



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CAMPUS II
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

EFEITO DA UMIDADE INICIAL SOBRE A INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

LEOBERTO DE ALCANTARA FORMIGA

CAMPINA GRANDE

FEVEREIRO - 1992

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA AGRICOLA

EFEITO DA UMIDADE INICIAL SOBRE A INFILTRAÇÃO DA AGUA NO
SOLO

LEOBERTO DE ALCANTARA FORMIGA

CAMPINA GRANDE-PB.

FEVEREIRO - 1992

LEOBERTO DE ALCANTARA FORMIGA

EFEITO DA UMIDADE INICIAL SOBRE A INFILTRAÇÃO DA AGUA NO
SOLO

Dissertação apresentada ao Curso de MESTRADO
EM ENGENHARIA AGRICOLA da Universidade
Federal da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do Grau de Mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO
Orientador

HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA
Co-orientador

CAMPINA GRANDE - PB.

FEVEREIRO - 1992

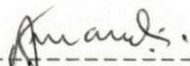
EFEITO DA UMIDADE INICIAL SOBRE A INFILTRAÇÃO DA AGUA NO
SOLO

LEOBERTO DE ALCANTARA FORMIGA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/92



HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO
Presidente da Banca Examinadora



PEDRO DANTAS FERNANDES
Examinador



VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA
Examinadora

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

CAMPINA GRANDE-PB

FEVEREIRO - 1992

RESUMO

A pesquisa foi realizada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB., em solos aluvionais com diferentes texturas (arenosa, franco-arenosa e franco-argilosa), com a finalidade de se estudar o efeito da umidade inicial nos primeiros 20 (vinte) centímetros do solo (na camada superficial), sobre os parâmetros da equação de infiltração. Os dados de infiltração foram obtidos através do método do cilindro infiltrômetro, a diferentes teores de água disponível no solo (20, 40, 60 e 80%). Na análise estatística dos parâmetros "K" e "n" da equação da velocidade de infiltração instantânea "VI" versus a percentagem de umidade volumétrica " θ ", foram determinados os valores para o coeficiente de determinação R^2 .

Encontrou-se que a variação de "K" é explicada pela variação da umidade nos primeiros 20 centímetros de solo. O coeficiente angular "n" em geral não foi afetado pelo teor de umidade inicial do solo. A velocidade de infiltração básica "VIB" e o tempo de ocorrência da "VIB", como também o tempo de oportunidade de infiltração, foram influenciados pelo teor de umidade inicial " θ " a nível significativo.

ABSTRACT

The research was conducted at a DNOCS Irrigated Perimeter, located in Sousa-PB., on three different textured soils. The objective of the work was to study the effect of the initial soil water content in the surface layer of soil (0 - 20 cm) on the parameters of the infiltration equation. The infiltration tests were conducted with the infiltrometer cylinder methodology with initial soil water contents of 20, 40, 60 and 80% available water for plants.

Through statistical analysis it was found a high and direct correlation among the values of "K" and the initial soil water content. With some exceptions the "n" coefficient was not affected by the water treatments. The basic infiltration velocity and the infiltration time were influenced by the water content.

INDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURA	ix
LISTA DE TABELAS DO APENDICE	x
CAPITULO I INTRODUÇÃO	1
CAPITULO II REVISÃO BIBLIOGRAFICA	4
1. Infiltração da água no solo	4
2. Hidráulica da infiltração	7
3. Fatores que afetam a infiltração	11
4. Equações que descrevem a infiltração	18
5. Método de determinação da infiltração da água no solo	25
CAPITULO III MATERIAIS E METODOS	30
1. Localização do experimento	30
2. Características Químicas, Físicas e Hídricas dos Solos Estudados	31
3. Determinação dos parâmetros de infiltração	32
4. Determinação da umidade dos solos	37
5. Tempo de oportunidade de infiltração	37
CAPITULO IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
1. Propriedades químicas, físicas e hídricas dos solos estudados	42
2. Parâmetros de infiltração	48

3. Correlações entre os parâmetros das equações de infiltração, a velocidade de infiltração básica (VIB), o tempo de ocorrência da VIB (T_{vib}) e o tempo de oportunidade de infiltração, versus o conteúdo de umidade inicial	61
CAPITULO V CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES	68
BIBLIOGRAFIA	70
APENDICE	75

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Area plantada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB.	39
2. Características físicas dos solos	43
3. Características físicas dos solos em função das diferentes profundidades efetivas	44
4. Características químicas do solos arenoso	49
5. Características químicas do solo franco-arenoso	50
6. Características químicas do solo franco-argiloso	51
7. Parâmetros das equações de infiltração acumulada (D) e instantânea (VI), para solos com diferentes texturas e teores de água disponível na camada superficial	58
8. Teores de água disponível com suas respectivas VIB's e tempo de ocorrência das mesmas (T_{VIB})	60
9. Efeito da umidade inicial sobre os parâmetros "C", "m", da equação de infiltração acumulada (D) e "k" e "n" da instantânea (VI) com 20, 40, 60 e 80 % de água disponível	62
10. Efeito do teor de umidade inicial (θ) sobre a velocidade de infiltração básica (VIB)	63
11. Tempos de oportunidade de infiltração de reposição e corrigido para os diferentes solos, teores de água disponível e profundidades efetivas das raízes	64

12. Lâminas de reposição (L_2) e corrigida (L_3) para os diferentes solos, teores de água disponível e Profundidade efetiva das raízes	66
13. Efeito dos teores de umidade inicial sobre o tempo de ocorrência da VIB (T_{VIB})	67

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Cilindros infiltrômetros	34
2. Curvas de umidade dos horizontes do solo arenoso	45
3. Curvas de umidade dos horizontes do solo franco-arenoso	46
4. Curvas de umidade dos horizontes do solo franco-argiloso	47
5. Curvas de infiltração acumulada na profundidade de 0 - 20 cm do solo arenoso	52
6. Curvas de infiltração acumulada na profundidade de 0 - 20 cm do solo franco-arenoso	53
7. Curvas de infiltração acumulada na profundidade de 0 - 20 cm do solo franco-argiloso	54
8. Curvas de infiltração instantânea na profundidade de 0 - 20 cm do solo arenoso	55
9. Curvas de infiltração instantânea na profundidade de 0 - 20 cm do solo franco-arenoso	56
10. Curvas de infiltração instantânea na profundidade de 0 - 20 cm do solo franco-argiloso	57

LISTA DE TABELAS DO APENDICE

	Página
1. Conteúdo de água do solo arenoso versus potencial matricial	76
2. Conteúdo de água do solo franco-arenoso versus potencial matricial	77
3. Conteúdo de água do solo franco-argiloso versus potencial matricial	78
4. Infiltração acumulada para o solo arenoso	79
5. Infiltração acumulada para o solo franco-arenoso	80
6. Infiltração acumulada para o solo franco-argiloso	81
7. Infiltração instantânea para o solo arenoso	82
8. Infiltração instantânea para o solo franco-arenoso	83
9. Infiltração instantânea para o solo franco-argiloso	84
10. Uso consuntivo para as diversas culturas plantadas no perímetro irrigado de São Gonçalo-PB.	85

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

A irrigação torna-se um fator imprescindível em países possuidores de regiões áridas e semi-árida, forçando-os a desenvolverem técnicas de aumento permanente da eficiência na utilização dos recursos hídricos. Uma agricultura irrigada com boa eficiência implica na utilização de métodos e procedimentos no uso da água, cuja adequabilidade responde positivamente às condições do meio ambiente (SALINAS, 1980).

A irrigação pode ser definida como sendo a técnica de aplicar água ao solo, com o propósito de fornecer aos vegetais os teores de umidades necessários para obtenção de boas produtividades. Entretanto, sabe-se que nem toda água fornecida ao solo é utilizada pela planta. Sempre ocorrem perdas que acarretam sérios inconvenientes, como já constatados em algumas áreas do Nordeste Brasileiro. Qualquer que seja o método utilizado de irrigação, têm-se sempre a preocupação de se obter o máximo rendimento com seu uso, para aumentar a produção das culturas (OLITTA, 1982).

Segundo SIMÕES (1974), a baixa eficiência de

irrigação é consequência do desconhecimento na maioria das vezes, da velocidade de infiltração da água no solo e da pouca adaptação do sistema de irrigação ao solo e à topografia.

A capacidade de infiltração da água no solo torna-se em linhas gerais, o parâmetro mais importante em um sistema de irrigação superficial, como também em outros métodos de irrigação. Pois além de permitir o delineamento e dimensionamento de obras hidráulicas do sistema de irrigação, apresenta alternativas de correto manejo (ESPINOLA, 1977).

Então, de posse das equações de infiltração e respectivos teores de umidade, pode-se determinar o tempo necessário para aplicação da água de irrigação.

BAVER et alii (1973), VILLELA & MATOS (1975), PINTO et alii (1976), BERNARDO (1982), WALKER & SKOGERBOE (1987) e WITHERS & VIPOND (1988), trabalhando com infiltração da água no solo, concordam que o teor de umidade inicial afetava a mesma.

AZEVEDO (1975) e LAZO (1988), encontraram em pesquisas realizadas no Brasil e em Cuba, respectivamente, variações na infiltração da água no solo, devido a variações nos teores de umidade.

O presente trabalho consiste em estudar a influência dos teores de umidade inicial sobre as características da infiltração da água em três solos de

diferentes texturas do Perímetro Irrigado de São Gonçalo -
Souza-PB.

CAPITULO II

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

1. INFILTRAÇÃO DA AGUA NO SOLO

Segundo ISRAELSEN & HANSEN (1973) e PORTO (1986), uma propriedade dos solos, de grande importância para os irrigantes, é a velocidade pela qual a água percola ou se infiltra nele. A velocidade de infiltração é, normalmente, muito maior no início de uma irrigação ou de uma chuva, e, várias horas depois, será influenciada pelas propriedades do solo e pelo gradiente de umidade.

A tensão de umidade, ainda de acordo com os autores citados acima, pode ser zero nos primeiros centímetros de solo, pouco depois do umedecimento, e pode ser muito alta alguns centímetros mais abaixo, produzindo desta maneira uma força descendente (que se soma à da gravidade) que atrai a água para a parte do solo não saturada. Estas diferenças de tensão, algumas horas depois do umedecimento, podem ser muito pequenas, e então a gravidade se transforma na força principal que causa a infiltração. A diminuição da infiltração, à medida que

transcorre o tempo depois do umedecimento no solo, é de grande importância para os estudos das perdas de água das chuvas e das irrigações.

BERNARDO (1982) e VILLELA & MATOS (1975), definem a infiltração como sendo o processo pelo qual a água penetra no solo, através de sua superfície e se move para baixo em direção ao lençol freático, tornando-se um dos fatores mais importantes na irrigação; determina o tempo em que se deve manter a água na superfície do solo ou a duração da aspersão, de modo que se aplique uma quantidade desejada de água.

Uma variável importante no planejamento de sistemas de irrigação é a velocidade do movimento da água no solo, a fim de abastecer a zona das raízes (WITHERS & VIPOND, 1988).

Segundo LAZO (1988), o movimento da água no solo processa-se em forma líquida (condicionado às características dos solos) e de vapor.

THIEN (1983), cita que o processo de infiltração antecede ao de armazenamento da água e o seu uso pelas plantas, pode ser considerado como um processo regulador; praticamente em todos os casos deseja-se sempre maximizar a infiltração, já que a mesma, quando bem utilizada, reduz a erosão nas irrigações como também o encharcamento dos solos.

Vucic citado por LAZO (1988), destacou em seus

estudos que a infiltração é uma importante propriedade do solo, determinando os elementos da técnica de irrigação, tais como: o comprimento ótimo dos sulcos ou faixas, tempo de irrigação, intensidade de precipitação dos aspersores, etc. Como uma constante da água no solo, a infiltração se define claramente, mas a determinação e a interpretação dos valores de infiltração estão limitadas por uma série de dificuldades e problemas no seu manuseio

Para WALKER & SKOGERBOE (1987), a infiltração é o fator mais crucial que afeta a irrigação por superfície. Este parâmetro controla essencialmente não somente a quantidade de água que entra no solo como também o avanço da água sobre o mesmo.

HILLEL (1982), afirma que a infiltração é de grande importância prática, pois a sua velocidade determina, frequentemente, o volume da água que escorrerá sobre a superfície, por ocasião das chuvas fortes e, portanto, exerce influência sobre a erosão. Além disso, antes do planejamento de qualquer sistema de irrigação que venha a mostrar-se eficiente, é necessário que se tenha conhecimento do processo de infiltração.

A infiltração, ou entrada descendente da água no solo, é um dos processos mais importantes na fase do solo do ciclo hidrológico. Visto que a penetração da água no solo é causada por forças matriciais além das

gravitacionais; a entrada pode ocorrer de cima para baixo como também em direções laterais e ascendente (BAVER et alii, 1973).

2. HIDRAULICA DA INFILTRAÇÃO

A infiltração da água em um solo inicialmente seco ocorre sob a ação combinada dos gradientes da altura de gravidade e da sucção. A medida que a água se aprofunda no solo, aumentando a parte úmida do perfil, o gradiente médio de sucção diminui, uma vez que a diferença global em altura de pressão (existente entre a superfície saturada do solo e as partes do perfil ainda não molhadas) se distribui por uma distância cada vez maior. Essa tendência prossegue até que, eventualmente, o gradiente de sucção torne-se desprezível, deixando o gradiente constante de gravidade como a única força remanescente para movimentar a água verticalmente para baixo. Como o gradiente de altura gravitacional é igual a unidade, pois a altura de gravidade diminui à razão de um centímetro para cada centímetro de profundidade abaixo da superfície, segue-se que o fluxo tende a igualar-se com a condutividade hidráulica. Em um solo uniforme, sob prolongado encharcamento, o teor de água da zona umedecida aproxima-se da saturação, e, portanto, o

regime final de infiltração aproxima-se da condutividade hidráulica, sob condição de saturação (HILLEL, 1982).

A equação (1) de Darcy, citada por HILLEL (1982) para o escoamento vertical é a seguinte:

$$q = -K \frac{dH}{dZ} \quad (1)$$

onde:

q = é o fluxo d'água, em cm/h

K = condutividade hidráulica, em cm/h

H = a altura hidráulica total, em cm

Z = a distância vertical a partir da superfície do solo para baixo, isto é, a profundidade, em cm.

A altura hidráulica consiste da altura devida a pressão H_p (é negativa em um solo não saturado) e da altura da gravidade Z (negativa, por diminuir com o aumento de profundidade):

$$H = H_p - Z$$

A equação (1) torna-se então a Equação (2):

$$q = -K \frac{d}{dZ} (H_p - Z) = -K \frac{dH_p}{dZ} + K \quad (2)$$

Quando a infiltração se faz em um solo

inicialmente sêco, os gradientes de sucção mostram-se, a princípio, muito mais elevados que o gradiente gravitacional, e a infiltração inicial através de uma coluna vertical, aproxima-se da infiltração através de uma coluna horizontal de solo. A água contida em um sulco do terreno tenderá, portanto, a se infiltrar lateralmente tão rápida e facilmente quanto verticalmente. De outra parte, quando a infiltração ocorre em um solo inicialmente úmido, os gradientes de sucção apresentam-se pequenos, desde o início, tornando-se desprezíveis em muito menos tempo (HILLEL, 1982).

A última equação (2) pode ser combinada com a equação (3) da Continuidade, citada por HILLEL (1982), para se obterem as equações (4) e (5):

$$\frac{dW}{dt} = - \frac{dq}{dz} \quad (3)$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d}{dz} \left(K \frac{dH_p}{dz} \right) - \frac{dK}{dz} \quad (4)$$

ou:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d}{dz} \left(D \frac{dW}{dz} \right) - \frac{dK}{dz} \quad (5)$$

onde:

W = água contida no solo, em cm³/cm³

t = tempo, em horas

D = difusibilidade, em cm/h

HILLEL (1982) destaca que, no caso da infiltração horizontal, o termo da direita desaparece, tendo-se constatado que, em um solo uniforme, a infiltração acumulada (I) e a distância até a frente de umedecimento, são proporcionais à raiz quadrada do tempo. O regime de infiltração, i , que é a derivada da infiltração acumulada em relação ao tempo (isto é, $i = q = (dI/dt)$), é portanto inversamente proporcional à raiz quadrada do tempo.

A solução da equação anterior mostra que a infiltração acumulada depende do tempo, de acordo com a equação (6):

$$I = s t^{1/2} + a t + \dots \quad (6)$$

onde:

I = infiltração acumulada, (cm³ de água infiltrada por cm² de superfície de solo),

t = tempo em minutos,

s = coeficiente chamado de "sortividade" (capacidade de absorver e adsorver), expressa o gradiente de sucção,

a = coeficiente que representa o efeito da gravidade.

A verdadeira solução da equação de infiltração é uma série de potências com termos adicionais ($bt^{3/2}$, ct^2 ,

etc.), mas estes são, geralmente considerados desprezíveis.

A última equação (6) pode ser diferenciada em relação ao tempo, para obter o regime instantâneo de infiltração demonstrado na equação (7):

$$q = i = \frac{dI}{dt} = 1/2 s t^{-1/2} + a \quad (7)$$

Esta equação mostra que, quando o "t" se torna muito grande, o primeiro termo:

$$\left(\frac{s}{2 \sqrt{t}} \right)$$

se torna muito pequeno e o coeficiente de infiltração tende para um valor constante, (HILLEL, 1982).

3. FATORES QUE AFETAM A INFILTRAÇÃO

Segundo ISRAELSEN & HANSEN (1973), a velocidade de infiltração depende de muitos fatores, dentre eles, destacam-se a espessura da lâmina de água empregada na irrigação, a temperatura da água e do solo, estrutura, textura e conteúdo de umidade do solo. Quando existem horizontes no solo que impedem a infiltração, a velocidade desta diminui. Outro fator importante é a configuração da

superfície das parcelas, entendendo por tal a forma e dimensões dos camalhões, e unido a este último, a forma de aplicação da água. Em consequência disso, se deduz que a velocidade de infiltração varia dentro de uma mesma parcela.

BERNARDO (1982) cita que a velocidade de infiltração de um solo depende diretamente da textura e da estrutura dos mesmos. Em solos arenosos ou argilosos com partículas bem agregadas, em razão de sua maior percentagem de poros grandes, têm-se maiores velocidades de infiltração. Em um mesmo tipo de solo a velocidade de infiltração varia com: a percentagem de umidade do solo, na época da irrigação, a porosidade do solo e a existência de camada menos permeável, ao longo do perfil; a variação da velocidade, desaparece geralmente 60 minutos depois do início da aplicação da água, por causa da diferença do teor de umidade.

BERNARDO (1982), finaliza afirmando que a velocidade de infiltração nos solos, diminui com o aumento do tempo de aplicação da água. Inicialmente, ela é relativamente alta, e vai diminuindo gradativamente até um valor quase constante. Nesse ponto, onde a variação da velocidade de infiltração é muito pequena, praticamente constante, ela é chamada de velocidade de infiltração básica.

De acordo com VILLELA & MATOS (1975), os fatores

que intervêm na capacidade de infiltração são os seguintes: umidade do solo, permeabilidade do solo, temperatura do solo e profundidade do extrato impermeável. Assim, um solo sêco tem maior capacidade de infiltração inicial, devido ao fato de se somarem as forças gravitacionais e de capilaridade. A permeabilidade do solo, pode ser afetada por outros fatores como cobertura vegetal, compactação, infiltração de materiais finos, etc., são fatores preponderantes no fenômeno da infiltração da água, pois o seu fluxo para baixo depende primordialmente desses fatores.

PINTO et alii (1976) encontrou fatores intervenientes na infiltração da água no solo, tais como tipo de solo, altura de retenção superficial e espessura da camada saturada, grau de umidade do solo, ação da precipitação sobre o solo, compactação devida ao homem e ao animal, macroestrutura do terreno, cobertura vegetal, temperatura e presença do ar no solo.

WITHERS & VIPOND (1988), afirmam que a infiltração é afetada pelo teor de umidade do solo: quanto mais sêcas as camadas inferiores, maior o gradiente de potencial entre a frente de umedecimento e a camada de solo situada abaixo, e mais rápida a absorção. Uma conclusão importante é que os experimentos destinados a determinar a velocidade de infiltração para fins de irrigação, devem ser

realizados em solos com estado de secura apropriada. Um lençol freático próximo à superfície, reduz a velocidade de infiltração em virtude de umedecer as camadas adjacentes; a presença de uma camada endurecida ou impermeável afeta o avanço interior da frente de umedecimento e, a velocidade de infiltração, cuja redução dependerá da profundidade daquela camada. Um fator nem sempre levado em consideração é a mudança de valor que pode sofrer a velocidade de infiltração durante a estação de rega. A passagem da água através do solo pode arrastar partículas que irão bloquear os poros próximos da superfície. A compactação produzida pelas máquinas agrícolas também tende a obstruir tais poros. O desenvolvimento radicular nas camadas superficiais beneficia o processo de infiltração, particularmente no caso de solos argilosos, cujas raízes rompem a estrutura.

A infiltração de um solo é uma medida de sua capacidade para tomar e absorver a água da superfície do mesmo, durante o período em que ela é aplicada. Esta capacidade varia no tempo e espaço como consequência da grande quantidade de fatores que intervêm no fenômeno. Tendo em conta que os valores de infiltração da água no solo constitui um elemento básico nos projetos de irrigação e drenagem, faz-se necessário obter em cada estudo, dados com o maior grau de exatidão, que serão encontrados na medida em que se conhecem os fatores que determinam o

fenômeno (LAZO, 1988).

A base de uma alta infiltração implica em manter uma alta porosidade nos horizontes superficiais; então, qualquer propriedade do solo ou outra condição do manejo que afete a porosidade como a textura, a estrutura, a estabilidade dos agregados, o conteúdo de matéria orgânica e o trabalho no campo, pode exercer influência sobre a infiltração. Também o conteúdo inicial de umidade do solo modifica os valores de infiltração. Todas as propriedades mencionadas, exceto a textura, são influenciadas pelas práticas culturais, a qual faz com que a infiltração seja um processo dinâmico e fortemente dependente do uso e manejo que receba o solo (USDA, 1964).

A infiltração é um processo complexo, dependente das propriedades do solo, propriedades físicas e hidráulicas, conteúdo inicial de umidade, os antecedentes de umedecimento, mudança de permeabilidade devido a movimentos da água na superfície e bolsas de ar no interior do solo (WALKER & SKOGERBOE, 1987).

Dentre os fatores que influenciam a infiltração da água no solo, PORTO (1986) menciona que os principais são os seguintes: umidade do solo, quanto mais saturado estiver o solo menor será a infiltração; geologia, a granulometria do solo condiciona sua permeabilidade. Quanto mais fino for o solo menor será a infiltração; ocupação do

solo, processos de urbanização e devastação da vegetação natural, diminuem drasticamente a quantidade de água infiltrada, ocorrendo o contrário com técnicas adequadas de terraceamento e manejo de solo; topografia, declives acentuados aumentam a quantidade de escoamento superficial direto, diminuindo a oportunidade de infiltração; depressões, a existência de depressões provoca a retenção da água diminuindo a quantidade de escoamento superficial direto. A água retida infiltra-se ou evapora.

A infiltrabilidade do solo, chamada também de capacidade de infiltração é definida por HILLEL (1982), como o fluxo máximo que o solo pode absorver através de sua superfície, quando a água é aplicada sob pressão atmosférica, e que depende do teor inicial de água do solo, sua distribuição no perfil, da estrutura (especialmente na região superficial), e da uniformidade do perfil.

MUSGRAVE (1955) indica os fatores mais importantes que afetam a entrada de água no solo, como sendo os seguintes: condições de superfície e quantidade de proteção contra o impacto da chuva; características internas da massa de solo, incluindo o tamanho dos poros, profundidade da porção permeável até o horizonte adensado, expansibilidade da argila e colóides, conteúdo de matéria orgânica e grau de agregação; conteúdo de umidade no solo e grau de saturação; duração da chuva ou aplicação de água; estação do ano e temperatura do solo e da água.

De acordo com FORSYTHE (1975), o teor inicial de umidade do perfil do solo afeta a infiltração da água no mesmo. Quanto mais seco estiver o solo, maior será a infiltrabilidade no início do processo. Por este motivo, deve-se sempre levar em consideração os valores de umidade.

PHILIP (1957b) encontrou em seus experimentos, uma dependência entre a taxa de infiltração e o conteúdo inicial de umidade do solo para curto espaço de tempo de infiltração, porém, a medida que o intervalo de tempo aumentava, esta dependência tornava-se menos evidente. Concluiu que, para um tempo suficientemente grande, a capacidade de infiltração iguala-se ao valor da condutividade hidráulica.

Smith, citado por PARR & BERTRAND (1960), estudando a relação pedológica do processo da infiltração, concluiu dizendo que a taxa de infiltração é função da porosidade, da textura, da estrutura e do conteúdo de umidade do solo; acrescentou, ainda, que a taxa de infiltração varia inversamente com o conteúdo inicial de umidade do solo.

Em um estudo realizado num solo bruno de Dakota do Norte, EUA, FERNANDEZ & WILKINSON (1965) encontraram que o conteúdo inicial de umidade do solo afetou os valores de infiltração. Resultados iguais tem sido alcançados por outros pesquisadores (TISDAL, 1960; AZEVEDO, 1975; LAZO,

1988).

4. EQUAÇÕES QUE DESCREVEM A INFILTRAÇÃO

De uma forma geral, os estudos sobre infiltração referem-se mais ao desenvolvimento da teoria do movimento da água no solo não saturado, que às questões práticas do movimento da determinação e a utilização nos valores de infiltração. A importância da aplicação dos modelos matemáticos na solução dos problemas de infiltração é inquestionável, não obstante, se mantém o fato de que os numerosos elementos utilizados nos sistemas de operação de irrigação dependem dos valores de infiltração que se medem realmente (LAZO, 1988).

Segundo WALKER & SKOGERBOE (1987), muitos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para descrever o fluxo geral em meios porosos, particularmente a infiltração vertical. As equações de infiltração podem ser divididas em três categorias:

1. Modelos baseados em relações gerais para fluxo em meios porosos;
2. Equações fundamentadas na suposição de um modelo de solo simplificado (equações fundamentadas fisicamente) e
3. Aquelas baseadas no ajuste com dados existentes (equações empíricas).

Exemplos comuns de equações da primeira categoria são aquelas equações baseadas em uma solução para fluxo de fase única da equação unidimensional de Darcy, citada por WALKER & SKOGERBOE (1987), conhecida como a "equação de Richards". Se faz a suposição de que o potencial total é igual a soma dos potenciais gravitacional e capilar. Como resultado se obtém uma equação de fluxo geral da forma da equação (8):

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dz'} \left[k(\theta) \left[\frac{dh}{dz'} - 1 \right] \right] \quad (8)$$

onde:

θ = conteúdo volumétrico de umidade ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

h = carga total de pressão (cm)

K = condutividade hidráulica (cm/h)

Z' = distância vertical por baixo da superfície do solo (positivo para baixo) (cm).

WALKER & SKOGERBOE (1987) citam, ainda, que as suposições originais da equação (8) também dizem que o fluxo dentro do perfil do solo chamado isotrópico e isotérmico é laminar. Desafortunadamente não é fácil resolver equações desta primeira categoria usando métodos analíticos, exceto em casos especiais, e tem que ser

avaliadas usando métodos numéricos.

As equações da segunda categoria são similares ou podem ser derivadas da equação de Green & Ampt (GREEN & AMPT, 1911). Esta equação se fundamenta na suposição de que o solo pode ser representado por um conjunto de tubos capilares (SLACK, 1980) como mostra a equação (9):

$$I = K \left[1 + \frac{(\theta_s - \theta_i) h'}{Z} \right] \quad (9)$$

onde:

- I = velocidade de infiltração (cm/h)
- K = condutividade hidráulica na zona úmida (cm/h)
- h' = sucção na frente de umedecimento (atm)
- θ_s = conteúdo de umidade da saturação (cm^3/cm^3)
- θ_i = conteúdo de umidade inicial (cm^3/cm^3)
- Z = profundidade da infiltração acumulada (cm)

A terceira categoria, equações empíricas, é o resultado de ajustar o comportamento observado de velocidades de infiltração com funções explícitas dependentes do tempo. As constantes nestas equações não tem significado físico. Uma das primeiras equações de infiltração foi um modelo empírico desenvolvido por Kostiaikov, citado por WALKER & SKOGERBOE (1987). É uma equação de uso amplo, a qual descreve muito bem as

infiltrações tanto reais como teóricas em períodos de tempo curto e médio. A equação (10) tem a seguinte forma:

$$I = akt^{n-1} \quad (10)$$

onde:

I = velocidade de infiltração, cm/h

t = tempo de oportunidade de infiltração, minutos

a e k = parâmetros empíricos obtidos em testes de infiltração.

Segundo PHILIP (1957b), esta equação (10) tem duas grandes desvantagens. Primeira, não pode ser ajustada para diferentes condições de campo e tem um profundo efeito na infiltração tal como ao conteúdo inicial de água. Segunda, esta prediz uma velocidade de infiltração que se aproxima de zero em tempos longos, o qual se sabe está incorreto. Um termo constante pode ser acrescentado à equação (10) para corrigir este último problema, e a equação se converte na equação (11):

$$I = a k t^{n-1} + f_0 \quad (11)$$

onde:

f_0 é algum valor que representa a infiltração final a medida que t se faz grande. Uma dificuldade com esta

equação é que requer uma ou mais constante que a equação (10) e portanto, é mais difícil de calibrar com dados de campo ou usar em modelos previsivos.

HORTON (1940), propôs outra equação empírica, usando uma função exponencial da forma da equação (12):

$$I = f_0 + (I_1 - f_0) e^{-Bt} \quad (12)$$

onde:

B = parâmetro empírico

I_1 = velocidade inicial de infiltração (cm/h)

f_0 = velocidade final de infiltração (cm/h)

As equações (10), (11) e (12) podem ser integradas para conseguir equações que descrevam a profundidade acumulada de infiltração com o tempo.

A equação (13) é similar a da forma integrada da equação (11), mas com maior significado físico foi derivada por PHILIP (1957a):

$$Z = St^{0.5} + A_t \quad (13)$$

onde:

Z = velocidade de infiltração (cm/h)

S = parâmetro do solo chamado de sortividade

A = parâmetro do solo chamado transmissividade.

T = tempo (minutos).

Esta é uma equação aproximada derivada da equação (8) e algumas suposições simples acêrca da velocidade do fluxo

dos perfis de conteúdo de água. A equação de Green & Ampt é realmente uma equação intermediária na derivação. Esta tem uma vantagem de estar baseada em somente dois parâmetros do solo os quais também tem significado físico. Por exemplo, a "sortividade" pode ser ajustada para o conteúdo inicial de água no solo usando a equação (14) (PHILIP, 1957b):

$$S \propto (\theta_i - \theta_s) \quad (14)$$

Pode-se notar nesta relação que a velocidade de infiltração decresce com o alto conteúdo inicial de água. A principal desvantagem da equação (13) é que \underline{A} não é igual a f_0 , então a equação não é inteiramente exata para tempos longos.

Usando uma aproximação adimensional da equação de Green & Ampt, HACHUM & ALFARO (1977), desenvolveram a equação (15) parecida com as equações (11) e (13):

$$Z = Ft^{0.47} + K(\theta_s) t \quad (15)$$

onde:

$K(\theta_s) = f_0$, condutividade hidráulica, cm/h

$$F = 1,2 [K(\theta_s)]^{0.47} (l/w \Delta \theta)^{0.53} \quad (16)$$

$K(\theta_s) = f_0$ é aproximado à condutividade

hidráulica no campo (cm/h)

l/w = altura de pressão de entrada de água de um perfil hipotético (cm)

$$\Delta\theta = \theta_s - \theta_i \text{ (cm}^3\text{/cm}^3\text{)}$$

Esta equação é mais exata que a equação (13) para tempos longos, mas requer três parâmetros. Deve-se notar que as equações (13) e (15) foram desenvolvidas sem tomar em conta expansões do solo e ruptura de sua estrutura (WALKER & SKOGERBOE, 1987).

A equação (17) de HOLTAN (1961) é mais recente, desenvolvida a partir de um volume substancial de dados de campo:

$$f_p = f_c + a F_p^n \quad (17)$$

onde:

f_p = capacidade de infiltração (cm/h)

f_c = capacidade final de infiltração constante (cm/h)

F_p = volume potencial de infiltração (equivalente ao armazenamento de umidade disponível inicial menos o volume de água já infiltrado) (cm³)

a = constante que depende do tipo de solo.

Esta expressão está bem ajustada para a inclusão em um modelo de encosta (vertente) ou bacia coletora, porque a mesma vincula a capacidade de infiltração ao nível de umidade do solo e não depende diretamente do tempo.

Mezencev citado por HAVERKAMP et alii (1988), nas equações (18) e (19), propôs uma pequena modificação na

equação proposta por Kostiaikov, da seguinte maneira:

$$q(t) = \beta_1 + \beta_2 t^{-\beta_3} \quad (18)$$

e,

$$I(t) = \beta_1 t + \frac{\beta_2}{1 - \beta_3} t^{1-\beta_3} \quad (19)$$

onde:

β_1 , β_2 e β_3 = parâmetros determinados experimentalmente, definidos sobre os intervalos:

$\beta_1 > [\beta_2/(\beta_3-1)]$; $\beta_2 > 0$, e $0 < \beta_3 < 1$. Então para longo tempo ($t \rightarrow \infty$), a taxa de infiltração tende à condutividade hidráulica (K_1), e β_1 toma valores iguais aos de K_1 , (cm/h).

Os valores de β_1 e β_2 podem ser determinados através de dados experimentais $I(t)$, através de uma simples análise de regressão (SNEDOCOR & COCHRAN, 1980).

5. METODO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DA AGUA NO SOLO

A infiltração é um dos parâmetros mais importante que afeta a irrigação superficial, mas

desafortunadamente é um dos mais difíceis de medir com exatidão no campo. Dada a importância de conhecer a função de infiltração a fim de descrever a hidráulica da irrigação superficial, junto com as dificuldades inerentes para obter estimativas confiáveis deste parâmetro faz, com que o investigador tenha que dedicar uma considerável quantidade de esforço e tempo antes de iniciar o planejamento de um sistema de irrigação por superfície. No passado, as duas técnicas comumente empregadas para medir infiltração, foram os cilindros infiltrômetros, inundação e medição de entrada e saída de vazões. Para irrigação em sulcos, se utilizou o método do sulco fechado, enquanto que uma técnica mais recente desenvolvida na Universidade Estadual de Utah é o infiltrômetro de sulco com recirculação (WALKER & SKOGERBOE, 1987).

Segundo BERNARDO (1982), WALKER & SKOGERBOE (1987) e LAZO (1988), os métodos mais utilizados na atualidade para se medir a infiltração da água no solo são os seguintes: método dos cilindros infiltrômetros, bacias de inundação, entrada e saída, sulco infiltrômetro, infiltrômetro de sulco com recirculação de água e o método do "infiltrômetro de aspersor".

Segundo Aronovici citado por ESPINOLA (1977), em estudo realizado sobre infiltração da água no solo, empregou cilindros que variando o diâmetro de 14 para 30

centímetros, encontrou as seguintes conclusões: 1 - a taxa de infiltração decresceu a cada incremento de profundidade em que o cilindro infiltrômetro baixava; 2 - O acréscimo da umidade inicial, teve um significativo efeito sobre a taxa e magnitude do decréscimo da taxa de infiltração; 3 - O aumento do diâmetro do cilindro, contribuiu para a diminuição da taxa de infiltração. A cada aumento de 2,5 centímetros no diâmetro, a infiltração diminuiu de 1,3 centímetros por hora, até um diâmetro de 10 centímetros. Acima de 10 centímetros, a cada aumento de 2,5 centímetros, a taxa de infiltração decresceu de 0,05 centímetros por hora; 4 - Com cargas constantes de água de 2,5, 5,0 e 11,0 centímetros sobre a superfície do solo, as taxas de infiltração foram 2,0, 2,8 e 3,5 centímetros por hora, respectivamente; 5 - O uso de uma bordadura em torno do cilindro de medição, diminuiu substancialmente a taxa de infiltração.

SWARTZENDRUBER & OLSON (1961), em estudo acêrca do método do cilindro infiltrômetro duplo, em um modelo de areia, observaram que a taxa de infiltração aumentou bastante quando a parede do cilindro externo aproximou-se da do interno. Nas mesmas condições verificaram um aumento na taxa de infiltração quando o diâmetro do cilindro interno foi reduzido para menos de 30 centímetros.

A maneira pela qual são instalados os cilindros infiltrômetros no solo, limita o uso dos mesmos, pois

causam uma certa deformação na estrutura natural do solo, quebrando ou compactando o mesmo, podendo causar uma variação na taxa de infiltração entre as diversas repetições realizadas. Também, a interface entre o solo e a parede interna do cilindro pode causar um plano de separação que resultará numa irreal e alta taxa de infiltração. A variabilidade dos dados causada pela instalação do cilindro, pode ser superada, instalando os cilindros no local com um período de antecedência da mesma série de medições (PARR & BERTRAND, 1960).

LAZO (1988) destaca que, embora o método dos cilindros infiltrômetros seja amplamente utilizado, não implica dizer que houve mudanças substanciais com respeito a seu uso, resultando evidentemente que os cilindros infiltrômetros somente são adequados para a determinação da infiltração, como uma constante da água no solo.

Apesar da simplicidade do método, continuam sem aclarar-se as questões que determinam os valores de infiltração. Algumas delas podem parecer normais, mas se são observadas detidamente, sua própria essência nos indica a existência de sérios problemas de falhas na metodologia. Estes problemas se relacionam com a profundidade dos cilindros infiltrômetros introduzidos no solo, a altura da coluna de água no infiltrômetro, as mudanças da infiltração no tempo e, especificamente, as mudanças na prática de

irrigação. Seguramente existe um grande número de outras questões, tais como o tamanho do infiltrômetro, o número de réplicas e talvez, até a forma do infiltrômetro, etc; mas as mesmas tem sido solucionadas praticamente ou são menos importante (LAZO, 1988).

CAPITULO III

MATERIAIS E METODOS

1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O presente trabalho foi realizado na Estação Experimental do Instituto Agronômico "José Augusto Trindade"/DNOCS, no Perímetro Irrigado de São Gonçalo - Souza - PB., que está localizado no vale do Rio Piranhas, à margem da BR 230 e dista da capital do Estado 440 Km. A altitude média do projeto é de 233 metros acima do nível do mar e apresenta as seguintes coordenadas geográficas: Latitude Sul = 6°45' e Longitude = Gr 38°13'.

O clima da região, segundo Köppen citado por BRASIL (1972), é classificado como sendo o Aw', onde, embora as precipitações não sejam muito pequenas (em torno de 800 milímetros), a irregularidade das mesmas dá lugar a características de aridez quase tão acentuada quanto às que ocorrem na região de clima Bsh, com ausência quase total de chuvas.

Os solos utilizados no experimento são do tipo Aluvial Eutrófico, textura indiscriminada fase caatinga

hiperxerófila, relêvo plano (BRASIL, 1972).

2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E HIDRICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

As análises dos solos estudados foram feitas adotando-se a metodologia utilizada nas análises laboratoriais propostas pela EMBRAPA (1977) e RICHARDS (1977).

A obtenção das curvas características de umidade para cada tipo de solo e suas respectivas camadas, foram realizadas em laboratório empregando-se os seguintes aparelhos: extrator de membrana de Richards e panela de pressão, nos quais foram colocadas amostras de solo inicialmente saturadas para serem submetidas a diferentes pressões positivas, conforme metodologia proposta por HILLEL (1982) e VIEIRA (1988).

A capacidade de campo e ponto de murcha permanente foram encontrados também através da metodologia proposta anteriormente, para a determinação das curvas características de umidade dos solos, sendo que para a capacidade de campo empregou-se uma pressão positiva de 0,33 atmosferas, e, para o ponto de murcha permanente, 15 atmosferas.

3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE INFILTRAÇÃO

As áreas dos testes de infiltração, devidamente selecionadas de acordo com a sua classificação textural, tinham as seguintes dimensões: 10 metros de largura por 50 metros de comprimento (500 m²) circundadas por diques com altura de 35 centímetros, para cada tipo de solo estudado (arenoso, franco-arenoso e franco-argiloso). Nestas áreas quando se fez necessário, foram adicionadas pequenas lâminas de irrigação para que o solo atingisse a umidade disponível desejada (80, 60, 40 e 20% de água disponível nos primeiros 20 centímetros do solo). A partir daí, foram realizados os testes de infiltração.

3.1. Determinação da infiltração pelo método dos cilindros infiltrômetros

Os testes de infiltração com o método dos cilindros infiltrômetros seguiram a metodologia proposta por ESPINOLA (1977), BERNARDO (1982), OLITTA (1982), WALKER & SKOGERBOE (1987) e WITHERS & VIPOND (1988). Os equipamentos utilizados têm as seguintes dimensões: espessura da chapa de ferro dos cilindros igual a 2 milímetros (chapa nº 14), o cilindro interno com diâmetro de 25 centímetros, o cilindro externo com 50 centímetros de diâmetro, ambos com

altura de 30 centímetros. Para enterrar o cilindro interno usou-se uma chapa circular de ferro provida de um cabo no centro, com 30 centímetros de diâmetro e espessura de 2 centímetros, pesando cerca de 10 quilogramas. Ao cilindro interno foi acoplada uma bóia para regular a altura d'água neste, fornecida através de um reservatório de zinco com diâmetro igual a 25 centímetros e 90 centímetros de altura, a lâmina d'água no cilindro interno não ultrapassou 10 centímetros. Estes equipamentos podem ser vistos na Figura 1. As leituras foram realizadas aos 1, 2, 4, 6, 10, 14, 22, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 300 minutos ou quando as leituras tornaram-se constantes.

3.2. Curvas de infiltração

As curvas de infiltração foram obtidas a partir dos dados coletados em três conjuntos de cilindros infiltrômetros, ligados simultaneamente, espaçados de dois metros entre si, conforme metodologia proposta por ESPINOLA (1977), BERNARDO (1982) E WALKER & SKOGERBOE (1987).

Para a determinação das curvas de infiltração acumulada e instatânea empregou-se a equação (20) de infiltração acumulada de Kostiaikov, citada por LINDERMAN (1968), BAVER et alii (1973), AZEVEDO (1975), HILLEL (1982), WALKER & SKOGERBOE (1987), LAZO (1988) e

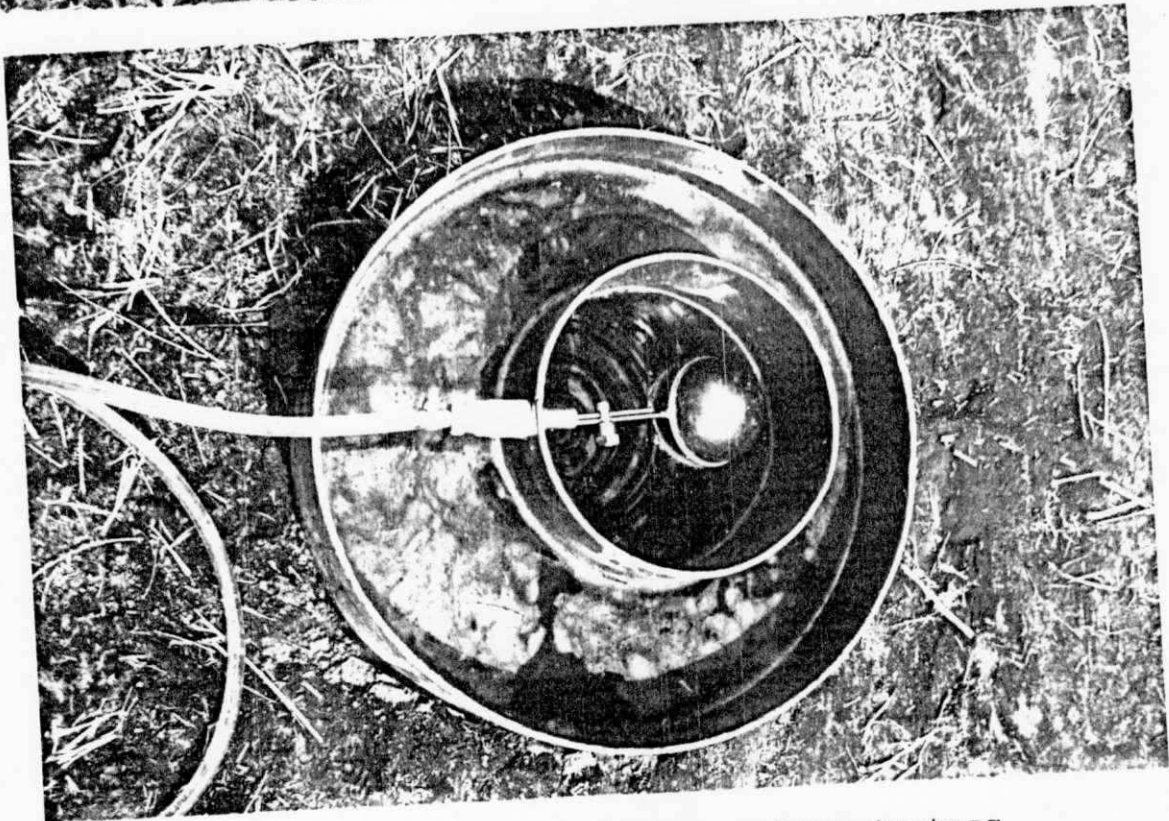
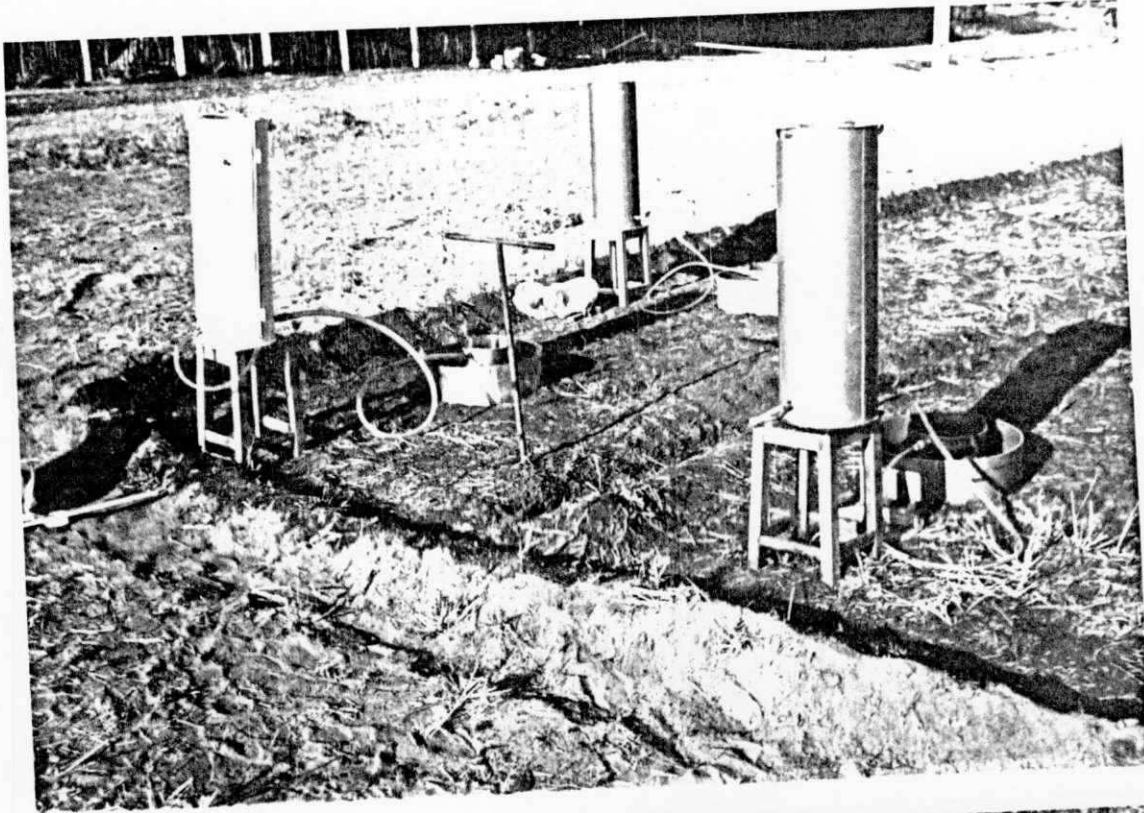


Figura 1 - Cilindros infiltrómetros

HAVERCAMP et alii. (1988), ou seja:

$$D = C \cdot T^m \quad (20)$$

onde:

D = infiltração acumulada, cm

C e m = constantes determinadas experimentalmente

T = tempo, minutos.

A equação (20) quando derivada em função do tempo, encontra-se a equação (21) da velocidade de infiltração:

$$I = k \cdot T^{-n} \quad (21)$$

onde:

I = velocidade de infiltração instantânea, cm/h

K = 60 . C . m, constante

n = m - 1, constante

T = tempo, minutos.

Para se estudar o efeito da umidade inicial sobre a infiltração da água no solo, os testes de infiltração foram realizados com diferentes níveis de umidade (20, 40, 60 e 80% de água disponível), com três repetições cada, num total de 36 testes, conforme técnica descrita por AZEVEDO (1975).

Os parâmetros da equação foram determinados através de correlação logarítmica, como também através do

método dos mínimos quadrados segundo STEEL & TORRIE (1960), GRASSI et alii (1965) e GOMES (1987).

3.3. Correlação entre os parâmetros das equações de infiltração e o conteúdo de umidade inicial

Na análise estatística dos parâmetros "C", "m", "k" e "n" versus a percentagem de umidade volumétrica (θ), Velocidade de Infiltração Básica (VIB) e Tempo de Ocorrência da VIB (T_{VIB}), foram utilizadas correlações e regressões logarítmicas, método dos mínimos quadrados conforme metodologia proposta por STEEL & TORRIE (1960), GRASSI et alii (1965) e GOMES (1987).

As relações entre as variáveis independentes e dependentes foram encontradas através do coeficiente de determinação (R^2), segundo metodologia proposta por STEEL & TORRIE (1960) e GOMES (1987), conforme está demonstrado na equação (22):

$$R^2 = \frac{(\sum x.y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{N})^2}{[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}] \cdot [\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}]} \quad (22)$$

onde:

R^2 = coeficiente de determinação

x = variável independente

y = variável dependente

N = número de observações.

4. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DOS SOLOS

O teor de umidade foi medido através do Método-Padrão da Estufa (Gravimétrico), segundo BERNARDÓ (1982), HILLEL (1982) e WALKER & SKOGERBOE (1987). As amostras foram coletadas ao longo da área de 2 em 2 metros com, 20 cm de profundidade cm, com o auxílio de um trado. A medida que a umidade do solo atingia os valores desejados para cada tratamento, os testes de infiltração foram realizados.

5. TEMPO DE OPORTUNIDADE DE INFILTRAÇÃO (Ti)

A partir dos dados dos solos e das culturas plantadas no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB., durante o período de 1989 a 1990, conforme mostra a TABELA 1, foram calculadas as lâminas de irrigação (com médias ponderadas

de suas características físicas, devido aos solos serem estratificados) e em seguida os tempos de oportunidade de infiltração, conforme metodologia proposta por AZEVEDO (1985) E BERNARDO (1982) mostrada a seguir:

5.1. Uso consuntivo diário

$$U_c = ETP \times f \quad (23)$$

onde:

U_c = uso consuntivo da cultura, mm/dia

ETP = evapotranspiração potencial (mês de maior demanda), mm/dia

f = fator de cultivo.

5.2. Lâminas de irrigação

5.2.1. Lâmina inicial (L_1)

$$L_1 = \frac{(CC - PM)}{100} \times D_a \times P \quad (24)$$

onde,

L_1 = lâmina inicial, mm

CC = capacidade de campo, %

PM = ponto de murcha, %

D_a = densidade aparente, g/cm³

P = profundidade das raízes, mm

TABELA 1 - Área plantada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB., no período de 1989 à 1991

Cultura	Área (ha)		
	1989	1990	1991
Banana	326	250	292
Côco	15	20	25
Capim	5	5	5
Arroz	843	749	466
Algodão	20	4	100
Melancia	6	1	12
Milho	28	17	82
Feijão	263	423	39
Tomate	8	121	158
Batata-doce	1	-	-
Melão	-	-	-
Total	1.515	1.590	1.193

FONTE: Informações verbais fornecida pelo Dr. BENEDITO MOREIRA, Chefe do setor de exploração do DNOCS no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB.

5.2.2. Lâmina de reposição (L₂)

$$L_2 = y \times L_1 \quad (25)$$

onde,

L_2 = lâmina de reposição, mm

y = água a repor, %

L_1 = lâmina inicial, mm

5.2.3. Lâmina corrigida (L_3)

$$L_3 = L_2 \times \frac{7}{D_u} \quad (26)$$

onde,

L_3 = lâmina de reposição corrigida, mm

D_u = número de dias trabalhados por semana, dias

5.3. Tempo de oportunidade de infiltração (T_i)

$$T_i = \left(\frac{L}{C} \right)^{1/m} \quad (27)$$

onde,

T_i = tempo de oportunidade de infiltração, minutos

L = lâminas de irrigação, cm

C e m = constantes da equação de infiltração acumulada

A partir dos resultados encontrados têm-se alternativas para melhorar o manejo da irrigação praticada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB.

CAPITULO IV

RESULTADOS E DISCUSSAO

1. PROPRIEDADES QUIMICAS, FISICAS E HIDRICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

Os solos do Perimetro Irrigado de São Gonçalo - Souza-PB., são de origem aluvional, e em sua maioria são solos francos. A TABELA 2 mostra o solo arenoso, franco-arenoso e franco-argiloso com suas diversas camadas ao longo do perfil, e suas respectivas características físicas, as quais estão dentro dos limites padrões citados por ISRAELSEN & HANSEN (1973). Devido aos solos serem estratificados, confeccionou-se a TABELA 3 através de médias ponderadas das características físicas dos solos (da TABELA 2), para as diversas profundidades efetivas descritas por VIEIRA (1986).

As curvas características de umidade dos solos com suas diferentes camadas são apresentadas nas Figuras 2, 3 e 4 retratando os valores percentuais (com base no peso seco) de umidade, com relação aos diferentes valores de sucção mátrica (TABELAS 1, 2 e 3 constantes no APENDICE),

TABELA 2 - Características físicas dos solos

Profundidade do Solo (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)	Capacidade de Campo (%)	Ponto de Murcha Permanente (%)	Classificação Textural
Solo Arenoso							
0 - 14	89.63	6.03	4.34	1.61	5.21	1.90	Arenoso
14 - 70	83.60	9.04	7.36	1.61	5.06	1.85	Areia-franca
70 - 95	79.58	13.06	7.36	1.79	7.35	3.24	Areia-franca
95 - 130	85.61	8.04	6.35	1.80	5.40	2.70	Areia-franca
Solo Franco Arenoso							
0 - 20	54.53	31.81	13.66	1.42	16.00	6.16	Franco-arenoso
20 - 65	53.83	30.21	15.96	1.62	19.42	8.96	Franco-arenoso
65 - 88	78.46	14.15	7.39	1.47	8.22	2.91	Areia-franca
88 - 130	94.65	1.01	1.46	1.46	2.45	1.13	Arenoso
130 - 200	92.64	3.02	1.40	1.40	3.95	1.03	Arenoso
Solo Franco Argiloso							
0 - 50	21.65	51.02	27.33	1.35	27.40	14.53	Franco-argiloso
50 - 100	20.64	46.02	33.34	1.39	25.08	16.44	Franco-argiloso

TABELA 3- Características físicas dos solos em função das profundidades efetivas das diferentes culturas

Culturas	Tipo de Solo	Profundidade Efetiva (cm)	Capacidade de Campo (%)	Ponto de Murcha Aparente (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)
Algodão	I	60	5.10	1.86	1.61
Batata-doce	II	60	18.28	8.03	1.55
	III	60	27.01	14.85	1.36
Arroz	I	20	5.17	1.89	1.61
	II	20	16.00	6.16	1.42
	III	20	27.40	14.53	1.35
Banana	I	40	5.11	1.87	1.61
Milho	II	40	17.71	7.50	1.52
Feijão	III	40	14.53	1.35	1.35
Côco	I	1000	5.67	3.27	1.66
	II	1000	14.12	6.07	1.53
	III	1000	26.60	15.49	1.37

I = solo arenoso, II = solo franco-arenoso e III = solo franco-argiloso.

NOTA: Profundidade efetiva, citada por VIEIRA (1986).

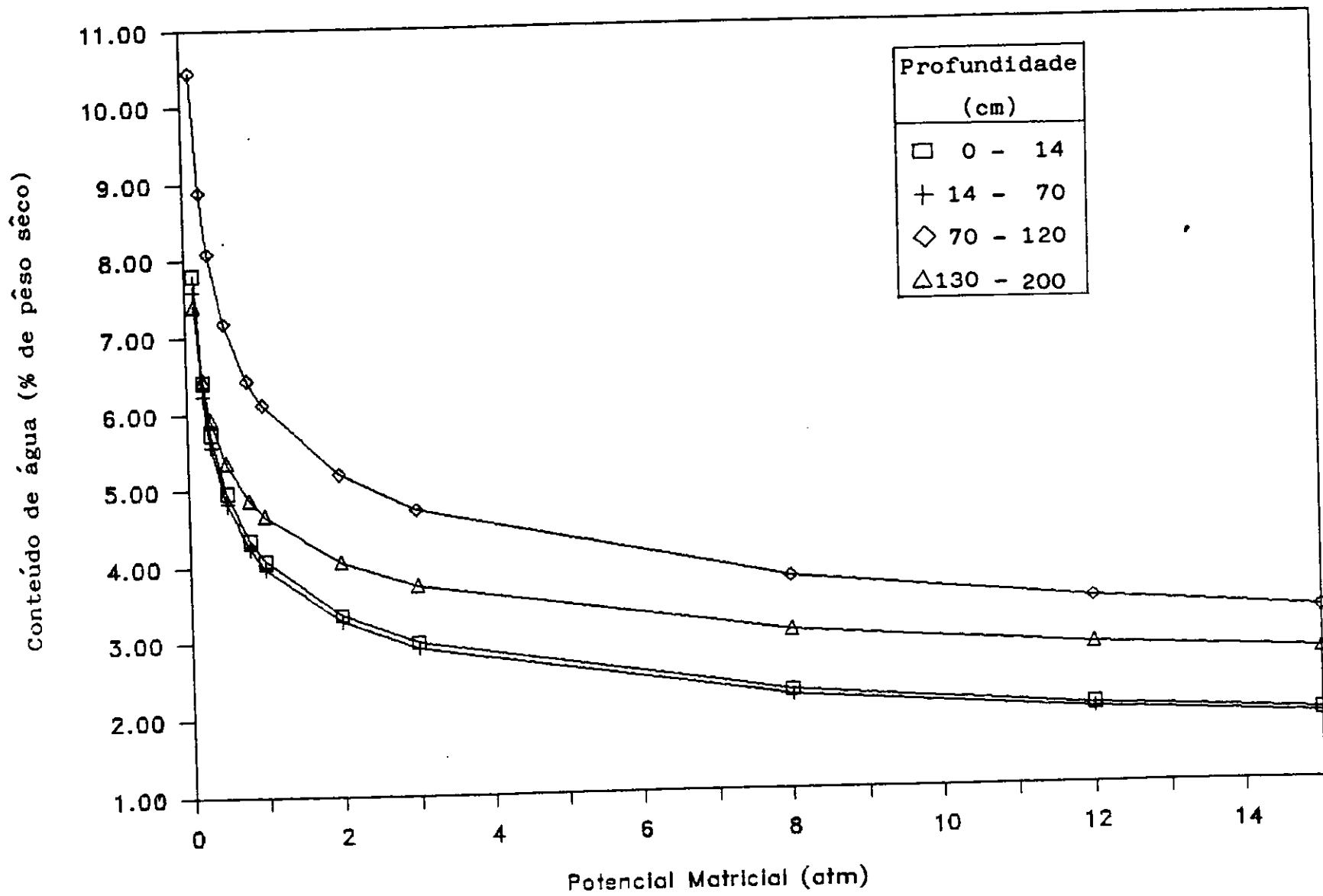


Figura 2 - Curvas de umidade dos horizontes do solo arenoso

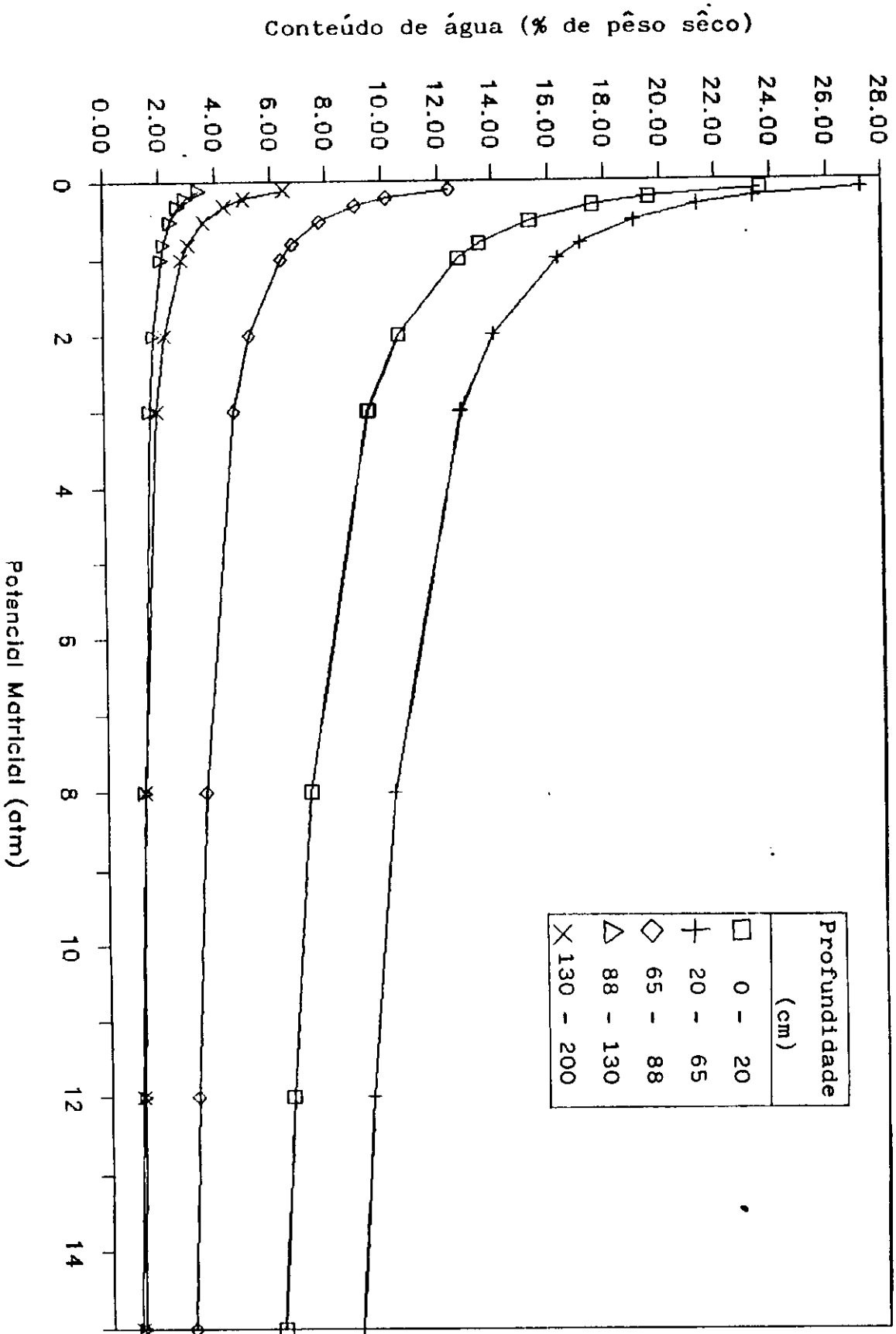


Figura 3 - Curvas de unidade dos horizontes do solo franco-arenoso

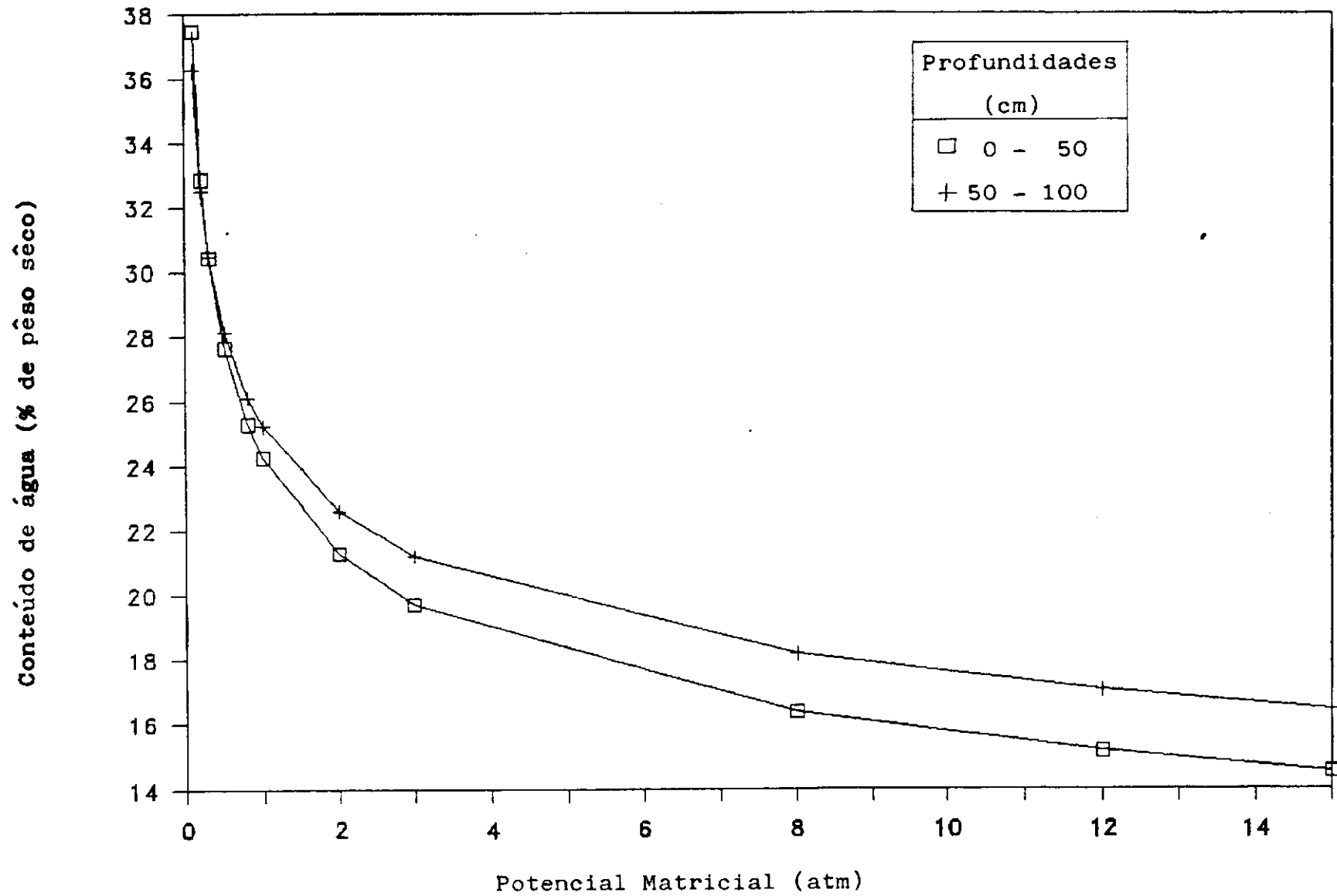


Figura 4 - Curvas de umidade dos horizontes do solo franco-argiloso

solo abaixo de sua capacidade de campo (20, 40, 60 e 80 % de água disponível). Verifica-se que a medida que se aumenta a fração de argila do solo, devido ao grande número de microporos, a capacidade de campo e o potencial matricial também cresce.

As análises químicas dos solos mostrados nas TABELAS 4, 5 e 6 comprovam que os mesmos são normais quanto à salinidade.

2. PARAMETROS DE INFILTRAÇÃO

Os resultados dos testes de infiltração constantes nas TABELAS 4, 5, 6, 7, 8 e 9 do APENDICE, foram plotados em escala bi-logarítmica e mostrados nas Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10 respectivamente. Os parâmetros "c" e "m" da equação de infiltração acumulada como também os parâmetros "k" e "n" da velocidade de infiltração instantânea encontram-se na TABELA 7. Nos três tipos de solos o valor de "k" diminui com o aumento do conteúdo de água disponível do solo, indicando que a velocidade de infiltração diminui a medida que o conteúdo de água disponível do solo aumenta. Este decréscimo da velocidade

TABELA 4 - Características químicas do solo arenoso

Complexo Sortivo meq/100g de solo	0 - 14	14 - 70	70 - 95	95 - 130
Cálcio	1.90	1.45	1.43	1.89
Magnésio	1.01	0.82	1.02	1.08
Sódio	0.12	0.10	0.14	0.01
Potássio	0.01	0.01	0.01	0.01
S	3.04	2.38	2.60	3.12
Hidrogênio	0.45	0.20	0.10	0.20
Alumínio	0.05	0.05	0.05	0.05
T	3.54	2.63	2.75	3.37
pH (extrato de saturação) (mmhos/cm)	7.03	6.78	6.91	6.90
CE (extrato de saturação) (mmhos/cm)	0.42	0.19	0.26	1.23
meq/l				
Cloretos	2.49	2.49	2.49	2.49
Carbonatos	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Bicarbonatos	1.38	1.39	1.39	1.39
Sulfato	-	-	-	-
Cálcio	1.75	0.88	1.13	0.88
Magnésio	2.25	1.12	1.00	1.25
Potássio	0.05	0.02	0.01	0.01
Sódio	1.30	0.90	1.20	1.20
Porcentagem de saturação	22.67	19.33	23.33	23.67
RAS	0.92	0.90	1.16	1.16
PSI	0.10	0.70	0.45	0.45
Salinidade	Normal	Normal	Normal	Normal

TABELA 5 - Características químicas do solo franco-arenoso

Complexo Sortivo meq/100g de solo	0 - 20	20 - 65	65 - 88	88 - 130	130 - 200
Cálcio	5.12	7.00	3.08	1.05	1.53
Magnésio	2.93	4.49	2.12	0.63	0.94
Sódio	0.32	0.32	0.16	0.10	0.12
Potássio	0.04	0.03	0.01	0.003	0.003
S	8.75	11.84	5.37	1.78	2.59
Hidrogênio	2.24	2.18	0.40	0.15	0.18
Alumínio	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
T	11.04	14.07	5.82	1.98	2.82
pH (extrato de saturação) (mmhos/cm)	5.92	5.93	6.40	6.74	6.63
CE (extrato de saturação) (mmhos/cm)	0.54	0.33	0.21	0.20	0.34
meq/l					
Cloretos	2.30	2.49	2.49	2.49	2.49
Carbonatos	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Bicarbonatos	1.38	1.38	1.39	1.39	1.39
Sulfato	-	-	-	-	-
Cálcio	1.75	0.88	1.00	1.25	1.25
Magnésio	2.00	2.25	1.25	0.63	1.13
Potássio	0.04	0.02	0.01	0.01	0.03
Sódio	2.30	1.50	1.10	1.10	2.00
Porcentagem de saturação	36.67	36.67	31.00	28.00	33.33
RAS	1.68	1.20	1.04	1.13	1.83
PSI	1.20	0.51	0.27	0.41	1.42
Salinidade	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

TABELA 6 - Características químicas do solo franco-argiloso

Complexo Sortivo meq/100g de solo	0 - 50	50 - 100
Cálcio	12.30	15.00
Magnésio	5.02	5.69
Sódio	1.54	0.66
Potássio	0.04	0.02
S	18.90	21.37
Hidrogênio	0.00	0.07
Alumínio	0.00	0.05
T	18.90	21.49
pH (extrato de saturação) (mmhos/cm)	7.34	6.43
CE (extrato de saturação) (mmhos/cm)	0.14	0.41
	meq/l	
Cloretos	2.48	2.49
Carbonatos	Ausente	Ausente
Bicarbonatos	1.38	1.39
Sulfato	-	-
Cálcio	3.38	1.25
Magnésio	2.62	1.25
Potássio	0.02	0.003
Sódio	7.50	2.20
Porcentagem de saturação	56.67	56.67
RAS	4.33	1.97
PSI	4.12	1.62
Salinidade	Normal	Normal

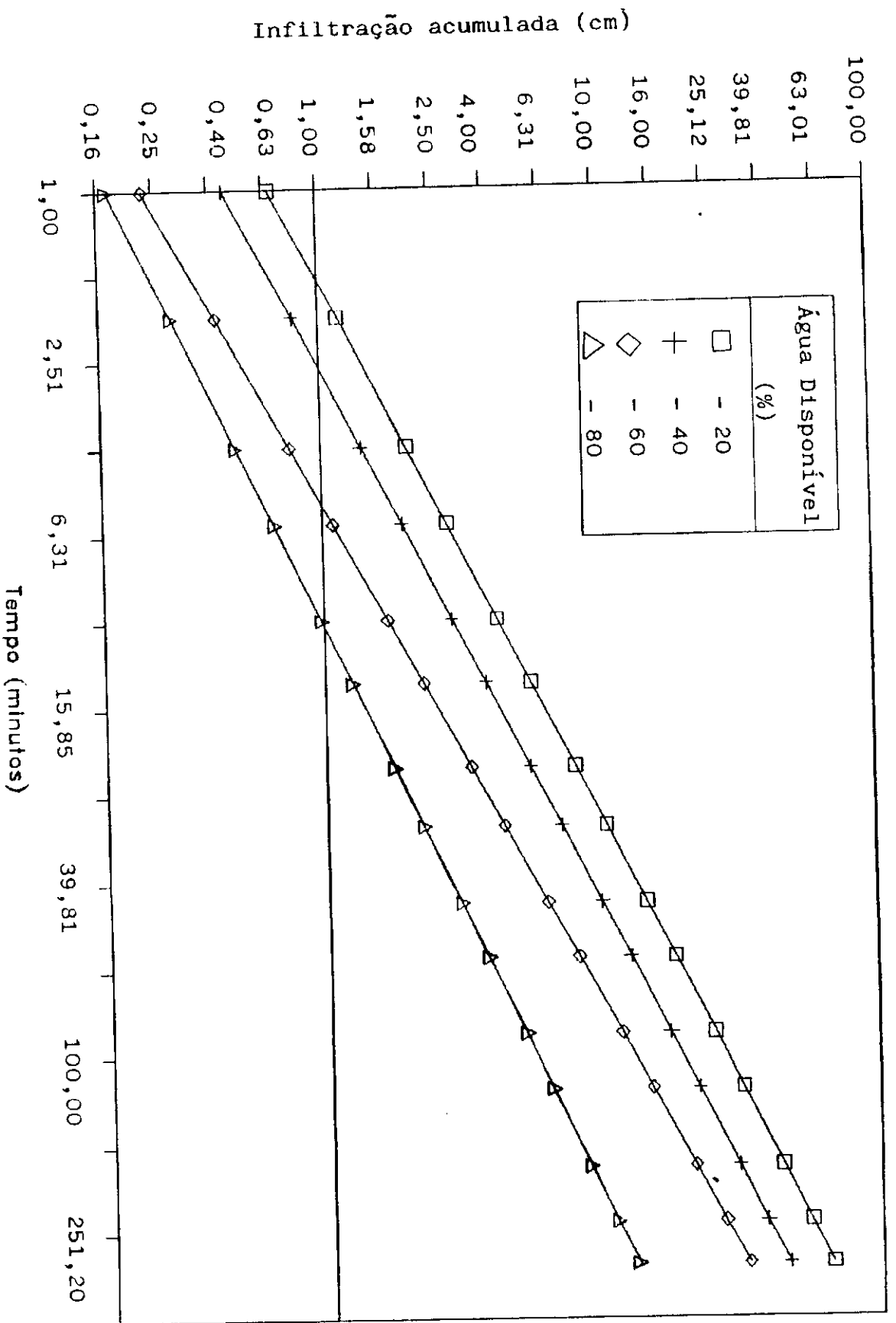


Figura 5 - Curvas de infiltração acumulada na profundidade de 0 - 20 cm do solo arenoso

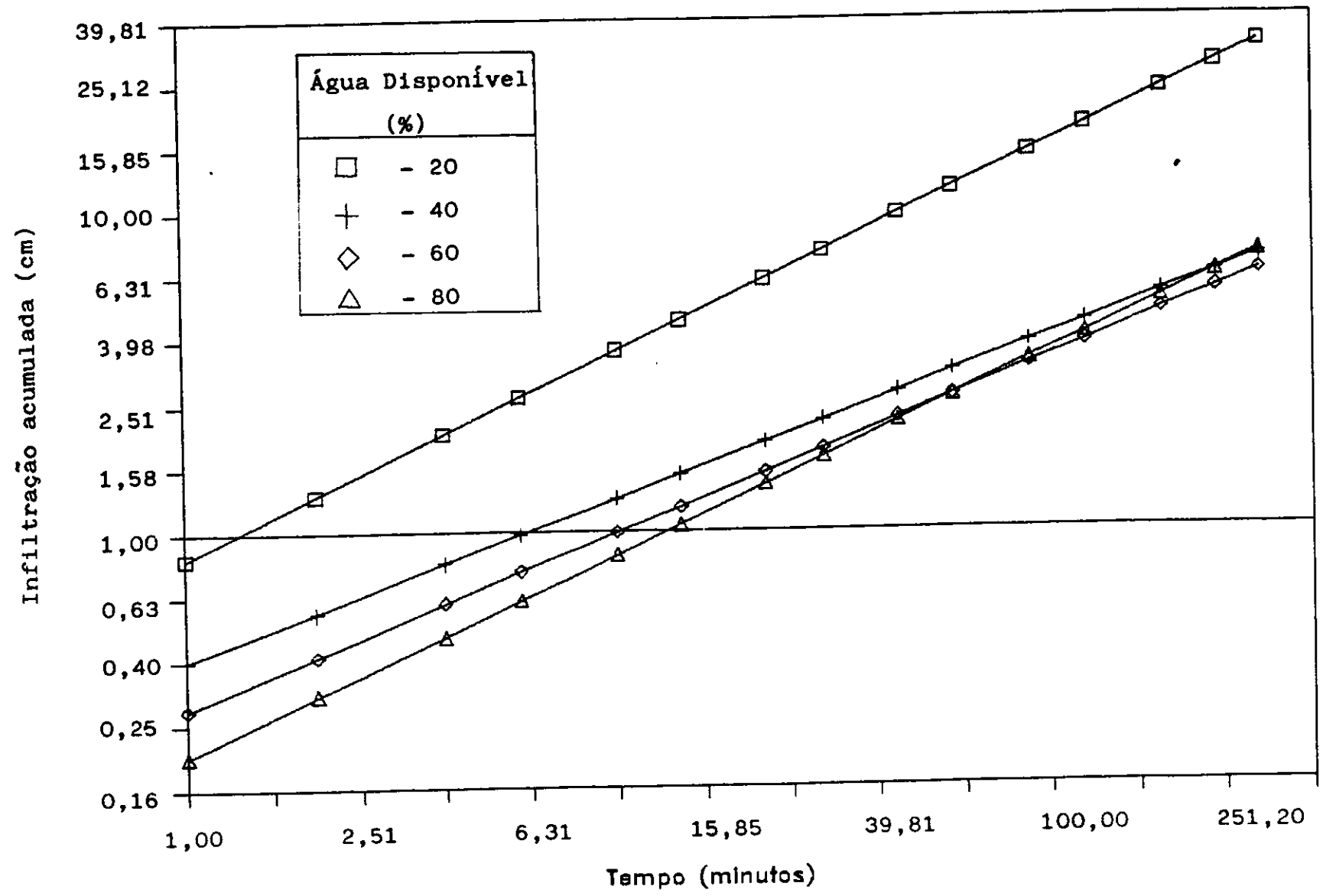


Figura 6 - Curvas de infiltração acumulada na profundidade de 0 - 20 cm do solo franco arenoso

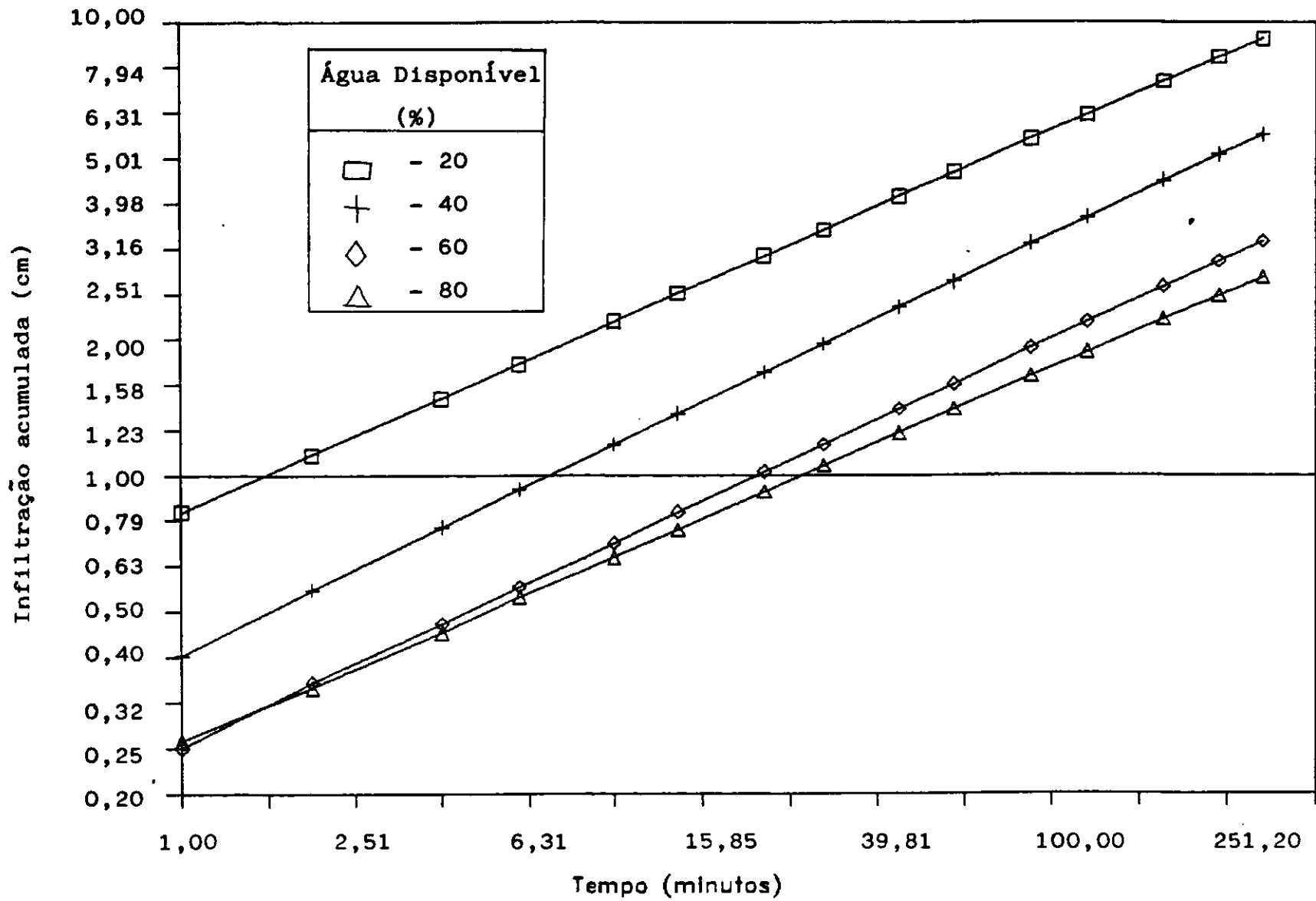


Figura 7 - Curvas de infiltração acumulada na profundidade de 0 - 20 cm do solo franco argiloso

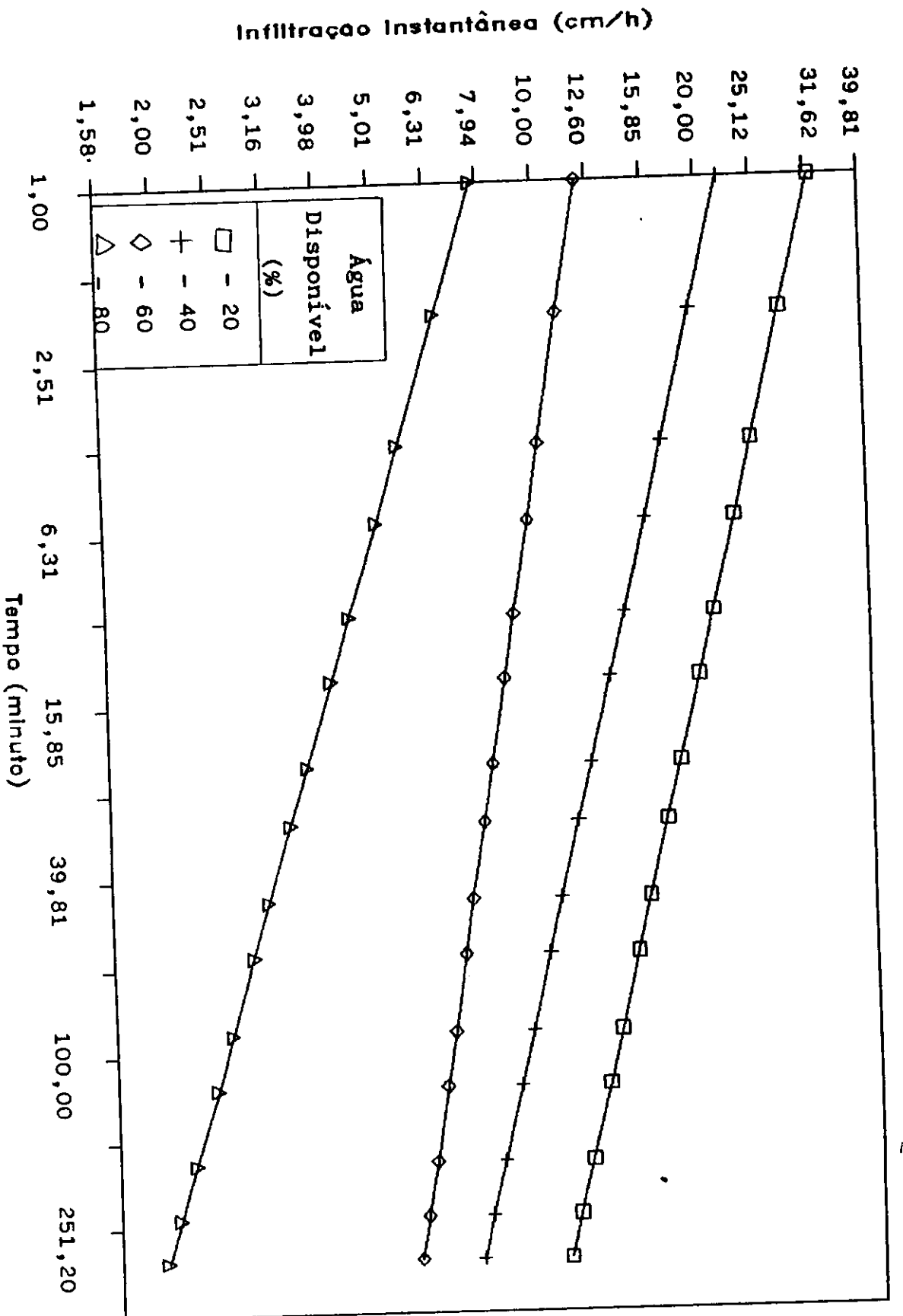


Figura 8 - Curvas de Infiltração Instantânea na profundidade de 0 - 20 cm do solo arenoso

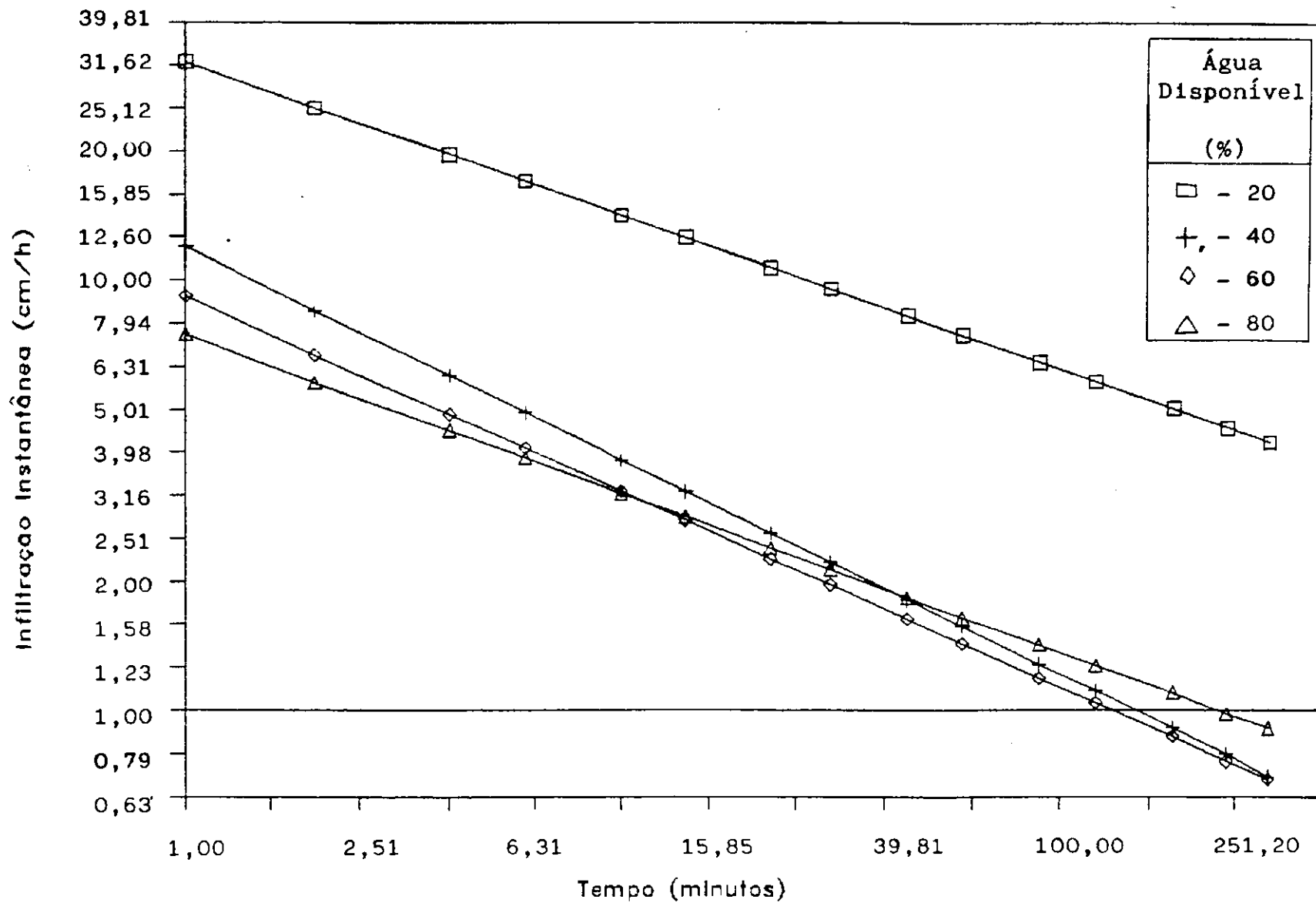


Figura 9 - Curvas de infiltração instantânea na profundidade de 0 - 20 cm do solo franco-arenoso

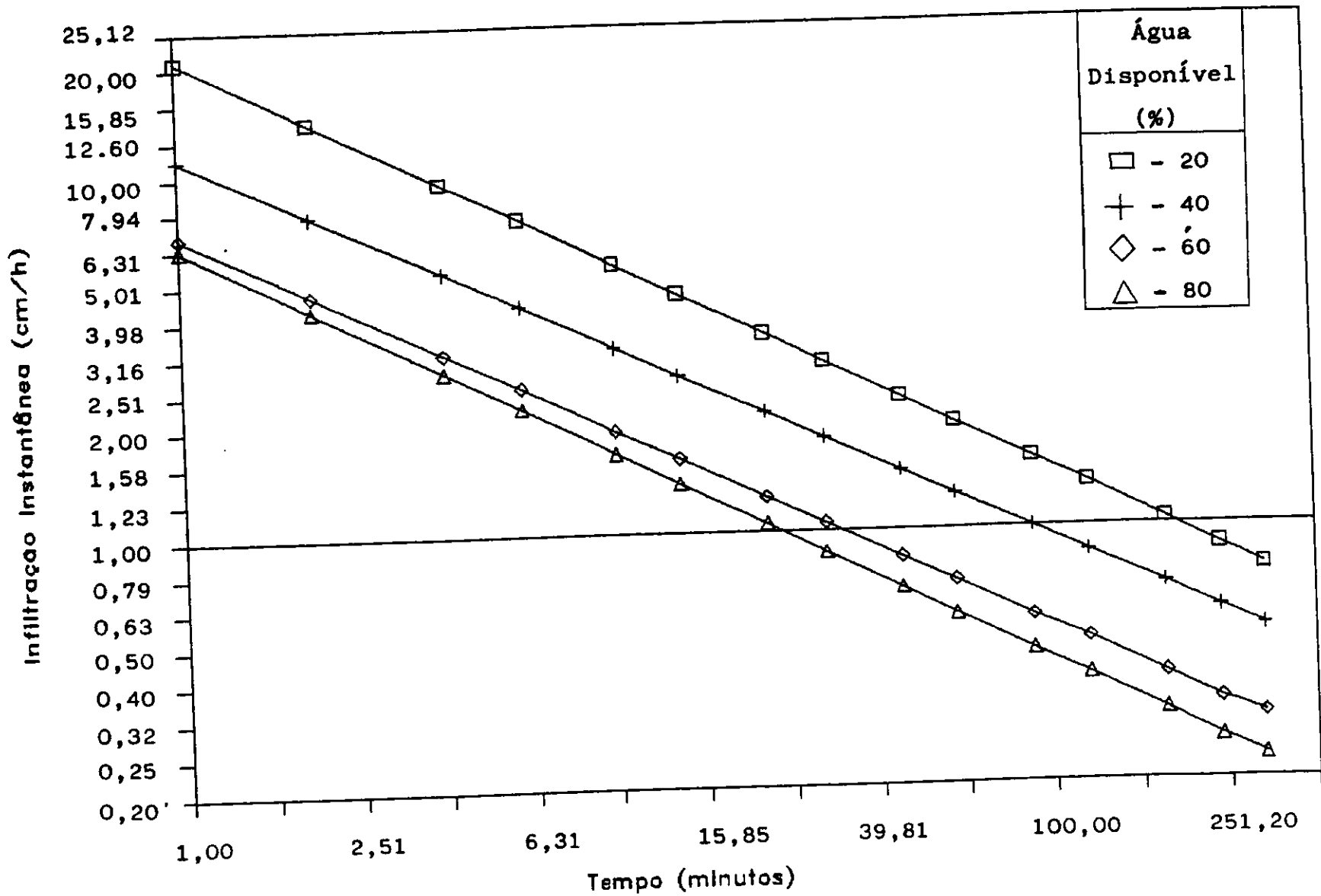


Figura 10 - Curvas de infiltração instantânea na profundidade de 0 - 20 cm do solo franco-argiloso

TABELA 7 - Parâmetros das equações de infiltração acumulada (D) e instantânea (VI) para solos com diferentes texturas e teores de água disponível na camada superficial (0 - 20 cm)

Tipo de Solo	Água Disponível (%)	θ (cm ³ /cm ³)	C	m	k	n
Arenoso	20	0.041	0.683	0.799	32.723	-0.202
			0.673	0.815	32.877	-0.185
			0.655	0.800	31.419	-0.200
	40	0.052	0.445	0.812	21.687	-0.188
			0.473	0.786	22.337	-0.214
			0.448	0.821	22.079	-0.179
	60	0.063	0.231	0.866	12.020	-0.134
			0.231	0.866	12.020	-0.134
			0.234	0.867	12.153	-0.133
	80	0.084	0.169	0.770	7.812	-0.231
			0.173	0.744	7.734	-0.256
			0.176	0.751	7.773	-0.249
Franco Arenoso	20	0.115	0.869	0.678	35.336	-0.322
			0.817	0.622	30.467	-0.378
			0.817	0.622	30.467	-0.378
	40	0.143	0.398	0.509	12.164	-0.491
			0.393	0.492	11.623	-0.508
			0.398	0.509	12.164	-0.491
	60	0.171	0.282	0.548	9.267	-0.452
			0.281	0.543	9.162	-0.457
			0.281	0.543	9.162	-0.457
	80	0.199	0.199	0.627	7.476	-0.373
			0.199	0.627	7.476	-0.373
			0.196	0.636	7.495	-0.364
Franco Argiloso	20	0.231	0.835	0.422	21.110	-0.578
			0.812	0.423	20.601	-0.577
			0.835	0.422	21.110	-0.578
	40	0.266	0.406	0.468	11.403	-0.532
			0.404	0.463	11.211	-0.538
			0.404	0.463	11.211	-0.538
	60	0.300	0.254	0.449	6.836	-0.551
			0.254	0.449	6.836	-0.551
			0.254	0.449	6.836	-0.551
	80	0.370	0.255	0.416	6.356	-0.584
			0.255	0.416	6.356	-0.584
			0.255	0.416	6.356	-0.584

de infiltração é uma consequência da redução do gradiente do potencial matricial (BAVER et alii, 1973).

O valor de "k" diminui quando se aumenta a fração de argila do solo, devido ao grande número de

microporos, associado a um alto conteúdo de argila, que dificultam a infiltração.

A medida que o teor de argila aumenta nos solos, houve um aumento de "n", como mostra a inclinação da curva de infiltração instantânea, nas Figuras 8, 9 e 10. Analisando ainda a TABELA 7, tomando-se o " θ " como variável independente e "k" como variável dependente e realizando-se correlações logarítmicas, encontraram-se as seguintes equações para os diferentes solos:

$$\text{Solo Arenoso} \quad k = 0,0452 \theta^{-2,062} \quad (28)$$

$$\text{Solo Franco-arenoso} \quad k = 0,0971 \theta^{-2,507} \quad (29)$$

$$\text{Solo Franco-argiloso} \quad k = 0,9146 \theta^{-2,526} \quad (30)$$

onde "k" é o parâmetro da equação (21) e " θ " é a percentagem de umidade volumétrica. Da mesma maneira foram feitas correlações com o " θ " e com os valores de "n", chegando-se as seguintes equações para os diferentes solos:

$$\text{Solo Arenoso} \quad n = 0,3256 \theta^{0,1937} \quad (31)$$

$$\text{Solo Franco-arenoso} \quad n = 0,4746 \theta^{0,0713} \quad (32)$$

$$\text{Solo Franco-argiloso} \quad n = 0,6014 \theta^{0,0546} \quad (33)$$

De posse das equações 28, 29, 30, 31, 32 e 33, podem-se encontrar curvas de velocidade de infiltração para diferentes conteúdos de água da camada superficial das

diferentes texturas do solo (AZEVEDO, 1975).

De acordo com BERNARDO (1982), os solos estudados são classificados segundo suas "VIB", mostradas na TABELA 8, como:

Arenoso	Solo de VIB muito alta
Franco-Arenoso	Solo de VIB alta
Franco-Argiloso	Solo de VIB média

TABELA 8 - Teores de água disponível, com suas respectivas VIB's e tempo de ocorrência das mesmas

Tipo de Solo	Água Disponível (%)	T _(VIB) (min)	VIB (cm/h)
Arenoso	20	120	11,39
	40	90	8,39
	60	60	6,49
	80	45	2,73
Franco-Arenoso	20	180	4,60
	40	120	0,94
	60	90	0,97
	80	60	0,91
Franco-Argiloso	20	240	0,75
	40	180	0,57
	60	90	0,45
	80	60	0,44

3. CORRELAÇÕES ENTRE OS PARAMETROS DAS EQUAÇÕES DE INFILTRAÇÃO, A VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA, TEMPO DE OCORRÊNCIA DA VIB E O TEMPO DE OPORTUNIDADE DE INFILTRAÇÃO, VERSUS O CONTEÚDO DE UMIDADE INICIAL

A TABELA 9 mostra os valores do Coeficiente de Determinação R^2 para a análise de regressão efetuados entre a umidade do solo e os parâmetros da equação de infiltração. A fim de determinar o efeito da umidade nos valores de R^2 , utilizaram-se diferentes combinações de umidades. Assim, observou-se que o valor de "k" foi significativamente correlacionado com a umidade inicial, para todos os solos e para qualquer repetição de umidades, já o valor de "n" quando foi correlacionado com o "θ", apresentou baixos valores do coeficientes de determinação, quando se usou todos os intervalos de umidade (20, 40, 60 e 80% de água disponível), significando que a variação do teor de umidade do solo, explica apenas pequenas variações de "n", ou seja, o teor de umidade dentro dos limites nos quais se realizaram os testes, exerceram pouca influência nos valores de "n". Algumas exceções foram detectadas, quando a análise de regressão foi feita com dados de três umidades.

Tabela 9 - Valores de R^2 para os parâmetros "C" e "m" da Equação de Infiltração acumulada (D) e "K" e "n" da Instantânea (VI), com 20, 40, 60 e 80 % de água disponível (AD), com relação ao teor de umidade inicial (θ)

Tipo de Solo	AD (%)	R^2			
		C	m	K	n
Arenoso		0,952	0,112	0,980	0,052
Franco-arenoso	20, 40, 60 e 80	0,982	0,003	0,906	0,010
Franco-argiloso		0,772	0,076	0,836	0,073
Arenoso		0,889	0,255	0,958	0,234
Franco-arenoso	40, 60 e 80	0,997	0,942	0,995	0,882
Franco-argiloso		0,599	0,992	0,716	0,990
Arenoso		0,952	0,639	0,964	0,669
Franco-arenoso	20, 40 e 60	0,975	0,471	0,926	0,519
Franco-argiloso		0,994	0,443	0,999	0,430

Com respeito a velocidade de infiltração básica (VIB), conforme dados da TABELA 10 onde os valores de R^2 demonstram que a VIB está estatisticamente correlacionada como " θ ", ou seja, a VIB sofreu influência do " θ ", pois quando este aumentou a VIB diminuiu, para os três tipos de solos. Os valores das VIB's diferentes em um mesmo solo é devido a "bolsas" de ar que obstruem os poros quando da infiltração da água e o próprio teor de umidade. Verificou-se que no solo arenoso a VIB é alta e decresce no solo franco-arenoso e mais ainda no franco-argiloso. Este

TABELA 10 - Valores de R^2 para a velocidade de infiltração básica (VIB), com relação aos teores de umidade inicial (θ)

Tipo de Solo	θ (cm^3/cm^3)	AD (%)	VIB (cm/h)	R^2
Arenoso	0.041	20	11.39	0.946
	0.052	40	8.39	
	0.063	60	6.49	
	0.084	80	2.73	
Franco-arenoso	0.115	20	4.60	0.687
	0.143	40	0.94	
	0.171	60	0.97	
	0.199	80	0.91	
Franco-argiloso	0.231	20	0.75	0.827
	0.266	40	0.57	
	0.300	60	0.45	
	0.370	80	0.44	

fenômeno é explicado pela maior ou menor fração de argila nos solos.

O teor de umidade inicial teve efeito significativo quando da análise do tempo de oportunidade de

infiltração, como é mostrado na TABELA 11, onde para diferentes culturas e suas respectivas profundidades

TABELA 11 - Tempos de oportunidade de infiltração de reposição (T_2) e corrigido (T_3) para os diferentes solos, teores de água disponível (AD) e profundidade efetiva das raízes (Pe^1)

Tipo de solo	Profundidade Efetiva (mm)	T_2 (min)				T_3 (min)			
		20	40	60	80	20	40	60	80
Arenoso	200	1.33	1.50	2.00	1.31	1.62	1.82	2.39	1.61
	300	2.19	2.47	3.17	2.23	2.66	2.98	3.79	2.73
	400	3.11	3.50	4.39	3.23	3.77	4.23	5.24	3.97
	600	5.15	5.78	7.00	5.53	6.24	6.99	8.37	6.78
	1000	6.96	7.79	9.26	7.62	8.43	9.43	11.06	9.35
Franco Arenoso	200	4.64	17.44	12.60	5.19	5.86	23.50	16.62	6.60
	300	9.70	44.70	30.10	11.02	12.32	60.69	39.93	14.08
	400	16.03	84.96	54.48	18.44	20.38	115.37	72.30	23.55
	600	31.24	198.99	118.66	36.43	39.71	270.15	158.86	46.50
	1000	46.55	330.79	191.58	54.67	59.15	449.18	254.19	69.85
Franco Argiloso	200	17.69	34.62	44.06	11.14	89.89	48.28	62.14	16.14
	300	46.42	83.09	108.70	29.48	215.84	115.90	153.16	42.73
	400	91.42	154.72	206.30	58.93	401.81	215.84	290.74	85.41
	600	212.57	333.89	455.93	138.79	866.89	465.75	642.85	200.87
	1000	585.94	841.22	1.182.22	387.89	2.184.18	1.173.51	1.666.65	562.13

¹Segundo VIEIRA (1986).

efetivas, (segundo VIEIRA 1986), da zona radicular, o tempo de oportunidade de infiltração cresce do solo arenoso para o argiloso e em um mesmo tipo de solo, a medida que se

aumenta o teor de umidade dos mesmos.

Como mostra a TABELA 12, as lâminas de irrigação para as diferentes profundidades efetivas (P_e), diferiram, devido as características físicas dos solos também serem diferentes, aumentando a medida que se eleva o teor de argila e diminuindo quando se eleva o teor de água disponível nos solos.

Na TABELA 13, quando confrontou-se o teor de umidade (θ) com o Tempo de Ocorrência da VIB (T_{VIB}), o mesmo variou significativamente. Este efeito se verifica quando a relação entre a altura de água na superfície e o gradiente matricial do solo é menor, quando o solo está seco. Na medida em que a umidade se distribui a uma maior profundidade no perfil, este efeito é mais pronunciado. Durante o processo de infiltração a água desloca o ar dos poros do solo, mas em algumas ocasiões se formam "bolsas de ar" (devido a forma dos poros) que enchem os capilares e impedem o movimento posterior da água (LAZO, 1988).

A utilização dos parâmetros das equações de infiltração acumulada e instantânea (C , m , k e n), as lâminas de irrigação e os tempos de oportunidade de infiltração, como também o uso das equações que relacionam o teor de umidade inicial " θ ", com os parâmetros " k " e " n " da equação da velocidade de infiltração, para os diferentes solos e teores de água disponível, tenderão a diminuir as perdas de água por percolação e escoamento superficial, e

conseqüentemente, possibilitarão um melhor manejo do

TABELA 12 - Lâminas de irrigação de reposição (L_2) e corrigida (L_3) para os diferentes solos, teores de umidade disponível (AD) e profundidades efetivas (Pe^1)

Tipo de solo	Profundidade Efetiva (mm)	L_2 (mm)				L_3 (mm)			
		20	40	60	80	20	40	60	80
Arenoso	200	8.45	6.34	4.22	2.11	9.86	7.39	4.93	2.46
	300	12.60	9.45	6.30	3.15	14.70	11.02	7.35	3.67
	400	16.70	12.52	8.35	4.17	19.48	14.61	9.74	4.87
	600	25.04	18.78	12.52	6.26	29.21	21.91	14.61	7.30
	1000	31.87	23.90	15.94	7.97	37.18	27.89	18.59	9.30
Franco Arenoso	200	22.36	16.77	11.18	5.59	25.99	19.49	13.00	6.50
	300	35.94	26.95	17.97	8.98	41.93	31.44	20.96	10.48
	400	49.66	37.25	24.83	12.42	57.94	43.46	28.97	14.49
	600	76.26	57.20	38.13	19.07	88.97	66.73	44.49	22.24
	1000	98.54	73.90	49.27	24.63	114.96	86.22	57.48	28.74
Franco Argiloso	200	27.80	20.85	13.90	6.95	32.43	24.32	16.22	8.11
	300	41.77	31.27	20.85	10.42	48.65	36.48	24.32	12.16
	400	55.60	41.70	27.80	13.90	64.87	48.65	32.43	16.22
	600	79.38	59.54	39.69	19.85	92.61	69.46	46.31	23.15
	1000	121.77	91.33	60.88	30.44	142.06	106.55	71.03	35.52

¹segundo VIEIRA (1986).

sistema de irrigação, praticada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB., como também em outros perímetros irrigados, com características físicas dos solos similares.

TABELA 13 - Valores de R^2 para o tempo de ocorrência da VIB (T_{VIB}), com relação ao teor de umidade inicial (θ)

Tipo de Solo	θ (cm^3/cm^3)	T (min)	R^2
Arenoso	0.041	120	0.981
	0.052	90	
	0.063	60	
	0.084	45	
Franco-arenoso	0.115	180	0.990
	0.143	120	
	0.171	90	
	0.199	60	
Franco-argiloso	0.231	240	0.953
	0.266	180	
	0.300	90	
	0.370	60	

CAPITULO V

CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES

Nas condições de trabalho e de acordo com o que foi discutido, pode-se chegar as seguintes conclusões:

1 - O coeficiente "K", da equação de infiltração instantânea diminuiu com o aumento do conteúdo de água inicial, na camada superficial do solo, ao contrário do expoente "n", que em geral não foi afetado. Quando se fez análises de regressão para combinações de três umidades, o "n" foi afetado pelo teor de umidade inicial do solo.

2 - A VIB e o $T_{(VIB)}$ foram influenciados pelos teores de umidade inicial do solo, diminuindo a medida que estes aumentaram.

3 - As lâminas de irrigação calculadas para as culturas plantadas no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, foram diferentes, devido as características físicas dos solos também o serem, aumentando a medida que se elevava o teor de argila.

4 - O tempo de oportunidade de infiltração foi afetado pela variação do teor de umidade inicial (θ) do solo, aumentando quando a água disponível aumentava.

5 - Recomenda-se a repetição dos trabalhos com outros métodos de determinação da infiltração da água no

solo, ou seja, métodos da entrada e saída da água em sulcos e sulcos infiltrômetros, correlacionando os coeficientes das equações de infiltração encontrados com os cilindros infiltrômetros e os encontrados nos demais métodos.

BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, H. M. de. Características da infiltração em sulcos abertos e fechados. Campina Grande-PB: UFPB, 1975. 62p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UFPB/CCT, 1975.
- AZEVEDO, H. M. de. Projeto agrônômico. Campina Grande-PB, UFPB, 1985. (Série Extensão Rural - Pequena Irrigação). 32p.
- BAVER, L. D. GARDNER, W. H. , GARDNER, W. R. Física del suelo. 1.ed. México, D.F.: UTEHA, 1973. 529p.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 2.ed. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1982. 463p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura/EPE/SUDENE / DRN. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Boletim no 15, 1972.
- CUNHA, J. B., MILLO, J. L. Dados climatológicos básicos do Nordeste. Coordenadoria do TSA. 1983. 51p. Recife: SUDENE, 1983. 51p.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: 1977.
- ESPINOLA, F. C. S. Comparação de métodos de infiltração de água no solo. Santa Maria-RS: Univ. Fed. de Sta Maria, 1977. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural) - UFSM, 1977.

- FERNANDEZ, M. B., WILKINSON, G. E. Effect of crop culture on the infiltration of water into a chesnut soil. Soil Science Soc. Amer. Proc., Madison: 1965. v.29, n.6. p.748-52,
- FORSYTHE, W. H. Manual de laboratorio de física de suelos. San José - Costa Rica: Editorial IICA, 1975. 221p.
- GOMES, F. P. Curso de estadística experimental. 12.ed. Piracicaba: Nobel, 1987. 467p.
- GRASSI, C. J. FERNANDEZ, P. C. & PONCE, I. Velocidad de avance del frente de agua en los surcos de riego. Revista de Investigaciones Agropecuarias. Clima y Suelo. 1965.v.2. n.2. p. 11-34.
- GREEN, W. A., G. A. AMPT. Studies on soils physics: 1. The flow of air and water throught soils. J. Agric. Sci. 1911.v.4. n.1. p.1-24.
- HACHUM, A. Y., J. F. ALFARO. Water infiltration and runoff under rain applications. Soil Science. Soc. Amer. J. 1977.v.41. n.5. p.960-966.
- HAVERCAMP, R., KUTILEK, M., PARLANGE, J. Y., RENDON, L. & KREJCA, M. Infiltration under ponded conditions: 2. Infiltration equations tested for parameter time-dependence and predictive use. Soil Science, USA, 1988,n.145. p.317-29.
- HILLEL, D. Introduction to soil physics. Orlando Flórida: Academic Press, Inc. 1982.
- HOLTAN, H. M. A concepts for infiltration estimates in

- watershed engineering. ARS Paper, 1961, 41-51.
- HORTON, R. E. An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1940, n.5. p.399-417.
- ISRAELSEN, O. W., HANSEN, V. E. Principios e aplicaciones del riego. Irrigation principles and practices. 2.ed. México: Reverté, 1973. 397p.
- LAZO, G. C. Aspectos generales sobre la infiltración en los suelos. Havana, Cuba: Centro de Información y Documentación Agropecuario, 1988. 35p.
- LINDERMAN, C. L. An analysis of factores affecting surface irrigation application efficiencis. Fargo, North Dakota: University of Agriculture and Applied Science, 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural), 1968.
- MUSGRAVE, G. W. How much of the rain enters the soil. In: NORMAN. Washington, Dc. The yearbook of agriculture. Washington: U.S.Department of Agriculture, 1975. p.151-59.
- OLITTA, A. F. L. Os métodos de irrigação. 1.ed. São Paulo: Nobel, 1982. 267p.
- PARR, J. F., BERTRAND, A. R. Water infiltration into soils. In: NORMAN, A. G., ed. Advances in Agronomy. New York: Academic Press, 1960. vol. 12, p.311-63.
- PHILIP, J. R. The theory of infiltration:4. Sorptivity and the initial moisture content. Soil Sci. 1957a, n.84. p.257-26.

- PHILIP, J. R. The theory of infiltration: 5. The influence of the initial moisture content. Soil Sci. 1957b, n.84. p.329- 337.
- PINTO, N. L. de S., HOLTZ, A. C. T., MARTINS, J. A. , GOMIDE, F. L. S. Hidrologia básica. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 279p.
- PORTO, R. LA L. Bases hidrológicas para projetos de irrigação. In: PRONI. Curso de elaboração de projetos de irrigação. PNI/Fundação CTH. 1986. T_{2.1} - T_{2.111}
- RICHARDS, L. A. Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos. México:Editorial Limusa, 1977.173p.
- SALINAS, L. H. Y. Evaluation del sistema de riegos por surcos. Boletín Técnico. USA: Department of Agricultural and Irrigation Engineering. n.2, Oct. 1980.
- SIMÕES, A. J. Avaliação do método de irrigação por sulcos. Informativo Técnico/DVR. MINTER. SUVALE. 1974. v.36 p.29-41.
- SLACK, D. C. Modeling infiltration under moving sprinkler irrigation systems. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. n.23. 1980, p.596-600.
- SNEDOCOR, G. W., W. G. COCHRAN. Statistical methods. The Iowa State Univ. Press. Ames, 1980.
- STEEL, R. G. D., TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. With special reference to the biological sciences.New York: McGraw-Hill Book Company.

- 1960.
- SWARTZENDRUBER, D., OLSON, T. C. Sand-model study of buffer effects in double-ring infiltrometer. Soil Sci. Soc. of Amer. Proceeding. Madison: 1961, n.25. p.5-8.
- THIEN, S. T. Crop-water relations. Interscience n. 2. 1983, p.45-72.
- TISDAL, A. L. Water infiltration into soils. Advances in Agronomy. 1960, n.12. p.320-1.
- USA. Department of Agriculture. Soil-plant-water, relationship--Section 15 US Department of Agriculture-- Washington, DC.::Government Printing office, 1964.-- v.1.
- VIEIRA, D. B. Relação água, solo e planta. In: PRONI. Curso de elaboração de projetos de irrigação. PNI/Fund. CTH. 1986. T1.1 - T1.07.
- VILLELA, S. M., MATOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: MacGraw Hill do Brasil, 1975. 245p.
- WALKER, W. R. & SKOGERBOE, G. V. Surface Irrigation, theory and practice. New Jersey: Prentice Hall, Inc. 1987. 387p.
- WITHERS, B., VIPOND, S. Irrigação: projeto e prática. 3.ed. São Paulo. Nobel, 1988. 339p.

APENDICE

TABELA 1 - Conteúdo de água do solo arenoso versus Potencial matricial

Tensão Potencial Matricial (atm)	Profundidade (cm)			
	0 - 14	14 - 70	70 - 95	95 - 130
	Ug (%)			
-0.1	7.81	7.59	10.45	7.41
-0.2	6.42	6.24	8.89	6.45
-0.3	5.73	5.57	8.09	5.94
-0.5	4.96	4.82	7.18	5.36
-0.8	4.35	4.23	6.43	4.87
-1.0	4.08	3.97	6.11	4.66
-2.0	3.36	3.27	5.19	4.05
-3.0	2.99	2.91	4.72	3.73
-8.0	2.27	2.21	3.76	3.06
-12.0	2.02	1.97	3.42	2.82
-15.0	1.90	1.85	3.24	2.70

TABELA 2 - Conteúdo de água do solo franco-arenoso versus Potencial matricial

Tensão Potencial Matricial (atm)	Profundidade (cm)				
	0 - 20	20 - 65	70 - 88	88 - 130	130 - 200
	U _g (%)				
-0.1	23.64	27.26	12.43	3.44	6.50
-0.2	19.63	19.63	23.37	2.95	5.04
-0.3	17.60	21.36	9.04	2.69	4.34
-0.5	15.35	19.07	7.79	2.41	3.60
-0.8	13.53	17.18	6.80	2.17	3.03
-1.0	12.74	16.35	6.38	2.06	2.79
-2.0	10.58	14.02	5.22	1.77	2.17
-3.0	9.49	12.81	4.64	1.62	1.87
-8.0	7.29	10.30	3.49	1.30	1.30
-12.0	6.54	9.42	3.10	1.19	1.12
-15.0	6.16	8.96	2.91	1.13	1.03

TABELA 3 - Conteúdo de água do solo franco-argiloso versus Potencial matricial

Tensão Potencial Matricial (atm)	Profundidade (cm)	
	0 - 50	50 - 100
	Ug (%)	
-0.1	37.46	36.26
-0.2	32.86	32.50
-0.3	30.44	30.48
-0.5	27.64	28.12
-0.8	25.29	26.11
-1.0	24.24	25.21
-2.0	21.27	22.59
-3.0	19.70	21.19
-8.0	16.36	18.15
-12.0	15.16	17.03
-15.0	14.53	16.44

TABELA 4 - Infiltração acumulada (cm) para o solo arenoso

Tempo (min)	AD (%)				
	20	40	60	80	
1	0.670	0.456	0.232	0.172	
2	1.170	0.800	0.420	0.290	
4	2.040	1.400	0.770	0.490	
6	2.830	1.940	1.090	0.670	
10	4.270	2.920	1.700	0.980	
14	5.590	3.840	2.280	1.260	
22	8.040	5.520	3.370	1.770	
30	10.320	7.100	4.410	2.240	
45	14.300	9.840	6.270	3.050	
60	18.020	12.410	8.040	3.780	
90	24.960	17.220	11.430	5.140	
120	31.460	21.720	14.660	6.390	
180	43.580	30.130	20.820	8.670	
240	54.920	38.000	26.710	10.780	
300	65.720	45.500	32.410	12.760	
Parâmetros	C	0.670	0.456	0.232	0.172
	m	0.804	0.807	0.866	0.755

TABELA 5 - Infiltração acumulada (cm) para o solo franco-arenoso

Tempo (min)	AD (%)				
	20	40	60	80	
1	0.83	0.40	0.28	0.20	
2	1.30	0.56	0.41	0.31	
4	2.03	0.80	0.60	0.47	
6	2.64	0.98	0.75	0.61	
10	3.67	1.26	0.99	0.84	
14	4.55	1.50	1.18	1.04	
22	6.09	1.88	1.51	1.39	
30	7.43	2.20	1.79	1.69	
45	9.65	2.70	2.24	2.18	
60	11.61	3.12	2.61	2.61	
90	15.07	3.82	3.26	3.37	
120	18.13	4.42	3.81	4.04	
180	23.54	5.42	4.76	5.22	
240	28.32	6.26	5.56	6.25	
300	32.69	7.01	6.28	7.20	
Parâmetros	C	0.834	0.397	0.281	0.198
	m	0.643	0.504	0.545	0.630

TABELA 6 - Infiltração acumulada (cm) para o solo franco-argiloso

Tempo (min)	AD (%)				
	20	40	60	80	
1	0.83	0.40	0.25	0.26	
2	1.11	0.56	0.35	0.34	
4	1.48	0.77	0.47	0.45	
6	1.76	0.93	0.57	0.54	
10	2.19	1.17	0.71	0.66	
14	2.52	1.37	0.83	0.76	
22	3.05	1.69	1.02	0.92	
30	3.47	1.95	1.17	1.05	
45	4.12	2.35	1.40	1.24	
60	4.66	2.68	1.59	1.40	
90	5.53	3.24	1.91	1.66	
120	6.24	3.70	2.18	1.87	
180	7.40	4.46	2.61	2.21	
240	8.36	5.10	2.97	2.49	
300	9.18	5.64	3.28	2.74	
Parâmetros	C	0.827	0.404	0.254	0.255
	m	0.422	0.463	0.449	0.416

TABELA 7 - Infiltração instantânea (cm/h) para o solo arenoso

Tempo (min)	AD (%)				
	20	40	60	80	
1	33.34	22.03	12.06	7.77	
2	28.23	19.26	10.99	6.56	
4	24.65	16.84	10.02	5.53	
6	22.76	15.56	9.49	5.01	
10	20.59	14.10	8.86	4.42	
14	19.28	13.21	8.47	4.04	
22	17.65	12.10	7.97	3.64	
30	16.60	11.39	7.65	3.38	
45	15.34	10.53	7.24	3.06	
60	14.50	9.96	6.97	2.85	
90	13.39	9.20	6.60	2.58	
120	12.65	8.70	6.35	2.41	
180	11.69	8.05	6.02	2.18	
240	11.05	7.61	5.79	2.03	
300	10.57	7.30	5.62	1.92	
Parâmetros	k	32.34	32.030	12.064	7.773
	n	-0.196	-0.194	-0.134	-0.245

TABELA 8 - Infiltração instantânea (cm/h) para o solo franco-arenoso

Tempo (min)	AD (%)				
	20	40	60	80	
1	33.22	11.98	9.20	7.48	
2	25.16	8.49	6.71	5.79	
4	19.64	6.01	4.89	4.48	
6	17.00	4.92	4.07	3.86	
10	14.16	3.81	3.23	3.19	
14	12.56	3.23	2.77	2.82	
22	10.69	2.58	2.25	2.38	
30	9.57	2.21	1.96	2.13	
45	8.28	1.81	1.63	1.83	
60	7.47	1.57	1.43	1.64	
90	6.46	1.28	1.19	1.42	
120	5.83	1.11	1.04	1.27	
180	5.05	0.91	0.87	1.10	
240	4.56	0.79	0.76	0.98	
300	4.21	0.70	0.69	0.91	
	k	32.210	11.984	9.197	7.482
Parâmetros	n	-0.357	-0.497	-0.455	-0.370

TABELA 9 - Infiltração instantânea (cm/h) para o solo franco-argiloso

Tempo (min)	AD (%)				
	20	40	60	80	
1	20.94	11.21	6.84	6.36	
2	14.03	7.72	4.67	4.24	
4	9.40	5.32	3.18	2.83	
6	7.43	4.28	2.55	2.23	
10	5.53	3.25	1.92	1.66	
14	4.56	2.71	1.60	1.36	
22	3.51	2.13	1.24	1.05	
30	2.93	1.80	1.05	0.87	
45	2.32	1.45	0.84	0.60	
60	1.96	1.24	0.72	0.58	
90	1.55	1.00	0.57	0.46	
120	1.32	0.85	0.49	0.39	
180	1.04	0.69	0.39	0.31	
240	0.88	0.59	0.33	0.26	
300	0.77	0.52	0.30	0.23	
Parâmetros	k	20.940	11.211	6.836	6.356
	n	-0.578	-0.538	-0.551	-0.584

TABELA 10 - Uso consuntivo (Uc) para diversas culturas, plantadas no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB.

Cultura	Kc (mm/dia)	ETP (mm/dia)	Uc
Algodão	1.2	6.6	7.92
Arroz	1.2	6.6	7.92
Banana	1.0	6.6	6.60
Batata Doce	1.15	6.6	7.59
Feijão	1.05	6.6	6.93
Melancia	1.05	6.6	6.93
Melão	1.05	6.6	6.93
Milho	1.15	6.6	7.59
Tomate	1.25	6.6	8.25
Côco	0.80	6.6	5.28

NOTA: os Kc's são para o mês de maior demanda, como também a ETP, em São Gonçalo-PB, segundo CUNHA & MILLO (1983).