

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MESTRADO

**DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA AS PLANTAS
EM TRÊS SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS:
COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO**

DISSERTAÇÃO

PAULO ROBERTO PINA VIEIRA

Campina Grande – Paraíba
Dezembro – 1999

**DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA AS PLANTAS EM TRÊS SOLOS DE
DIFERENTES TEXTURAS: COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE
DETERMINAÇÃO**

PAULO ROBERTO PINA VIEIRA

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADOR : Prof. Dr. HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA

CAMPINA GRANDE – PB

DEZEMBRO - 1999



V657d Vieira, Paulo Roberto Pina
Disponibilidade de agua para as plantas em tres solos de diferentes texturas : comparacao de metodos de determinacao / Paulo Roberto Pina Vieira. - Campina Grande, 1999. 72 f.

Dissertaca (Mestrado em Engenharia Agricola) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Solo - Podzolico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrofico 2. Regosol Distrofico 3. Capacidade de Campo 4. Ponto de Murcha Permanente 5. Agua Disponivel 6. Dissertacao - Engenharia Agricola I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 631.432.2(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

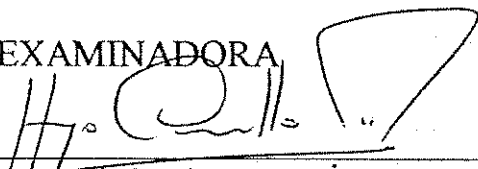
COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

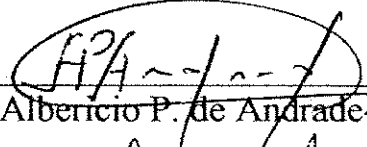
PAULO ROBERTO PINA VIEIRA

Título: "DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA AS PLANTAS EM TRÊS SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS: COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO".

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Hugo Orlando C. Guerra -Orientador



Prof. Dr. Albericio P. de Andrade-Examinador



Prof. Dr. José Dantas Neto-Examinador

PARECER

Aprovado

APROVADO

A PROVA DO

Campina Grande, 16 de dezembro de 1999

Aos meus queridos pais, Ederval Vieira (in memoriam) e Haydeê Vieira, e aos meus irmãos que no seio de uma família pude despertar para a vida e a razão de viver, dando-me um exemplo de vida, inspiração e coragem.

AGRADEÇO

À minha esposa Maria, e aos meus filhos Danilo, Thiago e Ana Paula, pêlos quais eu vivo e trabalho, na esperança de que seus dias sejam bem melhores que os meus.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado o direito de viver e por manter-se sempre presente em todos os momentos de minha vida.

Ao curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de realização deste curso.

A Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A (EBDA), pela minha liberação das atividades de pesquisa, para realização deste trabalho.

Ao Professor Ph.D. Hugo Orlando Carvalho Guerra, pela orientação, compreensão e amizade.

Ao Pesquisador do CNPA-EMBRAPA, MSc. José Renato Cortez Bezerra, pelo importantíssimo apoio, como coorientador, durante todo o trabalho.

Ao Professor Dr.Sc. Alberício Pereira de Andrade, membro da banca examinadora, pelas importantes críticas e sugestões.

Aos Profs. MSc. Hamilton Azevedo, Dr.Sc. José Dantas e Dr.Sc. José Elias Metri e demais professores do Mestrado em Engenharia Agrícola, que contribuíram no meu desenvolvimento técnico e intelectual.

Ao Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (CNPA-EMBRAPA), pela doação de seus campos experimentais para a realização deste trabalho.

Ao pesquisador do CNPA-EMBRAPA, MSc. José Wellington pelo importante apoio nas análises estatísticas.

Aos colegas Eugênio Parcelli, Jonildo Irenildo (in memoriam), Roger Luiz, Gutemberg Silvino, Maria Sallydelândia, Gustavo, Lázaro, Padilha, Juarez e Lima Junior (Japão), pelos momentos compartilhados durante todo este período, tornado mais alegre os dias que eu e minha família por aqui passamos.

A Sra. Rivanilda Diniz, com Jesus no coração, bom humor, sorriso radiante e eficiência, sempre pronta a nos ajudar.

A todos os funcionários do Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID), e do laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), principalmente Francisco Alves, José Maria e o Sr. Pedro, pelo apoio nas análises de laboratório.

E a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO ESPECÍFICOS	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Redistribuição da água no solo	4
2.2 Água disponível par as plantas	6
2.3 Capacidade de Campo (CC)	9
2.4 Ponto de Murcha Permanente (PM P)	16
2.5 Curva característica da água do solo	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Locais e solos	25
3.2 Metodologia	25
3.2.1 Determinação da capacidade total de armazenamento de água do solo	25
3.2.1.1 Capacidade de campo	29
3.2.1.2 Ponto de murcha permanente	31
3.2.1.3. Densidade global	33
3.2.2. Comparação da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente determi- nados pêlos diferentes métodos	33
3.2.2.1 Densidade da partículas	34
3.2.3. Determinação do manejo da irrigação para as diferentes culturas	35
3.2.4 Equipamentos, utensílios e materiais utilizados	35
3.3. Análise dos resultados	36

4. RESULTADOS E DISCUSÕES	37
4.1. Curva característica da umidade do solo	37
4.2. Capacidade de campo	38
4.3. Ponto de murcha permanente	44
4.4. Parâmetros de manejo de Irrigação	51
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
7. APÊNDICE	64

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 01. Caracterização física dos solos estudados	27
Tabela 02. Capacidade de campo determinada pelo método de campo e de laboratório para os três solos estudados.	39
Tabela 03. Capacidade de campo dos três solos estudados, determinados por métodos diferentes (médias comparadas estatisticamente)	40
Tabela 04. Ponto de murcha permanente para os diferentes solos, utilizando o método fisiológico com diferentes culturas e o extrator de Richards	45
Tabela 05. Valores do ponto de murcha permanente dos solos, determinados fisiologicamente e as tensões correspondentes	51
Tabela 06. Parâmetros de manejo da irrigação para o algodão, girassol e feijão calculados usando a CC e o PMP padrões e o método de Richards	52

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 01. Variação da umidade em função do tempo de drenagem num solo úmido, a uma determinada profundidade (z)	13
Figura 02. Faixa de atuação dos diversos métodos de determinação da curva de retenção de água no solo	23
Figura 03. Localização dos municípios do estado da Paraíba, onde foram Realizados os ensaios de campo	26
Figura 04. Caracterização físicas dos solos estudados- distribuição do tamanho das partículas	28
Figura 05. Curvas de retenção de água nos solos franco-arenoso, franco-argiloso e argilo-arenoso (GENUCHTEN).	37
Figura 06. Curva de retenção de umidade para o solo franco-arenoso	41
Figura 07. Curva de retenção de umidade para o solo franco-argiloso	42
Figura 08. Curva de retenção de umidade para o solo argilo-arenoso	43
Figura 09. Curva de retenção de umidade para o solo franco-arenoso	47
Figura 10. Curva de retenção de umidade para o solo franco-argiloso	49
Figura 11. Curva de retenção de umidade para o solo argilo-arenoso	50

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a disponibilidade de água no solo, para o algodão, girassol e feijão vigna, determinando a capacidade de campo pelos métodos de campo e de laboratório e o ponto de murcha permanente pelos métodos fisiológico e de laboratório. Foram utilizados os solos Regosol distrófico (franco-arenoso), Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (franco-argiloso) e Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (argilo-arenoso).

Os resultados obtidos para a capacidade de campo e ponto de murcha permanente, foram comparados estatisticamente entre si, de modo a se identificar qual seria o melhor método a ser utilizado pelos técnicos, quando na elaboração de projetos de irrigação. Os resultados permitem concluir que o método do extrator de Richards vai perdendo a eficácia em relação aos outros dois métodos, na medida em que a textura do solo vai se tornando mais argilosa, e por esta razão, o método de campo e o método fisiológico não deveriam ser substituídos, quando se desejar alta precisão. Os resultados das lâminas de reposição líquida, calculadas nos três solos para as três culturas, utilizando os dados do extrator de Richards quando comparados com aquelas, calculadas utilizando os dados originados pelos métodos de campo e fisiológico, mostraram importantes diferenças, e portanto ratificam esta conclusão.

ABSTRACT

The present work was conducted to study the water availability in the soil for the cotton, sunflower and cowpea, determining the field capacity by the field and laboratory methods and the permanent wilting point by the physiologic and laboratory methods. The soils used were a Distrophic Regossol (sandy loam) and two Red-Yellow Podzolic Equivalent Eutrophic (clay loam and sandy clay).

In order to identify the best methodology to determine the soil water availability for the plants, the results obtained when using different methods to determine the field capacity and the permanent wilting point were statistically compared. The results allowed to conclude that the laboratory methods (Richards extractor) loose efficiency as the clay content of the soil increases. It was also founded that in the need of high precision, the field and physiologic methods to determine, respectively , the field capacity and the permanent wilting point of the soil can not be replaced. Similar comparisons with the calculation of the irrigation depths showed the same trends , which confirm the conclusions.

1 - INTRODUÇÃO :

A região Nordeste do Brasil possui uma área aproximada de 1.640.000 Km² abrangendo nove Estados, nos quais registram-se climas que vão desde o super-úmido ao semi-árido, este último predominante em aproximadamente 52% de sua área. A escassez de chuvas e a má distribuição no tempo e no espaço geográfico desta região, tem-se constituído no principal obstáculo à estabilização da produção de alimentos, causando grandes danos a economia regional. Sua pluviosidade média situa-se num patamar inferior a 800mm, com 70% a 80% das chuvas concentradas em 3 a 4 meses do ano, sendo que em alguns anos, mais de 70% das precipitações ocorrem num único mês (CIRINO, 1993).

Diante desse quadro, pode-se afirmar que os benefícios advindos da irrigação são indiscutíveis, constituindo-se, em uma alternativa fundamental, a curto e médio prazo, que possibilita o uso racional dos recursos hídricos, incorporando-os ao processo produtivo da região, contribuindo para o desenvolvimento integrado, em geral, e em particular o setor agrícola, (SILVA 1987). Porém, ao se tratar de irrigação, lembra-se que sua frequência sob determinado clima, depende, além de outros fatores, da quantidade de água que pode ser armazenada no solo após uma irrigação ou uma chuva. Esta água armazenada, chamada de água disponível, é calculada pela diferença entre dois níveis de água, um superior, a “capacidade de campo” e um inferior, o “ponto de murcha permanente”.

O aproveitamento da água disponível, é um fator relevante, que determina o crescimento e a sobrevivência das plantas, e é em função disto que o estudo e a utilização de métodos na medição da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente tem grande importância, já que é necessário fixar com precisão o valor onde a água da solução edáfica se encontra em quantidade suficiente, pouca ou está indisponível às plantas (PMP). Acha-se ser de vital importância o estudo e a escolha de uma metodologia que seja barata,

acessível e de fácil utilização, que possa determinar a capacidade de campo do solo e o ponto de murcha permanente de uma cultura, no solo onde a mesma será explorada através da irrigação.

Visando contribuir para uma melhor elucidação quanto a eficácia alguns desses métodos, este trabalho de pesquisa tem como objetivo principal, estudar e medir a disponibilidade de água para o algodão (*Gossypium hirsutum*), feijão vigna (*Vigna unguiculata*) e girassol (*helianthus annuus*), em função da "capacidade de campo" (CC) e do "ponto de murcha permanente" (PMP), determinadas a partir de três métodos diferentes, ou seja: o extrator de umidade de Richards, o método de campo considerado como padrão para a determinação da CC e o método fisiológico utilizado para a determinação do PMP, em três tipos de solo texturalmente distintos e representativos para o estado da Paraíba.

1.1. Objetivos específicos

1.1.1 - Determinar a capacidade de campo através do método de campo e do extrator de umidade de Richards (1941), em três tipos de solos distintos: num solo franco-arenoso, num franco-argiloso e num argilo-arenoso, representativos das áreas irrigadas do estado da Paraíba.

1.1.2 - Determinar o ponto de murcha permanente dos três solos texturalmente distintos e representativos em áreas irrigadas do estado da Paraíba, acima referidos, através do extrator de Richards e do método Fisiológico de GAIRON (1973) e/ou de Briggs e Shantz, citados por BERNARDO (1995), utilizando o algodão, o feijão vigna e o girassol como plantas indicadoras.

1.1.3 - Determinar para cada solo, através do extrator de Richards (método da Panela de pressão), a Curva característica de retenção de umidade do mesmos, e de posse dos dados de umidade obtidos através do método de campo e do método fisiológico, utilizar a equação modelo de van GENUCHTEN (1980) de modo a se inferir nas curvas encontradas, a tensão correspondente da umidade na capacidade de campo e do ponto murcha permanente dos referidos solos.

1.1.4 - Comparar estatisticamente os resultados obtidos para cada solo através dos métodos de campo e fisiológico, com os valores obtidos em laboratórios, através do extrator de umidade, e que são comumente aceitos como valores padrão da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, de modo a se ter uma idéia a respeito das possíveis discrepâncias entre os resultados.

1.1.5 - Determinar a capacidade total da água do solo (**CTA**), a água disponível para as plantas (**AD**), a frequência de irrigação (**FI**) e a lâmina de reposição líquida (**LRL**).

1.1.6 - Discutir a aplicabilidade desses métodos, objetivando poder recomenda-los como prática rotineira dos Projetistas, quando na elaboração de projetos de irrigação.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Redistribuição da água no solo

O processo de redistribuição da água do solo, consiste na dinâmica da água no solo durante e em seguida ao processo de infiltração, no qual se verifica contínuo movimento de água em decorrência de gradientes de potencial gravitacional e matricial no solo. É um processo complexo, uma vez que o conteúdo de água tende a reduzir-se nas zonas inicialmente mais úmidas e a aumentar nas zonas inicialmente mais secas. Esse processo é sensivelmente afetado pela absorção de água pelas raízes o que torna a dinâmica de água ainda mais complexa (FARIA, 1998).

Quando cessa a chuva ou a irrigação e a reserva de água da superfície do solo se esgota, o processo de infiltração chega ao fim, uma vez que não haverá mais entrada de água para dentro do solo. O movimento de água dentro do perfil, porém, não cessa e pode persistir por muito tempo. A camada de solo quase ou totalmente saturada não retém sua água, parte dela move-se para baixo, isto é, para camadas mais profundas, principalmente sob influência do potencial gravitacional, podendo também mover-se segundo gradiente de outros potenciais, porventura presentes. Este movimento por infiltração é chamado de *drenagem interna* ou *redistribuição*. Este processo se caracteriza por aumentar a umidade de camadas mais profundas a expensas da água contida nas camadas superficiais inicialmente umedecidas, (HILLEL, 1980). Segundo REICHARDT (1985), em alguns casos, a velocidade de redistribuição diminui rapidamente, tornando-se desprezível após alguns dias, de tal forma que se tem a impressão que o solo mantém sua umidade constante, salvo quando a água do solo é evaporada ou retirada do perfil pelas

raízes das plantas. O mesmo autor, ao analisar o processo de redistribuição, afirma que na ausência de lençol freático e sendo o solo suficientemente profundo, o perfil típico de umidade no fim do processo de infiltração consiste de uma camada úmida superior e uma inferior não molhada. A velocidade inicial de redistribuição depende da profundidade da camada molhada na infiltração, bem como do teor de umidade da zona seca mais profunda e da condutividade hidráulica do solo. Se a camada inicialmente molhada for pouco profunda e se o solo da parte inferior estiver bem seco, os gradientes de potencial serão grandes e a velocidade de redistribuição é relativamente rápida. Por outro lado, se a camada inicialmente molhada for profunda e se o solo abaixo estiver bem úmido, o gradiente de potencial matricial será pequeno e o processo de redistribuição ocorrerá principalmente sob a influência da gravidade. Em qualquer caso, a velocidade de redistribuição geralmente decresce com o tempo por duas razões: a) o gradiente de potencial matricial entre as zonas úmidas e secas diminui à medida que as primeiras perdem e as últimas ganham umidade; b) à medida que a zona úmida perde umidade, sua condutividade hidráulica cai bruscamente. Ambos diminuindo com o passar do tempo, o fluxo decresce rapidamente. O avanço da frente de molhamento decresce de maneira análoga. Durante o processo de infiltração ela é bem definida e gradualmente se dissipa durante a redistribuição.

Segundo ANDRADE et al (1998), no caso do escoamento unidimensional resultante de irrigação por superfície, tal como inundação, ou por aspersão, a redistribuição será predominantemente vertical. Cessada a irrigação, a frente de umedecimento se aprofunda no perfil de solo, o conteúdo de umidade local tende a reduzir-se, havendo também redução na condutividade hidráulica, nos gradientes de potenciais e no movimento da frente de umedecimento. No caso do escoamento tridimensional, como ocorre em gotejamento, a dinâmica de água é dependente tanto dos gradientes de potenciais devido às forças de tensão ou sucção, como também devido a gravidade.

A importância do processo de redistribuição, segundo HILLEL (1980), deveria ser auto-evidente pelo fato dele determinar a quantidade de água retirada a cada instante pelas diferentes camadas do perfil de solo, ficando o resto disponível às plantas. REICHARDT(1985), afirma que a velocidade e a duração desse processo determinam a capacidade efetiva de armazenamento da água do solo, sendo esta propriedade de vital importância no uso de água das plantas.

2.2. Água disponível para as plantas

O solo funciona como suporte físico e reservatório de água para as plantas, além de, na maioria dos casos, ser o fornecedor dos principais nutrientes necessários à produção. As partículas do solo, arranjadas em grânulos e agregados, constituem um meio poroso com grande diversidade de forma e geometria, o que confere ao sub-sistema solo-água grande complexidade. O tipo de arranjo dos constituintes do solo afeta a interação entre a água e o solo no sistema solo-água-atmosfera que traduzida em termos de estado de energia da água na forma de potencial, governa inúmeros processos, entre os quais o movimento de água, nutrientes e agroquímicos no solo e a absorção de água e nutrientes pela planta (ANDRADE et al, 1992).

De uma maneira geral, as plantas absorvem centenas de gramas de água para cada grama de matéria seca produzida. A planta tem suas raízes mergulhadas no reservatório de água do solo e as folhas sujeitas à ação da radiação solar e do vento, obrigando-a a transpirar incessantemente. Para crescer adequadamente ela precisa possuir uma "economia de água" tal que a demanda feita sobre ela pela atmosfera, seja balanceada pelo seu abastecimento por parte do solo. O problema é que a demanda por evaporação devido à atmosfera é praticamente constante, ao passo que os processos que adicionam água ao solo, como a chuva, ocorre apenas ocasionalmente e geralmente com irregularidade. Para sobreviver nos intervalos entre chuvas a planta precisa contar com a reserva contida no solo ou deve-se irrigar, (REICHARDT, 1985).

Segundo o mesmo autor, o conceito de disponibilidade de água para as plantas trouxe por muitos anos controvérsias entre pesquisadores. A principal delas é provavelmente a falta de uma definição física do conceito. O problema tornou-se mais complexo quando se verificou que diferentes plantas respondem diferentemente ao conteúdo de água do solo. Isto levou os pesquisadores a reconhecerem que o conteúdo de água do solo, por si só, não é um critério adequado para definir disponibilidade. A partir desse momento, tentou-se resolver o problema correlacionando o estado de água na planta com o estado da água no solo, em termos de potenciais. Entretanto, apesar do uso destes conceitos de energia representarem um avanço considerável, faltou ainda a necessidade de se considerar o sistema solo-planta-atmosfera como um sistema extremamente dinâmico.

Como exemplo, pode-se citar um experimento realizado por Denmead e Shaw em 1962, citados por REICHARDT (1985), onde os mesmos descobriram uma confirmação experimental do efeito de condições dinâmicas sobre a absorção de água das plantas e subsequente transpiração. Estes autores mediram a taxa de transpiração de plantas de milho cultivadas em vaso e no campo, sob diferentes condições de irrigação e evaporação. Sob condições de evapotranspiração potencial de 3 a 4 mm/dia, a taxa de evapotranspiração real caiu abaixo da potencial, com médias de umidade do solo correspondentes a uma tensão de aproximadamente 2,0 atm. Sob condições meteorológicas mais extremas (evapotranspiração potencial variando entre 6 a 7 mm/dia), a queda da evapotranspiração real verificou-se já à umidade do solo correspondente a um potencial de 0,3 atm. Para uma evapotranspiração potencial muito baixa, menor que 1,5 mm/dia, nenhuma queda na evapotranspiração real foi percebida até potenciais de 12 atm.

Para efeito da Engenharia de Irrigação, segundo WALKER & SKOGERBOE (1984) e BERNARDO (1995) a água disponível para as plantas é aproximadamente a diferença entre o conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo e o conteúdo da mesma no ponto de murcha permanente, equivalendo às tensões de 1/3 a 15 atm respectivamente. Este conceito pressupõe que a água do solo entre as tensões de 0 atm (solo saturado) e 1/3 atm não seja disponível às plantas, indo perder-se nas partes mais profundas do perfil do solo, por ação da gravidade. Em verdade, esta água, erroneamente designada de gravitacional, muitas vezes é absorvida pelas plantas. Só em casos de solos muito permeáveis, submetidos a irrigações ou chuvas excessivas, com culturas de sistema radicular pouco profundo, é que muita água é perdida por percolação, mas, mesmo assim, não existe um intervalo fixo de tensão como de 0 e 1/3 atm para definir a água sujeita a ação da gravidade. Este conceito de água disponível supõe que a água do solo acima de 15 atm de tensão não seja mais disponível às plantas. Isso também não pode ser generalizado, pois diferentes culturas apresentam diferentes capacidades de resistência à deficiência d'água no solo (BERNARDO, 1995). Não obstante, ainda segundo o mesmo autor, o conceito de água disponível fornece um critério para caracterizar o solo quanto à sua capacidade de armazenar água. Em solos profundos e com grande capacidade de retenção de água, pode ser possível cultivar vegetais de sistema bem desenvolvido, sem irrigação ou chuva adicional, desde que o solo seja bem umedecido até uma profundidade

considerável, na época do plantio. Se a capacidade de retenção de água de um solo for pequena, por ser o solo raso ou de textura grossa, freqüentes irrigações serão necessárias.

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente são constantes hídricas do solo muito usadas já que representam praticamente os limites superior e inferior da água disponível armazenada para uso das plantas. Do ponto de vista de engenharia de irrigação e ambiental, o conceito de limite superior de água disponível ainda é de extrema importância, tanto para projeto e manejo das irrigações, quanto para o monitoramento e modelagem do transporte de água e agroquímicos no solo. Em termos numéricos calcula-se a água disponível empregando-se a seguinte equação:

$$\theta_{ad} = \theta_{cc} - \theta_{pmp} \quad (01)$$

Onde

θ_{ad} = água disponível, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

θ_{cc} = conteúdo de umidade do solo na capacidade de campo, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

θ_{pmp} = conteúdo de umidade do solo no ponto de murcha permanente, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Vale lembrar que a água disponível deve ser determinada para cada camada ou horizonte do perfil do solo e que o valor em termos de lâmina pode ser obtido empregando-se a equação:

$$A_1 = \theta_{ad} * L \quad (02)$$

Onde

A_1 = Água disponível no campo 1, em $\text{cm}^2 \text{cm}^{-3}$

L = espessura da camada do solo 1, em cm.

No caso de projetos de irrigação, deve-se considerar várias camadas de perfil do solo, determinar os limites superior, inferior e a água disponível para cada camada e adicionar esses valores para a profundidade efetiva da zona radicular da cultura (FARIA, 1988).

2.3. Capacidade de campo (CC)

Veihmeyer & Hendrickson em 1946, citados por PREVEDELLO (1996) e a SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1965), definem a capacidade de campo como sendo a percentagem de água que permanece no solo 2 a 3 dias após o mesmo ter sido saturado e a drenagem livre ter praticamente cessado. Em 1973, HADAS concordou com esta definição, porém discordando no tempo de drenagem livre, que segundo o mesmo, seria de 2 a 5 dias.

A umidade do solo na qual a drenagem interna praticamente cessa, denominada capacidade de campo, foi por longo tempo assumida universalmente como uma propriedade física do solo, característica e constante para cada solo. Acreditava-se, até, que ela era o resultado de um equilíbrio estático ou de uma descontinuidade dos poros do solo. Segundo REICHARDT (1985), ela foi derivada originalmente de medidas pouco precisas de umidade do solo no campo, onde medidas e amostragem necessariamente limitaram a precisão e a validade dos resultados. Foi comumente assumido que a aplicação de certa quantidade de água no solo preencheria o déficit à capacidade de campo até uma profundidade bem definida, além da qual a água penetraria. Calcula-se a quantidade de água a ser aplicada por irrigação na base do déficit à capacidade de campo da camada de solo a ser molhada.

DAKER (1976), afirma que os solos com elevada capacidade de campo são os que apresentam melhores condições à exploração agrícola, já que, o solo nessa condição, encontra-se com a máxima quantidade de água que ele pode reter contra a ação da força gravitacional terrestre. No entanto, ela deve estar bem abaixo da umidade de saturação, de modo que o conteúdo de ar do solo seja suficiente para a planta. Isto porque, sendo a capacidade de campo, em percentagem na base de volume do solo, o mesmo que Porosidade total (θ_s), a diferença entre uma e outra constitui o volume total de poros não capilares, que são normalmente ocupados pelo ar (Umidade de saturação (θ_s) - Capacidade de campo = Volume total de poros não capilares).

Na capacidade de campo, a quantidade de água presente é uma característica do tipo de solo. Solos com maior quantidade de partículas finas, possuem muitos poros pequenos, e podem reter mais água do que os solos de textura grossa (STREET, 1973).

Com os conhecimentos atuais do movimento de água em solos saturados e não-saturados, tornou-se evidente que a capacidade de campo é um conceito arbitrário e não uma propriedade física do solo. Em solos de textura grossa, geralmente a redução da intensidade de movimento da água com a diminuição da umidade do solo, abaixo de certos valores, apresenta uma faixa de transição bem nítida, tornando a capacidade de campo bem definida nestes tipos de solos; porém, em solos de textura fina, não há uma nítida faixa de transição na redução da intensidade de movimento de água, tornando o conceito de "capacidade de campo" pouco preciso (BERNARDO, 1995). Isso ocorre, porque em solos de textura grossa, a condutividade hidráulica decresce rapidamente com a diminuição da umidade do solo e o fluxo torna-se muito pequeno rapidamente. Nos solos de textura média e fina, entretanto, o processo de redistribuição pode persistir de maneira apreciável por vários dias e mesmo meses (REICHARDT, 1985). Ensaio realizado em solos de textura fina, cobertos com plástico de polietileno preto para prevenir a evaporação, mostraram que a capacidade de campo pode ser difícil de se determinar com a redistribuição da água demorando por muitos dias, às vezes meses, com queda lenta e constante no teor de água do solo: 20,2% no primeiro dia; 18,7% no segundo; 17,5% no sétimo; 15,9% no trigésimo; 14,7% no sexagésimo e 13,6% no 156º dia, o que traz a questão de qual seria a verdadeira capacidade de campo desse solo, (KLAR, 1991). Segundo STAKMAN (1979), todas estas definições são indutoras de erros. O conceito "praticamente cessação da drenagem" (drenagem negligível), serve somente para um solo homogêneo, com boas propriedades de transmissão de água. Ele acha que na tentativa de correlacionar a capacidade de campo com uma tensão de umidade de uso prático, ignora-se o fato de que no perfil do solo as condições de umidade não dependem somente das forças de retenção de água, mas também das propriedades de transmissão desta em todo o perfil.

Apesar de todas as objeções a capacidade de campo, a sua determinação é imprescindível na elaboração de projetos de irrigação, pois é utilizada no cálculo da água disponível do solo (BERNARDO, 1984 e KLAR, 1991). Ela varia de 4 % nos solos arenosos até 45 % nos pesados argilosos, podendo ainda ser maior, nos orgânicos. Os principais fatores que a afetam são: textura, tipo de argila, teor de matéria orgânica,

profundidade de molhamento, umidade anterior ao umedecimento, presença de camadas de impedimento e evapotranspiração, (KLAR, 1991).

Métodos laboratoriais foram sugeridos com base em correlações entre valores de umidade encontrados em condições de campo e a umidade remanescente numa amostra de solo previamente saturada e sujeita a determinada pressão constante dentro do extrator de Richards (PREVEDELLO,1996). Judy et alli, citados por FARIA (1998), afirmam que muitas tentativas tem sido feitas para considerar o limite superior de água disponível com o conteúdo de umidade do solo em equilíbrio com tensões de -10 ou -33 kPa ($\pm 0,1$ ou $0,33\text{atm}$). Só que, ainda segundo o mesmo autor, essa definição desconsidera o fato de que o equilíbrio de água no solo depende das propriedades de transmissão do meio poroso como um todo e do gradiente de potencial total, e não somente do estado de energia da água em um ponto particular do perfil. Além do mais, devido ao formato da curva de retenção naquela faixa de potencial, onde a aplicação de pequenas tensões provocam significativas variações de umidade, grandes erros podem ser cometidos na obtenção do valor da umidade do solo na capacidade de campo associado com um determinado valor de potencial matricial. Segundo RICHARDS (1965), o conceito de capacidade de campo fez mais mal do que bem, pois foi muito generalizado, deixando de observar aspectos vitais quando na sua determinação, uma vez que ao se extrapolar o conceito a métodos laboratoriais, foi generalizada a umidade à capacidade de campo como aquela equivalente a tensão de $1/3$ bar ($\pm 0,33\text{atm}$).

Nessa polêmica, muitos pesquisadores têm procurado fixar o valor da tensão matricial equivalente a umidade do solo na capacidade de campo. Em 1955, Haise et al, sem especificar a classificação textural do solo, indicaram que a umidade na tensão de $0,1$ atm foi a que melhor se aproximou da capacidade de campo medida no campo. Já Salter & Haworth em 1961, mostraram que a umidade correspondente à tensão de $0,5$ atm se correlacionou razoavelmente com a capacidade de campo em solo francos arenosos, enquanto Salter & Williams em 1965, encontraram que em 18 solos, variando a textura desde franco arenosos até argilosos, a tensão de $0,3$ atm proporcionou conteúdo de água inferior a capacidade de campo (PREVEDELLO,1996). Em 1966 Duchaufourt citado por CARRILLO (1985), ao estudar a capacidade de campo de diferentes solos usando o extrator de Richards, fixou a capacidade de campo em $0,1$ atm para solos arenosos; $0,3$ atm para solos francos e $1,0$ atm para solos argilosos. Estudos realizados por HILLEL em 1973

encontraram que para determinar a capacidade de campo precisava-se de tensões entre 0,1 a 0,6 atm. Em 1975, RUIZ e GRILLO, estudaram vários métodos para a determinação da capacidade de campo e confirmaram que em solos arenosos a tensão de 0,1 atm na panela de pressão, dava melhores resultados que aqueles obtidos com as de 0,3 atm comumente recomendados. Em 1977 e 1979, CARRILLO utilizando a metodologia do extrator de Richards, com 24 horas de saturação e 48 horas de extração de umidade, em 4 tipos de solos, confirma os resultados de Duchaufourt, ou seja, que a capacidade de campo poderia ser estimada com tensões entre 0,1 a 1,0 atm, dependendo do tipo de solo. O método da curva de retenção utilizado por CIRINO em 1992, mostrou que para o solo arenoso, franco-argilo-arenoso e argilo-arenoso, as tensões que reproduzem a umidade a capacidade de campo foram: 0,1; 0,1; e 0,2 atm respectivamente.

REICHARDT et alli (1985), ao pesquisarem um solo do estado de São Paulo, com horizonte B textural, de condutividade hidráulica aproximadamente 10 vezes menor que o horizonte superficial, verificaram que, em condições idênticas, ao se aplicar três irrigações diferentes no mesmo solo, três valores distintos de capacidade de campo foram encontrados. Face a isso, eles afirmam que não existe e nem pode existir um método de laboratório para a determinação da capacidade de campo. Os valores dos vários métodos de laboratório que mesmo assim foram propostos, tais como valores obtidos na placa de pressão a 1/10 ou 1/3 atm, nunca poderão representar capacidade de campo medida no terreno, já que esses critérios são estáticos e o processo de redistribuição é essencialmente dinâmico. Diante de tal constatação, eles ainda fazem a seguinte indagação: como pode uma amostra de 10g, colocada na placa porosa sob determinada pressão, representar um perfil de solo de camadas heterogêneas? e terminam afirmando que apenas em algumas circunstâncias ela pode representar o perfil, mas que é fundamentalmente errado esperar que tal critério seja universalmente aceito.

Na ausência de lençol freático, o processo da redistribuição é contínuo, isto é, para uma profundidade dada de solo a umidade varia indefinidamente em taxas progressivamente menores no tempo, sendo difícil precisar quando ela se torna desprezível, ou seja, quando se verifica a relação $(\partial\theta/\partial\tau) = 0$ na figura 01. O comportamento da curva mostrada na figura 01 varia de solo para solo e é governado pela sua propriedade em conduzir água (condutividade hidráulica), que sofre uma redução drástica à medida que o

solo perde água. Inúmeros experimentos têm mostrado que a curva da figura 01 varia com a profundidade de molhamento do solo (o que está relacionado com a quantidade de água aplicada), com as condições iniciais de umidade que o solo apresenta antes da chuva ou irrigação, com a evaporação ocorrente na superfície do solo, com a absorção de água pelas

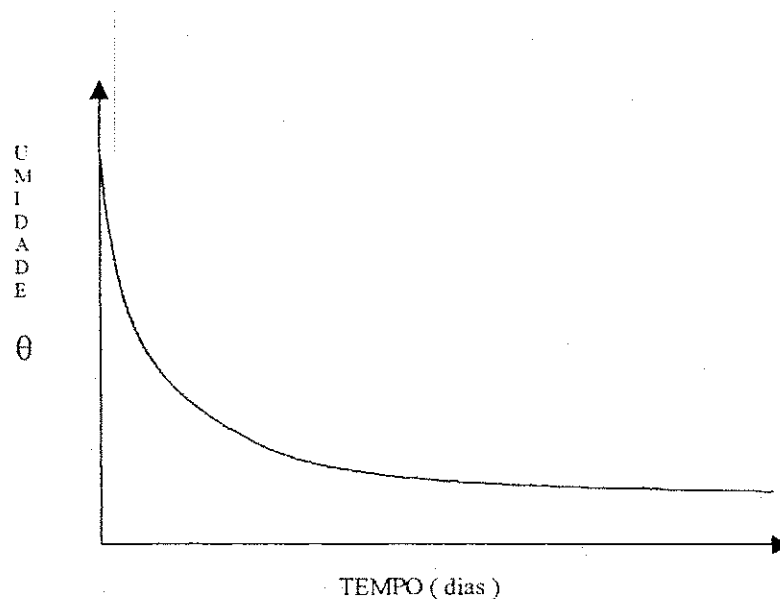


Figura 01 : Variação da umidade (θ) em função do tempo de drenagem, num solo úmido, a uma determinada profundidade (z) (FARIA, 1998).

plantas, com a heterogeneidade do perfil do solo, com o manejo do solo, profundidade do lençol freático, etc. E todas essas variáveis estão presentes quando se pretende manejar a água de irrigação para uma cultura qualquer, pois, em condições reais, os processos da drenagem interna, evaporação e absorção de água pelas plantas ocorrem simultaneamente. Desse modo, o termo capacidade de campo, tal como foi definido por Veihmeyer & Hendrickson em 1949 não satisfaz, do ponto de vista da física do solo, porque o processo de drenagem interna deve ser tratado como um processo dinâmico, computado pelas propriedades hidráulicas do solo e pelas condições que contornam os limites físicos do problema (PREVEDELLO, 1996).

Esta indefinição em relação ao valor da tensão de uso prático ideal, deixa em aberto o conceito de capacidade campo, o qual, como pode-se ver, é muito polêmico.

Entretanto, segundo ANDRADE et al (1998), apesar das limitações deste conceito, essa é uma informação importante e continuará sendo necessária. O que deve ser feito, todavia, é a determinação do limite superior de água disponível no campo.

Cassel e Nielsen em 1986 e Reichardt em 1996, citados por ANDRADE et al (1998), descrevem procedimentos de campo e metodologias para determinação do limite superior de água disponível, com a vantagem que o mesmo experimento pode ser utilizado para a obtenção tanto da capacidade de campo quanto da condutividade hidráulica do solo não saturado. Eles indicam que a maior dificuldade em aplicar essa técnica ainda é o estabelecimento do momento de se assumir que o solo atinge a capacidade de campo ou que a taxa de percolação profunda torna-se desprezível. Reportando-se a um experimento realizado por Andrade et al em 1991, numa parcela de Areia Quartzosa, eles citam que mesmo aos 38 dias após a saturação e cobertura com plástico, ocorreu redução da umidade do solo, e que o potencial matricial não abaixou além dos $-6,5\text{kPa}$ ($-0,065\text{atm}$). Assim sendo, assumiu-se que o solo atingiu a capacidade de campo quando as variações no conteúdo de umidade com o tempo fossem menores que $0,005\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$, por considerar que essa água em processo de drenagem pudesse ser absorvida pelas plantas devido as condições de alta demanda evaporativa da região. O valor do potencial matricial do solo na capacidade de campo, medido com tensiômetro, foi de $-4,5\text{ kPa}$ ($\pm 0,045\text{atm}$), muito maior do $-33,0\text{ kPa}$ ($\pm 0,33\text{atm}$) recomendado para solo arenosos. Assim, eles concluem dizendo que grandes erros podem ser cometidos se o limite superior de água disponível for obtido a partir de curvas de retenção determinadas em laboratórios. FARIA (1998) recomenda que essas curvas devem ser obtidas a partir das informações de experimentos de campo, por serem consideradas as mais representativas das reais condições em que as plantas estão submetidas. Ratliff et al em 1983, citados por PREVEDELLO (1996), definiram esse limite de disponibilidade como o conteúdo de água no solo no qual a taxa diária de drenagem interna, após completo molhamento do solo, foi reduzida entre 0,1% e 0,2% do armazenamento inicial. A partir de dados de 61 perfis de solo, oriundos de 15 estados norte-americanos, eles observaram que o tempo de drenagem da capacidade de campo, por esse critério, variou entre 2 e 12 dias. Alguns solos de textura fina e com camadas restritivas requereram até 20 dias.

A capacidade de campo pode ser inferida na curva de retenção de umidade. Entretanto, pouco tem sido feito para desenvolver técnicas de determinação da curva de retenção *in situ* (OR e WRAITH, 1997). Um método comumente empregado consiste em instalar lado a lado no campo sensores de potencial matricial e de conteúdo de umidade e proceder medições com o tempo, à medida que a umidade do solo modifica-se. Variações nas condições de umidade do solo podem ser induzidas pela evaporação da água do solo ou através da extração pelas culturas. Atualmente tem sido empregada a TDR (Time Domain Reflectometry) juntamente com tensiômetros dotados de transdutores de pressão, ligados a um coletor de dados ou computador para o monitoramento simultâneo do potencial matricial e da umidade do solo. Uma alternativa para os tensiômetros, que tem faixa de atuação limitada, é a utilização de blocos de resistência elétrica (ou de dissipação de calor) calibrados para potencial matricial ou emprego de psicrômetros termopar de campo (FARIA, 1988).

O conceito de capacidade de campo pressupõe condições de umidade de solo estáticas e representam um equilíbrio com relação aos conteúdos de água no solo. Na realidade, a redistribuição constante da umidade no perfil do solo, em condições saturadas e não saturadas, é um processo dinâmico e, de acordo com a física, não se pode supor esses níveis estáticos. Apesar disto, por razões práticas, continua considerando-se esses conceitos úteis para a determinação da umidade disponível do solo, (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

Modelos matemáticos têm sido gerados com o objetivo de calcularem a capacidade de campo. Segundo PREVEDELLO (1996), se a condutividade hidráulica for conhecida, o conceito de capacidade de campo pode receber uma análise mais formal. Desse modo ele propõe a seguinte equação:

$$\theta_{cc} = \theta_s \left[\tau / K_s \right]^{1/(2/\lambda + 2,5)} \quad (03)$$

Onde:

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo úmido

K_s = condutividade hidráulica no solo saturado

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo

θ_s = umidade do solo saturado

τ = taxa de drenagem considerada desprezível

λ = parâmetro independente

Conclui-se, assim, que a capacidade de campo depende unicamente da escolha da taxa de drenagem considerada desprezível e das propriedades hidráulicas do perfil de solo (PREVEDELLO, 1996).

Portanto, o tempo ideal para a estimativa da capacidade de campo, dada a natureza do processo e da importância dessa estimativa para propósitos práticos, deve merecer, por parte da pessoa interessada, determinados cuidados. Isso porque a taxa na qual o processo de drenagem interna torna-se desprezível (τ) depende, inclusive, do processo que está sendo estudado. Para fins de irrigação, por exemplo, a estimativa da capacidade de campo deve ser realizada "in situ", podendo ser feita dois ou três dias após o processo de molhamento do solo, desde que as condições físicas do solo, a lâmina de água utilizada no processo de molhamento e a forma de sua aplicação sobre a superfície do terreno se aproximem daquelas dos momentos futuros de rega. Já para os interessados no estudo de lixiviação de nutrientes e pesticidas, bem como de recarga de aquíferos subterrâneos, a estimativa da capacidade de campo deve ser realizada em tempos mais longos, isto é, quando a taxa de fluxo descendente (τ) for desprezível para esses propósitos. Finalmente, o interessado deve reconhecer as limitações das interpretações antigas do conceito de capacidade de campo e entender que a sua estimativa, quando realizada por procedimentos genéricos, não passa de uma aproximação grosseira, já que o processo de redistribuição da água é dinâmico dentro do solo (PREVEDELLO, 1996).

2.4 . Ponto de murcha permanente (PMP)

Sob condições de campo, é comum notar que pela tarde alguns vegetais murcham, mesmo estando o solo com teor de umidade relativamente alto. Eles recuperam a turgidez durante a noite e permanecem túrgidos até a tarde do dia seguinte. Este caso é

chamado de “murchamento temporário” e é mais comum durante os dias muito quentes, (BERNARDO, 1995). No algodão, é muito comum o aparecimento desse fenômeno nas tardes dos dias muito quentes.

Segundo BERNARDO (1995), o ponto de murcha permanente é aquele em que a planta que murcha durante a tarde não recupera a sua turgidez durante a noite, e na manhã seguinte permanece murcha. Somente recuperará sua turgidez após uma irrigação ou chuva. É usado para representar o teor de umidade no solo, em que abaixo dele a planta não conseguirá retirar água do mesmo na mesma intensidade em que ela transpira, aumentando a cada instante a sua deficiência, o que a levará a morte, caso não seja irrigada. Ponto de murchamento e, pois, o limite mínimo da água armazenada no solo que será usada pelos vegetais. Ainda, segundo o mesmo autor, este conceito é muito útil, mas deve-se lembrar que o seu valor depende do tipo de solo e que diferentes plantas têm a capacidade de extrair água até diferentes limites.

De um modo geral, em sua maioria, os vegetais não diferem muito no que diz respeito ao ponto de murcha permanente, mas existem plantas que podem sobreviver com déficit d'água muito intenso. São plantas resistentes à seca, porém, a sua extração d'água processa-se lentamente. Outras cessam de crescer bem antes de apresentarem sinais de murchamento. É muito comum usar o girassol, como planta indicadora do ponto de murcha permanente em estufas, (BERNARDO, 1995).

O nível inferior do “reservatório” solo é o limite inferior de água disponível, também chamado de “*ponto de murcha permanente*” (FARIA, 1998). À medida que se aproxima do “ponto de murchamento”, o fenômeno de retenção d'água pelo solo não pode mais ser explicado pela ação da força capilar ou tensão superficial. A água é retida pela ação das forças de adsorção existentes entre as partículas do solo e as moléculas d'água, porém não há nítida transição entre um tipo de retenção e o outro. Nos dois tipos de retenção, as mesmas leis de movimento d'água no solo são aplicadas (BERNARDO, 1995).

CIRINO (1992), afirma que Peter e Gairon em 1965 e 1973 respectivamente, numa tentativa de clarear o conceito nesta linha de conhecimento, deram a seguinte definição: o ponto de murcha incipiente é o conteúdo de água do solo no qual as duas folhas inferiores de um tipo particular de planta, num estágio particular de desenvolvimento, murcham e se recuperam numa atmosfera saturada. No caso de continuar a observação até

que toda a planta torne-se permanentemente murcha e não se recupere quando colocada numa atmosfera saturada, o conteúdo de água do solo nesse estágio corresponde a percentagem de murcha permanente ou ponto de murcha permanente.

De acordo com CARRILLO (1977), o “ponto de murchamento” (umidade crítica) é o limite inferior da reserva de umidade aproveitável do solo para as plantas, e que em termos gerais, para a obtenção de altos rendimentos, as culturas requerem uma umidade utilizável acima do dito nível crítico e que esta umidade corresponda à exigências hídricas das mesmas; desta maneira a irrigação se tornaria mais tecnicada, se faria um uso mais racional do uso água e se asseguraria as colheitas. Assim, principalmente no que diz respeito a questão econômica, ele resume a importância que representam estes estudos para os diferentes tipos de solos.

REICHARDT (1985), cita que o “*ponto de murcha permanente*” foi definido por Veihmeyer e Hendrickson em 1948 com a umidade do solo na qual uma planta não túrgida não restabelece turgidez, mesmo quando colocada em atmosfera saturada por 12 h. Segundo OR e WRAITH (1997), na prática assume-se que o limite inferior de água disponível ocorre quando a planta não consegue extrair água do solo a uma taxa suficiente para suprir a demanda atmosférica e assim murcha irreversivelmente e morre.

Entretanto, de acordo com FARIA (1998), ao contrário do que ocorre com o limite superior de água disponível, os erros cometidos na determinação do “Ponto de Murcha Permanente” representam pequenas variações em termos de conteúdo de umidade do solo e, de fato podem ser desprezíveis.

Muitos tem sido os métodos e dispositivos ensaiados na determinação da umidade do solo no ponto de murcha permanente, baseando-se na distintas propriedades e características dos mesmos. De acordo com CARRILLO (1985), o método do acadêmico soviético S.Y. Dolgov, corresponde a determinação do Ponto de Murcha Permanente pelo método fisiológico utilizando plantas indicadoras (cevada e milho) em condições de laboratório. O método de Briggs e Shantz citado por FRANCO & MENDES (1947) e o método de GAIRON (1973), com metodologias semelhantes, usam o girassol anão (*Helianthus annuus*) como planta indicadora, sendo estas as mais utilizadas atualmente e portanto consideradas por muitos como os métodos padrões para a referida determinação. A escolha do girassol como planta indicadora, deve-se, provavelmente, as necessidades

hídricas da mesma, que são relativamente altas (600 a 1000 mm) em comparação com a maioria das culturas. Segundo DOORENBOS & PRUITT (1977), apesar de seu elevado consumo de água, a cultura é capaz de suportar períodos curtos de déficit hídricos severos no solo (tensão de até 15 atm).

Em 1941 se criou a membrana de pressão de Richards como método de laboratório, no qual se utilizava gases sob pressão para extrair a umidade do solo. O referido método dá a possibilidade de obter uma gama de valores associados entre a retenção da umidade exercida pelas partículas do solo e seu conteúdo. Desta maneira se pôde caracterizar os diferentes solos mediante suas curvas de tensão-umidade e se adquirir conhecimentos da relação água-solo-plantas. Este estudo dá a irrigação um caráter mais científico, pois baseia seus conceitos na energia de retenção da umidade do solo, e compara esta com os esforços realizados pelas culturas para sua extração e aproveitamento (CARRILLO, 1977).

Das investigações realizadas por Richards e Weaver (CIRINO, 1992), se admite que para uma grande quantidade de solo diferentes existe uma elevada correlação entre a percentagem de umidade no Ponto de Murcha Permanente e a tensão de -15 atmosferas. Assim, a SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1965), define o ponto de murcha permanente como a percentagem de água contida num solo, previamente saturado, sujeito a uma pressão aplicada de 15 atm e em equilíbrio. Mas em 1944 Richards e Weaver citados por CIRINO (1992), já indicavam que tal tensão poderia atingir até 60 atm para alguns tipos de solos.

DWANE e LOOMIS (1966), concluíram que a diferença entre a umidade retida a -15 atm e o valor do PMP determinado com milho em dois tipos de solo não excedia os 1,2% e que para a referida planta a tensão de umidade foi superior a -15 atm. CARRILLO (1975), indicou que quando o ponto de murcha permanente foi estimado pelo método de Richards, -15 atm resultava entre 2 e 4% superior ao valor determinado pelo método fisiológico, ao utilizar milho e cevada como plantas indicadoras num solo terralítico roxo. RESENDE et al (1977), ao estudar a disponibilidade de água para os cultivos, estabeleceram que as diferenças não excediam o 0,5% do peso do solo seco, entre o ponto de murcha permanente determinado com milho e a umidade a -15 atm, em cinco tipos de solos. CARRILLO (1985) cita que em 1950, Peele e Beale, consideraram que o percentual

de umidade a -15 atm era uma boa estimativa do ponto de murcha permanente em solo da Carolina do Sul (USA). Cita também, que, em 1978, Rivero et al, afirmaram que os valores obtidos com o extrator de Richards eram extremamente altos a 15 atm, em comparação aos do ponto de murcha permanente determinados pelo método fisiológico com dois tipos de solos. CIRINO (1992), utilizando o extrator de Richards, mostrou, através da curva de retenção, que para o solo arenoso, franco-argilo-arenoso e argilo-arenoso, as tensões que reproduziram a umidade no ponto de murcha permanente foram 3,0; 5,0; e 7,0 atm respectivamente. O mesmo autor, recomenda repetir as determinações pelo método fisiológico para confirmar os baixos valores encontrados com o método da curva de retenção. Mas, o potencial matricial da água no solo no ponto de murcha permanente, segundo FARIA (1998), pode variar de 10,0 a 20,0 atm.

Durante o período 1979-1980, CARRILLO comparou três métodos na medição do PMP: o biológico (Dolgov), o da câmara de pressão de Richards e o da fórmula empírica a partir da Umidade Equivalente ($PMP = UE / 1,84$) num solo ferralítico roxo e num ferralítico calcítico amarelo lixiviado a 0-10; 11-20; 21-30; 31-40; 41-50, e 51-60 cm de profundidade. Os dados obtidos se processaram por análise de variância fatorial, método de Fisher e prova de comparação múltipla de Duncan. Houve diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade entre os métodos, o que permitiu indicar, numa primeira aproximação, que o método biológico não deve ser substituído por outros quando se quer alta precisão.

Segundo BERNARDO (1995), a tensão da água do solo, acima da qual não haverá água suficiente disponível para que as plantas possam se desenvolver, varia de 5,0 a 25,0 atmosferas, dependendo da planta ou da condição do ambiente. Esta amplitude parece ser muito grande, mas em muitos solos esta amplitude da tensão da água representa uma variação muito pequena no teor de umidade do solo. Em solos arenosos haverá uma variação no seu teor d'água, à medida que a tensão aumentar de cinco atmosferas. Em solos argilosos, estas variações serão mínimas, após dez atmosferas de tensão. Desta forma, o PMP ocorre em uma faixa de umidade tal que, para um grande acréscimo de tensão, será pequena a variação do seu teor de umidade. Segundo o mesmo, isto explica a existência do PMP e o porque dele ser uma característica de determinado tipo de solo e não de tipo de planta. Mas, segundo CIRINO (1992), esse conceito foi considerado como sendo uma característica intrínseca do solo e não da planta, porque ao se utilizar diferentes espécies de

plantas num solo, o ponto de murcha permanente aparentemente era atingido simultaneamente, a aproximadamente 15 atm. Contudo, trabalhos mais recentes indicam que essa teoria é uma super-simplificação, pois para cada tipo de planta o ponto de murcha permanente é atingido quando a pressão de turgor de suas células foliares cai a zero (STREET, 1973), o qual aconteceria a diferentes potenciais, dependendo das características fisiológicas da planta.

Outros pesquisadores preocupados em relacionar o conceito de ponto de murcha permanente a outros fatores, incluem tanto o efeito do tipo de cultura como a fase de desenvolvimento dela. Em 1990, Ahuja "et alli" indicaram que o ponto de murcha permanente não depende apenas do estado de água do solo e das propriedades da planta, mas também das condições atmosféricas. Assim, o conceito clássico do ponto de murcha permanente é também muito polêmico, dependendo das propriedades do solo (textura, condutividade hidráulica, difusidade, etc.); da planta (densidade e profundidade das raízes, habilidade de absorção de água, taxa de transpiração) e das condições meteorológicas do meio em que a planta se desenvolve (demanda atmosférica, umidade relativa etc.) (HILLEL, 1982).

Finalmente, deve-se lembrar que na prática a planta nunca deve ser submetida ao murchamento permanente. Para a maioria das culturas, as irrigações são planejadas para retornarem muito antes de se consumir 50% da água disponível. De acordo com FARIA (1998), a determinação do momento ótimo de se retornar as irrigações para cada cultura e condições edafoclimática é, portanto, muito mais importante que o próprio limite inferior de água disponível. Ele cita, também, que essa informação já está definida para a maioria das culturas de clima temperado, mas carece de ser obtida para muitas espécies tropicais, especialmente fruteiras, cultivadas no Brasil.

2.5 . Curva Característica da Água do Solo

As curvas características de água do solo possuem uma notável importância teórica-prática, em especial para o conhecimento das relações solo-água-planta, assim como das características físicas dos solos. A curva característica de água do solo, é a relação

existente entre a tensão ou sucção matricial, e o conteúdo de água do solo. É também conhecida como curva de retenção de umidade. A SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, (1965), conceitua a curva característica de umidade como “um gráfico que mostra a percentagem de água do solo em peso ou volume, versus a tensão ou pressão aplicada”.

A curva característica da água do solo é importante porque pode-se estimar o potencial matricial (Ψ_m) conhecendo-se a umidade do solo (θ) ou vice-versa. Na prática, a determinação de θ é bem mais simples, de tal forma que θ é medido e o Ψ_m pode ser inferido da curva de retenção de água. Ela é uma importante propriedade do solo relacionada com a distribuição dos poros, a qual é fortemente afetada pela textura, pela estrutura e por outros fatores, dentre os quais a matéria orgânica do solo. Segundo Or e Wraith (1997), citados por FARIA (1998), a curva característica da umidade do solo é também um dado extremamente útil para projetos e manejo da irrigação, para modelagem do fluxo de água no solo e para a determinação de outros parâmetros como a condutividade hidráulica do solo não saturado.

Sob a ação de elevadas tensões, as forças capilares e adsorptivas predominam na matriz sólida do solo e a influência da textura e estrutura do mesmo torna-se realçada. A medida que os potenciais decrescem, o fenômeno de absorção é mais evidenciado e o efeito de distribuição dos poros é menor (AURÉLIO,1992). Segundo SALTER & WILLIAN (1965), a retenção de água por um solo, tanto na capacidade de campo (0,33 bar) quanto no ponto de murchamento permanente (15 bares), aumenta de solos arenosos para os argilosos em função de suas características texturais. Os solos de textura fina, de maior superfície específica, retêm mais água que os de textura mais grosseira.

Pesquisa realizada por Gomes em 1994, usando a curva de retenção de água do solo, na determinação de algumas propriedades físico-hídricas, importantes no planejamento de irrigação para três solo de diferentes classes texturais, constataram que a curva de retenção constitui-se numa boa alternativa para determinar a porosidade total e efetiva dos solos, capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (ANDRADE,1997).

Existem vários métodos para a determinação da curva de retenção, (Psicrômetro, Extrator de Pressão, Célula Tempe, Tensiômetro, Mesa de Tensão ou Funil

de Buchner, Método de campo, TDR, Etc.) porém, para a obtenção de uma curva em toda a faixa de umidade que vai da saturação até a umidade residual, mais de um método tem que ser empregado (FARIA, 1998). A figura 02 nos dá uma idéia a respeito da faixa de atuação dos diversos métodos de determinação da Curva de Retenção de Água no solo.

Em 1997, OR e Wraith, citados por FARIA (1998) afirmaram que a descrição matemática da curva é de interesse para a caracterização, modelagem e análise de diferentes solos e cenários físico-hídricos. Que uma expressão matemática para a curva de retenção deve conter poucos parâmetros para simplificar a sua estimativa e descrever o seu comportamento, que é fortemente não linear, em toda sua extensão.

Atualmente, um dos modelos matemáticos muito utilizado para descrever o comportamento da curva característica da água do solo, é a equação 04 desenvolvida por van GENUCHTEN (1980).

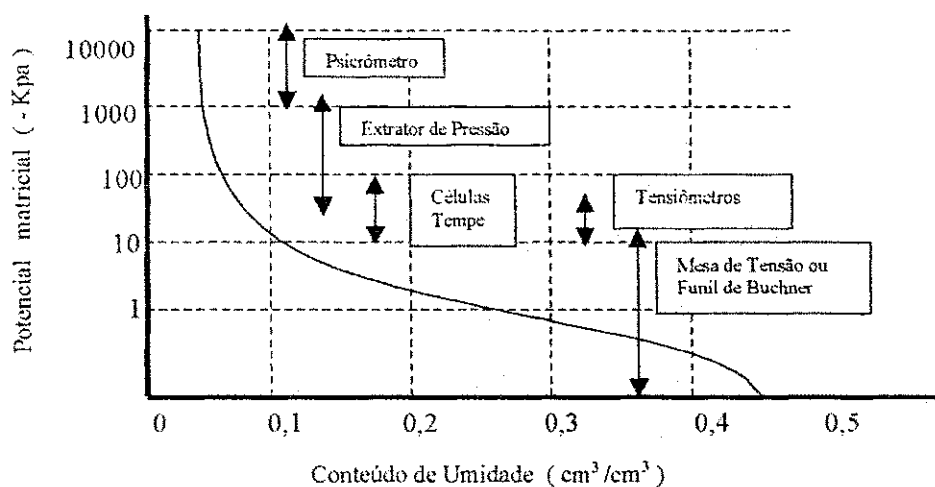


Figura 02 : faixa de atuação dos diversos métodos de determinação da Curva de Retenção da Água do Solo (FARIA, 1998)

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha \psi_m)^n} \right]^m \quad (04)$$

Onde θ é o conteúdo de umidade para um certo potencial (ψ_m), θ_s é o conteúdo de umidade do solo na saturação, θ_r é o conteúdo de umidade residual do solo e

α , n e m são parâmetros que dependem da forma da curva de retenção. Assumindo que $m = 1 - 1/n$, nota-se que os únicos parâmetros necessários para a Equação são, θ_s , θ_r , α e n . θ_s é facilmente determinado com precisão empregando-se valores de densidade do solo e de densidade das partículas do solo, restando apenas, θ_r , α e n para serem estimados através do ajuste do modelo não linear.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Locais e Solos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) e na Casa de Vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba (CAMPUS II), situado na cidade de Campina Grande-PB. Os testes de campo foram realizados na área experimental da EMBRAPA situada no município de Souza, na bacia do Alto Piranhas, a $65^{\circ}50'$ de latitude sul e $38^{\circ}19'$ de longitude oeste de W.G., com altitude de 235 num solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (franco-argiloso) (SUDENE, 1972); no Município de Campina Grande, na área experimental da sede do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão - EMBRAPA num solo Regosol Distrófico (franco-arenoso) (SUDENE, 1972) e na área da UFPB-CAMPUS III, situado na cidade de Areia-PB, com coordenadas $06^{\circ} 58'$ de Latitude Sul e $35^{\circ}42'$ W. Gr, de Longitude, altitude de 445m sobre o nível do mar num solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (argilo-arenoso) (SUDENE, 1972). A figura 03, mostra com mais detalhes a localização destas áreas, no estado da Paraíba. A Tabela 01 e a Figura 04, apresentam as características físicas mais importantes dos solos utilizados em todo estudo.

3.2. Metodologia

3.2.1. – Determinação da capacidade total de armazenamento de água do solo

No presente trabalho, a capacidade total de armazenamento de água do solo (CTA) foi calculada a partir da seguinte relação:

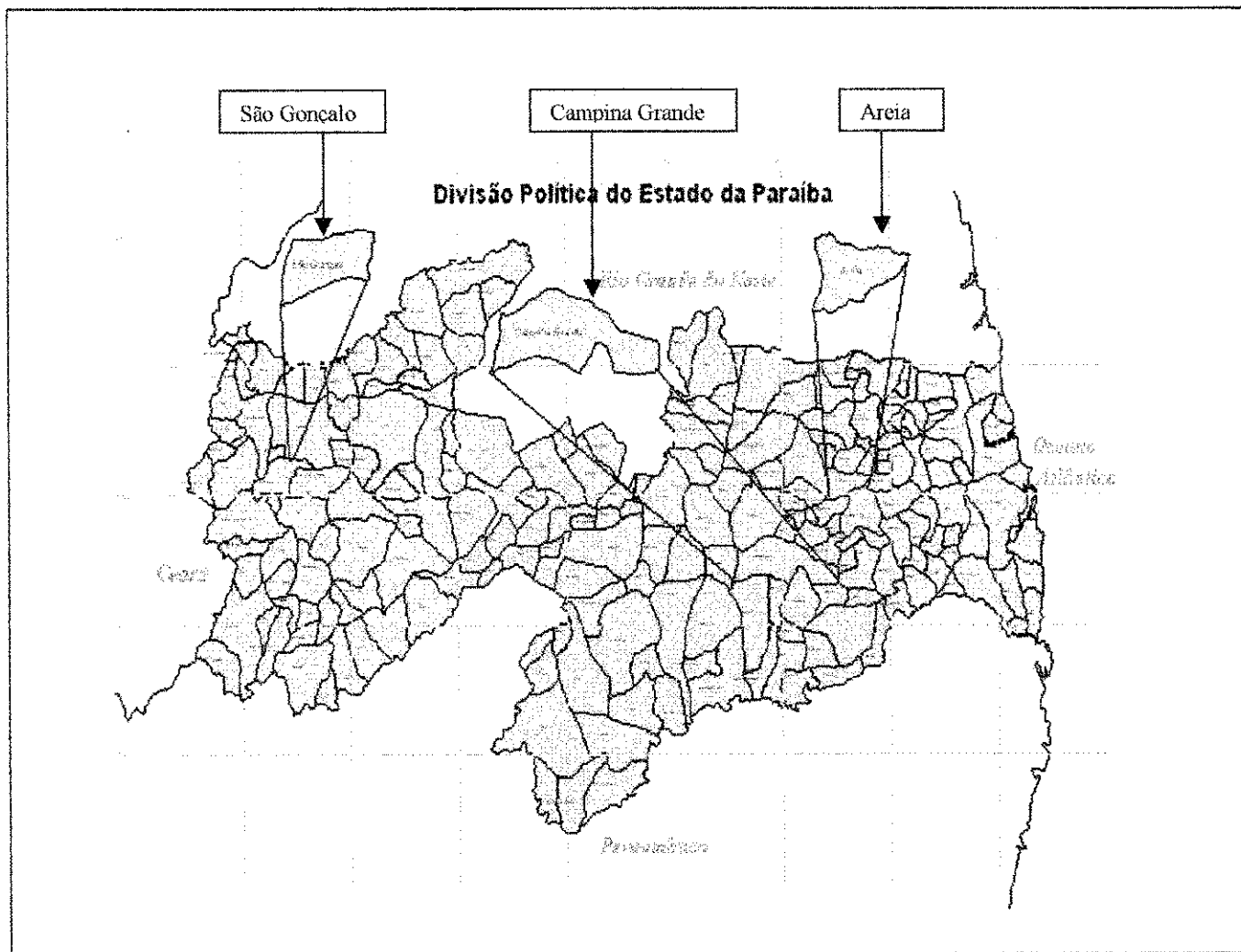


Figura 03: Localização dos municípios do Estado da Paraíba, onde foram realizados os ensaios de campo

Tabela 01 : Caracterização física dos solos estudados

SOLO FRANCO-ARENOSO						
PROFUNDIDADE (cm)	ARGILA* (%)	SILTE* (%)	AREIA* (%)	D _p *** G / cm ³	D _g ** g / cm ³	POROSIDADE (%)
00 - 15	12,89	10,04	77,08	2,77	1,70	38,72
15 - 30	13,88	9,03	77,09	2,77	1,76	36,42
30 - 45	14,87	8,02	77,11	2,77	1,69	39,07
45 - 60	14,85	8,01	77,14	2,78	1,70	38,70
MÉDIAS	14,12	8,78	77,11	2,77	1,71	38,23
SOLO FRANCO-ARGILOSO						
PROFUNDIDADE (cm)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	D _p *** g / cm ³	D _g **** g / cm ³	POROSIDADE (%)
00 - 15	27,52	40,50	31,98	2,63	1,39	46,90
15 - 30	29,54	40,48	29,99	2,59	1,40	46,03
30 - 45	31,62	34,43	33,95	2,70	1,40	48,09
45 - 60	31,60	34,41	33,98	2,71	1,40	48,04
MÉDIAS	30,07	37,46	32,48	2,66	1,40	47,27
SOLO ARGILO-ARENOSO						
PROFUNDIDADE (cm)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	D _p *** g / cm ³	D _g ** g / cm ³	POROSIDADE (%)
00 - 15	41,25	7,84	50,91	2,66	1,46	45,00
15 - 30	42,26	8,86	48,88	2,63	1,51	42,40
30 - 45	48,31	6,82	44,87	2,66	1,57	40,86
45 - 60	59,54	6,82	33,64	2,66	1,53	42,47
MÉDIAS	47,84	7,59	44,58	2,65	1,52	42,68

* Método do hidrômetro (DAY, 1965).

** Método do cilindro (BLAKE, 1965).

*** Método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Gráfico 03 - Solo Franco Arenoso - distribuição das partículas

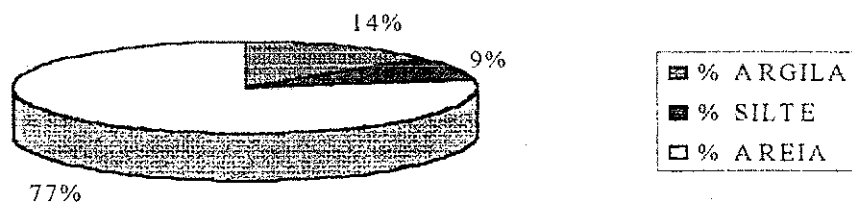


Gráfico 02 - Solo Franco Argiloso - distribuição das partículas

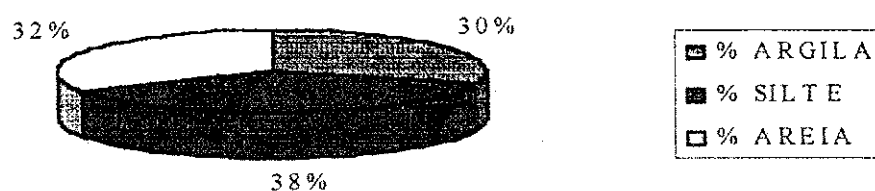


Gráfico 01 - Solo Argilo Arenoso - distribuição das partículas

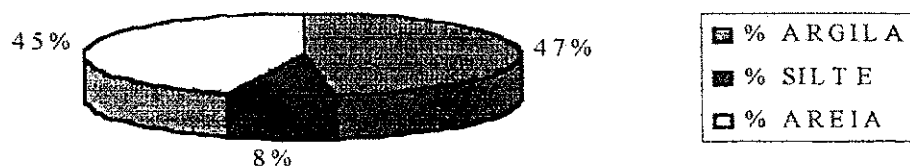


Figura 04 : Caracterização física dos solos estudados – distribuição do tamanho das partículas

$$CTA = \frac{(CC - PMP) * Dg * Pe}{100} \quad (05)$$

Onde:

CTA = Água disponível para as plantas, em mm

CC = Capacidade de campo da camada do solo, em %

PMP = Ponto de murcha permanente, em %

Dg = Densidade global do solo, em g/cm³

Pe = Profundidade efetiva das raízes, em mm

3.2.1.1. Capacidade de Campo

A capacidade de campo foi determinada pelos métodos de campo e de laboratório.

a) Método de Campo

Foi empregado o método descrito por BERNARDO (1995). O solo foi completamente saturado, até uma profundidade de aproximadamente 1,0m, por represamento da água em uma bacia de 2m x 2m x 0,20m. O tempo utilizado para ocorrer a saturação do perfil, foi de 48 horas, independentemente da classe textural do solo estudado. Para que isso ocorresse, nos solos de textura Franco Arenosa, Franco Argilosa e Agilo Arenosa, foram utilizados 650, 700 e 700 litros de água respectivamente. Após a saturação do solo, sua superfície foi coberta com um plástico de polietileno preto com a finalidade de evitar evaporação. O conteúdo de água do solo começou a ser determinado 48 horas após o desaparecimento da água da superfície do solo e, a partir daí, periodicamente, em intervalos de 24 horas, com amostragens em cada camada de 15 cm, até a profundidade de 60cm, em razão de ser esta a maior profundidade efetiva das raízes dentre os cultivares escolhidos como indicadores, neste caso o algodão. A amostragem e determinação da umidade continuou até que se notou que a variação do teor de umidade após 24 horas, tornou-se mínima ao longo do perfil. As amostras foram retiradas com um trado, a partir do centro e em locais não próximos aos limites da bacia, ou seja, a partir de 25cm do mesmo, e as seguintes, a 25cm das anteriores. Esta metodologia foi utilizada, porque, segundo KLAR (1991) é a mais precisa e assim considerada como padrão.

b) Método de Laboratório

Utilizou-se a metodologia do extrator de Richards (RICHARDS, 1965), onde as amostras de solo saturadas são colocadas em placas de cerâmica ou membrana, previamente saturadas. As amostras de solo são submetidas a uma determinada pressão, até atingirem a drenagem máxima da água contida nos seus poros. Em seguida, as amostras são retiradas do extrator colocadas na estufa a 105⁰C a fim de se determinar o conteúdo de água das mesmas, de acordo com os procedimentos a seguir:

- ❖ Colocou-se uma placa de cerâmica de 0,1013 MPa (1,0 bar) para as baixas tensões de 0,01013 a 0,1013 MPa (0,1 a 1,0 atm). Antes de colocar as placas, colocou-se um anteparo de borracha para evitar a perda de água.
- ❖ Distribuiu-se os anéis de PVC de 5 cm de diâmetro e 1 cm de altura na placa porosa e derramou-se no interior dos mesmos 25 a 30 g de solo.
- ❖ Adicionou-se água na placa cerâmica, até que o nível desta ficou bem próximo da borda do anel de PVC. Deixou-se as amostras nestas condições por uma noite, até que se completou a saturação.
- ❖ Inclinou-se levemente a placa, a fim de se eliminar o excesso de água no aparelho extrator de Richards.
- ❖ Colocou-se a placa com as amostras de solo no extrator.
- ❖ Apertou-se bem os parafusos e abriu-se levemente os reguladores de pressão, gradativamente, até que manômetro acusasse a pressão desejada.
- ❖ Deixou-se as amostras nesta situação por um período de 24 horas ou mais, até que se observou não haver mais drenagem proveniente das mesmas
- ❖ Descarregou-se a pressão, retirou-se as placas e transferiu-se as amostras imediatamente para as latas, com auxílio de uma espátula de aço inoxidável.
- ❖ Pesou-se o mais rapidamente possível (M_{su}), com aproximação de 0,01g, colocou-se na estufa a 105⁰C por um período de 24 horas, dessecou-se, esfriou-se e pesou-se novamente (M_{ss}), determinando-se em seguida o conteúdo de água, conforme recomenda o Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA, 1997).

O Extrator de Richards¹ utilizado era composto por dois compressores, placas cerâmicas que iam até 15 bars e de duas painéis de pressão: uma para tensões que variam de 0,01013 a 0,5065 MPa (0,1 a 5,0 bars), e a outra para tensões que iam até 1,519 MPa (15,0 bars).

O conteúdo de água foi calculado a partir da equação 06 (EMBRAPA, 1997).

$$UG(\%) = \frac{(M_{su} - M_{ss})}{M_{ss}} * 100 \quad (06)$$

Onde:

UG = conteúdo de água base solo seco, em %

M_{su} = peso da amostra após ser submetida à pressão utilizada, em g

M_{ss} = peso da amostra seca a 105^oC, em g

3.2.1.2. Ponto de Murcha Permanente

O Ponto de Murcha Permanente foi determinado pelo método fisiológico e pelo método de laboratório.

a) Método fisiológico

Para a determinação do ponto de murcha permanente pelo método fisiológico, foi utilizado o modelo proposto por Briggs e Shantz citado por FRANCO & MENDES (1947) e KLAR (1991). Com o objetivo de conseguir uma melhor exatidão na determinação da água disponível através do perfil do solo, o ponto de murcha permanente foi determinado nos intervalos de profundidades de 0 – 15; 15 – 30; 30 – 45 e 45 – 60 cm. As amostras de solo depois de preparadas, peneiradas (peneira de 3,0 mm) e homogêneas, foram colocadas em vasos com capacidade de até 1.000 ml. Em seguida, por vaso, foram plantadas três sementes de cada cultivar a ser testada, neste caso, o feijão vigna (var. EMEPA 1), o girassol (var. Brasil Comum) e o algodão¹ (var. CNPA 7 H).

Após a semeadura, os vasos foram colocados em casa de vegetação para que as plantas tivessem um ambiente adequado para o seu desenvolvimento. Foram feitas

¹ SOILMOISTURE equipment co. 15 bars. CERAMIC PLATE EXTRACTOR CAT. # 1500 e 5 bars CERAMIC PLATE EXTRACTOR CAT # 1600. SANTA BARBARA, CALIFORNIA - EUA

forma promover um desenvolvimento abundante do sistema radicular. A água utilizada foi colocada através de regador e a quantidade calculada multiplicando-se a Capacidade de Campo do solo por intervalo profundidade pelo volume de solo contido em cada vaso, conforme a equação 07.

Quando as plantas estavam com duas folhas definitivas, foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso, a mais vigorosa. A partir daí, de acordo com a metodologia proposta por KLAR (1991), o solo foi umedecido até a saturação. Em seguida cobriu-se o vaso com papel alumínio para evitar a evaporação da água do solo deixando-se apenas a parte aérea das plantas para o lado de fora a fim de que as folhas pudessem transpirar livremente até apresentarem sinais de murcha. Quando estes sinais apareceram, de acordo com MEYER et alli (1963), levou-se os conjuntos (vasos e plantas) a uma câmara de saturação, com dimensões de 0,60 x 0,60 x 0,60 m, hermeticamente fechada, cuja umidade em seu interior foi mantida por uma bandeja cheia de água e por nebulizações, a fim de que as plantas recuperassem os seus estádios de turgescência. Acontecendo isto levou-se as mesmas para a casa de vegetação, com a finalidade de que estas perdessem mais água até murcharem novamente. Colocou-se os conjuntos novamente na câmara úmida para que, desse modo, as plantas recuperassem a turgescência.

Esta operação foi repetida por várias vezes, até as plantas não recuperarem mais a turgescência dentro da câmara úmida. Quando isto aconteceu, foram coletadas as amostras do solo, e seus conteúdos de água determinados. A umidade gravimétrica encontrada em cada amostra de solo, correspondeu a umidade de Ponto de Murcha Permanente (PMP) de cada solo e cultura naquele intervalo de profundidade.

b) Método de Laboratório

Foi inicialmente considerado como Ponto de Murcha Permanente (PMP) aquele conteúdo de água que o solo retém quando submetido a uma tensão de 1,519 MPa (15 atm), de acordo com a definição proposta pela SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1965). Utilizou-se a metodologia do extrator de Richards (RICHARDS, 1965) e do mesmo modo que na Capacidade de Campo, as amostras de solo saturadas, são colocadas em placas de cerâmica ou membrana, previamente saturadas. As amostras de solo são submetidas a uma determinada pressão, que neste caso foi de 1,519 MPa, até atingir a drenagem máxima da água contida nos seus poros, correspondente à tensão

aplicada. Em seguida, as amostras são retiradas do extrator colocadas na estufa a 105⁰C a fim de se determinar a umidade gravimétrica das mesmas.

Os procedimentos para o uso do extrator de Richards, foram os mesmos adotados na determinação da capacidade de campo, pelo método de laboratório, descrito anteriormente.

3.2.1.3. Densidade Global

A densidade global ou aparente foi determinada pelo Método recomendado pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA, 1997):

$$Dg = \frac{Mss}{Vs} \quad (07)$$

Onde:

Dg = Densidade global ou aparente em g/cm³

Mss = Massa da amostra do solo seco a 105⁰C

Vs = volume da amostra de solo (cm³)

3.2.2. Comparação da Capacidade de Campo e do Ponto de Murcha Permanente determinados pelos diferentes métodos.

Considerando os métodos de campo e fisiológico utilizados para determinar a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, respectivamente, como os resultados verdadeiros o padrões, comparou-se estatisticamente seus respectivos valores com os conteúdos de água obtidos quando as amostras de solo foram submetidas a diferentes tensões no extrator de Richards. Para isto, submeteu-se as amostras de solo a tensões de 0,01013 ; 0,0334; 0,0506; 0,1013; 0,2026; 0,5065; 0,7597; 1,013 e 1,519 MPa de pressão, e o conteúdo de água remanescente determinado pelo método gravimétrico padrão, através da equação 02 descrita anteriormente.

Com os resultados obtidos foram construídas as curvas de retenção de umidade (Tensão x umidade) para cada solo e para cada intervalo de profundidade estudado (0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm). Utilizou-se os recursos do **Microsoft Excel**

para a confecção das curvas de retenção de umidade, e a equação modelo de van GENUCHTEN (1980) para fazer os ajustes e descrever o comportamento das mesmas.

As curvas de retenção foram ajustadas pela função de van GENUCHTEN (1980), descrita com detalhes, a seguir:

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha \psi m)^n} \right]^m \quad (08)$$

Onde :

θ = conteúdo de umidade para um certo potencial (Ψ_m)

θ_r = conteúdo de umidade residual do solo

θ_s = conteúdo de água na saturação, igual a porosidade total do solo (PT)

α , n e m = parâmetros que dependem da Curva de Retenção

$m = 1 - 1/n$

A Porosidade total (PT) foi calculada no laboratório, utilizando a equação de Veihmeyer proposta pelo Manual de Análises Físicas da EMBRAPA (1997):

$$PT = \left(1 - \frac{Dg}{Dp} \right) * 100 \quad (09)$$

Onde:

PT = Porosidade total em %

Dg = Densidade global ou aparente, em g/cm³

Dp = Densidade das partículas ou real, em g/cm³

3.2.2.1. Densidade das Partículas

A densidade das partículas ou real foi determinada pelo método do Balão Volumétrico proposto pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA, 1997):

$$Dp = \frac{Mss}{Vp} \quad (10)$$

Onde :

D_p = Densidade das partículas em g/cm^3

M_{ss} = peso da amostra de solo seca a $105^{\circ}C$

V_p = volume das partículas do solo (cm^3)

3.2.3. Determinação do manejo da irrigação para as diferentes culturas

Os parâmetros necessários para o manejo da irrigação foram calculados segundo a metodologia recomendada por BERNARDO (1995). A lâmina de reposição líquida (LRL) foi determinada pela seguinte equação:

$$LRL = (CTA * f) - PE \quad (11)$$

O turno de rega (TR) das diferentes culturas, foi calculada utilizando:

$$TR = LRL / ETR \text{ diária} \quad (12)$$

Onde:

CTA = Capacidade Total de Armazenamento de água, em mm

f = Fator de disponibilidade, sempre menor que 1

PE = Precipitação efetiva, em mm

ETR = Evapotranspiração real diária, em mm

3.2.4. Equipamentos, utensílios e materiais utilizados

De um modo geral, para o estudo e aplicação destes métodos, necessitou-se dos utensílios e equipamentos de laboratório a seguir:

- Estufa de $105 - 110^{\circ}C$
- Balança com 0,01g de sensibilidade
- Cápsulas de alumínio
- Campânula de vidro

- Vasos com volume aproximado de 1 litro
- Sementes de feijão vigna, algodão e girassol
- Câmaras úmidas
- Modelos para a determinação da umidade do solo
- Extrator de Umidade de Richards (Panela de Pressão)
- Trado amostrador
- Trado de Uhland
- Proveta de 50 e 100 ml
- Pá reta
- Plástico de polietileno preto
- Dessecadores
- Balão volumétrico de 50 ml
- Anel volumétrico de Kopecky (100 cm³)
- Papel alumínio

3.3. Análise dos resultados

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente através de uma análise de variância (Gomes , 1978) aos 5 e 1% de probabilidade utilizando um desenho experimental completamente ao acaso. A significância entre as médias dos tratamentos foi testada pelo Método de Tukey aos níveis de 5 e 1% de propabilidade. Para a realização das análises, foi utilizado o Software científico – SOC, PANIAGO et al (1987), como instrumento computacional de apoio.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Curva característica da umidade do solo

As Tabelas 01, 02 e 03 do Apêndice, apresentam as umidades dos diferentes tipos de solos quando submetidos as diferentes tensões no extrator de Richards. Com os valores (médios) de umidade expressados em porcentagem e os das tensões em MPa, foram construídas as curvas de retenção de água para cada um dos solos. Através destas curvas, foi verificado as propriedades intrínsecas de cada solo estudado, condizente com as afirmações de RICHARDS (1965), que indica que a retenção de água do solo é dependente da textura como também das relações energéticas da interfase sólido-líquido-gás. Assim, o solo franco-arenoso tem uma menor capacidade de retenção de água que o solo franco-argiloso e este menor que o solo argilo-arenoso. A Figura 04, mostra com mais detalhes estas conclusões.

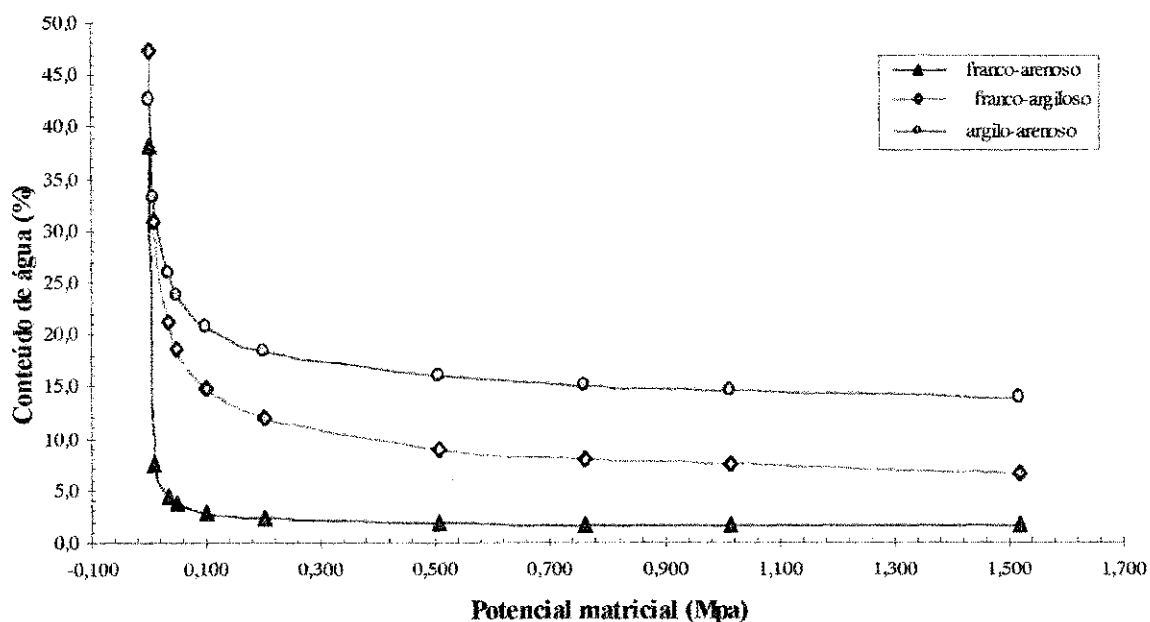


Figura 05: Curvas de retenção de umidade dos solos franco-arenoso, franco-argiloso e argilo-arenoso (van GENUCHTEN)

4.2. Capacidade de Campo

As tabelas 05, 06 e 07 do apêndice, mostram a variação do conteúdo de água com o tempo, nos solos estudados utilizados para inferir o valor da capacidade de campo. Considerou-se que o solo estava na capacidade de campo quando o conteúdo de água do mesmo se mantinha constante, indicando, "teoricamente" que a drenagem tinha se tornado negligível.

A Tabela 02 apresenta os valores de capacidade de campo dos solos franco-arenoso, franco-argiloso e argilo-arenoso, determinados através do método de campo e do método rotineiro de laboratório submetendo o solo a uma tensão de 0,0334 MPa (0,33atm). Apresentam-se também os conteúdos de água dos solos quando submetidos as tensões de 0,0101; 0,0506 e 0,1013 MPa (0,1; 0,5 e 1,0 atm). Observa-se que os valores da capacidade de campo obtidos com o método de campo, considerado padrão, aumentam na medida em que o solo se torna mais argiloso e isto acontece em razão do mesmo aumentar sua capacidade de retenção de água como citado por *SALTER & WILLIAN (1965)*. Assim, o solo franco-arenoso tem uma capacidade de campo média de 5,37% o solo franco-argiloso 19,71% e o argilo-arenoso 20,89%. Observa-se também, como esperado, que o conteúdo de água do solo diminui a medida que o solo é submetido a tensões crescentes.

Pode-se verificar também, independentemente da classe textural, uma grande variação do conteúdo de água do solo (62,68%, no solo franco arenoso, 39,0% no franco-argiloso e 32,6% no o argilo-arenoso) quando a tensão muda de 0,0101 para 0,1013 MPa. Isto, como reportado por *Judy et alli (FARIA,1998)* deve-se a forma da curva de retenção de água na faixa de valores menores de potencial, e pode induzir a cometer grandes erros, quando se utilizam potenciais baixos. Para evitar erros, no intervalo de 10 a 100 cm de água de tensão (0,0101 a 0,1013 MPa), recomenda-se o uso do método do funil (*REICHARDT, 1985*) no lugar do extrator de Richards.

O efeito dos métodos utilizados para determinar a capacidade de campo e das profundidades foi analisado através de uma análises de variância para cada solo e são apresentados na Tabela 04 do Apêndice. Observou-se diferença significativa entre métodos e profundidades. Para identificar qual é a tensão que deve ser aplicada ao solo para deixar este com a umidade correspondente a capacidade de campo, comparou-se estatisticamente os valores obtidos através da aplicação das diferentes tensões com o valor

obtido no campo e considerado padrão, através do teste de Tuckey. Estes resultados estatísticos para os três solos são apresentados na Tabela 03.

Tabela 02: Capacidade de campo determinada pelo métodos de campo e de laboratório para os três solos estudados

Profundidade (cm)	CAPACIDADE DE CAMPO / SOLO FRANCO-ARENOSO				
	0,0101 MPa	0,0334 MPa	0,0506 MPa	0,1013 MPa	MÉTODO DE CAMPO
	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)
00-15	8,76	6,95	3,73	3,04	5,94
15-30	7,82	6,45	3,53	2,88	5,26
30-45	6,03	4,93	2,96	2,55	5,21
45-60	5,79	4,25	3,18	2,15	5,10
MÉDIAS	7,10	5,64	3,35	2,65	5,37
Profundidade (cm)	CAPACIDADE DE CAMPO / SOLO FRANCO-ARGILOSO				
	0,0101 MPa	0,0334 MPa	0,0506 MPa	0,1013 MPa	MÉTODO DE CAMPO
	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)
00-15	30,00	20,59	18,84	18,49	22,67
15-30	29,17	21,00	18,99	18,40	19,19
30-45	28,89	21,22	19,42	18,27	18,59
45-60	28,73	18,71	17,70	16,14	18,41
MÉDIAS	29,19	20,38	18,74	17,82	19,71
Profundidade (cm)	CAPACIDADE DE CAMPO / SOLO ARGILO-ARENOSO				
	0,0101 MPa	0,0334 MPa	0,0506 MPa	0,1013 MPa	MÉTODO DE CAMPO
	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)	U. G. (%)
00-15	31,26	24,34	23,22	19,87	20,71
15-30	33,59	25,32	24,98	22,67	20,40
30-45	30,97	24,78	23,63	20,19	21,18
45-60	35,00	27,19	26,63	23,77	21,80
MÉDIAS	32,10	25,41	24,62	21,63	20,89

Tabela 03 : Capacidade de campo dos três solos estudados, determinados por métodos diferentes (médias comparadas estatisticamente)

S O L O S								
FRANCO -ARENOSO			FRANCO - ARGILOSO			ARGILO -ARENOSO		
Ψ_m (MPa)	θ (%)	Grupo	Ψ_m (MPa)	θ (%)	Grupo	Ψ_m (MPa)	θ (%)	Grupo
0,0101	7,10	a	0,0101	29,19	a	0,0101	32,70	a
0,0334	5,64	b	0,0334	20,38	a	0,0334	25,41	b
Campo	5,37	b	Campo	19,76	b c	0,0506	24,62	b
0,0506	3,35	c	0,0506	18,74	b c	0,1013	21,62	c
0,1013	2,65	c	0,1013	17,83	c	Campo	20,89	c

OBS: Letras iguais nas colunas não diferem significativamente aos 5% de probabilidade, pelo método de Tukey.

No solo franco-arenoso observou-se diferença estatisticamente significativa a 1,0 % de probabilidade entre as umidades fornecidas pelas diferentes tensões. Aplicado o teste de Tukey constatou-se não diferença significativa entre os valores de umidade obtidos com a tensão de 0,0334 MPa (0,33 atm) e o método de campo. O valor médio de capacidade de campo obtido pelo método de campo foi de 5,37 % enquanto que com o método do extrator de Richards foi de 5,64 %. Assim o resultado estaria de acordo com a recomendação rotineira de que a capacidade de campo de um solo franco-arenoso pode ser determinada submetendo o solo a uma tensão de 0,0334 MPa, sugerida pela Sociedade Internacional da Ciência de Solo. Visando ainda determinar com uma maior segurança a tensão necessária para obter a capacidade de campo, construiu-se a curva de retenção de água através do modelo de van GENUCHTEN. Tal curva foi construída a partir dos dados de tensão versus conteúdo de água do solo apresentados na Tabela 05 do Apêndice. A Figura 06, apresenta esta curva. Observa-se a exatidão do ajuste, confirmado pelo alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,998$). O valor da tensão inferida da curva de retenção foi de 0,0202 MPa (0,2 atm).

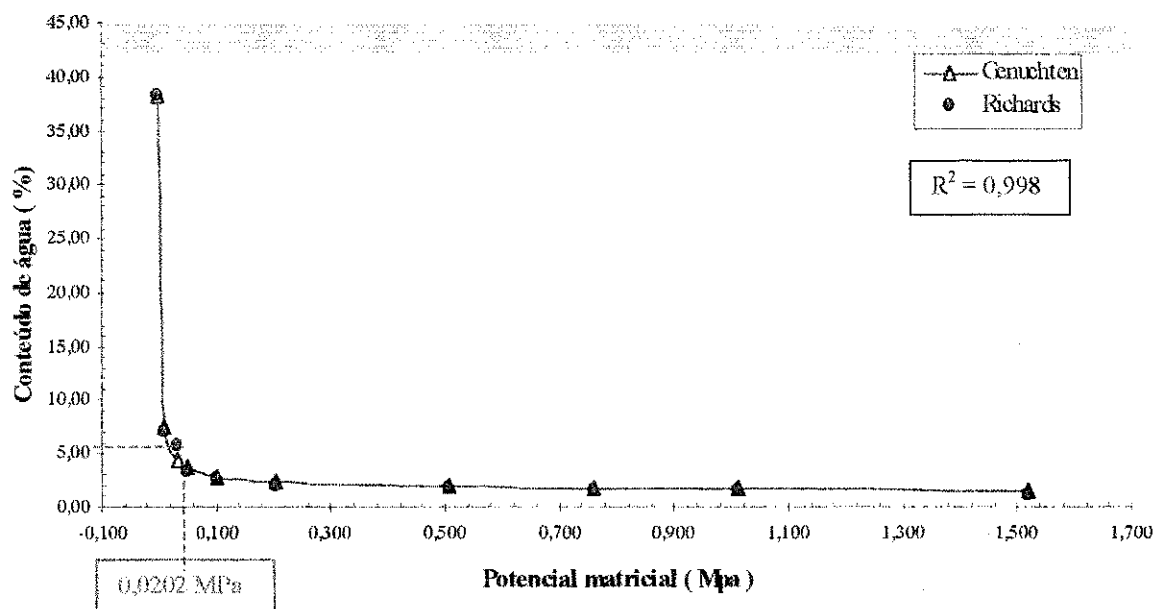


Figura 06: Curva de retenção de umidade para o solo franco-arenoso

Para o solo franco-argiloso observou-se também diferença estatística significativa a 1,0 % de probabilidade entre as umidades fornecidas pelas diferentes tensões. Aplicado o teste de Tukey constatou-se não diferença significativa entre os conteúdos de água do solo quando submetidos as tensões de 0,0334 e 0,0506 MPa (0,33 e 0,5 atm) e o método de campo. O valor médio de capacidade de campo obtido pelo método de campo foi de 19,76 % enquanto que com o método do extrator de Richards foi de 20,38 % para a tensão de 0,0334 MPa e 18,74 % para 0,0506 MPa. Visando a escolha da tensão mais adequada, construiu-se a curva de retenção de umidade, através do modelo de van GENUCHTEN. A figura 07, apresenta a curva de retenção da água para o solo franco-argiloso, construída a partir dos dados de tensão versus conteúdo de água, apresentados na Tabela 06 do Apêndice. Nesta também são apresentados (pontos verdes) os valores obtidos no laboratório com o extrator de Richards. Observa-se um ótimo ajuste o qual pode ser confirmado pelo alto coeficiente de determinação da curva ($R^2 = 0,977$).

O valor da tensão correspondente a umidade a capacidade de campo (19,71%) inferida da curva foi de 0,0425 MPa (0,42 atm).

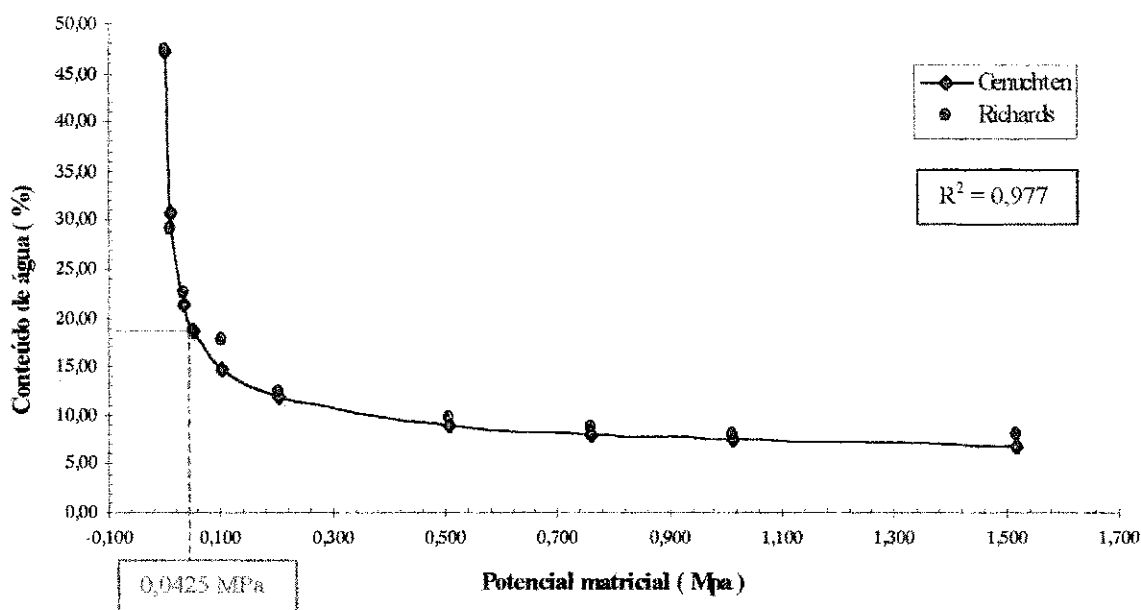


Figura 07: Curva de retenção de umidade para o solo franco-argiloso

A tensão de 0,0425 MPa inferida é coerente. O solo franco-arenoso com um 14,12% de argila precisa de 0,0202 MPa. O franco-argiloso, com 30,07% de argila, logicamente deverá precisar uma tensão maior para atingir a capacidade de campo. Observa-se também que o solo franco-argiloso, tem uma grande percentagem de silte, quando comparado com o solo franco-arenoso, o qual contribui ainda mais para aumentar a capacidade de retenção de água no solo.

Para o solo argilo-arenoso com 47,84% de argila, a análise estatística mostrou que para obter a umidade a capacidade de campo, é necessário submeter o solo a uma tensão de 0,1013 MPa. Estes resultados são bastante coerentes considerando a alta porcentagem de argila presente no solo. Entretanto, de acordo com os procedimentos utilizados para os outros solos, objetivando a escolha da tensão mais adequada, construiu-se a curva de retenção de umidade, com base nos dados de tensão versus conteúdo de água, apresentados na Tabela 07 do Apêndice e, através do modelo de van GENUCHTEN, inferiu-se os valores médios das umidades encontrados pelo método de campo. A figura 08, apresenta a curva de retenção da água para o solo argilo-arenoso. Nesta também são apresentadas (pontos verdes) os valores obtidos no laboratório com o extrator de Richards. Observa-se um ótimo ajuste o qual pode ser confirmado pelo alto coeficiente de determinação da curva ($R^2 = 0,983$).

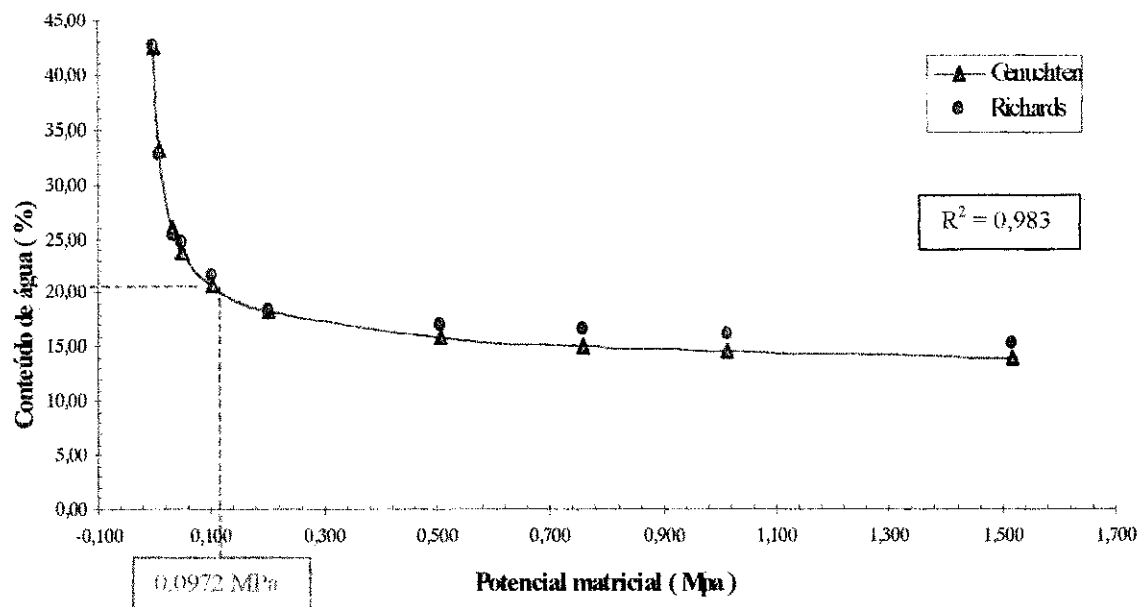


Figura 08: Curva de retenção de água para o solo argilo-arenoso

O valor da tensão correspondente a umidade a capacidade de campo, (20,89%), inferida da curva de retenção de água (Figura 07), foi de 0,0972 MPa.

Os resultados estão de acordo com aqueles encontrados por CARRILLO (1977, 1979) e Duchaufourt citado por CARRILLO (1975). Discorda-se porém com a Sociedade Internacional da Ciência do Solo, com CARRILLO (1977) e com CIRINO (1992) que recomendam a aplicação de 0,33; 0,33 e 0,2 atm, (0,0334; 0,0334 e 0,0202 MPa,) respectivamente.

A análise estatística apresentada na Tabela 08 do Apêndice, mostra que em todos os três solos, houve diferença significativa entre as capacidade de campo encontradas para cada profundidade. Estas diferenças poderiam sugerir que tensões diferentes deveriam ser empregadas para cada profundidade para estimar a capacidade de campo. Isto é possível, no entanto é impraticável do ponto de vista operacional, razão pela qual tal diferença foi negligenciada, utilizando-se a média do perfil de solo. Em procedimento algum recomenda-se o uso de diferentes tensões para as diferentes profundidades do perfil de solo. Durante a revisão bibliográfica que compõe o presente trabalho, não foi encontrado nenhum estudo que se referisse a essa prática. Assim, no presente estudo, trabalhou-se com a média das quatro profundidades estudadas.

Os resultados das análises estatísticas do presente trabalho, mostraram também que não houve dificuldade para se determinar a capacidade de campo pelo método de campo. O estudo mostrou que para o solo franco-arenoso o tempo necessário para atingir a capacidade de campo foi de 04 dias. Para o solo franco-argiloso esse tempo foi de 03 dias, e para o argilo-arenoso de 08 dias, conforme as tabelas 03, 05 e 07 do Apêndice. Este resultado está de acordo com Ratiliff et al em 1983, citado por PREVEDELLO (1996), quando os mesmos observaram que o tempo de drenagem da capacidade de campo, por esse método, variou entre 2 e 12 dias e que em alguns solos de textura fina, com presença de camadas restritivas, esse tempo foi de até 20 dias. Os resultados obtidos para os solos franco arenoso e franco argiloso estão de bem próximos das conclusões da SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1965), já que a mesma afirma ser necessário apenas um tempo de 2 a 3 dias após a saturação, sem citar a classe textural do solo, para que um solo entre na capacidade de campo.

4.3. Ponto de murcha permanente

A tabela 04 apresenta os valores do ponto de murcha permanente do algodão, girassol e feijão vigna para os solos estudados, determinados através do método fisiológico e do método de laboratório submetendo o solo a uma tensão de 1,519 MPa. A tabela apresenta também os conteúdos de água do solo quando submetidos as tensões de 0,2026, 0,5065; 0,7597; 1,013 e 1,519 MPa (2,0; 5,0; 7,5; 10,0 e 15 atm).

Pode-se observar na tabela 04 que a variação de conteúdo de água quando os solos foram submetidos a tensões entre 0,2026 e 1,519 MPa foi muito baixa, quando comparada com a variação encontrada na faixa baixa de tensões (0,01013 a 0,1013 MPa).

Quando a tensão muda de 0,2026 (2,0 atm) para 1,519 MPa (15,0 atm), a variação do conteúdo de água no solo franco-arenoso é de 38,9 %, no franco-argiloso de 35,4 % e no argilo-arenoso de 16,4 %. Assim , na determinação do ponto de murcha permanente, ou na escolha da tensão que melhor possa representar estes solos, não há muitas probabilidades de erro, dado que a variação de umidade do solo para um amplo intervalo de tensão, não varia muito.

Tabela 04: Ponto de murcha permanente para os diferentes solos utilizando o método fisiológico com diferentes culturas e o extrator de Richards.

PONTO DE MURCHA PERMANENTE - SOLO FRANCO-ARENOSO								
PROFUNDIDADE	EXTRATOR DE RICHARDS					MÉTODO FISIOLÓGICO		
	0,2026 MPa	0,5065 MPa	0,7597 MPa	1,013 MPa	1,519 MPa	ALGODÃO	GIRASSOL	FEIJÃO
	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %
00 - 15	2,24	2,02	1,85	1,63	1,31	1,14	1,11	1,09
15 - 30	2,06	1,80	1,75	1,49	1,26	0,93	0,90	1,24
30 - 45	1,75	1,71	1,45	1,37	1,12	0,95	1,32	1,21
45 - 60	1,76	1,70	1,44	1,36	1,07	1,03	1,20	1,29
MÉDIA	1,95	1,81	1,62	1,46	1,19	1,01	1,13	1,18
PONTO DE MURCHA PERMANENTE - SOLO FRANCO-ARGILOSO								
PROFUNDIDADE	EXTRATOR DE RICHARDS					MÉTODO FISIOLÓGICO		
	0,2026 MPa	0,5065 MPa	0,7597 MPa	1,013 MPa	1,519 MPa	ALGODÃO	GIRASSOL	FEIJÃO
	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %
00 - 15	12,35	9,71	8,40	8,03	7,82	4,45	2,42	7,96
15 - 30	12,49	9,74	8,43	8,20	8,09	4,45	5,51	8,40
30 - 45	12,76	10,47	9,41	8,43	8,32	4,74	5,76	8,09
45 - 60	11,80	9,38	8,24	7,82	7,71	4,76	5,58	8,65
MÉDIA	12,35	9,82	8,62	8,12	7,98	4,60	4,81	8,27
PONTO DE MURCHA PERMANENTE - SOLO ARGILO-ARENOSO								
PROFUNDIDADE	EXTRATOR DE RICHARDS					MÉTODO FISIOLÓGICO		
	0,2026 MPa	0,5065 MPa	0,7597 MPa	1,013 MPa	1,519 MPa	ALGODÃO	GIRASSOL	FEIJÃO
	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %	UG %
00 - 15	17,06	16,16	15,12	14,93	14,09	10,10	10,24	10,88
15 - 30	18,23	16,90	16,36	15,79	14,77	11,02	11,73	11,03
30 - 45	17,85	16,84	16,32	15,71	14,93	12,20	12,38	12,92
45 - 60	20,07	18,65	18,57	17,97	17,40	13,51	17,77	13,57
MÉDIA	18,30	17,13	16,59	16,10	15,30	11,71	13,03	12,10

A análise da Tabela 04 mostra também que, em geral, os conteúdos de água no ponto de murcha permanente, determinados pelo método fisiológico são mais baixos, que aqueles encontradas pelo método de laboratório submetendo o solo a uma tensão de 1,519 MPa, aplicadas pelo método do extrator de Richards, mas estão bem próximas das recomendadas pela bibliografia (DWANE e LOOMIS,1967 e CARRILLO, 1977) que indicam unidades correspondente a tensão de 1,519 MPa (15,0 atm) como uma média recomendada para qualquer solo, independentemente da sua classe textural.

Visando estudar os efeitos das variáveis profundidade e método conduziu-se uma análise de variância. A comparação foi feita independentemente por solo e por

cultura. As Tabelas 08, 09 e 10 do Apêndice mostram os resultados da análise de variância para as variáveis estudadas.

Para o solo franco-arenoso não se observa diferença significativa aos 5,0 % de probabilidade entre o ponto de murcha permanente determinado pelo método fisiológico (com algodão, girassol ou feijão) e pelo método de Richards quando o solo é submetido a uma tensão de 1,519 MPa. Isto devido a pouca variação do conteúdo de água do solo quando submetido as tensões entre 0,2026 e 1,519 MPa, anteriormente mencionada. Assim, neste caso, o método de laboratório poderia perfeitamente ser usado para determinar o ponto de murcha permanente do solo. Sin embargo, visando identificar a verdadeira tensão que reproduzisse a umidade no ponto de murcha permanente, inferiu-se esta da curva de retenção para o solo franco-arenoso, apresentada na Figura 09. Para o conteúdo de água de 1,01% correspondente ao ponto de murcha permanente do solo franco-arenoso, utilizando algodão, a tensão necessária seria de 0,3039 MPa. Utilizando o mesmo procedimento para as culturas de girassol e feijão, a tensão encontrada foi aproximadamente de 0,3039 MPa. A tensão encontrada está de acordo com os resultados encontrados por CIRINO (1992). Para um solo arenoso (6,35 % de argila) ele encontrou tensões de 0,3039 MPa. O solo estudado no presente trabalho tem 14,12% de argila assim deve precisar de uma tensão próxima para determinar o ponto de murcha permanente.

Considerando a natureza textural do solo (solo grosso com uma baixa capacidade de retenção de água) e que as culturas indicadoras utilizadas são plantas tolerantes ao stress hídrico é possível que esgotaram quase toda água disponível do solo antes de murcharem. Isto pode ser verificado quando se analisa as variações da percentagem de umidade com a tensão para o referido solo (ver Tabela 04) . Observa-se que a variação da umidade é mínima (38,97 %) quando o solo franco-arenoso é submetido a tensões entre 0,2026 e 1,519 MPa. Quase toda água disponível foi eliminada quando atingiu-se a tensão de 0,3039 MPa. A inclinação da curva de retenção de água, construída a partir dos dados de umidade e tensão, obtidos através do extrator de Richards (Tabela 01 do Apêndice), mostra com mais clareza esta observação (Figura 09).

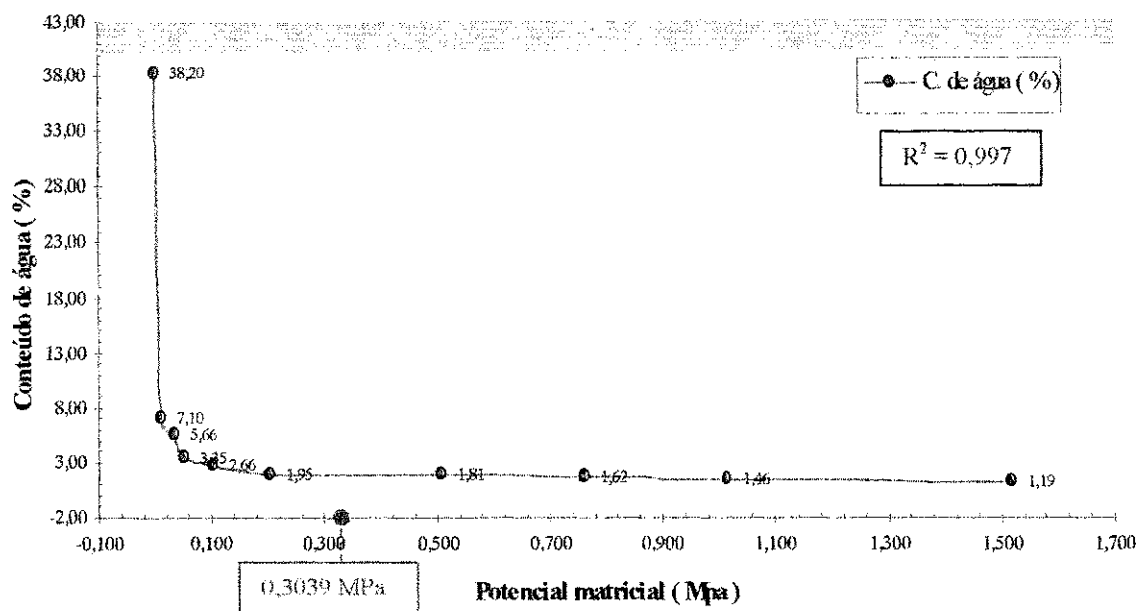


Figura 09: Curva de retenção de água / solo franco-arenoso

O fato das três culturas precisarem praticamente da mesma tensão para determinarem o ponto de murcha permanente no solo franco arenoso (0,3039 MPa), mostra na realidade, que neste solo com uma baixa capacidade de retenção de água, a agressividade de cada planta deixa de ser relevante não diferenciando-se na capacidade de absorver água.

Para o solo franco-argiloso, ao se fazer uma análise da sua curva de retenção, construída através dos dados de umidade e tensão obtidos através do extrator de Richards (Tabela 02 do Apêndice), observou-se uma variação de 35,4 % na média do conteúdo de água, quando a tensão vai de 0,2026 a 1,519 MPa. Assim, de acordo com a inclinação da curva de retenção de água (Figura 10), toda água disponível para as plantas estará se esgotando, aproximadamente, a partir da tensão de 0,7091 MPa. O solo franco-argiloso, tem uma maior percentagem de argila (30,07 %) e silte (37,46%) que o franco-arenoso, e por reter mais água, logicamente precisará de uma tensão maior que este para atingir o ponto de murcha permanente. A Figura 10, mostra esta diferença com mais clareza.

A análise estatística, mostrou que no solo franco-argiloso, tanto usando algodão como girassol houve diferença significativa entre os valores de ponto de murcha permanente, determinados utilizando o método fisiológico ou o método de laboratório,

submetendo o solo a uma tensão de 1,519 MPa. Visando determinar a tensão que permitisse obter ao ponto de murcha permanente, inferiu-se da curva de retenção de água do solo (Figura 10) os valores das tensões necessárias. Para o algodão, a tensão recomendada é de 1,887 MPa (18,63 atm), enquanto que para o girassol é de 1,800 MPa (17,77 atm).

Quando se utilizou o feijão como planta indicadora não se encontrou diferença significativa entre métodos. Assim o método de Richards, utilizando uma tensão de 1,519 MPa (15,0 atm), também poderia ser recomendado para determinar o ponto de murcha permanente do solo franco-argiloso. No entanto, do mesmo modo que no solo franco-arenoso, a tensão mais recomendada foi inferida da curva característica do solo e resultou ser de 0,8377 MPa (8,27 atm).

Assim o algodão e o girassol aparentemente seriam mais resistentes ao déficit hídrico que o feijão. Para medir o efeito do stress hídrico na planta, DOORENBOS e KASSAN (1979), propõem o coeficiente de resposta da cultura (K_y) obtido através da relação entre a queda dos rendimentos relativos e o déficit das evapotranspirações relativas correspondentes. Segundo os referidos autores, quando $K_y = 1$, a queda dos rendimentos relativos é da mesma ordem que os déficits das evapotranspirações relativas correspondentes. No entanto, a queda do rendimento relativo, para um mesmo déficit de evapotranspiração relativa, é de ordem maior quando $K_y > 1$ e de ordem menor quando $K_y < 1$. Culturas que apresentam $K_y > 1$ são mais sensíveis a falta de água que as de $K_y < 1$. O K_y do período total do algodão é 0,85, do girassol 0,95 e do feijão 1,15. Desse modo, o algodão e o Girassol são menos sensíveis a falta d'água que o feijão.

Para o solo argilo-arenoso, a situação se modifica bastante. Ao se fazer uma análise da sua curva de retenção de umidade (Tabela 03 do Apêndice), observou-se uma baixa variação (16,4%) na média do conteúdo de água em percentagem, quando a tensão vai de 0,2026 a 1,519 MPa. Assim, de acordo com o método do extrator de Richards, toda a água disponível para as plantas estaria se esgotando a partir da tensão de 1,013 MPa. A inclinação da curva de retenção de água, construída a partir dos dados de umidade e tensão obtidos através do extrator de Richards (Tabela 03 do Apêndice), mostra com mais

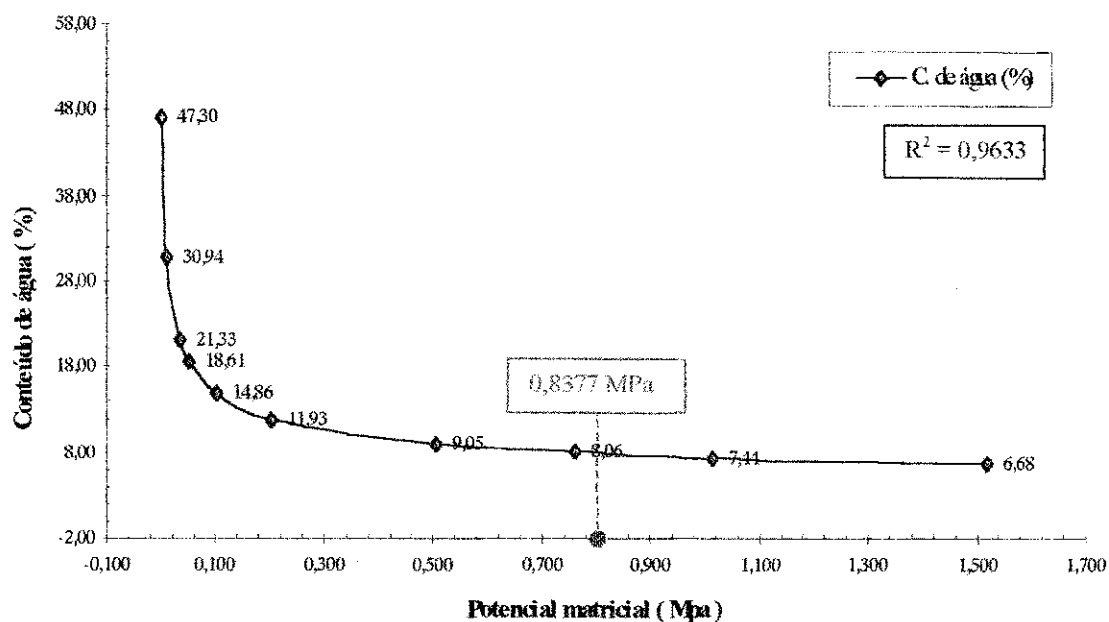


Figura 10: Curva de retenção de água / solo franco-argiloso

clareza esta observação (Figura 11). Observa-se no entanto, que este solo reteve mais água nesta faixa de tensão, do que o solo franco-argiloso. Isto ocorre porque o solo argilo-arenoso, tem uma maior percentagem de argila (47,84%), apesar do solo franco-argiloso ter uma maior percentagem de constituintes ativos quando somados (30,07% de argila e 37,46% de silte) e uma menor percentagem de areia que o solo argilo-arenoso. Assim, por reter mais água, este solo, logicamente precisará de uma tensão maior que o solo franco-argiloso, para atingir o ponto de murcha permanente (Figura 05).

A análise estatística mostrou que no solo argilo-arenoso houve diferença significativa entre o valor do ponto de murcha permanente determinado fisiologicamente usando como plantas indicadoras o algodão e o feijão e aquele determinado no laboratório, submetendo o solo a uma tensão de 1,519 MPa. Visando determinar o valor real de tensão necessária para determinar o ponto de murcha permanente inferiram-se os valores das curvas de retenção de água do solo usando como "input" os pontos de murcha determinados fisiologicamente (Figura 11). Para o algodão e feijão, os valores encontrados foram de 2,541 e 2,271 MPa, respectivamente. Quando se utilizou girassol como planta indicadora não houve diferença significativa entre o ponto de murcha permanente

determinado fisiologicamente e aquele determinado no laboratório. No entanto, visando obter o real valor desta tensão inferiu-se esta da curva de retenção. O valor encontrado para esta cultura foi um tensão de 1,736 MPa (17,14 atm).

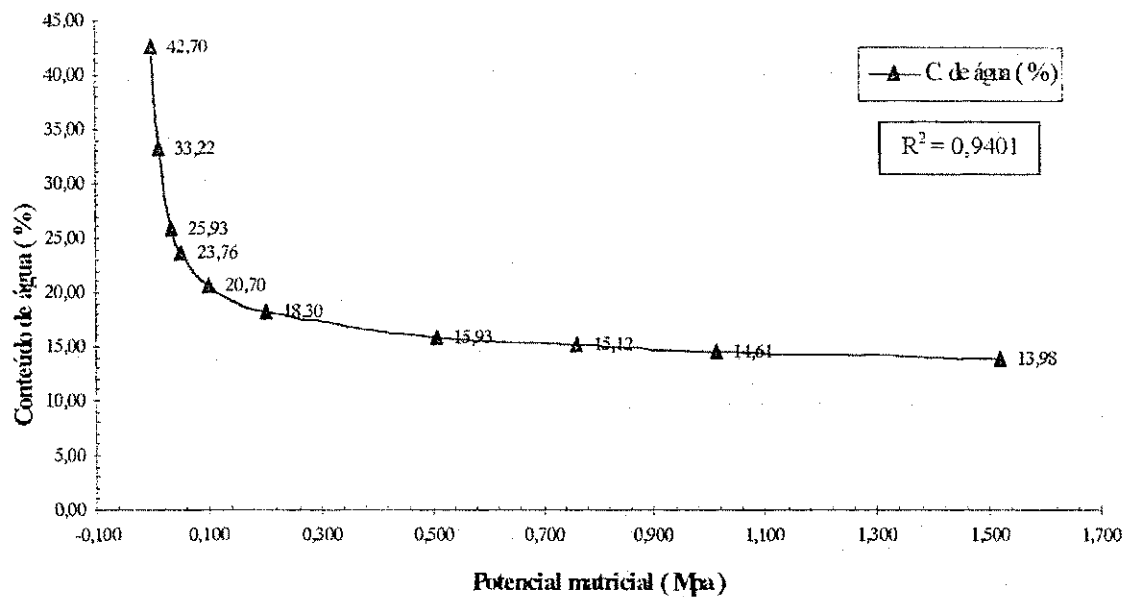


Figura 11: Curva de retenção de água / solo argilo-arenoso

Observa-se assim, que nas duas primeiras culturas (algodão e feijão), as tensões necessária para obter o ponto de murcha permanente estão muito acima da tensão de 15,0 atm (1,519 MPa), recomendada pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo (1985), no entanto estão de acordo com os resultados encontrados por BERNARDO (1995) e FARIA (1998), uma vez os mesmos afirmam que o potencial matricial no solo no ponto de murcha permanente pode variar de 5,0 a 25 atm (0,5065 a 2,532 MPa) e 10,0 a 20,0 atm (1,013 a 2,026 MPa), respectivamente. Já para o caso do girassol, planta indicadora normalmente recomendada ou utilizada para determinar o ponto de murcha permanente, a tensão necessária de 1,736 MPa (17,14 atm), é próxima aos 1,519 MPa (15,0 atm) normalmente recomendados.

A tabela 05 apresenta os valores do ponto de murcha permanente dos solos determinados pelo método fisiológico utilizando as três culturas, e as tensões necessárias para obter estes, inferidas das curvas de retenção de água de cada solo.

Tabela 05 : Valores do ponto de murcha permanente dos solos, determinados fisiologicamente e as tensões correspondentes.

P M P	FRANCO-ARENOSO		FRANCO-ARGILOSO		ARGILO-ARENOSO	
	U G (%) ¹	ψ_m (MPa) ²	U G (%) ¹	ψ_m (MPa) ²	U G (%) ¹	ψ_m (MPa) ²
ALGODÃO	1,01	0,305	4,60	1,887	11,71	2,541
GIRASSOL	1,13	0,288	5,56	1,800	13,03	1,736
FEIJÃO	1,18	0,292	8,27	0,837	12,10	2,271

¹ Umidade gravimétrica, em %

² Tensão necessária, em MPa.

Os resultados apresentados na Tabela 05 diferem da SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1965) e de Peele e Beale em 1950, citados por CARRILLO (1985), que indicam que o conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente é obtido submetendo o solo a uma pressão de 15 atm (1,519 MPa). No entanto estes autores parecem não considerar o efeito das características fisiológicas da planta. STREET (1973) afirma que para cada tipo de planta, o ponto de murcha permanente é atingido quando a pressão de turgor de suas células foliares cai a zero, o qual aconteceria a diferentes potenciais, dependendo das características fisiológicas da planta. Assim o presente estudo considera que ao se determinar o ponto de murcha deve-se considerar as características da planta, concordado com CARRILLO (1979, 1980), quando o mesmo ao comparar três métodos na medição do ponto de murcha permanente: o método fisiológico, o método do extrator de Richards e o método da fórmula empírica a partir da umidade equivalente, indicou que o método fisiológico não pode ser substituído por outro quando se quer alta precisão.

4.4. Parâmetros de manejo da Irrigação

Com base nos valores de capacidade de campo e ponto de murcha permanente, determinados respectivamente no campo e fisiologicamente, e considerando 161,20 mm de água como a evapotranspiração potencial do mês de maior demanda (Janeiro) do Município de Campina Grande-PB (HARGREAVES, 1974), foi calculado,

a capacidade total de armazenamento da água do solo (CTA), a lâmina de reposição líquida (LRL) e o turno de rega (TR), para as culturas do algodão, girassol e feijão (Tabela 06). Para determinar as lâminas de reposição se considerou para o algodão, o girassol e o feijão profundidades efetivas da zona radicular de 60, 60 e 40 cm, respectivamente. A irrigação foi executada quando se esgotou 50, 50 e 30 % da capacidade total de armazenamento de água do solo ou da água disponível para o algodão, girassol e feijão, respectivamente.

Independentemente do método utilizado para determinar a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, os resultados da Tabela 06, mostram a importância das características físicas dos solos utilizados na determinação da capacidade de armazenamento de água dos solos. Assim, observa-se que embora o solo argilo-arenoso utilizado no trabalho tenha sido considerado como mais fino que o solo franco argiloso,

Tabela 06: Parâmetros de manejo da irrigação para o algodão, girassol e feijão, calculados usando a CC e o PMP padrões e o método de Richards.

CULTURAS	SOLO	PARAMETROS DE IRRIGAÇÃO					
		CTA (mm)	LRL (mm)	TR (dias)*	CTA (mm)	LRL (mm)	TR (dias)*
		MÉTODO DE CAMPO E FISIOLÓGICO			MÉTODO DO EXTRATOR DE RICHARDS		
ALGODÃO	Franco-arenoso	44,85	22,42	4	48,85	22,92	4
	Franco-argiloso	126,69	63,35	11	103,88	51,94	9
	Argilo-arenoso	84,66	42,33	7	92,01	46,00	8
GIRASSOL	Franco-arenoso	43,64	21,82	4	48,85	22,92	4
	Franco-argiloso	124,84	62,42	11	103,88	51,94	9
	Argilo-arenoso	72,54	36,27	6	92,01	46,00	8
FEIJÃO	Franco-arenoso	29,74	8,92	2	34,52	10,35	2
	Franco-argiloso	68,03	20,41	4	71,77	21,53	5
	Argilo-arenoso	55,72	16,72	3	61,81	18,54	4

* TR = Turno de rega em dias (resultados arredondados)

este último tem uma capacidade de armazenamento maior., Isto se deve a percentagem de silte (37,46%) que este solo possui. Apesar do solo argilo-arenoso, possuir uma maior

percentagem de argila (47,84%), o mesmo possui uma percentagem bem menor de silte (7,59%). Percebe-se daí, a importância da fração silte, que mesmo sendo menos ativa que a fração argila, contribuiu para o aumento da porosidade total e foi, muito provavelmente, a responsável pela maior capacidade de armazenamento de água que solo franco-argiloso possui. Por outro lado, a densidade global média do solo argilo-arenoso foi de $1,52 \text{ g/cm}^3$, uma densidade bastante alta para um solo argiloso, mostrando assim que o solo estava bastante compactado, diminuindo a porosidade e pelo tanto a capacidade do solo para armazenar água. Isto pode ser confirmado analisando a Tabela 02 do capítulo Materiais e Métodos, onde se pode observar que o solo argilo-arenoso tem uma porosidade total de 42,68 % enquanto que a do solo franco-argiloso é de 47,22 %.

O fato de o solo argilo-arenoso mostrar maiores valores de capacidade de campo e ponto de murcha permanente que o solo franco-argiloso (tabelas 04 e 06) deve-se ao fato de que estes valores foram determinados em amostras de solos destorroadas, eliminando conseqüentemente a compactação deste solo, aumentando a sua porosidade portanto sua capacidade de retenção de água. Em razão deste fato, o turno de rega para as três culturas no solo franco-argiloso foi maior do que no solo franco-arenoso e argilo-arenoso. Isto, provavelmente, poderá redundar numa diminuição de custos de mão de obra, devido a que irrigações menos freqüentes, significam economia em mão-de-obra.

Foram também calculados os parâmetros de manejo da irrigação, utilizando a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente através do método do extrator de Richards. As diferenças na capacidade de retenção de água do solo, indicam que o método de Richards vai perdendo eficácia na medida em que a textura do solo vai se tornando mais fina. Isto é também comprovado quando se observa os valores das lâminas de reposição e os turnos de rega para o algodão, girassol e feijão. Os resultados vem confirmar a importância dos métodos de campo e fisiológico, indicando que os mesmos não deveriam ser substituídos pelo método do extrator de Richards, quando se desejar alta precisão.

Devido ao fato de não ter havido diferença entre métodos, tanto para a determinação da capacidade de campo como para o ponto de murcha permanente, observa-se que no solo franco-arenoso, a disponibilidade de água para as culturas foi praticamente a mesma quando foi calculada por um ou outro método. Já nos solos franco-argiloso e argilo-arenoso, a disponibilidade de água foi maior quando esta foi calculada utilizando o método de campo para a capacidade de campo e o fisiológico para o ponto de murcha permanente, que quando utilizado o método de Richards. Esta diferença fez com que as

lâminas de reposição e os turnos de rega fossem maiores no primeiro caso. Isto pode significar uma redução de custos do projeto de irrigação.

Os resultados discutidos são mais aplicáveis para o algodão e o girassol, culturas mais resistentes ao stress hídrico. Para o feijão, um pouco mais sensível ao déficit hídrico, não houve muita diferença nos parâmetros de irrigação quando se utilizaram métodos diferentes.

Os resultados, mostram que no solo franco-arenoso o método do extrator de Richards é perfeitamente compatível com método de campo e com o método fisiológico.

Apesar da polêmica que gira em torno da eficácia do método do extrator de Richards, sua utilização em solos de textura média a fina poderá fornecer dados confiáveis, desde que, ao ser utilizado, sejam utilizadas tensões compatíveis com as recomendadas ou encontradas na bibliografia para determinados solos e/ou culturas. Em virtude da possibilidade de incorrer em erros quando se trabalha com baixas tensões no extrator de Richards, para trabalhos que requerem exatidão, a capacidade de campo deverá ser determinada pelo método de campo.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- a) A exatidão da determinação dos valores da capacidade de campo pelo método do extrator de Richards, submetendo o solo a tensões de 0,03342 MPa (0,33 atm), depende da textura do solo.
- b) Na determinação da capacidade de campo, nos solos franco-arenoso e franco-argiloso, o método padrão de Richards, utilizando uma pressão de 0,03342 MPa, proporcionou valores de capacidade de campo estatisticamente iguais que os valores determinados no campo. Já no solo argilo-arenoso a tensão aplicada no extrator de Richards deve ser maior.
- c) Não houve dificuldades para determinar a capacidade de campo, através do método de campo. Para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, o período necessário foi de 04 e 03 dias, respectivamente. Para o solo argilo-arenoso, o tempo requerido foi de 08 dias. Isto leva a recomendar este método, não só pela segurança de seus resultados, mas também pela facilidade de sua utilização, podendo ser introduzido como prática rotineira dos técnicos, quando na elaboração de projetos de irrigação.
- d) Para conhecer com exatidão a tensão necessária para determinar a CC, recomenda-se inferir estas da curva de retenção da água do solo, devidamente ajustada, utilizando-se os dados de umidade obtidos através do método de campo.
- e) O conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente não depende apenas da textura do solo, depende também das características fisiológicas da cultura utilizada como planta indicadora.

- f) No solo franco-arenoso, dada a sua baixa capacidade de retenção de água, não houve diferença significativa entre o método fisiológico e o método de Richards utilizando a tensão de 1,519 MPa (15,0 atm), quando na determinação do ponto de murcha permanente do algodão, do girassol e do feijão vigna.

- g) Nos solos franco-argiloso e argilo-arenoso, com maiores capacidades de retenção de água, as características fisiológicas da planta tiveram um relevante papel nos conteúdos de água nos quais estas murcharam. O algodão, mais resistente ao stress hídrico, tem melhores condições para extrair a água do solo e assim seus pontos de murcha permanente foram menores e as tensões necessária para obtê-los, maiores.

- h) Para conhecer com exatidão a tensão necessária para determinar o PMP, recomenda-se inferir estas da curva de retenção da água do solo, devidamente ajustada, utilizando-se os dados de umidade obtidos através do método fisiológico.

- i) A capacidade total de retenção de água do solo, as lâminas de reposição e os turnos de rega foram determinados para os solos e culturas estudadas. Do mesmo modo que na análise da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, os parâmetros de manejo da irrigação mostraram a importância das características físicas dos solos e das culturas.

- j) A eficácia do método do extrator de Richards diminui na medida em que a textura do solo vai se tornando mais argilosa. Isto é facilmente comprovado quando se compara a lâmina de reposição líquida (LRL) calculada para o algodão, girassol e feijão vigna, utilizando os dados de umidade encontrados pelos métodos de campo e fisiológico em comparação com os mesmos dados de umidade encontrados pelo método do extrator de Richards.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. de L. T., COELHO, E. F., COUTO, L., SILVA, E. L. **Parâmetros de solo-Água- para a Engenharia de Irrigação e Ambiental**, In: Manejo de Irrigação. Poços de Caldas-MG. p. 28-29. 1998. XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Universidade federal de Lavras. 1998. p. 28-29.

ANDRADE, A.R.S.,(1997) **Características físico-hídricas do perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. Variabilidade espacial**. Campina Grande, 1997. 81 p. Dissertação (M. S.) – Universidade Federal da Paraíba.

AURÉLIO, C.G.L., **Estudo da Variabilidade Espacial de Infiltração: Aspectos Teóricos e Experimentais**. Campina grande, 1992. 142 p. Dissertação (M. S.) – Universidade Federal da Paraíba.

BERNARDO, S. : **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 657p.

BLAKE, G. R. Particile Density. In BLACK, C. A. et al. (ed.) **Methods of Soil Analysis**. (Agronomy, n.9). Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1965. Part. I, Chapter 29, p. 371 – 373

CARRILLO, U. R. : **Determinación biológica del porcentaje de marchitez en un suelo latosólico (Rojo)**. Revista Agrotécnica de Cuba 9 (2): 53-56, 1977.

CARRILLO, U. R. : **Dispositivos para la medición continua e indirecta de la humedad en un suelo ferralítico calcáreo Rojo (desnudo)**. Revista Agrotecnica de Cuba 11(1) : 51-60, 1979.

CARRILLO, U. R. : **Estudio de la tension-humedad en un suelo latosólico (rojo) mediante el equipo Richards. Método indirecto**. Revista Agrotécnica de Cuba 9 (2): 7-16, 1977

CARRILLO, U. R. : **Tensiones, tiempo de extracción de humedad y equilibrio hidrostático en relación a dos constantes edafológicas en tres tipos de suelos**, Revista Voluntad Hidraulica, N^o 75, ano 24: 27-30, 1987.

CARRILLO, U. R. : **Tres metodos en la medición del punto de marchitez permanente en dos tipos de suelos**, Revista Voluntad Hidraulica, N^o 23: 46-49, 1985.

CARVALHO, E. A.. **Caracterização Física de Três Solos do Município de Areia**. Campina Grande, 1978. 102 p. Dissertação (MS) - Universidade Federal da Paraíba-UFPB.

CIRINO, C. G. : **Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos**, Campina Grande, 1992, 81p. Dissertação (M. S.) - Universidade Federal da Paraíba.

DAKER, A. : **Irrigação e drenagem**. In, **A água na agricultura**. Livraria Freitas Bastos S.A., 1976. 453 p.

DAY, J. R. **Particle fractionation and particle-size analysis.** In: BLACK, C. A. et al (ed.). **Methods of soil analysis.** (Agronomy, n. 9). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p 545-567

DWANE, J. S., LOOMIS, W. E. **Plant and soil factors in permanent wilting percentages and field storage.** Soil Sci. Amer. Proc., v. 104, n. 3 , p. 203 a 307, 1967.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. : **Necessidades hídricas das culturas.** Estudos FAO Irrigação e Drenagem (24). 2ª ed. Tradução de Gheyi, H. R.; Metri, J. E. C. e Damasceno, F. A. V., Campina Grande-PB: Universidade federal da Paraíba, 1977. 204p.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. **Yield Response to Water.** Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAO / Rome. Paper 24, 1976

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo,** 2ª ed., Rio de Janeiro. 1997.

FARIA, M. A de, (ed.) **SIMPÓSIO - MANEJO DE IRRIGAÇÃO.** 1ª ed, Poços de Caldas-MG: Departamento de Engenharia - UFLA, 1998. 367p

FILHO, J. A. **Determinação da Condutividade Capilar Mediante o Método do Perfil Instantâneo.** Campina Grande, 1982. 87 p. Dissertação (M. S.) - Universidade Federal da Paraíba -UFPB,

FRANCO, C. M. e MENDES H. C. **Água inativa de alguns tipos de solos dos estado de São Paulo.** *Bragantia* (7): 129-132,1947

GAIRON, S. : **Important soil characteristics relevant to irrigation.** In: YARON, B. et al (ed) *Arid zone irrigation.* New York: Springer, 1973. p. 227-236 (Ecological Studies, 5)

GOMES, F. P. **Estatística Experimental.** 8 ed. Piracicaba-SP: Nobel S. A, 1978. 430p.

HARGREAVES, G. H. **Precipitation Dependability and Potentials for Agricultural Production in Northeast Brazil.** Utah State University. Logan (1974)

HADAS, A., SWARTZENDRUB, D., RIJTEMA, P. E., FUCHS, M., YARON, B. **Physical aspects of soil water and salts in ecosytems.** New York : Springer - Verlag, 1973. 460 p. (Ecological Studies, 4)

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes.** New York: Academic Press, 1973

HILLEL, D. **Aplications of Soil Physics.** New York: Academic Press,1980

KLAR, A E. : **IRRIGAÇÃO - Frequência e quantidade de aplicação.** 1ª ed. Editora Nobel, 1991. 156p.

MEYER, B. S., ANDERSON, D. B., SWANSON, C. A. **Curso Prático de Fisiologia Vegetal.** Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 297p.

NIELSEN, D.R.; JAKSON, R.D.; CARY, J. W.; EVANS, D.D. (1972). **Soil Water**. American Society of Agronomy and Soil Sci. Soc. of Amer. - Madison, 175p.

OR, D. ; WRAITH, J. M. **Agricultural and environmental soil physics**. Logan: USU. 1997. 218p.

PANIAGO, C.F.A ; ANDRADE, D. F. de; TSURUTA, J.H.; **Software científico – SOC**. Campinas, SP. EMBRAPA – NTIA, 1987.

PREVEDELLO, C.L. **Física do Solo (com problemas resolvidos)**. SAEAFS (Sociedade autônoma de estudos avançados em física do solo. 1996. 446p.

RUIZ, T. W., GRILLO, F. M. **Determinación de la retención de humedad del suelo a capacidade de campo por el método del tanque de arena**. Acta Agronómica. Colombia: Facultad de Ciencias Agropecuarias Parmira, V. 25, 1975.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo-USP-CENA, Piracicaba-São Paulo, 1985. 121-126 p.

REICHARDT, K. **Capacidade de Campo**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) . Piracicaba – SP, 1988. 211-216 p.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2 ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 505p.

- RESENDE, M. "et al". **Caracterização de alguns solos sob cerrados e disponibilidade de água para culturas**, Experiências vol 24 N° 9. Universidade Federal de Viçosa. BRASIL, 1979.
- SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. **The Sinffulness of Textura on the moisture Characteristics of Soil II Available Water Capacity and Moisture Release Characteristics**. Soil Sci., 2(16). 1965. 310-317.
- SILVA. M. A da : **Caracterização de um sistema de irrigação com sulcos fechados no final num regosol**, Campina Grande, 1987. 93p. Dissertação (M. S.) - Universidade Federal da Paraíba.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Committee Report Glossary of Soil Science Terms**. Soil Sci. Soc. Americ. Proc., V. 29, n. 3, p. 330-351, 1965.
- STREET, H. E. **Fisiologia das angiospermas crescimento e desenvolvimento**. São Paulo: Ed. Universidade de SP/Editora Polígono, 1973. p. 49-85.
- STAKMAN, W. P. **Measuring soil moisture**. International Institute for Land Reclamation and Improvement / ILRI. Wageningen, The Netherlands. Publication 16. V III : 221 – 251. 1979.
- SUDENE - Levantamento exploratório - **Reconhecimento de solos de Estado da Paraíba**. Boletim técnico n 15. Rio de Janeiro - RJ. 1972. 683 p.
- VAN GENUCHTEN, M. T. 1980 **A Closed-Form Equation for Prediciting the Hydraulic Conduitivity Unsaturated Soils**. Soil Sci. Am. J.44:892-898.

WALKER, W. R.; SKOGERBOE, G. V.; **Surface Irrigation : Theory and Practice.**

Utah ; 1987. 470 p.

APÊNDICE

**Tabela 01 : Curva de retenção de umidade para o solo franco-arenoso
(EMBRAPA / CNPA)**

POTENCIAL MATRICIAL (MPa)	INTERVALOS DE PROFUNDIDADES			
	00 – 15 cm	15 – 30 cm	30 – 45 cm	45 – 60 cm
	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)
0,0101	8,76	7,82	6,03	5,79
0,0334	6,95	6,45	4,97	4,25
0,0506	3,73	3,53	2,96	3,18
0,1013	3,04	2,88	2,55	2,15
0,2026	2,24	2,06	1,75	1,76
0,5065	2,02	1,80	1,71	1,70
0,7597	1,85	1,75	1,45	1,44
1,013	1,63	1,49	1,37	1,36
1,519	1,31	1,26	1,12	1,07

**Tabela 02 : Curva de retenção de umidade para o solo franco-argiloso.
(EMBRAPA / São Gonçalo)**

POTENCIAL MATRICIAL (MPa)	INTERVALOS DE PROFUNDIDADES			
	00 – 15 cm	15 – 30 cm	30 – 45 cm	45 – 60 cm
	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)
0,0101	30,00	29,17	28,89	28,73
0,0334	29,59	21,00	21,22	18,71
0,0506	18,84	18,99	19,42	17,70
0,1013	18,49	18,40	18,27	16,14
0,2026	12,35	12,49	12,76	11,80
0,5065	9,71	9,74	10,47	9,38
0,7597	8,40	8,43	9,41	8,24
1,013	8,03	8,20	8,43	7,82
1,519	7,82	8,09	8,32	7,71

**Tabela 03 : Curva de retenção de umidade para o solo argilo-arenoso
(Campus III – UFPB / Areia)**

POTENCIAL MATRICIAL (MPa)	INTERVALOS DE PROFUNDIDADES			
	00 – 15 cm	15 – 30 cm	30 – 45 cm	45 – 60 cm
	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)
0,0101	31,26	33,59	30,97	35,00
0,0334	24,34	25,32	24,78	27,19
0,0506	23,22	24,98	23,63	26,63
0,1013	19,87	22,67	20,19	23,77
0,2026	17,06	18,23	17,85	20,07
0,5065	16,16	16,90	16,84	18,65
0,7597	15,12	16,36	16,32	18,57
1,013	14,93	15,79	15,71	17,97
1,519	14,09	14,77	14,93	17,40

**Tabela 04 : Análise da variância da umidade para os três solos estudados.
Capacidade de campo – método de campo.**

VARIÁVEL INDEPENDENTE – SOLO FRANCO ARENOSO				
Fonte de Variação	gl	Soma de quadrados Seqüencial	Quadrado médio	Valor F
Profundidade	3	8,21565500	2,73855167	8,2453**
Tensão	4	52,15122000	13,03780500	39,2545**
Resíduo	12	3,98562000	0,33213500	
TOTAL	19	64,35249500		
VARIÁVEL INDEPENDENTE – SOLO FRANCO ARGILOSO				
Fonte de Variação	gl	Soma de quadrados Seqüencial	Quadrado médio	Valor F
Profundidade	3	12,30294000	4,1098000	4,9306*
Tensão	4	337,15183000	84,28795750	101,340**
Resíduo	12	9,98081000	0,83173417	
TOTAL	19	359,43558000		
VARIÁVEL INDEPENDENTE – SOLO ARGILO ARENOSO				
Fonte de Variação	gl	Soma de quadrados Seqüencial	Quadrado médio	Valor F
Profundidade	3	32,31497500	10,77165833	18,8075**
Tensão	4	390,78672000	97,69668000	170,579**
Resíduo	12	6,8728000		
TOTAL	19	429,97449500		

Tabela 05 : Variação do conteúdo de água com o tempo, para o solo Franco-arenoso

PERÍODO (dias)	INTERVALOS DE PROFUNDIDADES			
	00 – 15 cm	15 – 30 cm	30 – 45 cm	45 – 60 cm
	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)
1	5,8824	5,9688	5,8426	4,2476
2	6,0012	5,4786	5,1220	5,0278
3	6,0904	5,2608	5,3264	5,2131
4	5,9427	5,4989	4,8966	5,1511
5	5,7078	5,6561	5,3821	5,7845
6	5,8574	5,1380	4,9904	5,4023
7	5,4269	5,5125	5,0958	5,3905
8	5,4069	4,9292	5,4069	5,0952
9	5,3295	4,7619	5,3295	4,8017

Tabela 06 : Variação do conteúdo de água com o tempo, para o solo Franco-argiloso

PERÍODO (dias)	INTERVALOS DE PROFUNDIDADES			
	00 – 15 cm	15 – 30 cm	30 – 45 cm	45 – 60 cm
	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)
1	24,64	20,61	19,74	14,27
2	22,90	20,77	20,21	16,08
3	22,67	19,18	18,85	18,41
4	20,42	20,13	18,59	13,06
5	21,91	19,19	11,14	17,72
6	19,37	18,05	14,96	10,98
7	19,94	19,03	16,89	12,49
8	21,27	15,78	14,00	9,18
9	20,62	20,16	16,17	8,28
10	21,59	18,85	16,25	7,46
11	23,82	17,75	12,18	11,38
12	18,56	13,69	8,71	7,91
13	21,99	18,22	19,81	11,71
14	18,34	16,64	15,40	12,97
15	20,23	17,51	17,68	13,54
16	15,71	19,61	12,48	16,85

Tabela 07 : Variação do conteúdo de água com o tempo, para o solo Argilo-arenoso

PERÍODO (dias)	INTERVALOS DE PROFUNDIDADES			
	00 – 15 cm	15 – 30 cm	30 – 45 cm	45 – 60 cm
	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)
1	20,36	21,42	21,61	23,06
2	22,87	22,12	22,39	23,80
3	21,07	21,23	21,71	24,85
4	22,95	22,09	22,21	22,87
5	19,33	21,02	21,52	23,30
6	21,81	20,57	21,91	23,67
7	20,66	20,40	21,97	21,59
8	20,18	20,23	20,18	22,59
9	21,61	20,96	21,61	22,22
10	19,85	20,88	19,85	21,80

Tabela 08: Análise da variância para métodos e profundidades / franco-arenoso.
Ponto de murcha permanente – método fisiológico

VARIÁVEL = ALGODÃO / SOLO FRANCO-ARENOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	0,014912	2,1165	0,277 NS
MÉTODOS	1	0,063012	8,9432	0,058 NS
RESÍDUO	3	0,007045		
TOTAL	7			
VARIÁVEL = GIRASSOL / SOLO FRANCO-ARENOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	0,008745	0,2460	0,860 NS
MÉTODOS	1	0,006612	0,1860	0,695 NS
RESÍDUO	3	0,035543		
TOTAL	7			
VARIÁVEL = FEIJÃO / SOLO FRANCO-ARENOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	0,002745	0,1583	0,918 NS
MÉTODOS	1	0,000612	0,0353	0,863 NS
RESÍDUO	3	0,017434		
TOTAL	7			

Tabela 09: Análise da variância para métodos e profundidades / franco-arenoso
Ponto de murcha permanente- método fisiológico

VARIÁVEL = ALGODÃO / SOLO FRANCO-ARGILOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	0,056683	1,1627	0,452 NS
MÉTODOS	1	22,916450	470,081	0,000 **
RESÍDUO	3	0,048750		
TOTAL	7			
VARIÁVEL = GIRASSOL / SOLO FRANCO-ARGILOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	1,51201	1,3391	0,408 NS
MÉTODOS	1	20,06611	17,7716	0,024 *
RESÍDUO	3	1,12911		
TOTAL	7			
VARIÁVEL = FEIJÃO / SOLO FRANCO-ARGILOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	0,05263	0,4412	0,741 NS
MÉTODOS	1	0,16282	1,4099	0,321 NS
RESÍDUO	3	0,11930		
TOTAL	7			

**Tabela 10: Análise da variância para métodos e profundidades / argilo-arenoso
Ponto de murcha permanente – método fisiológico**

VARIÁVEL = ALGODÃO / SOLO ARGILO-ARENOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	4,11085	24,2958	0,013 *
MÉTODOS	1	25,77620	152,3416	0,001 **
RESÍDUO	3	0,16920		
TOTAL	7			
VARIÁVEL = GIRASSOL / SOLO ARGILO-ARENOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	11,19581	6,6265	0,077 NS
MÉTODOS	1	10,28311	6,0863	0,090 NS
RESÍDUO	3	1,68954		
TOTAL	7			
VARIÁVEL = FEIJÃO / SOLO ARGILO-ARENOSO				
FONTE DE VARIAÇÃO	G L	QUADRADO MÉDIO	VALOR DE F	PR > F
PROFUNDIDADE	3	3,56871	10,1737	0,044 *
MÉTODOS	1	20,44801	28,2931	0,005 **
RESÍDUO	3	0,35077		
TOTAL	7			