

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO ESTIMADO
PELO MÉTODO DA CÂMARA DE RICHARDS E
PSICRÔMETRO**

Marcelo Jara Davalo
Engenheiro Agrônomo

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO ESTIMADO
PELO MÉTODO DA CÂMARA DE RICHARDS E
PSICRÔMETRO**

Marcelo Jara Davalo

Orientador: Prof. Dr. José Frederico Centurion

Co-orientadora: Profa. Dra. Adriana Aparecida Ribon

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2013

D245c Davalo, Marcelo Jara
Curva de retenção de água no solo estimado pelo método da
câmara de Richards e psicrômetro / Marcelo Jara Davalo. --
Jaboticabal, 2013
xii, 36 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: José Frederico Centurion
Co-Orientadora: Adriana Aparecida Ribon
Banca examinadora: José Ricardo Mantovani, Teresa Cristina
Tarlé Pissarra
Bibliografia

1. Potencial matricial. 2. Propriedades estruturais. 3. Umidade do
solo. 4. WP4-T. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.432.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO ESTIMADO PELO MÉTODO DA CÂMARA DE RICHARDS E PSICRÔMETRO

AUTOR: MARCELO JARA DAVALO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE FREDERICO CENTURION

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. ADRIANA APARECIDA RIBON

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSE FREDERICO CENTURION

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOSÉ RICARDO MANTOVANI

Universidade José do Rosário Vellano / Alfenas/MG

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 31 de julho de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARCELO JARA DAVALO, natural da cidade de Aquidauana, estado de Mato Grosso do Sul, nasceu no dia vinte e sete de fevereiro de mil novecentos e oitenta e quatro, filho de Olimpio Davalo e Lina Brites Jara. No dia cinco de fevereiro de dois mil e sete, ingressou no curso de Bacharel em Engenharia Agrônômica pela Universidade Católica Dom Bosco – UCDB, de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Foi bolsista de iniciação científica do CNPq de agosto de dois mil e sete até agosto de dois mil e oito, e estagiário do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da UCDB de março de dois mil e sete até setembro de dois mil e oito. Entre os dias seis de setembro a vinte e nove de outubro estagiou no Laboratório de Física do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Em agosto de dois mil e onze iniciou o curso de Mestrado em Ciência do Solo do Programa de Pós Graduação em Agronomia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista da CAPES.

Eu celebro o eu, num canto de mim mesmo,
E aquilo que eu presumir também presumirás,
Pois cada átomo que há em mim igualmente habita
em ti.

Walt Whitman

DEDICO

Aos meus pais, **Olimpio Davalo e Lina Brites Jara**, as pessoas que devo minha vida e tudo o que sou. Aos meus irmãos Márcia Jara Davalo e Marcio Jara Davalo por estarem sempre presentes, mesmo na distância. À minha filha Esther Cristina Nóia Jara Davalo, que chegou para nos alegrar.

OFEREÇO

À Natalia Regina de Campos Nóia, a mãe de minha filha.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo interminável apoio, sem o qual não chegaria até aqui.

Ao professor Dr. José Frederico Centurion, pela orientação na condução deste estudo, seus ensinamentos, paciência, confiança e apoio em futuros trabalhos.

À professora Dra. Adriana Aparecida Ribon pela valiosa lição de vida e perseverança.

À Natália Regina de Campos Nóia.

Aos professores membros da Banca de Qualificação, Caroline Fernandes e Itamar Andreoli. E aos professores membros da Banca de Defesa, José Ricardo Mantovani e Teresa Cristina Tarlé Pissarra, cujas críticas e sugestões contribuíram de forma significativa para a qualidade final deste estudo.

Ao prof. Dr. José Carlos Barbosa, pela disponibilidade e pelos ensinamentos de estatística que tanto foram úteis na elaboração desse trabalho.

Aos colegas e funcionários do Departamento de Solos e Adubos.

Aos funcionários da Fazenda da FCAV, em especial o Marcelo Scatolin, pela disposição em ajudar sempre da melhor maneira possível.

Ao meu amigão Marcio Silveira, pela sua ajuda no campo com as coletas das amostras.

Aos amigos Dimas, João das negas, Cid, Oniel, Junior, LJerme, Mara Regina e Luís Guilherme.

Aos amigos de velha data, mesmo que distantes sempre presentes em suas palavras de apoio.

Aos amigos e colegas de Pós Graduação por tornarem momentos gratificantes de estar neste lugar.

A CAPES pela ajuda financeira.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xi
ABSTRACT	xi
1. Introdução	13
2. Revisão de literatura	14
2.1 Água no solo.....	14
2.2 Curva de Retenção de Água no Solo.....	15
2.3 Atributos do solo.....	17
2.4 Métodos para Obtenção da CRA.....	18
2.4.1 Câmara de Pressão de Richards.....	18
2.4.2 Psicrômetro Modelo Dewpoint Potentia Meter (WP4-T).....	19
2.5 Importância do Estudo de CRA.....	21
3. Materiais e Métodos	23
3.1 Caracterização da área de estudo.....	23
3.2 Amostragem de solo.....	24
3.3 Curva de retenção de água no solo.....	25
3.3.1 Câmara de pressão de Richards.....	25
3.3.2 Psicrômetro modelo Dewpoint Potentia Meter (WP4-T).....	25
3.3.3 Ajuste da CRA.....	26
3.4 Análise dos atributos do solo.....	27
3.5 Análises estatísticas.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28

4.1 Curva de retenção de água no solo estimado pela câmara de Richards e WP4-T	28
4.2. Correlação do conteúdo de água no solo com os atributos do solo.....	35
5.CONCLUSÕES.....	40
6.REFERENCIAS.....	40

CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO ESTIMADA PELO MÉTODO DA CÂMARA DE RICHARDS E PSICRÔMETRO

RESUMO - A curva de retenção de água no solo é um atributo físico que expressa à relação entre o potencial mátrico e o conteúdo de água no solo, é um importante indicador de qualidade física do solo. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi determinar a curva de retenção de água utilizando a câmara de Richards e o psicrômetro WP4-T. Foram coletadas em um Neossolo Quartzarênico (RQ), Latossolo Vermelho Distófico (LVd1), Latossolo Vermelho Distófico (LVd2) e Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), nas camadas de 0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,3 m, 40 amostras de solos indeformadas e deformadas que foram utilizadas para determinação das curvas de retenção de água do solo com a câmara de Richards, utilizando as pressões de 0, -0,001, -0,003, -0,006, -0,01, -0,033, -0,06, -0,1 e -0,3 MPa e com o psicrômetro WP4-T. As curvas de retenção de água no solo estimada pela câmara de Richards foram ajustadas pela equação de van Genuchten, obtendo-se os coeficientes θ_s , θ_r , α , m e n . Também foram mensuradas as variáveis porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, granulometria, matéria orgânica, óxidos de ferro e de alumínio no solo. Essas variáveis e o conteúdo de água no solo estimada pela câmara de Richards foram submetidos às análises de correlações de Pearson. Verificou-se na região mais úmida da curva elevada dispersão dos pontos de pressão *versus* umidade obtidos com o psicrômetro WP4-T. As variáveis estruturais do solo apresentaram alta correlação com o maior conteúdo de água, porém com o aumento da sucção da água os atributos granulométricos juntamente com a matéria orgânica e os óxidos de ferro e alumínio apresentaram maior grau de relação com o conteúdo de água no solo. O método mais indicado para determinar a curva de retenção de água é a câmara de Richards e o psicrômetro WP4-T pode ser utilizado com precisão para determinar o conteúdo de água em baixos potenciais matriciais.

Palavras-chave: Potencial matricial, propriedades estruturais, umidade do solo, WP4-T

WATER RETENTION CURVE SOIL ESTIMATED BY METHOD OF CHAMBER AND RICHARDS PSYCHROMETER

ABSTRACT- The retention curve of soil water is a physical attribute that expresses the relationship between the matric potential and water content in the soil is an important indicator of soil physical quality. Thus, the objective of this research was to determine the water retention curve using the camera Richards and psychrometer WP4-T. Were collected in a Quartzipsamments and oxisols, in layers from 0 to 0.1, 0.1 to 0.2 and 0, 2 to 0.3 m, 40 soil samples and undisturbed that were used to determine the retention curves of soil water with the camera Richards, using pressures of 0, -0.001, -0.003, -0.006, -0, 01, -0.033, -0.06, -0.1 and -0.3 MPa and

the psychrometer WP4-T. The retention curves of soil water estimated by camera Richards were adjusted by the van Genuchten equation, obtaining the coefficients θ_s , θ_r , α , n me. Variables were also measured total porosity, macroporosity, microporosity, bulk density, soil texture, organic matter, oxides of iron and aluminum in the soil. These variables and the water content in soil estimated by camera Richards were analyzed for Pearson correlations. It was found in the more humid high dispersion curve of the pressure points versus moisture psychrometer obtained with the WP4-T. Soil structural variables strongly correlated with higher water content but with the increase of the water suction texture attributes together with the organic matter and the oxides of iron and aluminum showed a higher degree of relation to the water content in soil. The most appropriate method to determine the water retention curve is camera Richards psychrometer and WP4-T can be used to accurately determine the water content at low potentials matrix.

Keywords: Matric potential, structural properties, soil moisture, WP4-T

1. INTRODUÇÃO

A curva de retenção de água no solo (CRA) é um atributo físico com varias interações e atuações de outros atributos do solo. Diante disso, pode ser considerado um indicador de qualidade física do solo e esta relacionada diretamente com o desenvolvimento dos vegetais, devido à variação de umidade no solo influenciar na resistência mecânica do solo à penetração, na aeração, na condutividade hidráulica e no potencial matricial de água.

Dentre varias metodologias proposta para determinar a CRA, classicamente a mais utilizada é a metodologia da câmara de Richards, que despende de período de tempo muito grande para as análises. Em função das dificuldades experimentais da metodologia proposta por Richards, têm-se observado um interesse crescente em testar a capacidade de outras metodologias para determinar a CRA em aparelhos com o mesmo fim.

Além do método citado, outro que vem sendo utilizado para obtenção da CRA, é o psicrômetro modelo Dewpoint Potential Meter (WP4-T), que possui a vantagem de proporcionar rápidas leituras, e a desvantagem de ser afetado por mudanças bruscas de temperatura do ambiente. É um método limitado para amostras deformadas e para potencial matricial de água no solo nas faixas de 0,1 a 100 MPa.

Em função dos inconvenientes das câmaras de Richards, a utilização do psicrômetro WP4-T vem se disseminando devido à rapidez nas determinações. Estudos para obtenção da CRA pelo método WP4-T nas condições de solos tropicais vêm sendo empregados, entretanto há poucas informações sobre a aplicação desta metodologia em classes de solos do Estado de São Paulo.

O WP4-T é um aparelho recomendado para determinar o conteúdo de água no solo no potencial matricial de -1,5 MPa, o ponto de murcha permanente, diante disso a hipótese do trabalho baseou-se no fato de que é possível determinar outros potenciais matriciais de água no solo utilizando o WP4-T. Sendo assim, o objetivo da pesquisa foi determinar a CRA utilizando a câmara de Richards e o psicrômetro WP4-T em solos de textura arenosa, media, argilosa e muito argilosa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Água no Solo

A água é uma das mais importantes substâncias da crosta terrestre, sem ela não seria possível a vida como conhecemos (REICHARDT, 1985) e o solo é o reservatório de água para as plantas (VIEIRA, 2006). O solo é composto basicamente de duas partes: uma sólida, que seria a matriz do solo e a parte não ocupada pelos sólidos, denominado de espaço poroso ou poros do solo. Os espaços porosos são ocupados por quantidades variáveis de uma solução aquosa denominada de água no solo e de uma solução gasosa denominada de ar no solo (LIBARDI, 2010).

Como qualquer corpo na natureza, a água pode ser caracterizada por um estado de energia de diferentes formas e quantidades, e para o estado de energia da água optem-se o termo potencial total da água, que é representado pela letra grega ψ , e representa a somatória dos trabalhos realizados quando a unidade de massa (volume ou massa) de água em estado padrão é levada isotérmica, isobárica e reversível para o estado considerado no solo (REICHARDT, 1985).

O potencial total da água no solo é a somatória de cinco potenciais: térmica, pressão (ψ_P), gravitacional (ψ_g), osmótica (ψ_{os}) e matricial (ψ_m). Porém, devido às pequenas variações de temperatura que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, o potencial térmico torna-se muitas vezes variações desprezíveis. Então, a equação pode ser descrita para a água do solo da seguinte forma (REICHARDT, 1985; CAMPBELL, 1988; LIBARDI, 2010):

$$\Psi = \psi_P + \psi_g + \psi_{os} + \psi_m$$

ψ_P : aparece toda vez que a pressão que atua sobre a água do solo é diferente da pressão P_0 que atua sobre a água padrão. E tem importância relevante quando principalmente quando se considera os ensaios com placas de pressão.

ψ_g : aparece devido à presença do campo gravitacional terrestre. É o potencial de maior importância em solos saturados ou próximos da saturação e está sempre presente.

ψ_{os} : aparece pelo fato da água no solo ser uma solução de sais minerais e outros solutos e a água padrão ser pura.

ψ_m : também denominado de potencial capilar, tensão da água no solo, sucção ou pressão negativa é a somatória de todos os outros trabalhos que envolvem a interação entre a matriz do solo e a água, como a força capilar e de adsorção.

A retenção de água na matriz do solo é conduzida por dois tipos de forças mátricas, que são as forças capilares (ocorre nos poros capilares do solo) e forças de adsorção (ocorre nas superfícies dos sólidos do solo, como filmes presos a ela). Devido a essas forças e a presença da matriz do solo originou-se o termo potencial mátricial de água no solo (VIEIRA, 2006; LIBARDI, 2010), que surge a partir da atração da matriz do solo pela água e da atração de moléculas de água por outras (CAMPBELL, 1988), este fenômeno é denominada de tensão superficial (LIBARDI, 2010).

A água no solo como toda matéria na natureza tem a tendência espontânea e universal de assumir um estado de energia mínima. A taxa de decréscimo de potencial ao longo de uma direção é uma medida de força responsável pelo movimento. Assim, o conhecimento do seu estado de energia em cada ponto dentro do sistema pode nos permitir o cálculo das forças que atuam sobre a água e determinar quanto afastada ela se acha do estado de equilíbrio (REICHARDT, 1985).

2.2. Curva de Retenção de Água no Solo

A CRA é um atributo físico representado por um gráfico, construída em laboratórios e expressa à relação entre o potencial mátricial e o conteúdo de umidade do solo a base de massa ou volume (SILVA, 2005; BITTELLI e FLURY, 2009; GUBIANI et al., 2012).

O solo saturado em equilíbrio com a água e sob pressão atmosférica, ao ser submetido a uma força de sucção, terá parte de sua água drenada e parte dos poros ocupados pelo ar. Aumentos gradativos de sucção, poros menores perderão água e ocorrerá entrada de mais ar, isso diminuirá a espessura da película de água envolvente das partículas e aumentará a força de adsorção, exigindo cada vez

maiores sucções para retirar a água (DEXTER, 2004a; TAVARES; FELICIANO; VAZ, 2008).

O atributo CRA é um importante indicador de qualidade física do solo e está diretamente relacionado com o desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2010; DEBNATH et al., 2012), e por estar associada a variações de volume com a molhagem e secagem, tem uma importância enorme para caracterização dos solos. É possível estimar outros atributos do solo, como por exemplo, a porosidade, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD), condutividade hidráulica não-saturada, balanço hídrico, determinando-se a variabilidade de armazenamento de água no solo (COSTA; OLIVEIRA; KATO, 2008; SÁ et al., 2010; REZAEI; SHABANPOUR; DAVATGAR, 2011).

Outra importância da CRA é o auxílio ao produtor no manejo da irrigação, como foi mencionado é possível estimar a água disponível para as plantas que tem como limite superior a capacidade de campo e o ponto de murcha do solo como limite inferior de umidade no solo, porém é um atributo de difícil caracterização por causa do tempo que se consome durante as análises e também devido à modificação intrínseca da amostra pela histerese (NASCIMENTO, 2009).

Segundo Silva (2005) a CRA é dividida em três etapas de drenagem: a primeira, quando praticamente todos os poros estão preenchidos com água e ocorre até o valor de entrada de ar. A segunda etapa é entre a pressão de entrada de ar e o ponto de início da umidade residual, nesta mesma etapa o fluxo da água é em fase líquida quando a sucção aplicada aumenta e o solo é drenado com o aumento da sucção. Na terceira etapa a continuidade da água nos vazios é bastante reduzida, descontinua e acréscimos adicionais na sucção apenas ocorrem pequenas mudanças no grau de saturação do solo.

A CRA pode ser obtida por três métodos: a secagem ou drenagem, inicialmente uma amostra de solo é saturada e ao aplicar gradativamente sucções maiores, fazendo medidas sucessivas de sucção em função da umidade; por molhamento ou umedecimento, uma amostra de solo inicialmente seca ao ar e fazer seu umedecimento gradual por redução de tensão e o outro método é a partir de um teor de umidade intermediário do solo ou o teor de umidade do solo no momento da

coleta, que tanto se pode aplicar o processo de drenagem quanto para umedecimento (SILVA, 2005).

A CRA mostra o aspecto dinâmico da água no solo, pois permite calcular a quantidade de água que um solo pode reter dentro de determinados limites de potencial matricial e o conhecimento da CRA permite interpretar as características do armazenamento de água no solo em relação às necessidades hídricas de determinado cultivo (URACH, 2007).

2.3. Atributos do Solo

O solo é o reservatório de água para as plantas, a dinâmica e a retenção de água em seus poros é afetada pelo manejo e práticas culturais. Outros fatores também afetam a retenção de água no solo, tais como, a textura do solo que determina a área superficial específica e o diâmetro e a distribuição dos poros do solo (PASSOS, 2004; SILVA, 2005; VIEIRA, 2006).

Segundo Nascimento (2009), para elevados potenciais matriciais de água no solo, as forças capilares são mais atuantes devido à estrutura do solo que determina a quantidade de água retida pelos poros e ao diminuir gradativamente o potencial matricial diminui as forças de capilaridade e aumenta as de adsorção da água no solo, devido à diminuição da espessura do envelope de água nas partículas e aumenta a energia de retenção.

O espaço poroso do solo é de grande importância na movimentação da água, do ar e no crescimento das raízes, porém sofre grande alteração com o preparo do solo. O revolvimento do solo e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas contribuem para alteração da estrutura do solo, resultando em modificações no tamanho dos agregados do solo, aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e aumento à distribuição de poros pequenos em relação aos grandes e conseqüentemente afeta a condutividade hidráulica saturada (PASSOS, 2004).

A compactação do solo afeta a CRA, por provocar a redução da porosidade total do solo por resultar na diminuição dos poros maiores integrados. Sendo assim, o conteúdo de água de saturação e os teores de água retidos a baixos potenciais

são reduzidos. A textura é outro atributo que afeta o conteúdo de água no solo, de forma quanto maior a quantidade de argila maior será o conteúdo de água sob um dado potencial matricial enquanto que em solos arenosos a tendência é ocorrer o inverso (URACH, 2007).

2.4. Métodos para Obtenção da CRA

Pode-se obter a CRA diretamente no campo ou em laboratório utilizando amostras indeformadas e deformadas de solo (CAMPBELL, 1988; URACH, 2007; NASCIMENTO, 2009; EMBRAPA, 2011), utilizando diferentes metodologias, como por exemplo, a mesa de tensão ou câmara de Richards (RICHARDS, 1965; EMBRAPA, 2011) e o psicrômetro modelo WP4-T (*Dewpoint Potentia Meter*) (KLEIN; REICHERT; REINERT, 2006; KLEIN et al., 2010).

No campo os métodos usualmente requerem a instalação de tensiômetros e tem a vantagem de possibilitar a determinação da relação potencial matricial e umidade do solo em muitas profundidades simultaneamente sob condições naturais. Mas os métodos de laboratório agilizam análises de um grande número de solos simultaneamente e com maior facilidade (URACH, 2007).

Os métodos têm a finalidade de determinar certo número de pontos estrategicamente selecionados, com o desígnio de traçar uma curva que relaciona a umidade retida no solo em um determinado potencial matricial (NASCIMENTO et al., 2010). No entanto, a maior parte dos equipamentos utilizados para medir a retenção atua quando as forças capilares são predominantes.

2.4.1. Câmara de Pressão de Richards

Entre as metodologias para determinação da CRA, uma das mais utilizadas é o tradicional princípio da placa de pressão ou câmara de Richards. A câmara de Richards é um equipamento que consiste numa câmara de pressão hermeticamente fechada. A placa porosa interna permite o fluxo de água e não do ar, por vazios muito pequenos (SILVA, 2005), como mostra na Figura 1.

O método da câmara de Richards possui limitações, tais como, alto valor de aquisição, dependem de um complexo sistema pneumático, as placas porosas são frágeis, nem sempre se consegue o contato ideal entre a amostra de solo e a placa, além da demora nas determinações em função do lento equilíbrio do potencial da água na amostra e a dificuldade no controle do ponto de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água retida no solo, com destaque para altos potenciais (CAMPBELL; SMITH; TEARE, 2007; CÁSSARO et al., 2008; COSTA; OLIVEIRA; KATO, 2008; KLEIN, 2008; TAVARES; FELICIANO; VAZ, 2008; NASCIMENTO et al., 2010).

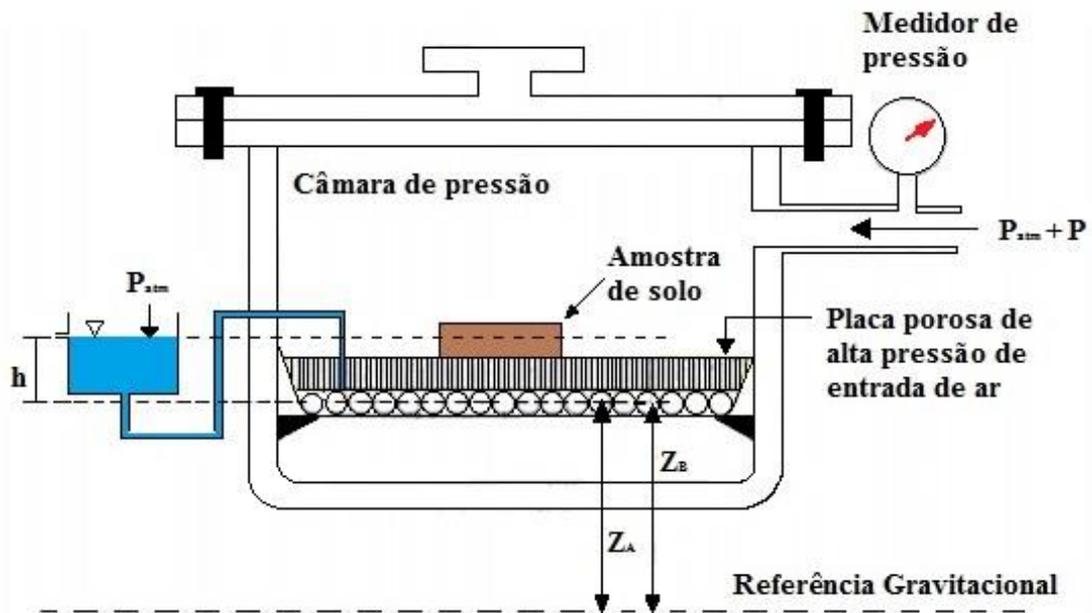


Figura 1. Câmara de Richards (SILVA, 2005).

Na metodologia da câmara de Richards a extração da água ocorre por diferença de potencial entre a placa porosa e amostra de solo, o fluxo de água é exponencialmente reduzido quando o potencial matricial torna-se mais negativo, isso faz ser gasto um período muito longo para atingir o equilíbrio da umidade na amostra (NASCIMENTO, 2009).

2.4.2. Psicrômetro Modelo Dewpoint Potentia Meter (WP4-T)

O método de o psicrômetro modelo Dewpoint Potentia Meter (WP4T) utiliza amostra de solo deformada e determina o potencial matricial com maior rapidez, dando leituras em MegaPascal (MPa) dentro de cinco minutos. Mede potencial

matricial de 0 a -300 MPa, com uma precisão de mais ou menos 0,1 MPa para potencial matricial entre 0 a -10 MPa e mais ou menos 1% para potencial matricial entre -10 a -300 MPa (DECAGON, 2007).

O WP4-T é um instrumento de fácil manutenção e uso, com simples verificação e calibração. Usa a técnica de ponto de orvalho para medir o potencial matricial de uma amostra, ou seja, o potencia 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 (LEONG; TRIPATHY; RAHARDJO, 2003; CAMPBELL; SMITH; TEARE, 2007; DECAGON, 2007; COSTA; OLIVEIRA; KATO, 2008).

Segundo Decagon (2007), no WP4-T a amostra é equilibrada com o espaço livre (superior) de uma câmara fechada que contém um espelho e um meio de detecção de condensação sobre o espelho. Em equilíbrio, o potencial matricial da água do ar na câmara é o mesmo que o potencial matricial da água da amostra (Figura 2).

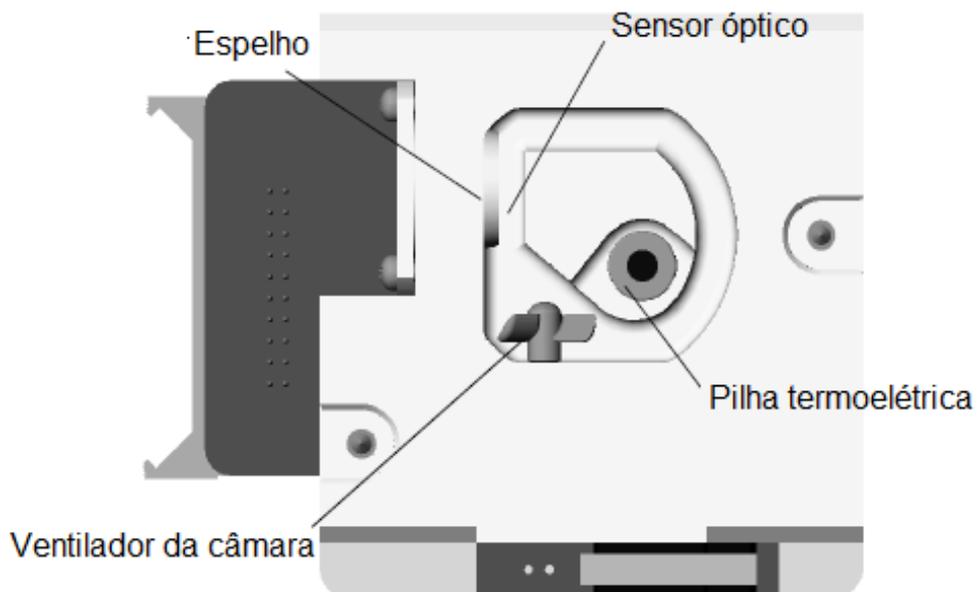


Figura 2. Vista da parte interna da câmara do bloco (DECAGON, 2007).

A temperatura do espelho do WP4-T é controlada com precisão por um refrigerador termoelétrico (Peltier). A detecção do ponto exato em que a condensação aparece pela primeira vez no espelho é observada com um fotoelétrico. Um raio de luz é dirigido para o espelho e refletido em uma célula fotodetectora. O fotodetector percebe mudança na reflectância quando a

condensação ocorre no espelho. Um termopar ligado ao espelho registra a temperatura na qual ocorre à condensação (DECAGON, 2007) (Figura 2).

Então o WP4-T sinaliza piscando uma luz verde na LED e / ou sinal sonoro (Figura 3). Ao final o potencial matricial e a temperatura da amostra são exibidos. Além disso, o WP4-T utiliza um ventilador interno que circula o ar dentro câmara da amostra para reduzir o tempo de equilíbrio. Como ambas as temperaturas do ponto de orvalho e da superfície da amostra são simultaneamente medidas, a necessidade para o equilíbrio térmico completo é eliminado, que reduz o tempo de medida para menos do que 5 minutos (DECAGON, 2007).

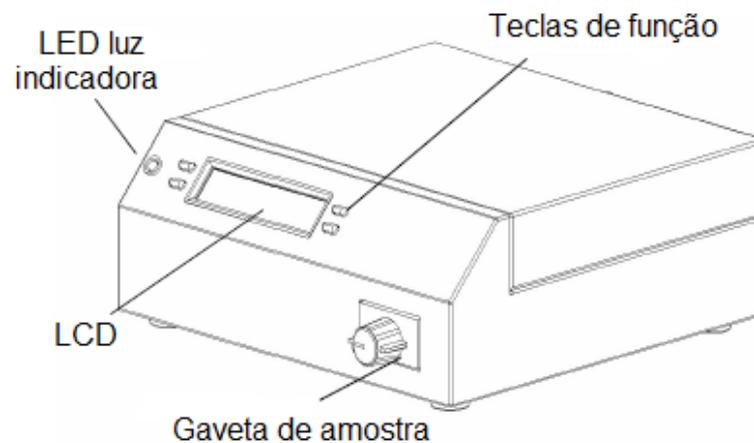


Figura 3. Vista frontal do WP4-T (DECAGON, 2007).

O WP4-T oferece a opção de controlar a temperatura da amostra por meio de um modulo interno de termo elétrico que monitora e estabiliza a temperatura do bloco e amostra de acordo em que foi programada. Este também pode ajudar a fazer mais rápido as medidas. Já que o potencial matricial é influenciado pela temperatura, melhores resultados são obtidos controlando a temperatura. Amostras que não estão em temperatura ambiente durante o ciclo de leitura, precisaram equilibrar a temperatura do WP4-T antes das medições do potencial matricial. Grande diferença de temperatura causará longos tempos de leitura (DECAGON, 2007).

2.5. Importância do Estudo de CRA

A determinação da CRA é de suma importância na área de irrigação e nos estudos de movimento de água no solo (COSTA; OLIVEIRA; KATO, 2008) e dentre

as varias metodologias usadas para esse fim em laboratório, mostram limitações e potencialidade. Diante disso, a metodologia da psicrometria de ponto de orvalho vem sendo usada por causa maior rapidez das medidas em baixos potenciais matriciais (CAMPBELL; SMITH; TEARE, 2007).

Em um trabalho feito por Klein et al. (2010), para avaliar o efeito da textura sobre o conteúdo de água no solo, 100 amostras em um Latossolo Vermelho Distrófico típico foram coletadas nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. As amostras indeformadas foram saturadas e submetidas a potenciais matriciais decrescente de -0,001 a -0,1 MPa, utilizando funis de placa porosa e câmaras de Richards para determinar o conteúdo de água. A fim de comparar os dois métodos tradicionais, esse mesmo solo foi utilizado para determinar o potencial matricial utilizando o psicrômetro WP4-T. E observaram que os teores de água obtidos com o WP4-T apresentam uma elevada dispersão dos pontos para potenciais matriciais superiores a -1 MPa.

Em um Latossolo Vermelho argiloso, os pesquisadores Klein, Reichert e Reinert (2006) coletaram amostras de solos na camada de 0 a 0,2 m para quantificar o conteúdo de água no solo na CC: utilizando os métodos de funis de placa porosa, câmara de Richards e perfil instantâneo. E para o PMP foi usado o método da câmara de Richards, psicrômetro WP4-T e PMP fisiológico (milho e girassol). E verificaram que o conteúdo de água na CC determinado pelo perfil instantâneo foi semelhante usando-se funis de placa porosa. O PMP determinado pelo WP4-T foi semelhante ao PMP fisiológico das duas plantas e significativamente menor que o determinado na câmara de Richards.

Gubiani et al. (2012), coletaram amostras deformadas em um Argissolo e Latossolo Vermelho na camada de 0 a 0,1 m para determinar o potencial matricial de -0,5 a 1,5 MPa, utilizando o WP4-T e em um Extrator de Placa Porosa(PPE). Os potenciais matriciais de -0,5 MPa medidos no WP4-T, apresentaram um conteúdo de água inferior em relação os que foram medidos no PPE, principalmente para as amostras do Argissolo. Para os potenciais matriciais de -1,5 MPa, as amostras medidas no WP4-T apresentaram um maior conteúdo de água em relação PPE, porem as diferenças entre os solos foram menos evidentes.

Com objetivo de comparar a CRA determinada na câmara de Richards e no psicrômetro WP4-T, Bittelli e Flury (2009), coletaram amostra indeformadas nas camadas de 0 a 0,15; 0,15 a 0,30; 0,45 a 0,60 e 1,05 a 1,20 m em solo franco siltoso. Após a drenagem das amostras na câmara de Richards, uma alíquota foi retida para determinar o potencial matricial no psicrômetro WP4-T. E verificaram diferenças acentuadas entre a câmara de Richards e o WP4-T em potenciais matriciais inferiores a -0,01 MPa, porque a câmara de Richards proporcionou maior conteúdo de água.

Um estudo realizado por Cardoso et al. (2007) para comparar o desempenho dos psicrômetros SMI transitor (Soil Mechanics Instrumentação, Adelaide, Australia) e WP4-T na determinação da CRA em um Argissolo compactado. As CRA obtidas com os dois psicrômetros apresentaram uma boa concordância na faixa de potencial matricial de -0,5 a -7 MPa. Porém, acima destes valores as leituras medidas com o WP4-T foi superior em relação ao SMI transitor e a diferença entre as medidas tornaram-se maiores para elevados potenciais matriciais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de física do solo do Departamento de Solos e Adubos, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, São Paulo.

3.1. Caracterização da área de estudo

As amostras foram coletadas em quatro classes de texturais do solo: arenosa, média, argilosa e muito argilosa (Tabela 1). E são classificados segundo a Embrapa (2006) como: Neossolo Quartzarênico (RQ), Latossolo Vermelho Distroférico (LVd1), Latossolo Vermelho Distroférico (LVd2) e Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef).

A área do RQ em que foi conduzido o estudo estava sendo ocupado por mata nativa, no município de São Carlos, São Paulo. E nos LVd1, LVd2 e LVef estavam

sendo cultivados com soja e milho em anos agrícolas diferentes e sob sistema de plantio direto. As coletas das amostras foram feitas entre os meses de agosto a setembro de 2012. No momento da coleta das amostras as áreas de LVd1, LVd2 e LVef estavam em sistema de pousio.

A escolha de quatro classes texturais do solo é devido a influencia nas CRA que dependem de vários fatores como a estrutura do solo (arranjo das partículas de areia, silte e argila), espaço poroso entre as partículas, tipo de solo, textura, mineralogia e manejo adotado no solo (Silva, 2005).

Na Tabela 1 estão os resultados das análises granulométricas, teores de óxidos de ferro e alumínio e teor de matéria orgânica.

Tabela 1. Composição granulometria (g kg^{-1}), teores de óxidos de ferro (Fe_2O_3 %), alumínio (Al_2O_3 %) e matéria orgânica do solo (g kg^{-1}).

Solo	Prof. (m)	Granulometria ⁽¹⁾							Ataque Sulfúrico		MO g kg^{-1}
		AMG	AG	AM	AF	AMF	S	Arg.	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	
RQ	0,0-0,1	0	14	107	541	230	34	74	*	*	16
RQ	0,1-0,2	0	12	94	539	244	34	78	*	*	9
RQ	0,2-0,3	0	12	105	544	228	28	84	*	*	7
LVd1	0,0-0,1	0	44	236	365	75	48	230	5	16	15
LVd1	0,1-0,2	0	27	183	364	84	57	285	6	19	13
LVd1	0,2-0,3	0	27	176	303	82	51	362	7	23	8
LVd2	0,0-0,1	0	42	221	259	31	57	391	7	25	22
LVd2	0,1-0,2	0	35	208	267	36	43	412	7	22	15
LVd2	0,2-0,3	0	30	234	296	34	20	388	7	22	10
LVef	0,0-0,1	0	28	93	128	40	159	552	14	39	23
LVef	0,1-0,2	0	16	88	129	43	143	581	14	39	19
LVef	0,2-0,3	0	12	70	109	34	140	635	15	42	15

⁽¹⁾ Determinada pelo método da pipeta. AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; S: silte; Arg: argila; MO: matéria orgânica; * sem determinado do teor de Fe_2O_3 e Al_2O_3 .

3.2. Amostragem de solo

Foram coletas 40 amostras indeformadas e deformadas nas camadas de 0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,3 m. As amostras indeformadas foram retiradas no campo em cilindros volumétricos (0,05 m de diâmetro e 0,03 m de altura) e depois em laboratório foram retirados os excessos de solo, a vedação do fundo dos cilindros volumétricos com tecido de nylon preso por um atilho de borracha.

As amostras deformadas foram coletadas com trado holandês, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de tamiz de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras de TFSA foram condicionadas em caixas de amostras devidamente identificadas para posteriores análises.

3.3. Curva de retenção de água no solo

Para determinar a CRA foram utilizados dois métodos: a câmara de pressão de Richards, descrito pela Embrapa (2011) e o psicrômetro modelo Dewpoint Potentia Meter (WP4-T) descrito pela Decagon (2007), utilizando amostras indeformadas na câmara de pressão de Richards e deformadas no WP4-T.

3.3.1. Câmara de pressão de Richards

As amostras indeformadas foram saturadas em uma bandeja de plástico por elevação gradual de uma lamina de água: até 1/3 por 24 horas e em seguida foi completado até 2/3 da altura do cilindro volumétrico por mais 48 horas.

As amostras foram retiradas da bandeja para medir a massa da água correspondente ao ponto de saturação (0 MPa), colocadas em placas de cerâmica previamente saturadas e submetidas a oito pressões: -0,001, -0,003, -0,006, -0,01, -0,033, -0,06, -0,1 e -0,3 MPa. O conteúdo de água nos potenciais de -0,5 e -1,5 MPa foram estimados. E após as amostras atingirem a drenagem máxima da água contida em seus poros, foi determinada a umidade do solo correspondente a cada pressão aplicada. A etapa seguinte foi colocar as amostras na estufa a 105°C por 72 horas, dessecar, esfriar, medir a massa do solo seco e determinar a umidade gravimétrica (kg kg^{-1}).

3.3.2. Psicrômetro modelo Dewpoint Potentia Meter (WP4-T)

O psicrômetro basicamente consta de um sistema cuja gaveta conduz uma amostra de solo deformada e úmida para dentro de uma câmara hermeticamente fechada, onde o potencial de água do ar na câmara equilibra-se com o potencial da água na amostra do solo, e tem como base crucial a temperatura da amostra de solo e do ar para este cálculo (Decagon, 2007).

Para determinar a CRA utilizando a metodologia do psicrômetro, três gramas de TFSA foram colocados em cápsulas de plástico, umedecidas com um grama de água e fechadas com uma tampa de plástico por 24h para que ocorresse a perfeita

redistribuição da água em toda a amostra. Porém, com a finalidade de evitar a contaminação interna do equipamento, as amostras foram levemente comprimidas Klein et al. (2010).

Após o período de 24 horas, o procedimento consistiu em colocar a cápsula na gaveta, no mesmo instante o WP4-T media a temperatura da amostra de solo e do interior da câmara e ao atingir a diferença de $-0,5^{\circ}\text{C}$ o equipamento iniciava a leitura e em 5 minutos determinava o potencial matricial em MPa. Varias determinações de potencial matricial foram feitas após pesagem Klein et al. (2010).

Quando a temperatura da amostra é mais fria do que a do interior da câmara, automaticamente a amostra é aquecida por um bloco aquecedor até que ocorra o equilíbrio, enquanto que, se a amostra estiver mais quente que o interior da câmara, este apresenta uma mensagem “amostra muito quente”, não permitindo a análise Klein et al. (2010).

Assim, para agilizar as análises, é importante que a temperatura da amostra de solo e do interior da câmara seja próxima. Isso é obtido trabalhando-se em ambiente com temperatura e umidade relativa controlada. Quando existe a necessidade do equilíbrio entre a temperatura da amostra de solo e do interior da câmara do equipamento, as determinações são mais demoradas Klein et al. (2010).

Após as determinações, as amostras foram transferidas para latas de alumínio taradas e levadas a estufa a 105°C para obter o conteúdo de umidade dos vários potencial matricial medido.

3.3.3. Ajuste da CRA

A partir de um conjunto de dados de pontos de potencial matricial *versus* conteúdo de água no solo, obtidos com a câmara de Richards e WP4-T, foram ajustados por meio da função proposta por van Genuchten (1980):

$$\theta = \frac{\theta_r + (\theta_s - \theta_r)}{[(1 + \alpha\psi)^n]^m}$$

Sendo: θ conteúdo de água do solo (kg kg^{-1}); θ_r conteúdo de água residual (kg kg^{-1}); θ_s conteúdo de água na saturação (kg kg^{-1}); ψ potencial mátricial (MPa); α , n e

m são os parâmetros empíricos do modelo. Segundo van Genuchten (1980), em geral é válida a relação.

3.4. Análise dos atributos do solo

A microporosidade (M_i), macroporosidade (M_a), porosidade total (P_t) e a densidade (D_s) do solo foram determinadas por relações matemáticas segundo a metodologia da Embrapa (2011):

$$M_i = \left(\frac{P_1 - P_2}{V} \right) \times 100$$

$$M_a = \left(\frac{P_2 - P_3}{V} \right) \times 100$$

$$P_t = M_i + M_a$$

$$D_s = \frac{P_3}{V}$$

M_i , M_a e P_t (%)

D_s (kg m^{-3})

P_1 = massa da amostra saturada com água (kg)

P_2 = massa da amostra após ser submetida a uma potencial matricial de -0,006 MPa (kg)

P_3 = massa da amostra seca a 105°C (kg)

V = volume do cilindro (m^{-3})

A TFSA foi utilizada para a análise da granulometria pelo método da pipeta, matéria orgânica (MO) pelo método colorimétrico com extração feita por dicromato de sódio em meio sulfúrico e os óxidos de ferro (Fe_2O_3) e alumínio (Al_2O_3) foram quantificados por ataque sulfúrico (solução de H_2SO_4 1:1) (Embrapa, 2011).

3.5. Análises estatísticas

Verificou a correlação linear entre o potencial matricial de água determinado por câmara de Richards e atributos físicos e químicos em solos de arenosa, media, argilosa e muito argilosa. Depois foi aplicado o Teste t aos níveis de 5 e 1%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Curva de retenção de água no solo estimado pela câmara de Richards e WP4-T

Os resultados do conteúdo de água retido nas amostras de solo pelo método da dessorção da água por meio da aplicação de potencial matricial na câmara de Richards (0 a -0,3 MPa) e da evaporação de água das amostras com a utilização do psicrômetro WP4-T (0 a -10 MPa) para determinação do potencial matricial no RQ, LVd1, LVd2 e LVef, nas três camadas estabelecidas, são apresentados nas Figuras 4, 5, 6 e 7. Enquanto que o potencial determinado na câmara de Richards variou de 0 para -0,3 MPa, o teor de água no solo diminuiu, ou seja, a amostra quando drenada progressivamente, primeiramente esvazia os macroporos seguido pelos microporos (DEXTER, 2004b).

Os pontos de potencial matricial *versus* conteúdo de água no solo obtidos com o psicrômetro WP4-T, foram muito disperso na região mais úmida da CRA em todos os solos e camadas analisadas, resultados semelhantes encontrados por Thakur, Sreedeeep e Asce (2005). Porém, na medida em que se aumentou a força de adsorção da água, os pontos de potencial matricial apresentaram a tendência de se ajustar nas três camadas dos quatro solos estudados, corroborando com os resultados obtidos por Klein et al. (2010).

Isso evidencia que o WP4-T não pode ser utilizado com precisão para determinar em elevados potenciais matriciais de água: maior que -0,4 MPa em um RQ nas camadas 0 a 0,1 e 0,2 a 0,3 m (Figura 4a e 4c) e -0,3 MPa na camada de 0,1 a 0,2 m (Figura 4b); no LVd1 os potenciais matriciais são de -0,3 MPa na camada de 0 a 0,1 m (Figura 5a), -0,5 MPa na camada de 0,1 a 0,2 m (Figura 5b) e -0,4 MPa na ultima camada (Figura 5c); no LVd2 na camada de 0 a 0,1 m o potencial matricial é de -0,5 MPa (Figura 6a) e nas camadas de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,3 m é de -0,3 MPa (Figura 6b e 6c) e no LVef os potenciais matriciais é igual a -0,4 MPa nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m (Figura 7a e 7b) e -0,3 MPa na camada de 0,2 a

0,3 m (Figura 7c). Enquanto que Klein et al. (2010), determinaram para um Latossolo Vermelho Distrófico potenciais matriciais maiores que -1,0 MPa.

A elevada dispersão dos pontos de potencial matricial *versus* umidade do solo para elevado conteúdo de água pode ser explicada, a partir do princípio que a determinação do mesmo na amostra de solo utilizando o WP4-T, é obtida pelo somatório dos potenciais matricio e osmótico: é a água adsorvida nos coloides e solução salina do solo (CRESSWELL; GREEN; MCKENZIE, 2008). Sendo assim, muitas vezes para medir o potencial matricial próxima da saturação, outros destes potenciais podem ser fatores determinantes para o potencial total de água no solo (DECAGON, 2007).

No entanto o potencial total da água no solo é a somatória de cinco potenciais: térmica, pressão, gravitacional, osmótica e matricial. Porém, devido às pequenas variações de temperatura que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, o potencial térmico torna-se muitas vezes variações desprezíveis (REICHARDT, 1985; CAMPBELL, 1988; LIBARDI, 2010).

Outra explicação para os pontos de elevado potencial matricial de água determinados no WP4-T serem tão disperso é o efeito da temperatura. Segundo Campbell, Smith e Teare (2007), a precisão da medição do potencial matricial de água é dependente principalmente de uma medição correta da diferença de temperatura da amostra de solo com a câmara do bloco. Caso essa diferença seja de 1°C resultaria em um erro de -8,0 MPa e para que as medidas tenham uma precisão de -1,0 MPa, a diferença de temperatura precisa estar em 0,005°C (DECAGON, 2007).

No entanto, uma amostra com o teor de água próxima a saturação é ligeiramente mais quente que a temperatura do bloco, fazendo com que ocorra a condensação da água no interior do bloco e conseqüentemente o erro na medição, até que a condensação desapareça (DECAGON, 2007). E segundo Park et al. (2007), a temperatura de orvalho ou ponto de orvalho é quando uma dada mistura de ar-vapor de água é saturada, ou seja, a temperatura na qual a pressão parcial real do vapor de água esta em equilíbrio com o valor de pressão de saturação.

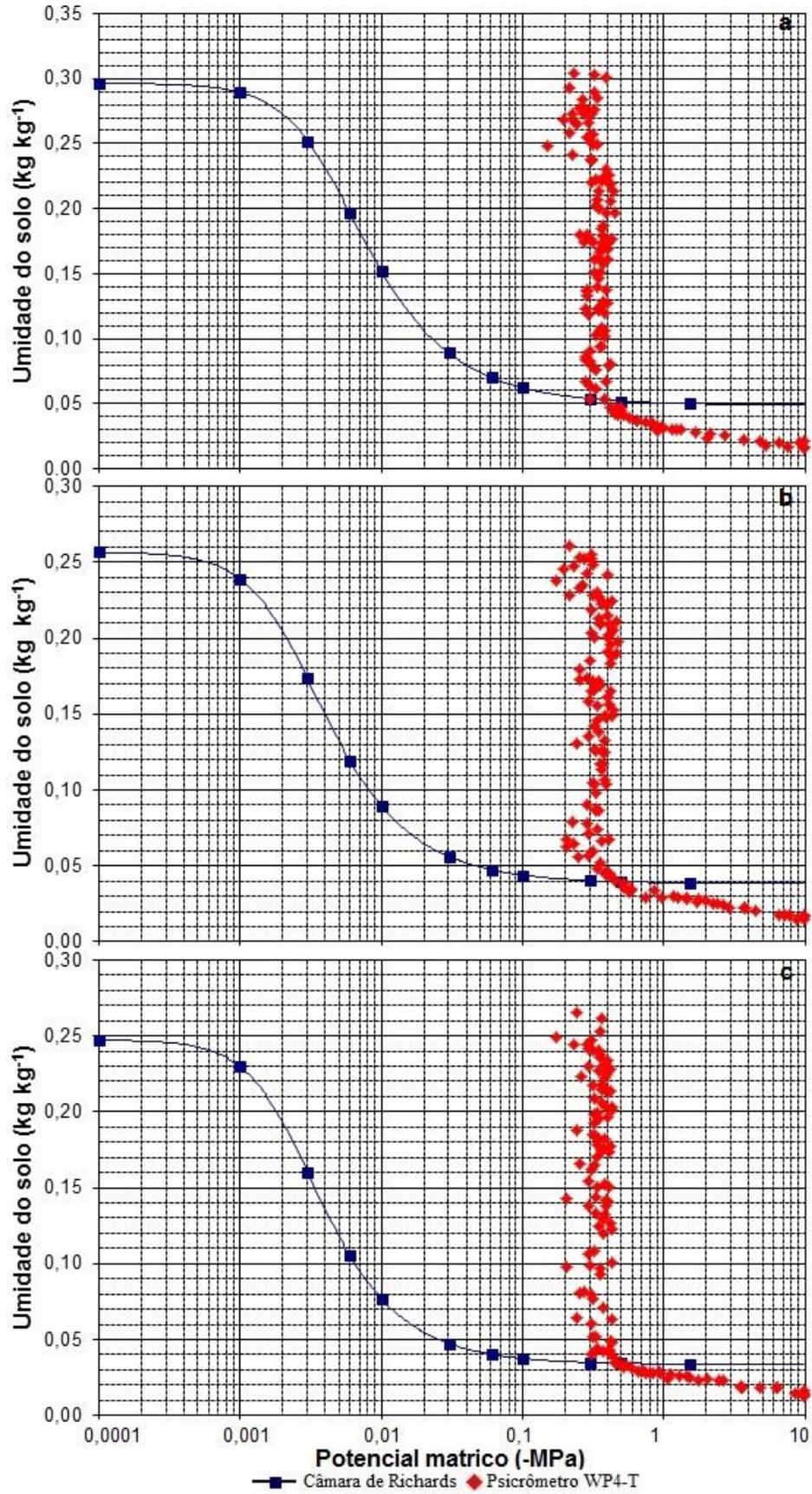


Figura 4. Curva de retenção de água em RQ nas camadas de 0 a 0,1 m (a), 0,1 a 0,2 m (b) e 0,2 a 0,3 m (c).

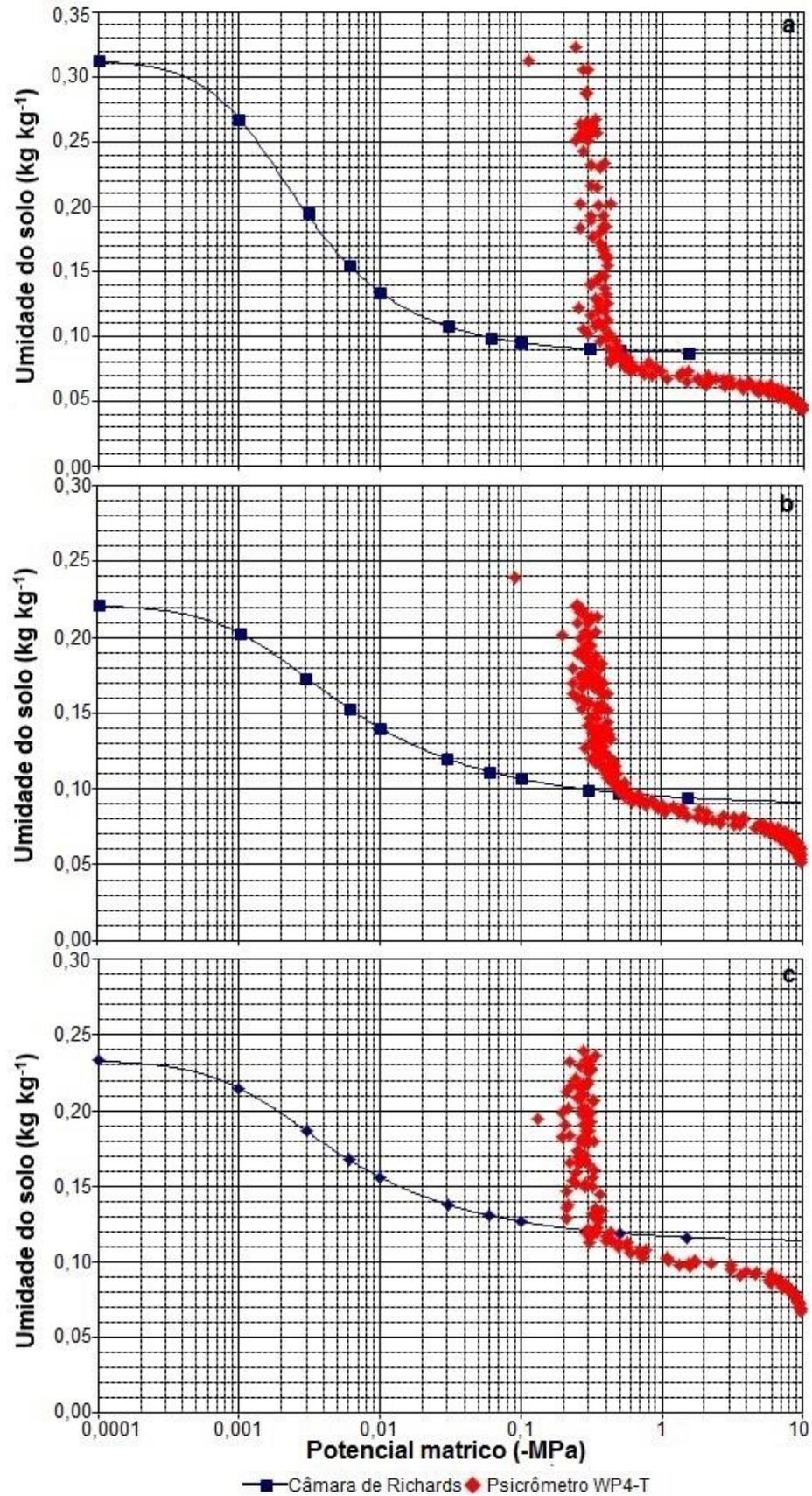


Figura 5. Curva de retenção de água em um LVd1 na camada de 0 a 0,1 m (a), de 0,1 a 0,2 m (b) e de 0,2 a 0,3 m (c).

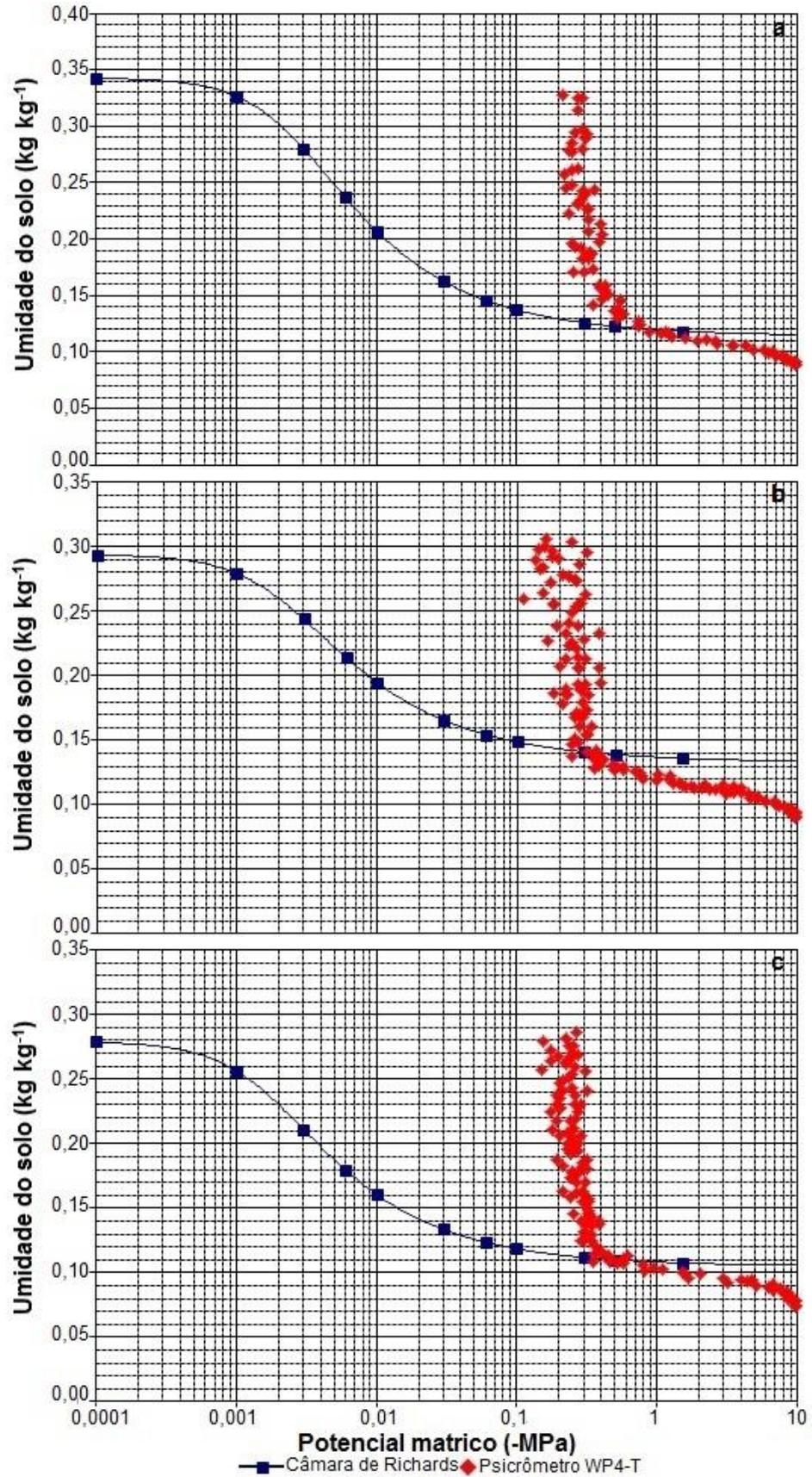


Figura 6. Curva de retenção de água em um LVd2 na camada de 0 a 0,1 m (a), de 0,1 a 0,2 m (b) e de 0,2 a 0,3 m (c).

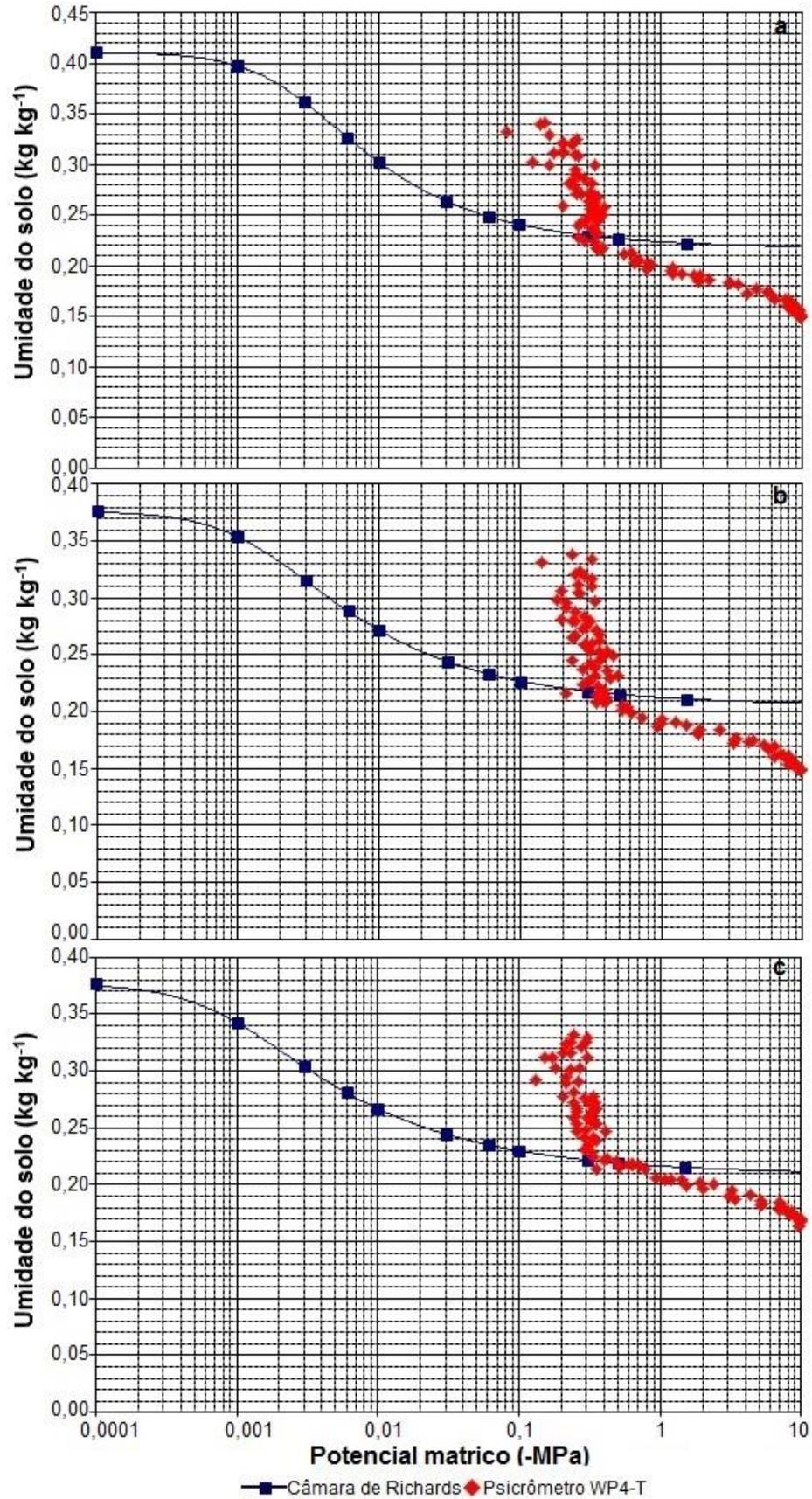


Figura 7. Curva de retenção de água em um LVeF na camada de 0 a 0,1 m (a), de 0,1 a 0,2 m (b) e de 0,2 a 0,3 m (c).

Oliveira et al. (2010) ao tentarem estimar a CRA em um Argissolo, Latossolo, Luvissole e Planossolo, verificaram imprecisão do WP4, por indicar potenciais matriciais semelhantes em umidades diferentes na região úmida da CRA, e estipularam para potenciais matriciais maiores que -1,0 MPa a psicrometria não pode ser utilizada com precisão, mesmo resultado foi observado por Campbell, Smith e Teare (2007). Para Gubiani et al. (2012), o valor de -0,7 MPa pode ser o limite de divisão das regiões úmidas e secas para medições com o WP4 em Argissolo e Latossolo.

Em um solo de textura franco argiloso arenoso, Bittelli e Flury (2009), verificaram que potencial matricial de água próximo ao saturado não pode ser medido com o WP4-T, com a prerrogativa de que o potencial osmótico não afetou significativamente o potencial total de água. E estabeleceu que o WP4-T pode ser utilizado para medir potencial matricial de água no solo menor -1,0 MPa, de acordo com a recomendação do fabricante.

Nas camadas, a partir do potencial matricial de água menor que -0,5 MPa o conteúdo de água no WP4-T foi sempre inferior ou igual em relação ao conteúdo de água na câmara de Richards e até o potencial matricial de -1,5 MPa limite, inferior da câmara de Richards, o conteúdo também foi menor. Esses resultados podem ser devido à contribuição dos mecanismos de retenção de água: forças de adsorção que ocorrem nas superfícies dos sólidos do solo, corroborando com os resultados verificados por Gubiani et al. (2012). Esses mesmos autores constataram que o potencial de água medida com o WP4-T em amostras drenadas em placas de pressão foi sempre maior que a pressão aplicada, devido ao baixo teor de água que dificulta o contato da amostra de solo com a placa de pressão, podendo não acontecer o equilíbrio entre a pressão aplicada e teor de água.

Em um experimento utilizando amostras deformadas e indeformadas para determinar potencial de água no WP4-T e câmara de Richards, feito por Bittelli e Flury (2009), constaram a divergência de resultados em potenciais menor que -1,0 MPa e afirmaram que esse seria o valor limite inferior de confiabilidade da câmara de Richards.

Campbell (1988) estipulou o valor de -0,5 MPa como o limite inferior e como uma media para amostras de texturas diferentes. Este mesmo autor afirma que a

falta de equilíbrio é muitas vezes o resultado de um mau contato entre placa e amostra e a baixa condutividade hidráulica do solo em si pode causar problemas.

O teor de água retido no solo em determinados potenciais matriciais é particularidade específico de cada solo e é dependente da ação conjunta e complexa de vários outros fatores denominados de atributos do solo. Segundo Libardi (2010), o solo retém a água no seu espaço poroso pelas forças de capilaridades e adsorção, cujas intensidades aumentam conforme o seu conteúdo de água diminui, ou seja, após a drenagem livre de um solo saturado no campo, as forças capilares são dominantes e à medida que o solo seca, a adsorção adquire maior importância.

Nascimento (2009) afirma que a granulometria altamente arenosa exerce grande influencia no comportamento da CRA, por possuir reduzida capacidade de retenção de água devido ao grande espaço entre as partículas e a rápida drenagem da água. Ainda esse mesmo autor afirma que, normalmente os poros por serem maiores em solos arenosos, são esvaziados rapidamente em elevados potenciais matriciais e isso faz com que restem somente pequenas quantidades de água em baixos potenciais matriciais, o que explica a inclinação acentuada da CRA.

Cintra, Portela e Nogueira (2004) também verificaram em um Argissolo Amarelo a queda brusca da umidade do solo com aumento das sucções. Nas três camadas de estudo, como mostra a Figura 4, as CRA apresentaram formatos e comportamentos semelhante quanto à capacidade de retenção de água nas diferentes sucções aplicadas.

Nos LVd1, Lvd2 e LVef é possível observar o comportamento bimodal dos pontos de pressão *versus* conteúdo de água determinado pelo método do psicrômetro WP4-T. Segundo Carducci et al. (2011), esse comportamento é o reflexo da distribuição dos poros por tamanho, caracterizada por apresentar predominantemente duas classes distintos: a classe dos poros muito grandes que promovem rápida drenagem interna do solo, e a dos poros muito pequenos, nos quais a água é retida com energia muito alta, caracterizando-a como água higroscópica.

A retenção de água no solo é influenciada pelos atributos intrínsecos do solo, com destaque para textura, estrutura e o conteúdo de carbono orgânico do solo. A retenção de água para elevados potenciais matricial é decorrente do processo de

capilaridade, sendo fortemente alterada pelo arranjo das partículas do solo, devido à presença de poros estruturais. Já com o secamento do solo, as composições granulométricas e mineralógicas assumem maior importância, devido a maior área de superfície específica para a adsorção das moléculas.

4.2. Correlação do conteúdo de água no solo com os atributos do solo

A capacidade de cada solo de reter e conduzir a água está relacionada com o somatório dos efeitos dos atributos estruturais, granulométricos e mineralógicos do solo. Sendo assim, a constatação e explicação do grau de relação existente entre os atributos do solo com a umidade retida em cada ponto de potencial matricial de cada solo, foi por meio de correlação simples de Pearson. No entanto, quanto maior o coeficiente de correlação maior é a influência de determinado atributo do solo na retenção de água (URACH, 2007; MICHELON, 2010; MICHELON et al., 2010). E a avaliação qualitativa do coeficiente de correlação foi da seguinte forma (CALLEGARI-JACQUES, 2003):

- se $0,00 < |r| < 0,30$, existe fraca correlação linear;
- se $0,30 \leq |r| < 0,60$, existe moderada correlação linear;
- se $0,60 \leq |r| < 0,90$, existe forte correlação linear;
- se $0,90 \leq |r| < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 são apresentados as correlações de Pearson entre os atributos físicos do solo com o conteúdo de água em diferentes potenciais matriciais de um RQ, LVd1, LVd2 e LVef. Observou-se nos quatro solos, a forte dependência dos atributos estruturais para retenção de água no solo principalmente nos potenciais elevados. Segundo Beutler et al. (2002) os atributos dos solos influenciam o conteúdo de água retido nas diferentes tensões.

Os atributos estruturais do RQ correlacionaram com o conteúdo de água no solo (Tabela 2). A Pt e a Mi apresentaram correlações positivas e a Ma juntamente com Ds apresentaram correlações negativas, variando de moderada a muito forte, ou seja, conforme o conteúdo de água foi diminuindo com o aumento das sucções, as correlações apresentaram a tendência de se tornarem mais fracas. Silva, Assis Junior e Souza (2005), verificaram em um Neossolo Flúvico que o aumento na Ma

estabeleceu relação positiva e altamente significativa com o conteúdo de água no solo, e a Mi apresentou uma relação inversa. Esses mesmos autores afirmam que o aumento no volume de Ma combinados com diminuição do volume de Mi determinam aumentos na drenagem da água no solo.

Ainda Silva, Assis Junior e Souza (2005) afirmam que em elevados potenciais matriciais, a água em seu maior volume é retida por capilaridade e os Mi assumem um papel relevante. Portanto, os maiores valores de Mi tende aumentar o conteúdo de água no solo.

Tabela 2. Valores de correlação (ρ) entre conteúdo de água nos potenciais matriciais (saturado, -0,001, -0,003; -0,006; -0,01; -0,033; -0,06; -0,1 e -0,3 MPa) e porosidade total (Pt%), macroporosidade (Ma%), microporosidade (Mi%), densidade do solo (Ds g.cm⁻³), argila (Arg), areia total (AT), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), silte e matéria orgânica (MO) em g kg⁻¹ em um RQ.

	Saturado	0,001	0,003	0,006	0,010	0,033	0,060	0,100	0,300
Pt	0,91**	0,88**	0,66**	0,64**	0,64**	0,48**	0,49**	0,46**	0,46**
Ma	-0,97**	-0,98**	-0,93**	-0,94**	-0,91**	-0,41*	-0,53*	-0,51**	-0,63**
Mi	0,94**	0,90**	0,96**	0,98**	0,94**	0,50**	0,56**	0,55**	0,60**
Ds	-0,89**	-0,83**	-0,60**	-0,58**	-0,60**	-0,45**	-0,45**	-0,43**	-0,45**
Arg	-0,44 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
AT	0,26 ^{ns}	0,36 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
AG	0,33 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,38 ^{ns}
AM	0,24 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,48 ^{ns}
AF	-0,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,26 ^{ns}
AMF	-0,07 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
Silte	0,26 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,16 ^{ns}
MO	0,92**	0,80**	0,71**	0,72**	0,76**	0,74**	0,75**	0,70*	0,70*

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

As frações granulométricas do solo não apresentaram correlações significativas com o conteúdo de água no solo (Tabela 2). Resultados diferentes foram constatados por Silva, Assis Junior e Souza (2005), ao verificarem que a água retida em baixos potenciais matriciais se deve aos fenômenos de adsorção, porque a textura do solo passa a exercer papel relevante principalmente a fração argila. Correia et al. 2008, afirmam que a redução de umidade no RQ deve-se a natureza arenosa do solo e observaram aumento na umidade conforme acréscimo de argila em camada mais profundas.

A MO por ser considerada uma fração coloidal orgânica do solo e que contribui com aumento da área superficial específica do solo, apresentou correlação positiva variando de forte a muito forte com o conteúdo de água no solo, ou seja,

conforme acontecia a drenagem do solo o grau de relação com o conteúdo de água diminuía. Porém, em baixo potencial matricial foi o atributo que mais contribuiu para a retenção de água em comparação aos atributos estruturais (Tabela 2).

Na Tabela 3 são postas as correlações dos atributos de um LVd1 com o conteúdo de água no solo. A Pt juntamente com a Ma apresentaram correlação positiva variando de moderada a muito forte. Os atributos Mi e Ds apresentaram correlações negativas e muito forte nos potenciais matriciais de saturação e 0,001 MPa e para potenciais menor que 0,006 MPa verificou-se correlações positivas. Segundo Michelin (2010), a Pt foi o atributo que melhor correlacionou com a umidade de saturação, a Mi melhor correlacionou com a retenção de água, especialmente em potenciais matriciais elevados e a Ds contribuiu para diminuir o conteúdo de água no solo.

Tabela 3. Valores de correlação (ρ) entre conteúdo de água nos potenciais matriciais (saturado, -0,001, -0,003; -0,006; -0,01; -0,033; -0,06; -0,1 e -0,3 MPa) e porosidade total (Pt%), Macroporosidade (Ma%), microporosidade (Mi%), densidade (Ds g.cm⁻³), argila (Arg), areia total (AT), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), silte e matéria orgânica (MO) em g kg⁻¹ de um LVd1.

	Saturado	0,001	0,003	0,006	0,010	0,033	0,060	0,100	0,300
Pt	0,95**	0,94**	0,24*	0,57**	0,60**	0,42**	0,44**	0,49**	0,48**
Ma	0,99**	0,99**	0,28*	0,83**	0,72*	0,49*	0,51*	0,55*	0,53**
Mi	-0,92**	-0,92**	-0,23*	0,94**	0,87**	0,70*	0,70*	0,73*	0,72*
Ds	-0,98**	-0,98**	-0,30*	0,83**	0,75*	0,55*	0,57*	0,59*	0,58*
Arg	0,63*	0,64*	-0,16 ^{ns}	0,74**	0,80**	0,69*	0,69*	0,65*	0,76**
AT	-0,65*	-0,66*	0,23 ^{ns}	-0,72*	-0,76**	-0,67*	-0,66*	-0,64*	-0,72*
AG	-0,80**	-0,80**	0,29 ^{ns}	-0,64*	-0,61*	-0,44*	-0,44*	-0,50*	-0,48*
AM	0,60 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-0,49 ^{ns}	-0,50 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,41 ^{ns}
AF	0,26 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,51*	-0,60*	-0,59*	-0,59*	-0,48*	-0,64*
AMF	-0,35 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Silte	-0,43 ^{ns}	-0,50 ^{ns}	-0,83 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
MO	0,54 ^{ns}	0,52 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,76**	0,83**	0,78**	0,80**	0,68*	0,84**
Fe ₂ O ₃	0,70*	0,70*	-0,15 ^{ns}	0,75**	0,82**	0,68*	0,68*	0,67*	0,77**
Al ₂ O ₃	0,61*	0,59*	-0,01 ^{ns}	0,63*	0,72**	0,63*	0,68*	0,53*	0,71**

*significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

No LVd1 entre os potenciais matriciais de -0,006 a -0,3 MPa, a Ds contribuiu no aumento do conteúdo de água. Bleutler et al. (2002), verificaram em um Latossolo Vermelho Distrófico e em um Latossolo Vermelho Eutroférico cultivados com algodão e cana-de-açúcar, que a maior retenção de água em todas as tensões, foram relacionadas com a maior Ds.

As frações granulométricas AT, AG e AF não contribuíram para a retenção de água no solo, ou seja, constataram-se correlações negativas variando de moderada

a forte. Enquanto que foi verificado, correlações positivas variando de moderada a forte do conteúdo de água com os teores de Fe_2O_3 e Al_2O_3 , corroborando com os resultados de Giarola, Silva e Imhoff (2002) e de Beutler et al. (2002), que verificaram correlação negativa para as frações de areia e positiva para os teores de Fe_2O_3 e Al_2O_3 em Latossolos.

A MO apresentou ser eficiente na retenção de água no solo. Exceto nos potenciais matriciais entre o saturado a 0,003 MPa, resultados semelhantes foram constatados por Beutler et al. (2002) que verificaram correlações não significativas em um Latossolo Vermelho. Machado et al. (2008) verificaram em um Latossolo Vermelho Distrófico a importância da MO para a retenção de água em solo cultivado, atribuída a área de superfície específica da MO.

Em um Cambissolo de textura média, o estudo feito por Mello et al. (2005) verificaram forte influência da textura do solo, da MO e Ds na CRA. Porém Mello et al. (2002), em um estudo realizado em um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, com textura variando de média a muito argilosa, não verificaram a influência da MO no comportamento da porosidade drenável.

As correlações obtidas para o LVd2 (Tabela 4), verificou-se forte correlação positiva entre o conteúdo de água com a Pt e Mi. Os atributos Ma e Ds apresentaram correlação positiva e negativa, respectivamente, variando de moderada a forte com o conteúdo de água até o potencial matricial de 0,006 MPa. Michelin (2010) e Michelin et al. (2010), também constaram correlação positiva entre a Pt e o conteúdo de água. Esses mesmos autores verificaram a correlação negativa para Ma e Ds.

A não existência de relação entre Ma com o conteúdo de água na faixa de potencial matricial de -0,01 a -0,3 MPa para o LVd2 (Tabela 4) e no LVef em todos os potenciais matriciais (Tabela 5), pode estar relacionado com o manejo adotado no solo. Segundo Kaiser et al. (2009), mesmo em sistema de plantio direto ocorre a compactação que acarreta em alteração da Ds e porosidade do solo, principalmente dos Ma.

O teor de argila contribuiu com retenção de umidade no solo e conforme aconteceu o aumento da sucção do solo, mais forte foi a correlação verificada. A fração silte e o teor de MO apresentaram correlação positiva que variou de

moderada a forte e de fraca a forte, respectivamente. Corroborando os trabalhos de Urach (2007), Silva et al. (2008) e Marcolin (2009). Ainda segundo Urach (2007), em solos mais intemperizados, existe a tendência de ocorrer maior retenção de água em potenciais matriciais menores, devido a maior área superfície específica proporcionada pelo o teor de argila.

Tabela 4. Valores de correlação (ρ) entre conteúdo de água nos potenciais matriciais (saturado, -0,001, -0,003; -0,006; -0,01; -0,033; -0,06; -0,1 e -0,3 MPa) e porosidade total (Pt%), Macroporosidade (Ma%), microporosidade (Mi%), densidade (Ds g.cm⁻³), argila (Arg), areia total (AT), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), silte (S) e matéria orgânica (MO) em g kg⁻¹ de um LVd2.

	Saturado	0,001	0,003	0,006	0,010	0,033	0,060	0,100	0,300
Pt	0,90**	0,92**	0,94**	0,92**	0,96*	0,81**	0,77**	0,79**	0,60*
Ma	0,73**	0,66**	0,46**	0,33**	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Mi	0,83*	0,84*	0,80**	0,87**	0,72*	0,89**	0,77**	0,71*	0,60*
Ds	-0,65*	-0,58*	-0,55*	-0,50*	-0,01 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Arg	0,16*	0,23**	0,27*	0,26*	0,54*	0,63*	0,60*	0,68*	0,61*
AT	-0,39 ^{ns}	-0,51*	-0,52*	-0,52*	-0,78**	-0,75**	-0,71*	-0,80**	-0,56*
AG	0,76**	0,80**	0,82**	0,83**	0,63*	0,58*	0,50*	0,52*	0,24 ^{ns}
AM	0,02 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	-0,57 ^{ns}	0,51 ^{ns}	-0,52 ^{ns}	-0,35 ^{ns}
AF	-0,67*	-0,71*	-0,70*	-0,65*	-0,65*	-0,69*	-0,69*	-0,78**	-0,58*
AMF	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Silte	0,73*	0,75*	0,72*	0,74*	0,70*	0,51*	0,48*	0,53*	0,18 ^{ns}
MO	0,73*	0,71**	0,70*	0,75**	0,48*	0,47*	0,49*	0,45*	0,19*
Fe ₂ O ₃	0,54 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Al ₂ O ₃	0,48 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,20 ^{ns}

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

A Tabela 5 aponta que no LVef os atributos Pt e Mi juntamente com o silte e MO correlacionaram positivamente com o conteúdo de água no solo (WALCZAK et al., 2006; Debnath et al., 2012), com o aumento da sucção o grau de correlação com a Pt diminui e aumentou com a Mi. A Ds e o teor de argila apresentaram correlações negativas com o conteúdo de umidade no solo.

A correlação negativa entre o teor de argila e o conteúdo de água pode estar associada com a formação de uma estrutura granular, já que os óxidos são importantes para a agregação do solo (GIAROLA; SILVA; IMHOFF, 2002).

O grau de relação da Mi com o conteúdo de água aumento com o aumento da sucção por estar relacionado com a presença de partículas menores, que implica o aparecimento de poros de menores diâmetros, e consequentemente maior é a sucção necessária para retirar a água das amostras (CÁSSARO et al., 2008).

Outra explicação para a correlação entre conteúdo de água com os Ma e Mi é quanto a alteração na Pt. Figueiredo et al. (2008), verificaram em Latossolo

Vermelho muito argiloso o aumento de conteúdo de água no solo quando passou a de área de vegetação nativa de cerrado para o sistema produtivo de integração lavoura-pecuária. Isso pode estar relacionado com as modificações na porosidade, mais precisamente na substituição de Ma por Mi.

Tabela 5. Valores de correlação (ρ) entre conteúdo de água nos potenciais matriciais (saturado, -0,001, -0,003; -0,006; -0,01; -0,033; -0,06; -0,1 e -0,3 MPa) e porosidade total (Pt%), Macroporosidade (Ma%), microporosidade (Mi%), densidade (Ds g.cm⁻³), argila (Arg), areia total (AT), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), silte e matéria orgânica (MO) em g kg⁻¹ de um LVef.

	Saturado	0,001	0,003	0,006	0,010	0,033	0,060	0,100	0,300
Pt	0,87**	0,92**	0,90**	0,89**	0,85**	0,72**	0,66**	0,61**	0,57*
Ma	0,37 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
Mi	0,40*	0,66**	0,64**	0,81**	0,88**	0,86**	0,74**	0,80**	0,85**
Ds	-0,94**	-0,84**	-0,83**	-0,69**	-0,57*	-0,46*	-0,54*	-0,43**	-0,33**
Arg	-0,46*	-0,63*	-0,62*	-0,65*	-0,68*	-0,52*	-0,35*	-0,34*	-0,20*
AT	0,32 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,04 ^{ns}
AG	0,50 ^{ns}	0,68*	0,68*	0,75**	0,79**	0,66*	0,55*	0,53*	0,40*
AM	0,31 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
AF	0,23 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}
AMF	-0,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
Silte	0,59*	0,71*	0,70*	0,75**	0,75**	0,65*	0,55*	0,60*	0,49*
MO	0,54*	0,73**	0,72**	0,80**	0,86**	0,79**	0,66*	0,66*	0,52*
Fe ₂ O ₃	-0,39 ^{ns}	-0,53 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-0,52 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
Al ₂ O ₃	-0,07 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,08 ^{ns}

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

A correlação não significativa do Ma com o conteúdo de água no solo, pode ser devido ao efeito dos Fe₂O₃ e Al₂O₃ sobre a porosidade dos solos, ou seja, maiores valores de diâmetro médio geométrico estão associados a solos com menor volume de Ma e de Pt, por serem eficientes na agregação, devido sua ação cimentante (CAMARGO et al., 2008).

Em Latossolos com textura media, argilosa e muito argilosa, Streck et al. (2008) verificaram que com o aumento da Ds ocorre a redução do volume dos poros: primeiro os poros grandes são destruídos para depois ocorrer a destruição dos agregados e por ultimo a destruição dos poros menores e conseqüentemente ocorre a redução no conteúdo de água nos potenciais matriciais mais altos e um aumento do conteúdo de água retido a potenciais matriciais menores.

Ainda Streck et al. (2008), afirmam que a degradação física do solo leva sempre a uma mudança na forma das curvas, ou seja, ocorre a redução da inclinação da CRA no ponto de inflexão. Essa redução da inclinação de curva pode

ser observada neste trabalho comparando as CRA determinadas pela câmara de Richards das Figuras 4, 5,6 e 7.

Diante disso, podemos afirmar que os atributos estruturais apresentam maior correlação com a retenção de água nos potenciais mais elevados, ou seja, para determinar o conteúdo de água em potenciais elevados é preciso de amostras de solo na forma indeformado. Em potenciais mais baixos, os atributos texturais e MO foram os que melhor correlacionaram, diante disso tudo fica evidente as forças de capilaridade e adsorção (Libardi 2010, Michelin 2010).

A distribuição do tamanho de partículas é o atributo físico mais importante de um solo, porque exerce forte influencia sobre os outros atributos do solo. Com o aumento do teor de argila, maior é a retenção de água no solo e menor é a inclinação da curva (Figuras 4, 5, 6 e 7). As tabelas de correlações (Tabela 2, 3, 4 e 5) confirmam que para os elevados conteúdos de água no solo, circunstância em que as força capilares tem maior importância, a CRA depende da distribuição e dos tamanhos dos poros. E segundo Urach (2007), passa a ser uma função da D_s e da P_t que por sua vez é influenciada pela estrutura do solo. Para baixos conteúdos de água a CRA é dependente das forças de adsorção, os quais são influenciados pela área de superfície específica dos minerais do solo.

5. CONCLUSÕES

O psicrômetro WP4-T apresentou-se menos eficiente para caracterizar a curva de retenção de água no solo, por não determinar resultados precisos para potenciais matriciais na faixa de saturado a -0,3 MPa.

Os atributos que melhor correlacionaram com o conteúdo de água no solo foram os atributos estruturais (P_t , M_a , M_i e D_s) principalmente em elevados potenciais matriciais.

6. REFERENCIAS

- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 829-834, 2002.
- BITTELLI, M.; FLURY, M. Errors in water retention curves determined with pressure plates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 5, p. 1453-1460, 2009. DOI:10.2136/sssaj2008.0082.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255 p.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - Correlação espacial entre mineralogia e agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2279-2288, 2008.
- CAMPBELL, G. S.; SMITH, D. M.; TEARE, B. L. Application of a dew point method to obtain the soil water characteristic. **Experimental Unsaturated Soil Mechanics: Springer Proceedings in Physics**, v. 112, p. 71-77, 2007.
- CAMPBELL, G.S. Soil water potential measurement: An overview. **Irrigation Science**, v. 9, n. 1, p. 265-273, 1988.
- CARDOSO, R.; ROMERO, E.; LIMA, A.; FERRARI, A. A comparative study of soil suction measurement using two different high-range psychrometers. **Experimental Unsaturated Soil Mechanics Springer Proceedings in Physics**, v. 112, p. 79-93, 2007.
- CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; SEVERIANO, E. da C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 77-86, 2011.
- CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; SANTOS, R. A. dos; GIMÉNEZ, D.; REICHARDT, K. Funil de haines modificado: curvas de retenção de solos próximos à saturação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2555-2562, 2008.

- CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no distrito de irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 45-50, 2004.
- CORREIA, G. G.; MOURA, R. F. de; RODRIGUES, J. J. V.; BARROS, M. de F.; CORREIA, K.; G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro paraibanos. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 156-162, 2008.
- COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. da S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 515-523, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200006>
- CRESSWELL, H. P.; GREEN, T. W.; MCKENZIE, N. J. The adequacy of pressure plate apparatus for determining soil water retention. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 1, p. 41-49, 2008. DOI: 10.2136/sssaj2006.0182
- DEBNATH, P.; DEB, P.; SEN, D.; PATTANNAIK, S. K.; SAH, D.; GHOSH, S. K. Physico-chemical properties and its relationship with water holding capacity of cultivated soils along altitudinal gradient in Sikkim. **International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 161-166, 2012.
- DECAGON DEVICES, INC. **Operator's manual version 5 WP4 Dewpoint PotentiaMeter**. Pulmann: Decagon Devices, 2007. 66 p.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, 2004a.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, filth and hard-setting. **Geoderma**, v. 120, p. 215-225, 2004b.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2011. 230 p. (Documentos 132). Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes>>. Acesso em 25 de setembro de 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 2006. 306 p.

- FIGUEIREDO, C. C. de; LOPES, A. A. de C.; OLIVEIRA, dos L. S.; GONÇALVES, G. C.; MARQUES, S. de S.; SILVA, R. G.; SOUZA, C. H. E. de. Relações físico-hídricas de um Latossolo sob pastagens e cerrado nativo. **Revista Tropic: Ciências Agrária e Biológicas**, v. 2, n. 2, p. 50-57, 2008.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre as propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 885-893, 2002.
- GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; CAMPBELL, C.; REINERT, D. J.; GELAIN, N. S. Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements. **Soil Science of America Journal**, v. 77, p. 19-24, 2012.
- KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 845-855, 2009.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: EDIUPF, 2008. 212 p.
- KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com o psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.
- KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um LATOSSOLO VERMELHO Argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 646-650, 2006.
- LEONG, E. C.; TRIPATHY, S.; RAHARDJO, H. Total suction measurement of unsaturated soils with a device using the chilled-mirror dew-point technique. **Geotechnique**, v. 53, n. 2, p. 173-182, 2003.
- LIBARDI, P. L. Água no solo. In: VAN LIER, Q. de J. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 103-152.
- MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 495-502, 2008.

- MARCOLIN, C. D. **Uso de funções de pedotransferência entre atributos físicos de solos sob plantio direto**. 2009. 187 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.
- MELLO, C. R. de; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, D. F.; LIMA, J. M. 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.
- MELLO, C. R. de; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, D. F.; LIMA, J. M.; LOPES, D. Modelos para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 23-29, 2005.
- MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B. de; KNIES, A. E.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 848-853, 2010.
- NASCIMENTO, P. dos S. **Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos e planilha para manejo da irrigação**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.
- NASCIMENTO, P. dos S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. da S.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. de M.; MANIERI, J. M. Estudo comparativo de métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 193-207, 2010.
- OLIVEIRA, A. E.; GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; GELAIN, N. S. 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.
- PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. de; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas:CT&EF, 2007. p. 121.

Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html/>. Acesso em: 14 de junho de 2013.

PASSOS, J. F. M. dos. **Atributos do solo e produtividade da soja em um Latossolo Bruno afetados por sistemas de manejo e calagem**. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2004.

REICHARDT, K. Parte I: A água. In: REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4º edição revista e ampliada. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 10-19.

REICHARDT, K. Parte II: Os processos. A água em equilíbrio. In: REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4º edição revista e ampliada. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 98-165.

REZAEI, L.; SHABANPOUR, M.; DAVATGAR, N. Estimating the soil water retention curve from soil particle size distribution using the Arya and Paris model for Iranian soils. **Turkish Journal of Agriculture Forestry**, v. 35, p. 649-657, 2011. DOI: 10.3906/tar-1006-1095.

SÁ, P. C. C. de; VALE, C. N. C. do; MAIA, C. E.; LEVIEN, L. A. Índice S de área sob a curva de retenção de água para avaliar qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 2, p. 110-114, 2010.

SILVA, A. M. da. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. de S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 241-281.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSK, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 1-10, 2008.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: Métodos de**

estudo – sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-20.

SILVA, E. F. dos; ASSIS JUNIOR, R. N. de; SOUZA, J. I. G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um Neossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 389-396, 2005.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; HORN, R. Relações do parâmetro α para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2603-2612, 2008, Número Especial.

TAVARES, M. H. F.; FELICIANO, J. J. da S.; VAZ, C. M. P. Análise comparativa de métodos para a determinação da curva de retenção de água em solos. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 417-524, 2008.

THAKUR, V. K. S.; SREEDEEP, S.; ASCE, D. N. S. M. Parameters affecting soil-water characteristic curves of fine-grained soils. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Asce**, issue: 4, n. 131, p. 521-524, 2005. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:4(521).

URACH, F. L. **Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação.** 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VIEIRA, M. L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo.** 2006. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

WALCZAK, R. T.; MORENO, F.; SLAWINSKI, C.; FERNANDEZ, E.; ARRUE, J. L. Modeling of soil water retention curve using soil solid phase parameters. **Journal of Hydrology**, v. 329, p. 527-533, 2006. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.03.005.