na realização de trabalhos que relacionam o estado de energia da água no solo com a estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo.

A tensão para a estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo em 33 kPa, no extrator de Richards, também foi utilizada em vários estudos, independente da

textura do solo (OLIVEIRA et al., 2002; RUIZ, FERREIRA e PEREIRA, 2003; REICHARDT; TIMM, 2012; SOUZA; MATSURA, 2004; KIRKHAM, 2005; AJAYI *et al.*, 2009).

Outras pesquisas adotaram tensões diferentes, a saber: 10 kPa, principalmente para solos arenosos (CIRINO; GUERRA, 1994; SILVA; KAY e PERFECT, 1994; TORMENA *et al.*, 1998; DEXTER; BIRD, 2001; GIAROLA, SILVA e IMHOFF, 2002; SOUZA *et al.*, 2002; ARAÚJO; TORMENA; SILVA, 2004; LEÃO *et al.*, 2004; REICHARDT; TIMM, 2012); 6 kPa, mesmo cientes que em alguns casos ocorre uma subestimação da umidade correspondente à capacidade de campo nessa tensão, (FERREIRA; MARCOS, 1983; ANDRADE, FREITAS e LUZ, 1991; MELLO *et al.*, 2002). Andrade e Stone (2011) verificaram também ser possível estimar essa umidade com uma tensão entre 6,5 e 7,5 kPa.

Resultados diferentes foram encontrados por Dardengo *et al.* (2005) quanto a estimativa da umidade com a tensão de 6kPa, pois, em estudo para avaliar diferentes tensões na obtenção da umidade na capacidade de campo, observaram umidades maiores na tensão de 6 kPa quando comparada com 10 e 33 kPa, ou seja, uma superestimava da umidade.

Embora tensões de 6, 10, e 33 kPa sejam as mais utilizadas, tensões de 2,5 a 50 kPa têm sido utilizadas para estimar a umidade na capacidade de campo (ROMANO; SANTINI, 2002; NEMES *et al.*, 2011). Esse fato retrata claramente que não há ainda um critério único a ser adotado que atenda à estimativa da capacidade de campo (HILLEL, 1998; TWARAKAVI *et al.*, 2009; NEMES *et al.*, 2011).

Pelo exposto, fica claro que é de interesse geral que uma tensão representativa da capacidade de campo seja adotada, dada a praticidade de se estimá-la em laboratório (ANDRADE; STONE, 2011). Alguns pesquisadores consideram que associar um determinado potencial de água no solo para estimar a umidade na capacidade de campo ignora seu conceito, o que reduz a validade de sua utilização (SILVA; RIBEIRO, 1997; TORMENA *et al.*, 1998; NETO *et al.*, 1999).

O método do psicrômetro WP4-T utiliza amostra de solo deformada e determina o potencial matricial com maior rapidez, em comparação com os métodos citados anteriormente, e mede potencial matricial de 0 a -300 Mpa (DARVALO, 2013).

Esse método usa a técnica de ponto de orvalho para medir o potencial matricial de uma amostra, ou seja, o potencial matricial é medido a partir do equilíbrio entre a fase vapor da água e a fase líquida presente na amostra dentro da câmara hermeticamente fechada

(OLIVEIRA *et al.*, 2010). Em função do princípio de funcionamento, a qual é dependente da pressão de vapor do líquido, a utilização para determinação em elevados potenciais é imprecisa e pode ser afetada pela estrutura e pela textura do solo (KLEIN; MARCOLIN, 2008).

Klein *et al.* (2010), para avaliar o efeito da textura sobre o conteúdo de água no solo, utilizaram funil de Haines, extrator de Richards e psicrômetro WP4-T. Nesse estudo, concluíram que os teores de água obtidos com o WP4-T apresentaram uma elevada dispersão dos pontos para tensões superiores a 1 kPa.

Gubiani *et al.* (2012) submetem amostras de solo com estrutura não mantida de um Argissolo e Latossolo Vermelho às tensões de 5kPa e 1500kPa, em extrator de Richards e WP4-T. As amostras submetidas à tensão de 5kPa no WP4-T apresentaram conteúdo de água inferior àquele estimado pelo extrator de Richards. Para a tensão de 1500kPa ocorreu o inverso, as umidades estimadas com o uso do WP4-T foram maiores que as obtidas no extrator.

A utilização da metodologia da psicrometria de ponto de orvalho deve ser cautelosa por parte do usuário. Mesmo apresentando maior rapidez das medidas, dados comprovam a superestimativa da umidade em baixos potenciais matriciais (CAMPBELL; SMITH; TEARE, 2007). Pelo exposto, percebe-se que as metodologias usadas para estimar a umidade correspondente à capacidade de campo, em laboratório, mostram limitações e potencialidades.

Para Reichardt (1996), os valores obtidos por meio de métodos laboratoriais são estáticos, sendo que o processo de redistribuição de água no campo é essencialmente dinâmico. Reichardt e Timm (2012) afirmam que nenhum método de laboratório serve para a determinação da capacidade de campo. Para esses últimos “o que é definido como fixo no campo é que deve ser mais robusto na identificação do fenômeno. Nesse caso, o potencial mátrico correspondente também o será.” Não obstante, sentenciam, ‘o uso de um potencial mátrico fixo, estabelecido a partir de pesquisas, parece ser menos propício a erros do que o estabelecer 2 a 3 dias após uma chuva ou irrigação, como previsto no conceito’.

Ressalte-se que apesar de o método do extrator de Richards não representar exatamente as condições reais de campo, ainda é o método mais usual para estimar a capacidade de campo em laboratório, por não ter, até o momento, outro método que se correlacione melhor com a umidade obtida *in situ*, para substituí-lo.

Outro modo de estimativa indireta da capacidade de campo é pelo uso de funções de pedotransferência, as quais relacionam atributos do solo – de mais fácil medida

– com a umidade do solo (PACHEPSKY; RAWLS 2003; GIVI; PRASHER e PATEL, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2010; MARTINEZ; CUESTA e CANCELA, 2012).

Oliveira *et al.* (2002) desenvolveram equações a partir de dados de 98 perfis de solos para o estado de Pernambuco. Giarola *et al.* (2002) utilizaram 18 perfis de solos de vários locais do estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Outro atributo muito utilizado nas funções de pedotransferências é a matéria orgânica, que, quando coloidal, segundo Giarola *et al.*, 2002, apresenta boas propriedades de retenção de água, o que facilita a agregação do solo que por sua vez interfere indiretamente em outros atributos como densidade, porosidade, aeração e infiltração de água.

Oliveira *et al.* (2002), entretanto, ressaltam que a acurácia das funções de pedotransferência depende tanto da homogeneidade dos solos que compõem a base de dados para calibração, quanto da semelhança deste com o solo para o qual se usará o modelo de estimação.

A estimativa também é feita com dados da curva de retenção de água no solo seja pelo ponto de inflexão ou pela função CPV (mudanças no volume de poros), em que se utiliza dados de retenção de água de um solo agregado antes e depois de um evento de compactação (ASCHONITIS *et al.*, 2013).

Atualmente, a estimativa da capacidade de campo tem sido realizada pela modelagem, de acordo com de Jong Van Lier e Wendroth (2016), baseadas em processos e não com adoção de parâmetros estáticos (de JONG VAN LIER; WENDROTH; VAN DAM, 2015). Vale ressaltar que, dentro dessa estimativa, a modelagem inversa apresenta-se mais representativa dos processos que ocorrem em condições de campo (RASOULZADEH; YAGHOUBI, 2014; BOURGEOIS *et al.*, 2016).

2.3 Redistribuição da água no solo

O processo de redistribuição da água no solo consiste em um processo dinâmico de difícil mensuração, no qual se verifica contínuo movimento de água em decorrência inicialmente da influência do potencial gravitacional. A redistribuição tem início quando cessa a infiltração da água (penetração vertical da água através da superfície do solo) proveniente da chuva ou irrigação e, diferentemente da infiltração, o movimento da água dentro do perfil não para (PREVEDELLO; ARMINDO, 2015).

Nesse processo, a taxa de fluxo descendente e a umidade serão

progressivamente diminuídas com o tempo, até o fluxo ser considerado desprezível. Ressalte-se que a velocidade de redistribuição da água no solo ocorre em tempos diferentes dependendo do tipo de solo, e em todas as condições é difícil a identificação do momento no qual podemos considerá-la nula, pois trata-se de um processo dinâmico; dessa forma, estabelecer o tempo em função da textura é inapropriado (LIBARDI, 2012).

O fato é que independente da textura do solo o fenômeno de redistribuição é o mesmo, uma vez que o conteúdo de água tende a reduzir-se nas zonas úmidas e a aumentar nas zonas secas, até que se atinja o equilíbrio. Nesse momento as forças matriciais e gravitacionais praticamente se anulam. Atingido o equilíbrio pode-se afirmar que o solo se encontra na capacidade de campo e que ela depende do fluxo de drenagem e este por sua vez está mais intimamente ligado à condutividade hidráulica do que ao potencial total da água no solo (KLEIN, 2012).

Em laboratório a estimativa da umidade na capacidade de campo foi obtida pelo processo de redistribuição da água no solo, por Ribeiro (2000), à qual se intitulou de “método do bulbo úmido”.

No método do bulbo úmido o procedimento experimental parte de uma amostra de terra fina seca ao ar que ao se adicionar água, fica instantaneamente saturada e sob a influência dos potenciais gravitacional e pressão. Na sequência, e muito rapidamente, a redistribuição dessa água ocorre em todas as direções, e, portanto, nessa condição o potencial mátrico começa a atuar.

Ocorre que o potencial mátrico, na parte inicial da amostra, é menor do que abaixo do ponto considerado no início, o que define um pequeno gradiente de potencial total da água no solo. Entretanto, como a condutividade hidráulica é alta, a água se redistribui rapidamente.

Seguindo o raciocínio, logo abaixo do ponto considerado anteriormente, o potencial mátrico é muito menor, o que faz o gradiente hidráulico aumentar, porém como nesse momento a condutividade hidráulica diminui, reduz-se o fluxo ao tempo em que se cria uma espécie de “proteção” da água no bulbo, sendo a umidade nesse instante correspondente a capacidade de campo.

Ribeiro (2000) comparou o procedimento descrito anteriormente com a estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo *in situ* e em laboratório, pelo método do extrator de Richards. Nesse estudo, a ideia central foi fixar um tempo no qual a umidade do solo estimada no bulbo fosse estatisticamente igual à do campo, método considerado padrão. Foram testados tempos de 3 a 90 minutos e dois volumes de água (1 e

2 mL) em três solos com classes texturais distintas: areia, franca e franco-arenosa. A autora concluiu que o método do bulbo úmido mostrou-se um bom estimador da umidade correspondente à capacidade de campo no tempo de 5 minutos, independente do volume empregado.

Chaves (2002), no entanto, encontrou resultado diferente com a estimativa da umidade na capacidade de campo quando testou o mesmo método, com os mesmos volumes em um solo de textura franco-argilo-arenosa nos tempos de 1, 3, 5 e 10 minutos.

Nesse ensaio foi verificado que, com um volume de água de 1 mL e tempo de redistribuição de 3 minutos, a umidade na capacidade de campo foi igual àquela obtida no método padrão nas condições de textura e estrutura estudadas. Entretanto, também foram verificadas igualdades com o procedimento *in situ* quando testados os tempos de 5 e 10 minutos, com o volume de 1 ml e tempos de 3 e 5 minutos com volume de 2 mL, método do bulbo úmido.

Ressalte-se que o objetivo central do método apresentado por Ribeiro (2000) foi tornar a estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo, em ambiente de laboratório, mais simples, em que o tipo de amostra (amostra com estrutura não preservada) não interferisse no resultado final da umidade.

Dessa forma, o método do bulbo úmido concentrou-se em fixar um tempo, que fosse comum a todas as classes texturais, de estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo, em que os valores estimados fossem semelhantes aos obtidos pelo método *in situ*, pois provavelmente se atribuímos o mesmo critério de drenagem insignificante da estimativa da capacidade de campo *in situ*, para o método do bulbo úmido, não se obteria um tempo comum a todos os solos, o que tornaria o método inviável para rotina de laboratório.

3 MATERIAL E MÉTODOS

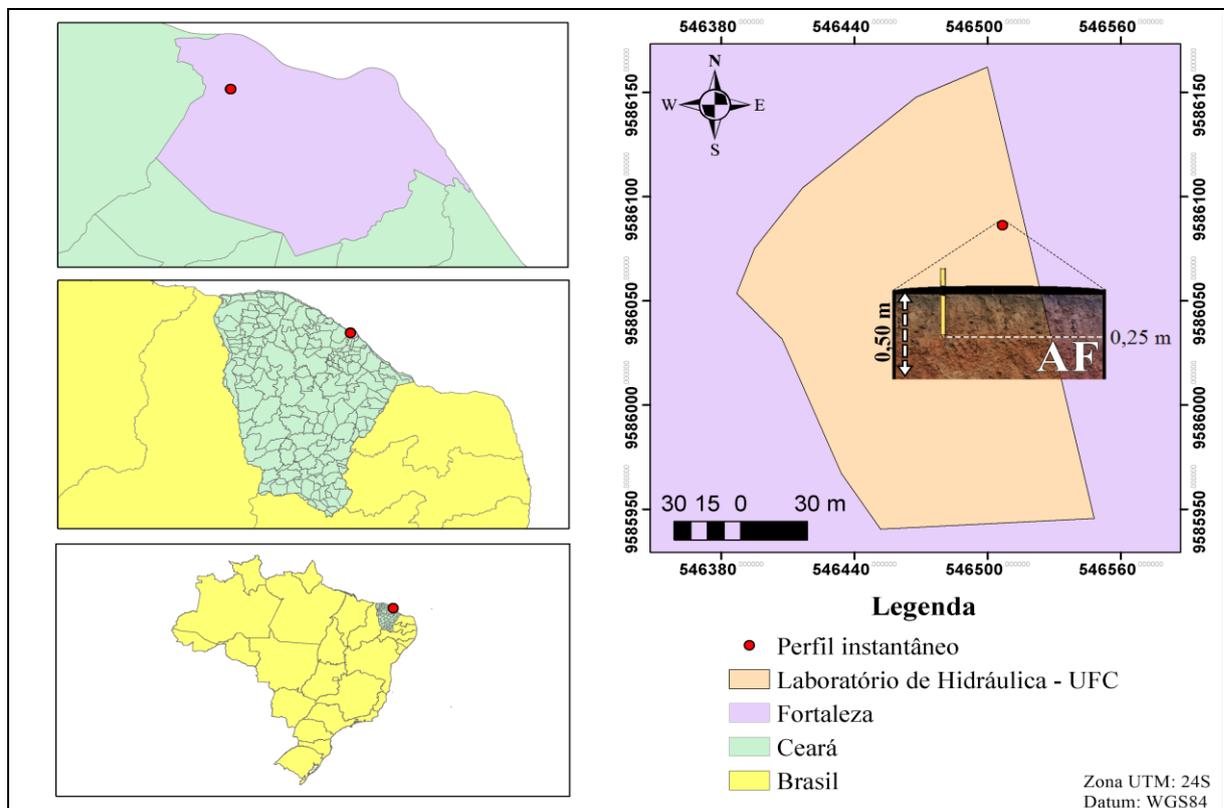
3.1 Locais dos ensaios

Inicialmente, procedeu-se à escolha do local de estudo, onde foram selecionadas parcelas experimentais de solos representativos e de importância agrícola para o Estado do Ceará, principalmente no tocante a fruticultura, na qual o manejo da irrigação é intenso.

A estimativa *in situ* foi realizada pelo procedimento do perfil instantâneo, em duas localidades, a saber: 1) na Universidade Federal do Ceará (UFC), em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PVA), conforme mostrado na Figura 1; 2) na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE), em um CAMBISSOLO HÁPLICO (Cx), conforme Figura 2.

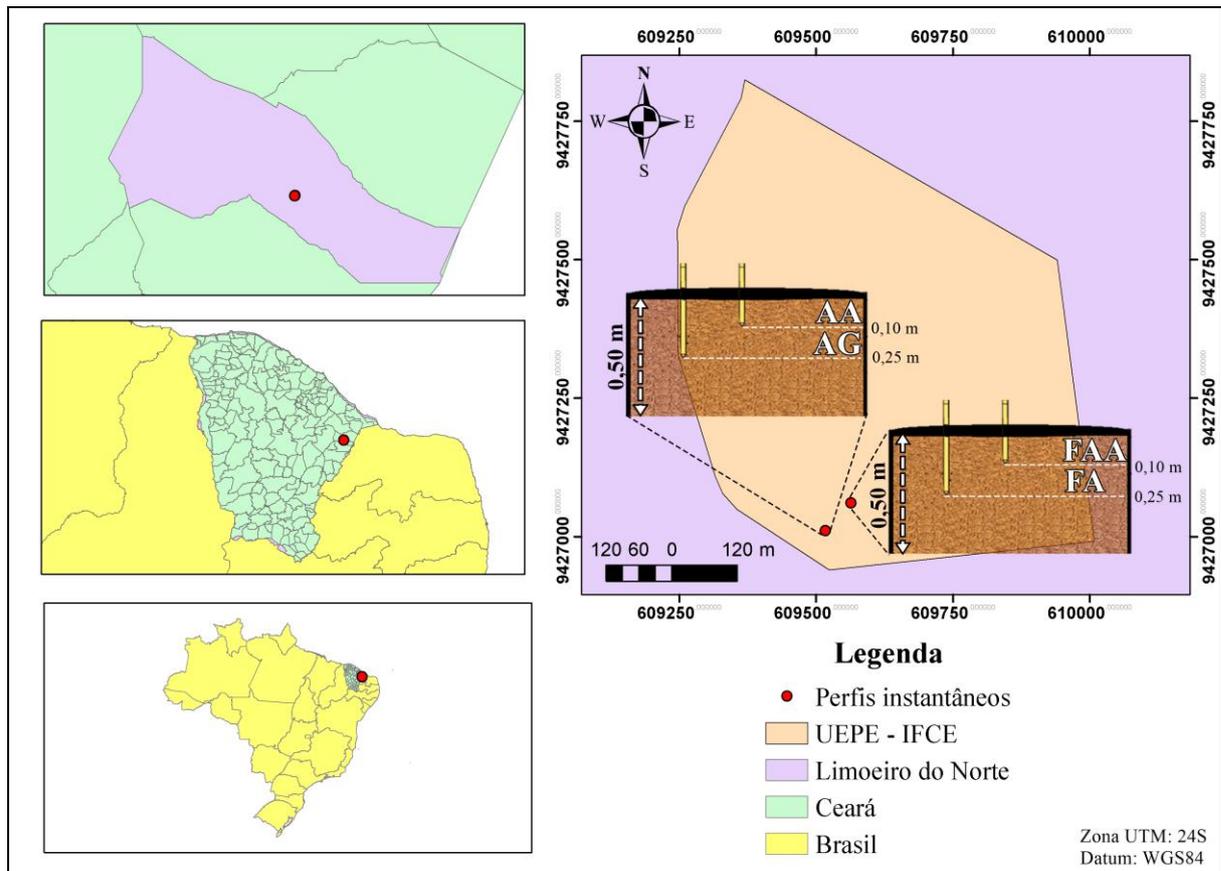
Dessa forma, foram realizados, no total, três ensaios de perfis instantâneos, que contemplaram cinco classes texturais, a saber: areia-franca (AF), franco-argilo-arenosa (FAA), franco-argilosa (FA), argilo-arenosa (AA) e argila (AG).

Figura 1 – Localização do perfil situado no ARGISSOLO VERMELHO AMARELO.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2 – Localização dos perfis situados no CAMBISSOLO HÁPLICO.



Fonte: elaborada pela autora

Em laboratório, a estimativa da umidade foi realizada pelo método do Bulbo úmido (Ribeiro, 2000), no Laboratório de Solo, Água e Tecidos Vegetais (LABSAT) do IFCE, Campus Limoeiro do Norte.

Na Tabela 1, podem-se visualizar os valores médios de alguns atributos físicos dos solos, das áreas pré-estabelecidas para implantação dos ensaios.

Tabela 1 – Atributos físicos dos solos PVA e Cx.

Solo	Prof. m	Densidade do solo		Composição Granulométrica			Classe Textural
		AV Mg m ⁻³	P Mg m ⁻³	Areia g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	
PVA	0,25	1,57 (0,03)	1,56 (0,02)	833 (0,99)	116 (0,38)	51 (1,23)	AF
	0,10	1,36 (0,07)	1,34 (0,02)	565 (0,14)	251 (0,11)	184 (1,37)	FAA
Cx	0,25	1,46 (0,15)	1,44 (0,02)	368 (2,03)	357 (1,94)	275 (2,65)	FA
	0,10	1,43 (0,13)	1,36 (0,06)	508 (0,19)	375 (0,26)	117 (0,33)	AA
	0,25	1,50 (0,04)	1,47 (0,03)	318 (0,78)	579 (0,12)	103 (0,88)	AG

*Entre parênteses estão os desvios-padrão provenientes de cinco repetições.

Fonte: elaborada pela autora.

3.2 Procedimento *in situ*

3.2.1 Instalação do perfil instantâneo

Para a implantação de cada parcela experimental, tomou-se uma área circular de 12,56 m². Nessa área foi feita uma delimitação lateral, na qual foi colocada uma lona plástica para garantir que o fluxo de água no perfil fosse apenas na direção vertical, segundo preconizam Hillel; Krentos; Stilianov (1972). Na sequência, foi construído, na parte superior do perfil, um dique de terra para evitar o escoamento superficial da água, no momento da saturação (Figura 3).

Figura 3 – Preparo do perfil e construção do dique de terra com a colocação da lona plástica.



Fonte: elaborada pela autora

Nas parcelas foram instalados tensiômetros, no entorno do centro da parcela em número de cinco (Figura 4), nas profundidades de 0,25 m no perfil do PVA e 0,10 e 0,25m nos perfis do Cx.

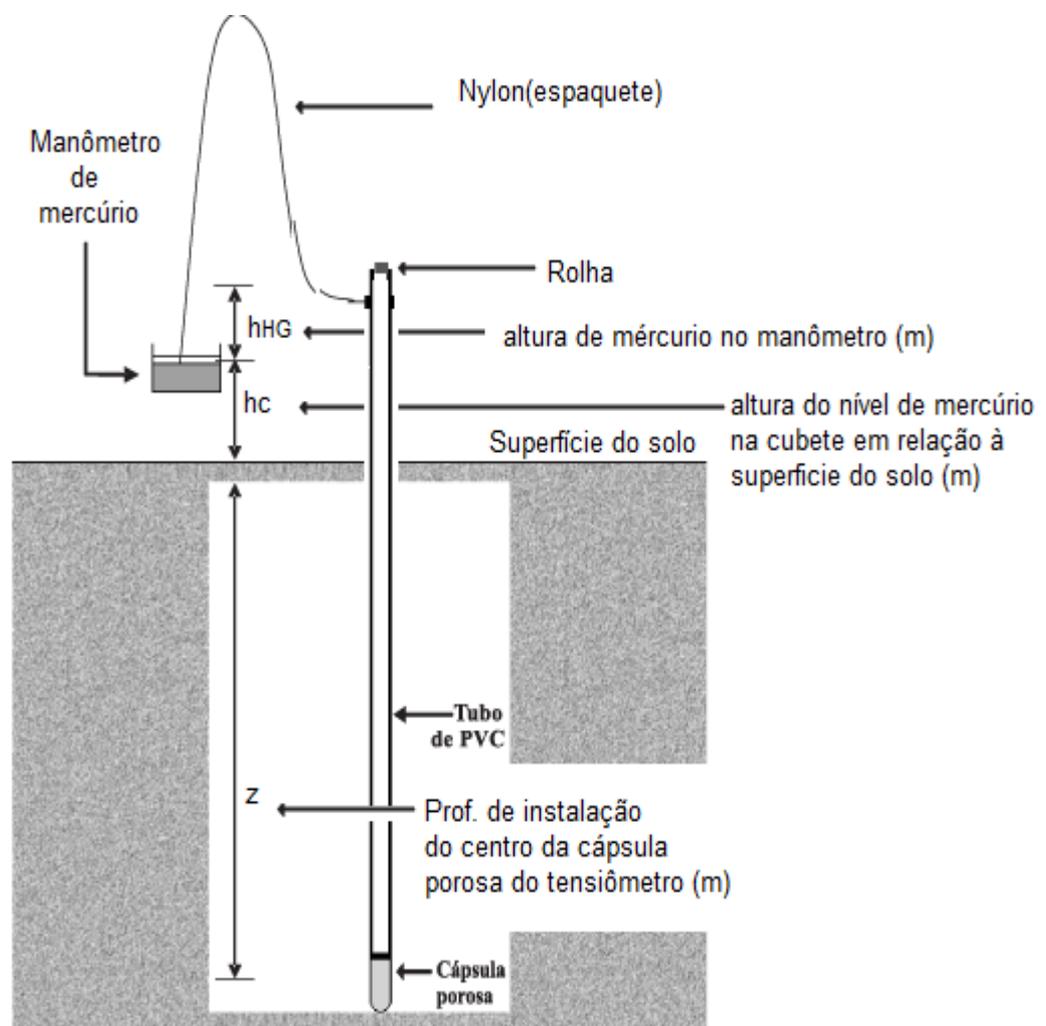
Figura 4 – Disposição dos tensiômetros nos perfis instantâneos.



Fonte: elaborada pela autora.

Os tensiômetros foram instalados utilizando um trado tipo rosca, com diâmetro idêntico ao da cápsula porosa, de modo que proporcionasse o melhor contato desta com o solo. O uso do tensiômetro foi utilizado para identificar o momento de saturação do solo. Na sua construção, utilizou-se tubo de PVC rígido, com cápsulas porosas de cerâmica e uma tubulação de “nylon”, conhecida como espaguete, com diâmetro interno de 0,002 m, a qual foi conectada ao reservatório de mercúrio (Figura 5).

Figura 5 – Diagrama esquemático com de um tensiômetro construído com sistema de leitura de manômetro de mercúrio acoplado em um tubo de PVC.



Fonte: adaptado de Brito *et al.* 2009.

Após o procedimento de instalação dos tensiômetros, iniciou-se o fornecimento de água às parcelas. O fornecimento de água foi suspenso quando as leituras dos tensiômetros, nas profundidades desejadas, indicaram potencial mátrico correspondente à

saturação.

Para saber qual leitura corresponde à profundidade desejada para saturação, utilizou-se a fórmula do tensiômetro a seguir:

$$\phi_m = -12,6h_{Hg} + h_c + z \quad (1)$$

Em que: ϕ_m é o potencial mátrico;

h_{Hg} é a altura de mercúrio no manômetro (m);

h_c a altura do nível de mercúrio na cubeta em relação à superfície do solo (m), e

z a profundidade de instalação do centro da cápsula porosa do tensiômetro (m).

As parcelas foram cobertas para evitar fluxos na interface solo-ar, isto é, na superfície do solo (Figura 6). Isso é necessário para garantir fluxo unidimensional, garantir fluxo zero na superfície e simplificar o modelo matemático da equação da continuidade associada à equação de Darcy, para fluxo em regime transiente.

Figura 6 – Perfis cobertos com lona plástica.



Fonte: elaborada pela autora

Uma delgada lâmina de água foi deixada sobre a superfície do solo. O momento em que ela se infiltrou no solo definiu o tempo zero de redistribuição da água no solo.

3.2.2 Tempo do ensaio no campo

O tempo zero ($t = 0$) de redistribuição de água no perfil foi considerado no momento em que a lâmina de água presente na superfície do perfil drenou. A partir desse marco esperaram-se duas horas para a coleta da primeira amostra. Esse procedimento foi comum em todos os ensaios.

As coletas de solo para estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo foram realizadas nos tempos relatados nos Apêndices A, B, C, D e E, para as classes texturais areia-franca, franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, argilo-arenosa e argila respectivamente.

Os tempos de estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo *in situ* nas classes texturais, podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de obtenção para a capacidade de campo *in situ* em todas as classes texturais.

Classe Textural	Prof. (m)	Tempo da estimativa da capacidade de campo (horas)
Areia-franca	0,25	247
Franco-argilo-arenos	0,10	171
Franco-argilosa	0,25	143
Argilo-arenosa	0,10	235
Argila	0,25	233

Fonte: elaborada pela autora

As coletas de solo, para estimar a umidade, foram realizadas com um trado tipo rosca, em número de cinco por textura, o que totalizou 25 amostras. A umidade foi estimada pelo método termogravimétrico. De posse dos valores de umidade com base em massa (u), a umidade foi transformada em conteúdo de água volumétrico (θ) utilizando-se a densidade do solo.

A estimativa da densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), com um extrator tipo Uhland, com anéis de dimensões nominais de 0,05 m de altura e diâmetro.

3.2.3 *Drenagem insignificante*

Foi estabelecido um critério estático para a finalização do ensaio *in situ*. Para isso, em todos os ensaios, a última coleta para estimar a umidade correspondente à capacidade de campo, foi realizada quando a drenagem se tornou insignificante.

Essa condição foi estabelecida pela taxa de variação da umidade com a variação de tempo ($\partial\theta/\partial t$). Na prática a drenagem interna não para, dessa forma essa variação foi arbitrada a um valor de $\partial\theta/\partial t = 0,001 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ como drenagem insignificante do ponto de vista prático.

Estabelecer esse valor de drenagem insignificante foi possível, devido ao fato de que a umidade tende a se tornar constante ao longo do tempo, e sua variação no tempo

$(\partial\theta/\partial t)$ tende a zero, o que se pode assumir que nesse momento o equilíbrio dos campos gravitacional e mátrico ocorre, e, portanto, também se atinge a umidade correspondente à capacidade de campo, ao tempo em que se conhece também a duração do ensaio.

Ocorre que ao se traçar uma reta “paralela” ao eixo x da curva (eixo dos valores de $\partial\theta/\partial t$), esta formará um ângulo de aproximadamente 180° e se for determinada a tangente desse ângulo, se obtém o valor zero. Neste caso tem-se uma situação em que a reta é assíntota, ou seja, a reta e a curva ficam muito próximas a medida que se afastam da origem do sistema de coordenadas, mas não se encontram.

Na prática, a drenagem interna não cessa, ela se reduz drasticamente o que pode ser considerada insignificante. Logo, ao se adotar um ângulo próximo a 180° com o eixo que represente essa drenagem insignificante, pode-se afirmar que é o ponto de obtenção da capacidade de campo (ALVES; BELONI; JÚNIOR, 2014). Nesse trabalho considerou-se um ângulo de $179,9^\circ$ para os cálculos, cuja tangente é 0,001.

Dessa forma, foi elaborado um gráfico de umidade versus tempo, para todas as classes texturais, e obtida a partir dele uma função que descreve o comportamento da relação da umidade versus tempo - Equação 2. Dessa forma foram obtidas a partir das funções com os tempos de leitura no campo, as umidades volumétricas ajustadas.

$$\theta = C t^{-n} \quad (2)$$

na qual: θ = umidade volumétrica, ($m^3 m^{-3}$);

t = tempo, (horas);

C e n = coeficientes ajustados.

Feito o ajuste das umidades, foi calculada para cada dia a variação de umidade no tempo ($\partial\theta/\partial t$). De posse dos valores da variação de umidade no tempo, foi elaborado outro gráfico, para todas as classes texturais, dessa vez tempo de redistribuição da água no perfil instantâneo versus a variação da umidade volumétrica em relação a esse tempo ($\partial\theta/\partial t$).

Com esse gráfico, obteve-se nova função, na qual era considerado que o solo estaria na capacidade de campo quando $\partial\theta/\partial t$ fosse igual a $0,001 m^3 m^{-3} d^{-1}$. Assim, se obtinha o tempo para o solo se encontrar na capacidade de campo. Encontrado o tempo, era inserido na primeira função, a qual fornecia o valor numérico da umidade correspondente à capacidade de campo pelo critério considerado de drenagem insignificante.

Por ocasião da finalização do procedimento *in situ*, coletaram-se, para cada textura, em cada profundidade, amostras com estrutura do solo não preservada, para a estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo pelo método do bulbo úmido, em laboratório.

3.2.4 Avaliação da CC pela equação da curva logística

Considerando-se que a capacidade de campo (CC) é atingida lentamente, com o desenvolvimento dos processos de drenagem gravimétrica, pode-se lançar mão de equações da família das curvas logísticas para estimar seu valor (CC), com base em dados temporais de umidade do solo. Essas equações têm como principal propriedade um valor último, ou seja, a equação é assintótica em relação a um valor final. No caso desta tese, o valor último corresponde exatamente à capacidade de campo, que pode ser então obtida por meio de calibração, tomando como base experimentos relativamente curtos, ou seja, experimentos que não se estendam até que seja medida efetivamente a CC. Entre as equações de curva logística, destaca-se – para a finalidade desta pesquisa – a Equação 3, proposta por Verlhurst e Pearl e utilizada por Navarro Hevia *et al.* (2014).

$$\theta(t) = [CC \cdot \theta_{sat} \cdot e^{\lambda \cdot t}] / [CC + \theta_{sat} \cdot (e^{\lambda \cdot t} - 1)] \quad (3)$$

na qual: θ = umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$);

θ_{sat} = umidade de saturação ($m^3 m^{-3}$);

CC = capacidade de campo, parâmetro a ser calibrado ($m^3 m^{-3}$); e

λ = parâmetro a ser calibrado (h^{-1}); e

t = tempo (h).

A Equação 3 possui dois parâmetros de processos, isto é, dois parâmetros que devem ser calibrados: CC e λ . Com base nos dados experimentais, os parâmetros foram calibrados pelo método de busca univariada, como utilizado por Araújo e Chaudhry (1998). A função objetivo usada na calibração foi o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (1970).

3.3 Método do bulbo úmido

O método do bulbo úmido consiste em obter a umidade gravimétrica de uma amostra de solo que tenha sido submetida a um processo de redistribuição de água, por um determinado tempo. Esse procedimento foi realizado em laboratório, com amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) (Ribeiro, 2000).

O teste consistiu da colocação de TFSA em vasos plásticos com capacidade de 1,10 litro. Foram utilizados cinco vasos por textura, cada vaso constituiu uma repetição, o que totalizou 25 vasos.

Volumes de água pré-estabelecidos (1 e 2 mL), foram adicionados na superfície do solo contido nos vasos (Figura 7) os quais eram imediatamente fechados, para evitar evaporação e garantir que o único fluxo existente fosse o de redistribuição de água dentro do vaso. Posteriormente foram permitidos quatro tempos de redistribuição interna, a saber: 1, 3, 5 e 10 minutos.

Figura 7 – Adição de água no vaso com pipeta automática.



Fonte: elaborada pela autora

Passados os tempos de redistribuição, procedeu-se a coleta dos bulbos úmidos formados no interior do vaso. A coleta de cada bulbo úmido foi realizada com auxílio de uma espátula. Evitava-se nos quais se evitava retirar terra seca além da frente de

molhamento, caso houvesse, a terra era removida com um pincel redondo e de filamento suave (Figura 8).

Figura 8 – Ilustração da coleta do bulbo úmido



Fonte: elaborada pela autora

Na sequência, os bulbos úmidos foram colocados em latas de alumínio, as quais foram rapidamente fechadas e pesadas para obter a massa úmida dos mesmos.

Esse procedimento descrito anteriormente, de coleta até a obtenção da massa úmida dos bulbos, foi realizado muito rapidamente, visando não perder água para o ambiente. Nesse ensaio o tempo máximo dessa operação não ultrapassou um minuto.

Conhecidas as massas úmidas dos bulbos, as amostras foram levadas à estufa com circulação forçada de ar a 105° C, até massa constante, para obter a massa seca dos bulbos.

Passado esse período, as amostras foram colocadas em dessecadores e posteriormente pesadas, para a obtenção da massa seca dos bulbos. Realizada essas etapas a umidade com base em massa (u) dos bulbos foram estimadas.

De posse dos valores de umidade com base em massa (u), a umidade foi transformada em conteúdo de água volumétrico (θ) utilizando-se a densidade do solo. A estimativa da densidade do solo foi realizada pelo método da proveta (EMBRAPA, 1997).

3.4 Análise estatística dos dados

Os dados para cada textura foram analisados considerando o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4 x 5 (dois volumes de água, quatro tempos de redistribuição de água e cinco repetições), com um tratamento controle (*in situ*).

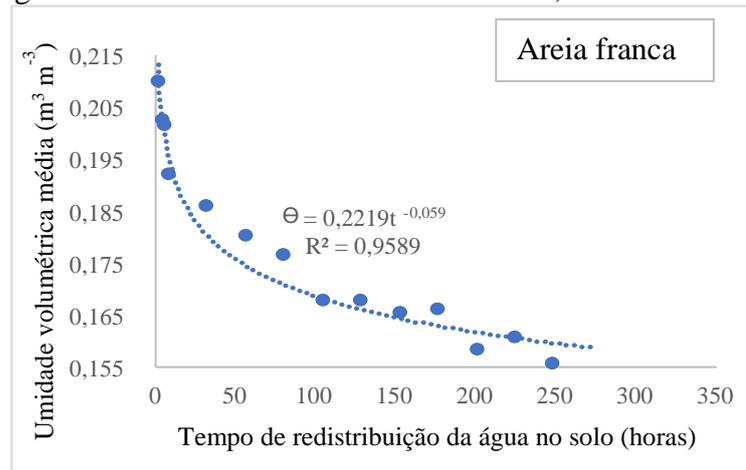
Foram verificadas as normalidades dos dados, feito isso, o teste F para a análise de variância foi realizado. As médias foram comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de significância, utilizando o programa estatístico ASSISTAT versão gratuita 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Tempo do ensaio no campo e critério da drenagem insignificante

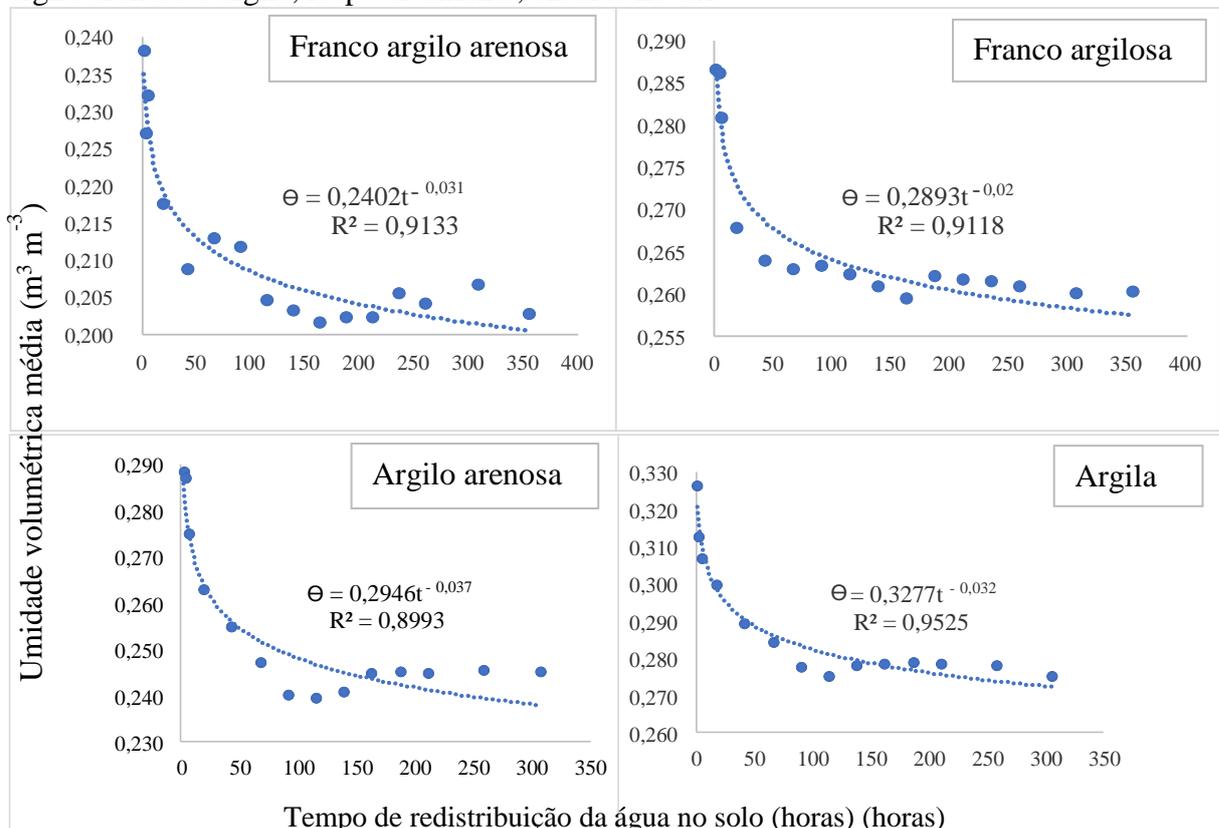
Nos Gráficos 1 e 2 podem-se visualizar a variação da umidade volumétrica média em função do tempo de redistribuição da água no solo nas cinco classes texturais.

Gráfico 1 – Curva de ajuste de umidade volumétrica média em função do tempo de redistribuição de água no solo da classe textural areia-franca, ensaio no PVA.



Fonte: elaborada pela autora.

Gráfico 2 – Curvas de ajustes de umidades volumétricas médias em função do tempo de redistribuição da água no solo das classes texturais franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, argilo arenosa e argila, respectivamente, ensaios no Cx.



Fonte: elaborada pela autora.

Percebe-se que as curvas de ajuste das umidades volumétricas médias em função do tempo de redistribuição de água no solo em todas as classes texturais indicam que a variação da umidade do solo decresce com o tempo após o processo de infiltração. Esse comportamento é relatado na literatura (Reichardt e Timm, 2012) e os dados dessa pesquisa corroboram esta assertiva.

Observando-se os resultados para redistribuição de água com o tempo nas amostras de solo com maior presença de argila, percebe-se maior variação, quando comparados com a classe textural areia-franca. Esse fato pode ser explicado, genericamente, pela formação de agregados nos materiais mais ricos em argila, na medida em que esses formam agregados no solo, modificando a geometria porosa em relação às amostras com predomínio de areia, o que altera, conseqüentemente, o balanço energético espacial e as possibilidades de fluxos de água.

De um modo mais específico, Köhne; Köhne e Gerke, (2002) afirmam que a agregação do solo pode levar à criação de caminhos preferenciais para o deslocamento da água no solo, e que, enquanto a matriz porosa fornece a maior parte do volume para armazenamento de água, o volume inter-agregados (importantes nas condições de altos conteúdos de água no solo), especialmente em condições próximas à saturação, provê caminhos de alta condutividade para o deslocamento da água no solo. Isso explica as oscilações no conteúdo de água com o tempo, nas amostras com quantidades maiores de argila: é necessário que os caminhos preferenciais, de maior fluxo, sejam preenchidos para que ocorra o fluxo. A água que acumula, antes de ocorrer o fluxo, advém de camadas suprajacentes.

Dessa forma pode-se afirmar que a variação de umidade no tempo nas classes texturais franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, argilo arenosa e argila, comportam-se em algum momento como nos solos arenosos, em relação à redistribuição de água no perfil.

Há muito se estuda agregados do solo quanto à sua distribuição por tamanho, estabilidade, densidade e resistência (CHEPIL, 1950; CURRIE, 1966; DEXTER; KROESBERGEN e KUIPERS, 1984). Entretanto, há poucas pesquisas investigando as propriedades hidráulicas dos solos no nível de agregados, principalmente por classe textural.

Nos Gráficos 3 e 4 pode-se visualizar o tempo de duração do ensaio *in situ* para a estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo nas classes texturais areia-franca, franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, argilo-arenosa e argila, respectivamente.

O tempo necessário para atingir a capacidade de campo no presente estudo foi maior do que as estimativas reportadas em Veihmeyer e Hendrickson (1931), quando afirmam que o tempo em que os solos atingem a capacidade de campo determinada *in situ*, ocorre geralmente em dois ou três dias.

Twarakavi *et al.* (2009) corroboram tal afirmação, quando relatam que solos com textura arenosa atingem a capacidade de campo em torno de três dias, acrescentando ainda que em solos com textura média e argilosa a umidade na capacidade de campo é alcançada entre seis e oito dias. Jabro *et al.* (2009) afirmam que o tempo necessário para atingir a capacidade de campo em solos com textura franco-arenosa e franco-argilosa, foi de 2 e 19 dias, respectivamente.

Brito *et al.* (2011), estudando um solo semelhante ao do trabalho anterior, obtiveram similaridade entre os resultados (2 dias) considerando a profundidade do solo de 0,2 m. Os autores ressaltam que o tempo necessário para atingir a capacidade de campo nesse trabalho foi menor do que os encontrados em Twarakavi *et al.* (2009).

Analisando o tempo obtido no ensaio da classe textural areia franca, situado no PVA, tem-se o maior tempo encontrado para todo o experimento *in situ*. Quando se parte da premissa de que um solo em condição de saturação, encontra-se com todo espaço poroso disponível a movimentação da água, logo, é maior a facilidade com que a água se transmite no perfil, em solos arenosos, do que em solos argilosos.

Porém o inverso ocorre com a não saturação, os solos de textura fina geralmente mantêm a continuidade da fase líquida em maior número de pontos por unidade de volume quando comparados com os solos de textura grosseira (LIBARDI, 2012). Dessa forma, como a condutividade hidráulica é maior em solos de textura arenosa, espera-se que o movimento da água no solo seja maior atingindo o equilíbrio mais rapidamente.

Ocorre que, quando se comparam os resultados de pesquisas, muitas vezes nos reservamos apenas à textura, sem analisar todas as condições de contorno e gênese dos solos, pois no ensaio situado no PVA em questão, há uma ocorrência de horizonte B textural, daí se tratar de um PVA, que tem o comportamento de uma camada de impedimento subsuperficial, o que pode ter levado a condição de equilíbrio a um tempo maior do que o esperado.

Na Tabela 3 verificam-se valores médios de umidade volumétrica correspondente à capacidade de campo, determinadas pelo procedimento do perfil instantâneo *in situ* e bulbo úmido nos volumes de 1 e 2 mL, com tempos de obtenção do bulbo de 1, 3, 5 e 10 minutos.

Tabela 3 – Valores médios de umidade volumétrica correspondente à capacidade de campo *in situ* em comparação com o método do bulbo úmido.

Classe Textural ¹	"In Situ"	Bulbo Úmido (1 mL)				Bulbo Úmido (2 mL)				DMS ²	C V ³
		1	3	5	10	1	3	5	10		
-----Min-----											
AF	0,162 (0,01) a	0,239 (0,01) b	0,209 (0,01) b	0,191 (0,01) b	0,165 (0,01) a	0,236 (0,03) b	0,214 (0,02) b	0,198 (0,01) b	0,169 (0,01) a	0,02	6
FAA	0,205 (0,03) a	0,268 (0,02) b	0,257 (0,01) b	0,240 (0,01) b	0,212 (0,02) a	0,276 (0,02) b	0,269 (0,01) b	0,257 (0,02) b	0,225 (0,01) a	0,03	6
FA	0,262 (0,02) a	0,373 (0,03) b	0,348 (0,02) b	0,294 (0,06) b	0,257 (0,02) a	0,377 (0,05) b	0,352 (0,03) a	0,298 (0,08) a	0,264 (0,02) a	0,02	4
AA	0,241 (0,02) a	0,341 (0,01) b	0,291 (0,01) b	0,276 (0,01) b	0,245 (0,02) a	0,347 (0,02) b	0,313 (0,01) b	0,280 (0,01) b	0,249 (0,01) a	0,02	5
AG	0,275 (0,02) a	0,393 (0,01) b	0,368 (0,02) b	0,314 (0,01) b	0,267 (0,02) a	0,412 (0,03) b	0,378 (0,03) b	0,328 (0,01) b	0,295 (0,01) a	0,03	6

¹ AF - Areia Franca; FAA - Franco argilo arenosa; FA - Franco argilosa; AA - Argilo arenosa; AG - Argila.

² DMS – Diferença mínima significativa.

³ C.V. – Coeficiente de variação.

*Entre parênteses estão os desvios-padrão, provenientes de cinco repetições.

*Em cada série de médias do bulbo úmido, valores seguidos da letra a, na linha, não diferem do procedimento "*in situ*", pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

De acordo com esses dados, a umidade determinada pelo método do bulbo úmido no volume de 1 mL, nos tempos de redistribuição de 1, 3 e 5 minutos, diferiram estatisticamente do tratamento controle (*in situ*) nas classes texturais analisadas. O mesmo comportamento foi observado para o volume de 2 mL.

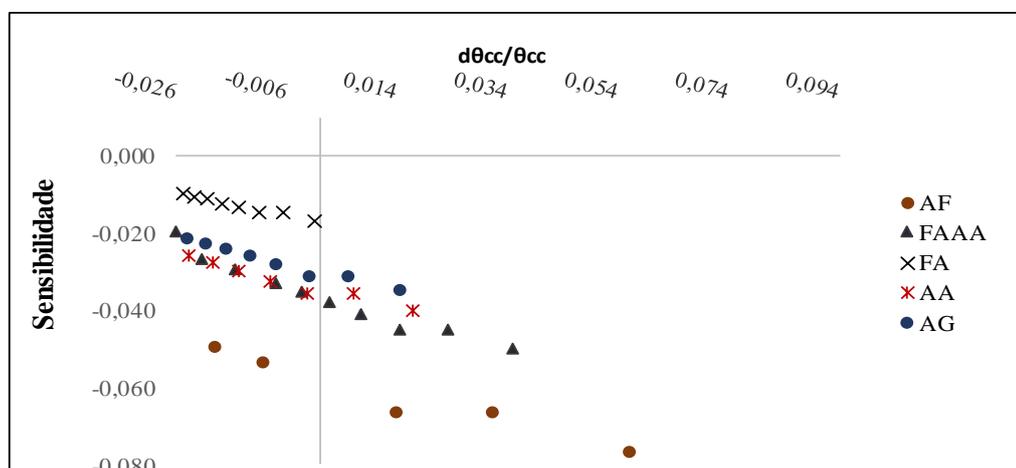
O tempo de redistribuição da água no qual o procedimento do bulbo úmido assemelhou-se ao procedimento *in situ*, no tocante ao armazenamento de água, foi de 10 minutos, para todas as classes texturais e para os dois volumes de água (1 e 2 mL) o que representa o tempo para a estimativa da capacidade de campo pelo método do bulbo úmido.

Esses resultados confrontam pesquisas anteriores. Segundo Ribeiro (2000), em solos com classes texturais de areia, franca e franco-arenosa, a estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo se deu a um tempo de 5 minutos independente do volume empregado. Para Chaves (2002), o tempo obtido nesse mesmo método foi de 3 e 5 minutos independente do volume empregado e de 10 min para o volume de 1 mL.

Ressalte-se que em ambos os trabalhos (RIBEIRO, 2000; CHAVES, 2002) o critério adotado foi baseado na indicação do conceito clássico de Veihmeyer e Hendrickson (1931) que recomendam esperar o solo drenar por dois ou três dias. Entretanto, na atual pesquisa o critério adotado foi mais robusto, tendo em vista estabelecer um valor de drenagem insignificante apropriado do ponto de vista prático.

Tal afirmação pode ser comprovada pela análise de sensibilidade, representada no Gráfico 5, que norteia a verificação do quanto do resultado de saída (estimativa da umidade) sofre interferência do parâmetro de entrada, no caso o tempo, que por sua vez é função da drenagem considerada insignificante.

Gráfico 5 – Representação gráfica da análise de sensibilidade.



Fonte: elaborada pela autora.

Pelo gráfico pode-se perceber que ocorre uma tendência dos pontos se situarem próximos a zero, em módulo, indicativo de sensibilidade baixa, ou seja, não é essa variável de entrada ($\partial\theta/\partial t = 0,001 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) que interfere no valor da capacidade de campo, ou seja, uma variação de 10% no tempo (parâmetro de entrada), corresponderia a um erro de 1% na capacidade de campo.

Essa suposição é satisfeita quando a faixa de variação do parâmetro de entrada é suficientemente estreita, o que ocorre no presente estudo, o que demonstra a adequação na utilização desse critério na estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo *in situ*. Em todas as classes texturais, pelo método do bulbo úmido, a umidade correspondente à capacidade de campo foi atingida no tempo de 10 minutos.

Outras inferências podem ser discutidas em relação ao método do bulbo úmido. Existem muitos questionamentos sobre as condições de contorno dos métodos, principalmente em ambiente de laboratório, ser bastante diferentes da condição *in situ* principalmente no tocante a heterogeneidade dos solos. A quantidade da amostra, com relação sua representatividade das áreas de interesse, também é questionada.

Embora admissíveis essas variações não são preocupantes do ponto de vista prático, tendo em vista que toda análise de rotina, realizada em laboratório, seja ela física, química ou biológica, provém de uma amostra, que geralmente não mantém a estrutura de campo.

Corroborando esse aspecto, quando se analisa os quantitativos de areia e silte dessas referidas texturas, percebe-se que há um incremento na quantidade de areia, juntamente com uma redução no silte na classe textural argilo-arenosa o que justifica os valores encontrados de umidade na capacidade de campo.

Ressalte-se que essa tendência quanto a estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo, para as duas classes texturais mencionadas, foi mantida em todos os tempos de redistribuição e nos dois volumes testados no método do bulbo úmido.

A estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo pelo método do bulbo úmido apresenta o mesmo comportamento observado nas classes citadas anteriormente, que o faz manter sua funcionalidade quanto essa estimativa de umidade.

Somando-se a isso, esse método apresenta a vantagem de ser de rápida execução, o que corresponde a uma fração de tempo menor que a obtida *in situ*, o que diminui bastante o tempo de obtenção dos resultados.

Outros fatores a serem considerados no método do bulbo úmido, favorecendo-o, diz respeito a sua precisão e exatidão. Esse método apresentou boa reprodutibilidade, ou

seja, boa precisão, tendo em vista a pequena dispersão dos resultados, o que pode ser comprovado pelos desvios-padrão dos mesmos.

Quanto à sua exatidão, pode-se afirmar que o método é exato, devido aos valores obtidos de umidade correspondente à capacidade de campo se apresentar próximos dos valores considerados como referência (procedimento *in situ*).

4.2 Avaliação da capacidade de campo pela equação da curva logística

A Tabela 4 apresenta os resultados de estimativa de capacidade de campo para as cinco texturas analisadas.

Tabela 4 – Valores de capacidade de campo e parâmetros da Equação 3. O valor de μ corresponde à média absoluta das diferenças.

Textura	CC in situ	Duração máxima 356 h		Duração máxima 240 h		Duração máxima 120 h	
		CC (Eq.3)	Diferença	CC (Eq.3)	Diferença	CC (Eq.3)	Diferença
AF	0,161	0,167	3,6%	0,171	6,1%	0,177	9,8%
FAA	0,205	0,204	-0,5%	0,206	0,3%	0,206	0,7%
FA	0,262	0,262	0,0%	0,260	-0,7%	0,262	0,0%
AA	0,241	0,246	2,0%	0,248	3,1%	0,252	4,6%
AG	0,275	0,273	-0,5%	0,282	2,5%	0,286	3,9%
μ	(-)	(-)	1,3%	(-)	2,5%	(-)	3,8%

Considerando-se os valores dos experimentos medindo a umidade em até 356 h, a diferença média de CC em relação ao procedimento de perfil instantâneo foi de apenas 1,3%, com valor máximo para a textura areia franca (3,6%) e com valor mínimo para a textura franco argilosa (0%). Tomando-se somente os resultados experimentais com duração de até 240 h, a diferença média sobre para 2,5%. Mais uma vez, o valor máximo correspondeu à textura areia franca (6,1%) e o valor mínimo foi observado para a textura franco argilo-arenosa (0,3%). Por fim, restringindo-se os dados experimentais àqueles obtidos em até 120 h, a diferença média sobe para 3,8%. Assim como nas análises anteriores, o maior valor foi observado para a textura areia franca (9,8%), enquanto que o mínimo foi encontrado para a textura franco argilosa (0%). Em média, nas três análises, a textura franco argilosa foi aquela que apresentou comportamento mais previsível em relação à Equação 3, indicando diferença média de apenas 0,3% (valor máximo de 0,7%).

5. CONCLUSÃO

No método do bulbo úmido, os volumes de 1 e 2 mL com tempo de 10 minutos para redistribuição de água, substitui, em laboratório, o procedimento *in situ*.

Perspectivas

Os resultados dessa pesquisa nos permitem inferir um pouco mais sobre alguns aspectos não abordados nesse estudo. Para o tempo de obtenção do valor numérico da umidade na capacidade de campo ser bem reduzido no método do bulbo úmido, a atenção deve ser dirigida para a obtenção da massa seca do bulbo, a qual é realizada em estufa geralmente por um período de 24 horas.

Sabe-se que alguns estudos foram realizados para propor a determinação da umidade do solo com a utilização do forno de microondas (SOUZA, *et al.*, 2002; MENDES, *et al.*, 2007; MIRANDA *et al.*, 2008; FONSECA *et al.*, 2009; BUSKE *et al.*, 2014). Porém ainda não se chegou a um consenso, a pesar dos referidos trabalhos relatarem resultados satisfatórios. O que se pode constatar é a falta de padrão por parte das pesquisas para a utilização do forno de microondas na secagem das amostras, principalmente em relação à potência utilizada, o que compromete a reprodutibilidade do mesmo.

Outro aspecto que pode ser abordado refere-se ao método em termos de princípio físico de redistribuição de água no solo, onde se pode realizar as estimativas de umidade no bulbo úmido utilizando o mesmo critério adotado (drenagem insignificante) para o procedimento *in situ*. Dessa forma, pode originar informações que possam ser discutidas em termos de fenômeno físico de redistribuição da água no solo.

Assim, mesmo que não atenda ao objetivo da rotina de laboratório, pois provavelmente os tempos serão diferentes para as diferentes classes texturais, os dados gerados dessa nova forma de estimar a capacidade de campo no bulbo úmido, pode trazer a luz do conhecimento um melhor entendimento do processo dinâmico da redistribuição de água no solo, o que não invalida o método.

REFERÊNCIAS

- AHUJA, L.R.; NAMEY, J.W.; WILLIAMS, R.D. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.1100-1105, 1985.
- AJAYI, A.E. *et al.* Comparison of estimation methods of soils strength in five soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 487–495, 2009.
- ALMEIDA, C.X.; CENTURION, J.F.; JORGE, R.F.; BARBOSA, J.C.; ANDRIOLI, I. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 1745–1755, 2012.
- ALVES, G. J.; BELONI, A. A. P.; JÚNIOR, J. A. J. Utilização de correlação de método de campo e regressão linear a fim de estimar a capacidade de campo (θ_{cc}) para um Latossolo Vermelho distrófico típico das regiões do cerrado sul mineiro. **Revista Profiscientia**, Cuiabá, MT, v. 7, p. 107-123, 2014.
- ANDRADE, C.L.T.; FREITAS, J.A.D.; LUZ, L.R.Q.P. Características físico-hídricas de solos arenosos de tabuleiro litorâneos. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, 1991, Natal. **Anais...** Natal: ABID, v. 1, p. 1069-1095, 1991.
- ANDRADE, C.L.T. *et al.* Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. *In*: FARIA, M. A. *et al.* **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 1-132, 1998.
- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Campina Grande, v. 15, n. 63, p. 111–116, 2011.
- ARAÚJO, J. C.; CHAUDHRY, F. H. Experimental Evaluation of a 2D Entropy Model in Open Channels. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 124, n.10, p. 1064-1068, 1998.
- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.
- ASCHONITIS, V.G. *et al.* Estimation of field capacity for aggregated soils using changes of the water retention curve under the effects of compaction. **European Journal of Soil Science**, v. 64, n. 5, p. 688–698, 2013.
- ASSOULINE, S.; OR, D. Water Resources Research, **Water Resources Research**, [S. l.] v. 50, p. 4787–4802, 2014.
- ALWAY, F.J.; MCDOLE, G.R. Relation of the water retaining capacity of a soil to its hygroscopic coefficient. *In*: **Journal of Agricultural Research**, Lahore, v. 9, n. 2, p. 27- 71, 1917.

BERNARDES, R.C. **Funções de pedotransferência e qualidade física de três solos do norte fluminense para a cultura do coqueiro anão**. 140 p. 2010. (Tese de Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BIASSUSI, M. **Simulação do movimento da água no solo utilizando modelo numérico**. 84p. 2001. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BOURGEOIS, O.L. *et al.* Inverse modeling of soil water content to estimate the hydraulic properties of a shallow soil and the associated weathered bedrock. **Journal of Hydrology**, [S. l.] v. 541, p. 116-126, 2016.

BRIGGS, L.J.; McLANE, J.W. The moisture equivalent of soils. Washington: USDA, **Bureau of Soil**. Bulletin. n. 45 p. 23, 1907.

BRIGGS, L.J.; McLANE, J.W. Moisture equivalent determinations and their application. **Soil Science Society of America Proceedings**, [S. l.] v. 2, p. 138-147, 1910.

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

BRITO, Alessandro dos Santos; LIBARDI, Paulo Leonel; MOTA, Jaedson Cláudio Anunciato and MORAES, Sergio Oliveira. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2009, vol.33, n.1, pp.17-24. ISSN 1806-9657. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100002>.

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**, Viçosa, v. 35, n. 6, p.1939-1948, 2011.

BUSKE, T. C. *et al.* Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 19, p. 315-324, 2014.

CAMPBELL, G. S.; SMITH, D. M.; AND TEARE, B. L. Application of a dew point method to obtain the soil water characteristic, Proceedings of the Second International Conference on Mechanics of Unsaturated Soils, **Experimental Unsaturated Soil Mechanics**, Bauhaus-Universität, Weimar, Germany, March v. 7, n. 9, p. 71-77, 2007.

CARVALHO, L.G.; SAMPAIO, S.C.; SILVA, A.M. Determinação da umidade na capacidade de campo "in situ" de um Latossolo Roxo distrófico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/SBCS, v. 1, p. 32-34, 1995.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 59-66, 2008.

CASSEL, D.K.; NIELSEN, D.R. Field capacity and available water capacity. *In*: KLUTTE,

A. (Ed.) **Methods of soil analysis. Part 1, Physical and mineralogical methods**. 2^a ed. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of Agronomy, p. 901-926, 1986.

CHAVES, A.F. **Desempenho de um método alternativo na determinação da capacidade de campo em um cambissolo da chapada do Apodi - Ce**, 31p. 2002. (Monografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

CHEPIL, W. S. Methods of Estimating Apparent Density of Discrete Soil Grains and Aggregates. **Soil Science**, v. 70, p. 351-362, 1950.

CIRINO, C.G.; GUERRA, H.O.C. Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 12, p. 1973-1978, 1994.

CRUZ, F.A. **Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica-RJ**. 64 p. 2005. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

CURRIE, J. A. The volume and porosity of soil crumbs. **Journal of Soil Science**, v. 17, n. 1, p. 24-35, 1966.

DARDENGO, M.C.J.D. *et al.* Avaliação da capacidade de campo em dois solos da região sul do estado do Espírito Santo por diferentes métodos de determinação. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8. Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação, 5, 2005, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: UNIVAP, p. 1736-1739, 2005.

DAVALO, Marcelo Jara. **Curva de retenção de água no solo estimado pelo método da câmara de Richards e psicrômetro**. 92 p. 2013. (Dissertação de mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/88324>>. Acesso em 17 de maio de 2017.

DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B.; KUIPERS, H. Some Mechanical Properties of Aggregates of top Soils from the IJsselmeer Polders. 1. Undisturbed Soil Aggregates. Netherlands **Journal of Agricultural Science**, v. 32, p. 205-214, 1984.

DEXTER, A.R.; BIRD, N.R.A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil & Tillage Research**, Boulder, v. 57, p. 203- 212, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

FABIAN, A.J.; OTTONI FILHO, T.B. Determinação de curvas de infiltração usando uma câmara de fluxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 325-333, 1997.

FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T.B. Determinação de capacidade de campo “*in situ*” ou através de equações de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1029-1036, 2000.

FERNANDES, B.; SYKES, D.J. Capacidade de campo e retenção de águas em três solos de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 15, p. 1-39, 1968.

FERREIRA, M.M.; MARCOS, Z.Z. Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico e regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. **Ciência e Prática**, Bebedouro, v. 7, p. 96-101, 1983.

FONSECA, S. O. *et al.* Avaliação do método do forno microondas para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa. In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009. **Anais eletrônicos...** [S.l.], 2009. Disponível em: < http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0213_0306_01.pdf > . Acesso em: 10 de agosto de 2016.

GARDNER, W. R. Dynamic aspects of water availability to plants. **Soil Science**, Maryland, v. 89, p. 63–73, 1960.

GIAROLA, 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, p. 885- 893, 2002.

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.**, [S. l.]. v. 70, p. 83-96, 2004.

GUBIANI, P. I. *et al.* Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 77, p. 19-24, 2012.

HAINES, W.B. Studies in the physical properties of soil. **Journal Agricultural Science**, v. 20, p. 97-116, 1930.

HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STILIANOV, Y. Procedure and test of na internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ, **Soil Science**, Maryland, v. 114, p. 395-400, 1972.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 771p. 1980.

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

JABRO, J. D. *et al.* Estimating in situ soil–water retention and field water capacity in two contrasting soil textures. **Irrigation Science.**, v. 27, p. 223–229, 2009.

DE JONG VAN LIER, Q.; Índices da disponibilidade de águas para as plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 95-106, 2000.

DE JONG VAN LIER, Q.; Disponibilidade de água às plantas. In: Quirijn de Jong van Lier. **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 283-298, 2010.

DE JONG VAN LIER, Q.; WENDROTH, O.; VAN DAM, J.C. Prediction of winter wheat yield with the SWAP model using pedotransfer functions: An evaluation of sensitivity, parameterization and prediction accuracy. **Agricultural Water Management**, [S. l.]. v. 154, p. 29–42, 2015.

DE JONG VAN LIER, Q.; WENDROTH, O.; Reexamination of the Field Capacity Concept in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**. v. 0, p. 1-1,2016.

JURY, W.A., GARDNER, W.R., AND GARDNER, W.H. **Soil physics**. 5th ed. New York: J. Wiley, 1991.

KIRKHAM, M.B. **Principles of soil and plant water relations**. Elsevier Academic Press, San Diego, 2005.

KLEIN, V. A. *et al.* Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com o psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.

KLEIN, V.A.; MARCOLIN C.D. Utilização do psicrômetro WP4 –T para determinação do potencial da água no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Embrapa/SBCS 2008. 1 CD-ROM

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: EDIUPF, 212 p. 2012.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C.H. Hydraulic conductivity and diffusivity-Laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, cap. 28, p. 687-732, 1986.

KÖHNE J. M.; KÖHNE, S.; GERKE, H. H. Estimating the Hydraulic Functions of Dual Permeability models from Bulk Soil Data. **Water Resources Research** 38 (7): 26, 2002.

LEÃO, T. P. *et al.* Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 415-422, 2004.

LEAMER, R.W.; SHAW, B. A simple apparatus for measuring noncapillary porosity an extensive scale. **Journal. America Society Agronomy**, v. 33, p. 1003-1008, 1941.

LIBARDI, P.L. *et al.* Simple field methods for estimating hydraulic conductivity soil. **Science Society America Journal**, Madison, v. 44, p. 3-7, 1980.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, 2012.

MARSHALL, T.J.; STIRK, G.B. Pressure potential of water moving downward into Soil. **Soil Science**, Washington, v. 68, p. 359-70, 1949.

MARTÍNEZ, E.M.; CUESTA, T.S.; CANCELA, J.J. The efficiency of different estimation methods of hydro-physical limits, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1756–1768, 2012.

MELLO, C.R. de. *et al.* de. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da microrregião Campos das Vertentes, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1319- 1324, 2002.

MEYER, P.D.; GEE, G. Flux based estimation of field capacity. **Journal of Geotechnical & Geo environmental Engineering**, Reston, v. 125, p. 595–599,1999.

MIDDLETON, H.E. The moisture equivalent in relation to the mechanical analysis of soils. **Soil Science**, Washington, v. 9, n. 2, p. 159-1 67, 1920.

MILLER, R. D.; MCMURDIE, J. L. Field capacity in laboratory columns. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 17, p. 185–190, 1953.

NACHABE, M.H. Refining the definition of field capacity in the literature. **Journal. Irrigation Drainage Eng-ASCE**, v. 124, p. 230–232, 1998.

MENDES, J. M. L. *et al.* Determinação da umidade do solo através do forno microondas. In: **I WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO**. Sobral-Ceará, 2007.

MIRANDA, E. P. *et al.* Determinação da umidade do solo no forno de microondas em diferentes potências. In: **II WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO**, Fortaleza-Ceará, 2008.

NASCIMENTO, G.B. *et al.* Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, p. 560–569, 2010.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I - a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, p. 282–290, 1970.

NAVARRO HEVIA, J.; ARAÚJO, J.C. de; MONGIL MANSO, J. Assessment of 80 years of ancient-badlands restoration in Saldaña, Spain. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 12, p. 1563–1575, 2014.

NEMES, A.; PACHEPSKY, Y.A.; TIMLIN, D.J. Toward Improving Global Estimates of Field Soil Water Capacity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 3, p.807–812, 2011.

NETTO, A.O.A.; NACIF, P.G.S.; REZENDE, J.O. Avaliação do conceito de capacidade de campo para um latossolo amarelo coeso do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 661-667, 1999.

OGATA, G.; RICHARDS, L.S. Water content changes following irrigation of bare field soil that is protected from evaporation. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 21, p. 355-356, 1957.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 3, p. 197-200. 1968.

OLIVEIRA, L.B. *et al.* Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potencias específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 315- 323, 2002.

OLIVEIRA, A. E. *et al.* Erros e precisão na determinação da curva de retenção de água no solo com psicrômetro de ponto de orvalho. In: VIII Reunião sul-brasileira de ciência do solo. A ciência do solo frente à diversidade da agricultura: do Saraquá à agricultura de precisão. Santa Maria: **Anais...**p. 5. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

OTTONI FILHO, T.B. *et al.* Estimation of field capacity from ring infiltrometer-drainage data. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 1765–1771, 2014.

PIPER, C.S. **Soil and Plant Analysis**. Adelaide Univ. Press, Adelaide, 368 p. 1950.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO. R.A. **Física do solo: com problemas resolvidos**. 2. ed. revisada e ampliada. Curitiba, 474p. 2015.

PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J. Soil structure and pedotransfer functions. **Europe Journal Soil Science**, [S.l.], v. 54, p. 443-451, 2003.

RASOULZADEH, A.; YAGHOUBI, A. Inverse modeling approach for determining soil hydraulic properties as affected by application of cattle manure. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, [S. l.], v. 7, p. 27–35,2014.

REICHARDT, K. Capacidade de Campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, n. 13, p. 211-216, 1988.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba: ESALQ: Departamento de Física e Meteorologia, 1996.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 2.ed. Barueri, Manole, 524 p. 2012.

RIBEIRO, F.V.M. **Comparação entre a capacidade de campo obtida in situ e por métodos de laboratório em três solos do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2000, 42f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

RICHARDS, L.A. Pressure membrane apparatus-construction and use. **Agronomy Engineering**, [S.l.], v. 28, p. 451-454, 1947.

RICHARDS, L.A. Methods of measuring moisture tension. **Soil Science**, Washington, v. 58, p. 95-112, 1949.

RICHARDS, S. J.; WEEKS, L. V. Capillary conductivity values from moisture yield and tension measurements on soil columns. **Soil Science Society American Proceedings**,

Madison, v. 17, p. 206-208, 1953.

RICHARDS, L.A.; GARDNER, W. R.; OGATA, G. Physical processes determining water loss from soil. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 20, p. 310-314, 1956.

RIVERS, E.D.; SHIPP, R.F. Available water capacity of sandy and gravelly North Dakota soils. **Soil Science**, Washington, v. 113, p. 74-80, 1971.

ROMANO, I.; SANTINI, A. Water retention and storage: Field. In: Dane, J. H ; Topp, C. (Eds.) Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. **Soil Science Society of America**, Madison, p. 721-38, 2002.

RUIZ, H.A.; FERREIRA, G.B.; PEREIRA, J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 389-393, 2003.

RUSSEL, J.C.; BURR, W.W. Studies on moisture equivalent of soils. **Soil Science**, Washington, v. 19, n. 4, p. 251-266, 1925.

SALTER, P.J.; HAWORTH, F. The available-water capacity of sand loam soil. I. A critical comparison of methods of determining the moisture content of soil at capacity and at the permanent wilting percentage. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.12 p.326-34. 1961.

SCARPARE, F.V. **Simulação do crescimento da cana-de-açúcar pelo modelo agrohidrológico SWAP/WOFOST**. 163 p. 2011. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. **Programa computacional ASSISTAT (Assistência Estatística) para o sistema operacional Windows**. Versão gratuita 7.7. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), PB, 2016.

SILVA, A.P. da; KAY, B.D.; PERFECT, E., Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SOUZA, L.D.; REICHARDT, K. Estimativas de capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 183-189, 1996.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana de açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 21, p. 677-684, 1997.

SOUZA, C.C. de *et al.* Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 337-341, 2002.

- SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 7–15, 2004.
- SMITH, A. Relation of the mechanical analysis to the moisture equivalent of soils. **Soil Science**, Washington, v. 4, n. 6, p. 471-476, 1917.
- TAVARES, M.H.F.; FELICIANO, J.J.S.; VAZ, C.M.P. Análise comparativa de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Irriga**, Botucatu, v. 13, p. 517-524, 2008.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998.
- TWARAKAVI, N.K.C.; SAKAI, M.; SIMUNEK, J. An objective analysis of the dynamic nature of field capacity. **Water Resources Research**, Washington, v. 45, p. 1-9, 2009.
- VAN BAVEL, C.H.M.; STIRK, G.B., BRUST, K.J. Hydraulic properties of a clay loam soil and the field measurement of water uptake by roots: 1. Interpretation of water content and pressure profiles. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 32, p. 310-317, 1968.
- VAN DAM, J. C.*et al.* Advances of Modeling Water Flow in Variably Saturated Soils with SWAP All rights reserved. **Vadose Zone Journal**, [S.l.] v. 7, p. 640-653, 2008.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils”. **Soil Science**, Washington, v. 32, p. 181-193, 1931.
- WAGENET, R.J.; BOUMA, J.; GROSSMAN, R.B. Minimum data sets for use of soil survey information in soil interpretive models. *In*: MAUSBACK, M.J.; WILDING, L.P. **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison: Soil Science Society of America, 1991.
- WATSON, K.K. Instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unstraturated porous materials. **Water Resources Research**, Washington, v. 2, n. 4, p. 709-715, 1966.

**APÊNDICE A – DADOS DE UMIDADES VOLUMÉTRICAS DAS CLASSES
TEXTURAS COLETADAS *IN SITU*.**

Tabela 5 – Classe textural areia-franca, profundidade de 0,25 m no pva.

Data	Tempo (h)	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	θ médio ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	d θ /dt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	θ médio ajustado ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
		1	2	3	4	5			
07/08/2014	2	0,222	0,178	0,232	0,195	0,222	0,210		0,213
07/08/2014	4	0,220	0,173	0,228	0,192	0,200	0,202	0,102	0,205
07/08/2014	6	0,210	0,210	0,202	0,181	0,204	0,201	0,058	0,200
07/08/2014	8	0,185	0,193	0,188	0,181	0,213	0,192	0,040	0,196
08/08/2014	32	0,179	0,174	0,197	0,182	0,198	0,186	0,015	0,181
09/08/2014	56	0,180	0,189	0,179	0,179	0,174	0,180	0,006	0,175
10/08/2014	80	0,177	0,168	0,195	0,172	0,171	0,177	0,004	0,171
11/08/2014	104	0,169	0,161	0,187	0,145	0,178	0,168	0,003	0,169
12/08/2014	128	0,166	0,170	0,181	0,154	0,169	0,168	0,002	0,167
13/08/2014	152	0,161	0,161	0,185	0,144	0,174	0,165	0,002	0,165
14/08/2014	176	0,168	0,162	0,180	0,150	0,170	0,166	0,001	0,164
15/08/2014	200	0,155	0,163	0,168	0,154	0,152	0,158	0,001	0,162
16/08/2014	224	0,149	0,159	0,181	0,158	0,156	0,161	0,001	0,161
17/08/2014	248	0,159	0,155	0,157	0,152	0,154	0,156	0,001	0,160
18/08/2014	272	0,149	0,147	0,160	0,147	0,156	0,152	0,001	0,159

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 6 – Classe textural franco-argilo-arenosa, profundidade de 0,10 m no Cx.

Data	Tempo (h)	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	θ médio ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	d θ /dt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	θ médio ajustado ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
		1	2	3	4	5			
14/09/2014	2	0,208	0,230	0,273	0,242	0,238	0,238		0,235
14/09/2014	4	0,200	0,225	0,241	0,240	0,230	0,227	0,060	0,230
14/09/2014	6	0,196	0,231	0,246	0,239	0,249	0,232	0,034	0,227
15/09/2014	19	0,189	0,228	0,233	0,236	0,202	0,218	0,015	0,219
16/09/2014	43	0,188	0,220	0,207	0,234	0,195	0,209	0,005	0,214
17/09/2014	67	0,185	0,222	0,223	0,232	0,202	0,213	0,003	0,211
18/09/2014	91	0,180	0,222	0,227	0,232	0,199	0,212	0,002	0,209
19/09/2014	115	0,165	0,221	0,215	0,231	0,192	0,205	0,002	0,207
20/09/2014	139	0,164	0,219	0,213	0,231	0,190	0,203	0,001	0,206
21/09/2014	163	0,162	0,220	0,208	0,230	0,187	0,202	0,001	0,205
22/09/2014	187	0,164	0,221	0,206	0,230	0,191	0,202	0,001	0,204
23/09/2014	211	0,161	0,220	0,213	0,230	0,188	0,202	0,001	0,203
24/09/2014	235	0,176	0,219	0,209	0,229	0,194	0,206	0,001	0,203
25/09/2014	259	0,177	0,219	0,205	0,228	0,192	0,204	0,001	0,202
27/09/2014	307	0,176	0,218	0,214	0,229	0,196	0,207	0,001	0,201
29/09/2014	355	0,166	0,218	0,206	0,230	0,194	0,203	0,000	0,200

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 7 – Classe textural franco-argilosa, profundidade de 0,25 m no Cx.

Data	Tempo	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	θ médio	$d\theta / dt$	θ médio ajustado
	(h)	θ ($m^3 m^{-3}$)					$(m^3 m^{-3})$	$(m^3 m^{-3} d^{-1})$	$(m^3 m^{-3})$
14/09/2014	2	0,292	0,301	0,295	0,228	0,317	0,287		0,285
14/09/2014	4	0,295	0,302	0,304	0,229	0,300	0,286	0,047	0,281
14/09/2014	6	0,280	0,292	0,290	0,228	0,314	0,281	0,027	0,279
15/09/2014	19	0,272	0,296	0,283	0,227	0,262	0,268	0,012	0,273
16/09/2014	43	0,272	0,290	0,273	0,227	0,257	0,264	0,004	0,268
17/09/2014	67	0,270	0,289	0,273	0,226	0,257	0,263	0,002	0,266
18/09/2014	91	0,268	0,288	0,271	0,226	0,264	0,263	0,002	0,264
19/09/2014	115	0,269	0,287	0,269	0,226	0,260	0,262	0,001	0,263
20/09/2014	139	0,265	0,286	0,267	0,226	0,260	0,261	0,001	0,262
21/09/2014	163	0,264	0,286	0,265	0,226	0,258	0,260	0,001	0,261
22/09/2014	187	0,266	0,285	0,266	0,226	0,268	0,262	0,001	0,261
23/09/2014	211	0,263	0,285	0,264	0,226	0,271	0,262	0,001	0,260
24/09/2014	235	0,262	0,284	0,265	0,225	0,271	0,261	0,001	0,259
25/09/2014	259	0,262	0,285	0,263	0,225	0,270	0,261	0,001	0,259
27/09/2014	307	0,261	0,284	0,262	0,224	0,270	0,260	0,000	0,258
29/09/2014	355	0,260	0,282	0,263	0,224	0,271	0,260	0,000	0,257

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 8 – Classe textural argilo-arenosa, profundidade de 0,10 m no Cx.

Data	Tempo	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	θ médio	$d\theta / dt$	θ médio ajustado
	(h)	θ ($m^3 m^{-3}$)					$(m^3 m^{-3})$	$(m^3 m^{-3} d^{-1})$	$(m^3 m^{-3})$
16/09/2014	2	0,286	0,350	0,260	0,284	0,261	0,288		0,287
16/09/2014	4	0,296	0,324	0,253	0,288	0,275	0,287	0,0872	0,280
16/09/2014	6	0,276	0,317	0,231	0,277	0,274	0,275	0,0500	0,276
17/09/2014	19	0,271	0,289	0,229	0,273	0,252	0,263	0,0213	0,264
18/09/2014	43	0,256	0,285	0,227	0,248	0,258	0,255	0,0079	0,256
19/09/2014	67	0,253	0,274	0,217	0,245	0,246	0,247	0,0042	0,252
20/09/2014	91	0,245	0,261	0,201	0,242	0,250	0,240	0,0028	0,249
21/09/2014	115	0,246	0,261	0,200	0,241	0,249	0,239	0,0021	0,247
22/09/2014	139	0,268	0,260	0,198	0,239	0,239	0,241	0,0017	0,245
23/09/2014	163	0,266	0,267	0,209	0,242	0,240	0,245	0,0014	0,244
24/09/2014	187	0,266	0,271	0,209	0,239	0,240	0,245	0,0012	0,243
25/09/2014	211	0,264	0,269	0,208	0,242	0,241	0,245	0,0011	0,242
27/09/2014	259	0,267	0,269	0,210	0,241	0,241	0,246	0,0009	0,240
29/09/2014	307	0,266	0,268	0,209	0,241	0,241	0,245	0,0008	0,238

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 9 – Classe textural argila, profundidade de 0,25 m no Cx.

Data	Tempo (h)	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	θ médio ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	$d\theta/dt$ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	θ médio ajustado ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
16/09/2014	2	0,340	0,308	0,315	0,343	0,324	0,326		0,321
16/09/2014	4	0,324	0,300	0,288	0,326	0,323	0,312	0,084371	0,313
16/09/2014	6	0,286	0,288	0,291	0,342	0,325	0,307	0,048493	0,309
17/09/2014	19	0,283	0,301	0,278	0,324	0,310	0,299	0,020688	0,298
18/09/2014	43	0,277	0,290	0,264	0,312	0,304	0,289	0,007694	0,291
19/09/2014	67	0,279	0,281	0,248	0,311	0,301	0,284	0,004094	0,286
20/09/2014	91	0,260	0,277	0,244	0,309	0,298	0,278	0,002793	0,284
21/09/2014	115	0,257	0,275	0,240	0,307	0,297	0,275	0,002117	0,282
22/09/2014	139	0,262	0,270	0,258	0,305	0,295	0,278	0,001702	0,280
23/09/2014	163	0,267	0,267	0,261	0,304	0,294	0,279	0,001423	0,278
24/09/2014	187	0,266	0,269	0,265	0,303	0,292	0,279	0,001221	0,277
25/09/2014	211	0,265	0,271	0,264	0,302	0,292	0,279	0,001069	0,276
27/09/2014	259	0,263	0,271	0,265	0,300	0,291	0,278	0,000903	0,274
29/09/2014	307	0,254	0,267	0,265	0,299	0,290	0,275	0,000744	0,273

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE B – DADOS DE UMIDADES VOLUMÉTRICAS DAS CLASSES TEXTURAIS OBTIDAS PELO MÉTODO DO BÚLBO ÚMIDO.

Tabela 10 – Método do búlbo úmido, no volume de 1 mL, em todas as classes texturais.

Volumes	Tempos (min)	AF	FAA	FA	AA	AG
		θ (m ³ m ⁻³)				
1ml	1	0,242	0,253	0,334	0,336	0,407
		0,234	0,255	0,391	0,349	0,390
		0,246	0,298	0,387	0,322	0,395
		0,234	0,256	0,365	0,350	0,385
		0,238	0,289	0,388	0,346	0,387
	3	0,191	0,245	0,320	0,288	0,380
		0,219	0,258	0,362	0,299	0,362
		0,225	0,251	0,351	0,271	0,372
		0,215	0,267	0,351	0,304	0,340
		0,197	0,263	0,356	0,295	0,385
	5	0,171	0,234	0,278	0,265	0,326
		0,201	0,250	0,305	0,274	0,313
		0,199	0,222	0,298	0,277	0,318
		0,196	0,253	0,287	0,265	0,309
		0,189	0,239	0,301	0,298	0,303
	10	0,161	0,215	0,249	0,233	0,288
		0,168	0,201	0,250	0,258	0,285
		0,160	0,2211	0,254	0,218	0,254
		0,181	0,230	0,271	0,258	0,255
		0,157	0,190	0,262	0,257	0,255

Tabela 11 – Método do blbo úmido no volume de 2 mL em todas as classes texturais.

Volumen	Tempos (min)	θ (m ³ m ⁻³)				
		AF	FAA	FA	AA	AG
2 mL	1	0,242	0,286	0,370	0,340	0,448
		0,217	0,261	0,380	0,357	0,417
		0,245	0,293	0,379	0,328	0,415
		0,234	0,259	0,379	0,343	0,370
		0,240	0,283	0,377	0,367	0,411
	3	0,237	0,700	0,338	0,318	0,382
		0,235	0,269	0,351	0,311	0,363
		0,197	0,265	0,349	0,316	0,378
		0,206	0,274	0,362	0,321	0,339
		0,198	0,267	0,361	0,299	0,426
	5	0,197	0,250	0,307	0,287	0,335
		0,194	0,271	0,288	0,291	0,327
		0,195	0,241	0,298	0,260	0,336
		0,204	0,255	0,305	0,284	0,322
		0,199	0,266	0,291	0,276	0,319
	10	0,164	0,229	0,261	0,252	0,306
		0,167	0,210	0,265	0,261	0,293
		0,168	0,229	0,262	0,241	0,299
		0,174	0,241	0,262	0,251	0,289
		0,173	0,217	0,271	0,237	0,290

Fonte: elaborada pela autora.

**APÊNDICE C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS DE UMIDADES
VOLUMÉTRICAS DAS CLASSES TEXTURAIS OBTIDAS PELO MÉTODO DO
BÚLBO ÚMIDO.**

Tabela 12 – Classe textural areia-franca no PVA.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator 1 (volumes)	1	0.00069	0.00069	4.9641 *
Fator 2 (tempos)	3	0.02421	0.00807	58.3541 **
Interação F1 x F2	3	0.00108	0.00036	2.6071 ns
Fatores x Controle (<i>in situ</i>)	1	0.00825	0.00825	59.7008 **
Tratamentos	8	0.03423	0.00428	30.9436 **
Resíduos	36	0.00498	0.00014	
Total	44	0.03921		
dms: 0.02072		M G.:20054		C. V.(%): 5.86

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 13 – Classe textural franco-argilo-arenosa no Cx.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator 1 (volumes)	1	0.00162	0.00162	7.4596 **
Fator 2 (tempos)	3	0.01667	0.00556	25.5279 **
Interação F1 x F2	3	0.00010	0.00003	0.1537 ns
Fatores x Controle (<i>in situ</i>)	1	0.00927	0.00927	42.5688 **
Tratamentos	8	0.02767	0.00346	15.8841 **
Resíduos	36	0.00784	0.00022	
Total	44	0.03551		
dms: 0.02601		M G.:0.24544		C. V.(%): 6.01

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 14 – Classe textural franco-argilosa no Cx.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator 1 (volumes)	1	0.00023	0.00023	1.1991 ns
Fator 2 (tempos)	3	0.08034	0.02678	141.1087 **
Interação F1 x F2	3	0.00002	0.00001	0.0304 ns
Fatores x Controle (<i>in situ</i>)	1	0.01536	0.01536	80.9638 **
Tratamentos	8	0.09594	0.01199	63.1975 **
Resíduos	36	0.00683	0.00019	
Total	44	0.04459		
dms: 0.02428		M G.:0.31380		C. V.(%): 4.39

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 15 – Classe textural argilo-arenosa no Cx.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator 1 (volumes)	1	0.00079	0.00079	3.9943 ns
Fator 2 (tempos)	3	0.05037	0.01679	84.4857 **
Interação F1 x F2	3	0.00055	0.00018	0.9229 ns
Fatores x Controle (<i>in situ</i>)	1	0.01188	0.01188	59.7667 **
Tratamentos	8	0.06359	0.00502	39.9984 **
Resíduos	36	0.00715	0.00012	
Total	44	0.07074		
dms: 0.02484		M G.:0.28686		C. V.(%): 4.91

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 16 – Classe textural argila no Cx.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator 1 (volumes)	1	0.00318	0.00318	9.1074 **
Fator 2 (tempos)	3	0.08711	0.02904	83.1550 **
Interação F1 x F2	3	0.00046	0.00015	0.4352 ns
Fatores x Controle (<i>in situ</i>)	1	0.02168	0.02168	62.0875 **
Tratamentos	8	0.11242	0.01405	40.2457 **
Íduos	36	0.01257	0.00035	
Total	44	0.12499		
dms: 0.03293		M G.:0.33665		C. V.(%): 5.55

Fonte: elaborada pela autora.