

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE SOLO PODZÓLICO VERMELHO
AMARELO DO MUNICÍPIO DE PACAJUS, CEARÁ

FRANCISCO NELSIEUDES SOMBRA OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM AGRONOMIA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE
PLANTAS, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA-1984

Aos meus pais, irmãos e esposa pela
firmeza de apoio e incentivo em
toda minha formação
educacional,

D E D I C O



Esta dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Francisco Nelsieudes Sombra Oliveira

Dissertação Aprovada em: 28/05/1984.

Prof. Mardonio Aguiar Coelho, Ph.D
Orientador

Prof. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, Doutor

Prof. Luiz Carlos Uchoa Saunders, Doutor

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Ciências Agrárias e em especial ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de realização deste curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará (EPACE) pelo fornecimento dos meios necessários a sua realização. Este agradecimento é extensivo ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pelos recursos financeiros concedidos durante a realização do curso.

O autor é particularmente agradecido ao seu professor Mardonio Aguiar Coelho pela compreensão, orientação, encorajamento e inestimáveis ensinamentos recebidos.

Aos professores Fernando Felipe Ferreyra Hernandez e Luiz Carlos Uchoa Saunders pelas sugestões, críticas e irrestrito apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Luiz Alves de Medeiros e ao Engenheiro Agrônomo Francisco Marcus Lima Bezerra pela valiosa colaboração.

Finalmente, agradecimentos sinceros são estendidos aos colegas de curso, professores e funcionários do Departamento de Ciências do Solo, funcionários da Biblioteca Central e à aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a concretização desta dissertação.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| LISTA DE TABELAS | vi |
| LISTA DE FIGURAS | vii |
| RESUMO | ix |
| ABSTRACT | xi |
| 1 - <u>INTRODUÇÃO</u> | 1 |
| 2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> | 2 |
| 2.1 - <u>Relação Solo-Água-Planta</u> | 2 |
| 2.2 - <u>Características de Retenção de Água</u> | 4 |
| 2.3 - <u>Condutividade Hidráulica</u> | 6 |
| 3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u> | 9 |
| 3.1 - <u>Material</u> | 9 |
| 3.1.1 - Solo | 9 |
| 3.1.2 - Características da Área de Estudo | 9 |
| 3.2 - <u>Métodos</u> | 11 |
| 3.2.1 - Descrição do Perfil do Solo | 11 |
| 3.2.2 - Caracterização Analítica do Perfil | 11 |
| 3.2.3 - Características Físico-Hídricas | 12 |
| 4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> | 17 |
| 4.1 - <u>Descrição Morfológicas e Caracterização do Perfil</u> | 17 |
| 4.2 - <u>Densidade do Solo, Porosidade e Distribuição de Poros</u> | 19 |
| 4.3 - <u>Curvas Características de Umidade do Solo</u> | 22 |
| 4.4 - <u>Condutividade Hidráulica</u> | 29 |
| 5 - <u>CONCLUSÕES</u> | 42 |
| 6 - <u>LITERATURA CITADA</u> | 44 |

LISTA DE TABELAS

| TABELA | | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Características Físicas e Químicas do Perfil de Solo Podzólico Vermelho Amarelo (Pacajus, Ceará) | 20 |
| 2 | Valores de Densidade do Solo, Porosidade Total e Distribuição dos Poros por Tamanho | 21 |
| 3 | Conteúdos Volumétricos de Água em Equilíbrio com as Tensões Empregadas na Obtenção da Curva Característica de Umidade do Solo | 23 |
| 4 | Valores de Condutividade Hidráulica do Solo Saturado | 30 |
| 5 | Valores Médios do Armazenamento (Altura de Lâmina d'água) da Água no Solo, nas Profundidades de 0-25, 0-55, 0-85 e 0-115cm, para Diversos Tempos de Drenagem | 32 |
| 6 | Condutividade Hidráulica em Função do Conteúdo de Água do Solo nas Profundidades de 0-25, 25-55, 55-85 e 85-115cm | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| FIGURA | | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Situação geográfica do município de Pacajus, Estado do Ceará | 10 |
| 2 | Detalhes do permeâmetro de carga constante para determinação da condutividade hidráulica | 14 |
| 3 | Croquis da parcela experimental e localização dos tensiômetros | 15 |
| 4 | Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte A_p | 24 |
| 5 | Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte A_3 | 25 |
| 6 | Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte B_1 | 26 |
| 7 | Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte B_{21t} | 27 |
| 8 | Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte B_{22t} | 28 |
| 9 | Variação do armazenamento da água do solo nas profundidades de 0-25cm, 0-55cm, 0-85cm, 0-115cm, para diversos tempos de drenagem | 33 |
| 10 | Variação do potencial total da água do solo nas profundidades de 10, 40, 70, 100 e 130cm para diversos tempos de drenagem | 34 |

| | | |
|----|--|----|
| 11 | Variação da condutividade hidráulica em função do conteúdo médio de água do solo nas profundidades de 0-25cm, 25-55cm, 55-85cm, 85-115cm | 37 |
| 12 | Variação da condutividade hidráulica em função do conteúdo médio de água do solo, a partir da saturação, nas profundidades de 0-25cm, 25-55cm, 55-85cm, 85-115cm | 38 |
| 13 | Variação da condutividade hidráulica em função do potencial matricial ($-cm.H_2O$) nas profundidades de 0-25cm, 25-55cm, 55-85cm e 85-115cm | 40 |

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de determinar as características físicas, químicas, de retenção e movimento da água de um Podzólico Vermelho Amarelo, localizado na estação experimental da EPACE em Pacajus-Ce.

Foi procedida a descrição de um perfil do solo representativo e coletadas amostras de cada horizonte para caracterização física e química. Foram utilizados funis de placa porosa para determinação da umidade do solo em amostras indeformadas nas tensões de 0 a 120cm de H₂O, célula de pressão nas tensões de 160 a 800cm de H₂O, e extratores de placa porosa em amostras deformadas nas tensões de 333 a 15.000cm de H₂O. Foram usados permeômetros de carga constante e blocos de solo com estrutura não deformada na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado. O estudo da condutividade hidráulica do solo não saturado foi realizado numa parcela experimental de 3m x 3m, utilizando-se o método do perfil instantâneo modificado.

Os baixos níveis de nutrientes revelaram que o solo estudado apresenta uma baixa fertilidade natural, o que constitui um dos principais fatores limitantes ao seu uso. Constatou-se a predominância de poros maiores que 0,003cm, nos quatro primeiros horizontes, relacionados ao teor de areia e comprovada pela correlação altamente significativo ($r = 0,96$). Os quatro primeiros horizontes apresentaram maior retenção de água até a tensão de 20cm de coluna d'água; por outro lado, nas altas tensões, a maior retenção foi verificada no horizonte B_{22t}. Foram constatados decréscimos sensíveis no valor de K com a diminuição de θ . A análise de regressão linear de K versus θ revelou excelentes resultados, com fator de correlação $r > 0,995$. Verificou-se a existência de fluxos de grande

magnitude no início do processo de redistribuição, do 1º ao 8º dia, e conseqüentemente, baixos valores de armazenamento de água nas profundidades estudadas.

As características estudadas constituem parâmetros fundamentais para elaboração e desenvolvimento de projetos de irrigação e manejo adequado deste solo.

ABSTRACT

This scientific study was carried out to determine the main physical and chemical properties and water retention and movement characteristics in a red yellow podzolic soil located in the Pacajus county, state of Ceará, Brazil.

Examination and description of a representative soil profile and samples collection for physical and chemical characterization were performed. Porous plate funnels were used to determine the soil moisture content in undisturbed core samples for tensions from 0 to 120cm H₂O, pressure cell for tensions from 160 to 800cm H₂O and porous plate extractors in disturbed samples for tensions from 333 to 15,000cm of H₂O. Constant head permeameters and undisturbed soil cores were used to determine the saturated hydraulic conductivity. Unsaturated hydraulic conductivity was determined according to a modified internal drainage method in a 3m x 3m plot.

The soil profile nutrient levels revealed a low natural fertility, that constitutes one of the major limitation of using this soil. There is a predominance of pores larger than 0,003cm in the first four horizons related to the sand content indicated by the high significant correlation ($r = 0,96$). The first four horizons presented a higher water retention up to the tension of 20cm of water column. On the other hand at the high tensions the highest water retention was verified in the B_{22t} horizon. Significant decreases in the hydraulic conductivity values with decreasing water content were detected. Fluxes of high magnitude were verified in the first days of the redistribution process, and, consequently, low water storage at the layers studied.

The studied characteristics constitute fundamental parameters for the planning and execution of irrigation and soil management projects.

1 - INTRODUÇÃO

O Programa Nacional do Alcool considera, dentre outras metas, a produção de álcool a partir de matérias primas alternativas como a mandioca, e estudos objetivando o desenvolvimento desta cultura foram recomendados.

Na Região do litoral do Ceará a cultura da mandioca é tradicionalmente uma das mais importantes e pesquisas com a finalidade de aumentar sua produtividade necessitam ser intensificadas. Verifica-se, no entanto, que embora apresentando condições favoráveis de relevo e sem impedimento à mecanização essa região é constituída de solos que, em sua maioria, apresentam fatores limitantes como baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes. O uso criterioso desses solos para o desenvolvimento da cultura da mandioca e de outras de importância econômica exige o conhecimento detalhado das características de solos representativos para o desenvolvimento de técnicas de manejo, o uso adequado da água e a minimização de perdas de nutrientes por lixiviação. A classe de solo Podzólico Vermelho Amarelo apresenta grande expressão em área na região.

A caracterização físico-hídrica do solo é de fundamental importância para o conhecimento das condições de armazenamento e movimento da água no solo especialmente em regiões onde a água é considerada fator limitante.

Com a finalidade de contribuir para o desenvolvimento das técnicas de manejo do solo e da água na região, realizou-se este trabalho cujos objetivos foram: 1) Descrição morfológica e determinação das características físicas e químicas de um perfil de solo representativo; 2) determinação das características de retenção e movimento da água do solo.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

O manejo da água no solo exige o conhecimento dos fatores que influem nos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Dentre os fatores do solo os mais importantes são as características de retenção e movimento da água.

2.1 - Relação Solo-Água-Planta

A água no sistema solo-planta-atmosfera segue a tendência espontânea e universal de assumir um estado de energia mínimo, procurando equilíbrio com o meio ambiente, movendo-se constantemente no sentido do menor potencial. O conhecimento do estado relativo de energia da água do solo, possibilita determinar o seu movimento. A porosidade do solo e sua distribuição volumétrica são de extrema importância uma vez que a água se movimenta nos espaços não ocupados pela matéria sólida.

O estado de energia da água no solo é representada quantitativamente pelo potencial total, composto pelo somatório de uma série de componentes tais como: componente de pressão, gravitacional, matricial e osmótico. REICHARDT (1975) afirma que o componente matricial frequentemente denominado de tensão ou sucção, é resultado do efeito combinado de forças capilares e de adsorção como consequência da interação entre a água e a matriz do solo. Este componente é de grande importância e está diretamente relacionado com a umidade do solo, isto é, quanto mais elevado o seu valor menor será o conteúdo de água. Devido a complexidade de sua descrição matemá

tica, sua determinação é feita diretamente através de tensiômetro ou indiretamente através de aparelhos de pressão ou sucção. Para se avaliar as relações entre potencial matricial e conteúdo da água, o processo mais simples consiste em se determinar a umidade existente associada com a força de retenção, e representar esta dependência através de curvas características de água do solo. O componente osmótico é de difícil determinação no solo existindo porém instrumentos especiais para sua medida, podendo-se estimá-lo através da concentração salina da água do solo. De qualquer modo, o potencial osmótico torna-se desprezível quando a concentração iônica da solução do solo é muito baixa.

Ao contrário, os componentes gravitacional e de pressão são facilmente determinados, sendo o primeiro simplesmente a distância entre o ponto considerado no solo e um nível de referência, e o último estará presente quando a água no ponto considerado estiver sujeita a uma pressão maior que a Atmosférica. Existem três maneiras de expressar a energia da água do solo: energia por unidade de volume, energia por unidade de massa e energia por unidade de peso. Na estimativa do potencial matricial da água do solo, é comum expressá-lo em energia por unidade de volume ou energia por unidade de peso.

O movimento da água no solo, na planta e na atmosfera ocorre em resposta a gradientes de seu potencial total. Segundo REICHARDT (1975) a descrição exata da absorção de água pelas plantas por meio de teoria fundamentada é muito difícil, se não impossível, devido as complicações inerentes às relações espaço-tempo envolvidas no processo. As raízes crescem desordenadamente em todas as direções dificultando a medida dos gradientes e fluxos microscópicos próximos destas raízes. Devido a estas dificuldades, apenas uma análise semi-quantitativa do fenômeno foi possível até o presente.

2.2 - Características de Retenção de Água

Os fatores que mais influenciam a retenção de água, são a textura do solo e a presença de óxidos de ferro livre e de matéria orgânica. GAVANDE (1973) verificou que as diferenças nas características de retenção de água em seis solos da Costa Rica foram devidos principalmente ao conteúdo de argila e natureza dos minerais argilosos.

De maneira geral, a maioria dos autores apontam a textura e a matéria orgânica como os principais fatores que influenciam a retenção de água, visto que, a própria estrutura, que é responsável pela geometria do espaço poroso do solo, está na dependência destas duas características (COELHO, 1971; MEDINA, 1975).

Estudando a retenção de água em um perfil de Alfisol, BARBOSA (1978) constatou a existência de correlação positiva significativa entre os teores de argila e óxidos de ferro livres com a água retida nas tensões desde 0,2 a 15 atm. Igualmente GROHMANN & CAMARGO (1973) verificaram que os óxidos de ferro livres aumentam, de maneira geral a retenção da água, e que o grau de cristalização dos mesmos influi na adsorção de água. Por outro lado FREIRE (1975), verificou influência muito pequena da textura, óxidos de ferro livres, como responsáveis pelas variações na retenção de água entre horizontes de um Oxissolo. Relação significativa entre óxidos de ferro livres, matéria orgânica e retenção de umidade foi verificada por MEDINA & GROHMANN (1962). Por sua vez FREIRE et alii (1976) estudando a influência da matéria orgânica na retenção de água em solos sob diferentes coberturas vegetais, observaram que esta depende mais da percentagem de silte + argila do que da matéria orgânica. FREIRE (1975) constatou em um Oxissolo que a maior influência da matéria orgânica na retenção de água ocorreu nos horizontes subsuperficiais em baixas tensões.

MOTA (1976) verificou correlação positiva e altamente significativa entre os teores de silte e argila e água retida em todas as tensões e correlação negativa e significativa entre os conteúdos de areiagrossa e fina e água retida, também em todas as tensões. Verificou ainda que os maiores conteúdos de água retida pelo horizonte arenoso A_p nas baixas tensões, refletiu a influência do maior teor de matéria orgânica e da distribuição de poros por tamanho nesse horizonte.

A estrutura do solo é definida como o arranjo e orientação das partículas sólidas do solo. Esse conceito faz referência à geometria dos espaços porosos cuja influência se faz sentir mais diretamente na produtividade do solo, uma vez que ela pode afetar de maneira acentuada a retenção e o movimento de água. Segundo SCARDUA (1972) a influência da estrutura na retenção da água depende também das diferentes texturas apresentadas pelos solos. Em Regossolo, por possuir textura arenosa, a estrutura só apresentou influência na faixa de tensões inferiores a 0,1 atm, ao passo que na Terra Roxa Estruturada de textura fina, a influência da estrutura persistiu até tensões equivalentes a 0,2 atm.

Segundo HILLEL (1970) e REICHARDT (1975) a estrutura do solo exerce acentuada influência na retenção de água pelo solo, em baixas tensões, uma vez que nesta faixa o potencial matricial está mais na dependência de fenômenos capilares. Isso faz com que a distribuição dos poros por tamanho assumam grande importância na retenção de água pelo solo. COELHO (1971), verificou as curvas características de umidade relativa à amostra com estrutura não alterada, apresentaram diferenças principalmente em amostras de textura fina e correspondente a valores de tensão inferiores a 1,0 atm. SCARDUA (1972), por sua vez ao estudar solos do município de Piracicaba-SP., concluiu que as alterações oriundas da deformação de amostras de solos afetam a retenção de água a baixas tensões e, portanto, devem ser evitadas as amostras deformadas para tensões abaixo de 0,2 atm.

Dentre os parâmetros utilizados no estudo do comportamento da água do solo, as curvas de retenção da água do solo, se destacam pelas informações básicas que contêm. Constituinto características específicas de cada solo, ou mesmo de cada horizonte ou camada de seu perfil, estas curvas fornecem os elementos básicos para uma irrigação racional em um sistema de manejo adequado (OLIVEIRA & QUEIRÓZ, 1975).

WINKLER & GOEDERT (1972) verificando o comportamento da retenção da água nos principais solos de Pelotas, concluíram que nos solos podzolizados não há praticamente variação no conteúdo de água sob tensão superior a 1,0 atm, enquanto que em Planossolo, tal fato se verifica sob tensões maiores que 3 atm. MOTA (1976), ao estudar um perfil de alfissolo, verificou que as maiores diferenças na retenção de água ocorrem abaixo de 0,7 atm e as menores acima de 1,0 atm. A partir de uma atm os valores de umidade são muito próximos. Independente dos horizontes, verificou não haver diferença significativa nos conteúdos de água entre as tensões de 3 a 15 atm. Verificou ainda diferença significativa na retenção de água entre os horizontes do perfil.

GROHMANN & MEDINA (1962) afirmam que nos solos com baixo percentual de argila, não há praticamente variação de umidade sob tensões de 3, 8, 15 e 20 atm, e que as maiores variações no teor de água, ocorrem entre as tensões de 0,1 a 1,0 atm.

2.3 - Condutividade Hidráulica

O conhecimento das condições de movimento da água no solo é essencial na utilização e manejo da água na agricultura (HILLEL et alii, 1972; FREIRE, 1979) e a condutividade hidráulica está diretamente relacionada com a solução de problemas que dizem respeito à irrigação, drenagem profunda, polui

ção de água subterrânea, deslocamento de íons, conservação da água e intimamente ligada à quantificação do movimento da água do solo.

JACKSON et alii (1973) consideraram que este assunto havia sido extensivamente examinado, teórica e experimentalmente, sob condições de laboratório mas poucas investigações haviam sido realizadas em condições naturais de campo. Atualmente, devido a sua importância, é que o estudo da quantificação do movimento da água do solo tem recebido um grande impulso por parte dos pesquisadores, tanto no campo quanto em laboratório, através de uma série de métodos aplicados com êxito em diversas situações. Os métodos utilizados na determinação da condutividade hidráulica compreendem: métodos experimentais de laboratório, métodos experimentais de campo e métodos teóricos baseados em equações empíricas. Os métodos experimentais de laboratório foram mostrados por KLUTE (1965) e REICHARDT et alii (1975), e outros tem sido mudados e adaptados para as condições de campo (Van BAVEL et alii, 1968; HILLEL et alii, 1972). BRUCE (1972) cita as equações numéricas de MARSHAL, (1958) e MILLINGTON e QUIRK (1959) como procedimento para avaliação da condutividade hidráulica.

SAUNDERS (1978) reconheceu que os pesquisadores são unânimes em afirmar que os métodos de laboratório apresentam limitações pois uma simples amostra não representa as condições reais de solo, além de estar sujeita a alterações na sua estrutura durante o manuseio.

HILLEL e Van BAVEL (1976) estudaram a partir de curvas características de água no solo, a função condutividade hidráulica para solos arenosos, siltosos e argilosos usando a teoria desenvolvida por Childs e Collis-George posteriormente modificada por MARSHAL (1958) e MILLINGTON & QUIRK (1959) e reformulada por KUNZE et alii (1969) e JACKSON (1972) o qual refinou a metodologia para obtenção de maior precisão nos resultados. Segundo KLUTE (1972) os métodos teóricos baseados na curva característica da água do solo têm merecido grande

atenção, em virtude da economia de tempo e recursos e da possibilidade de aplicação em grandes áreas.

O método do perfil instantâneo tem se tornado o mais usual no estudo do movimento de água no solo conforme os trabalhos realizados por Van BAVEL et alii (1968), HILLEL et alii (1972), FREIRE (1975) e SAUNDERS (1978), tendo este último proposto uma metodologia que permite a determinação da densidade de fluxo a partir de uma expressão analítica. A metodologia sugerida por SAUNDERS (1978) além de eliminar falhas na obtenção das tangentes às curvas de drenagem interna, apresenta as vantagens de conferir maior precisão no cálculo da densidade de fluxo e manter a linearidade da curva da condutividade hidráulica quando a variação da umidade se torna muito pequena.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Material

3.1.1 - Solo

Os estudos foram conduzidos em solo Podzólico Vermelho Amarelo situado em área experimental pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará (EPACE) localizada no município de Pacajus, (Figura 1).

3.1.2 - Características da Área de Estudo

O solo da área de estudo é originário de sedimentos arenosos e argilosos da Formação Barreiras. O relevo é praticamente plano, com trechos suave ondulados, onde os declives raramente excedem 3%, numa faixa praticamente continua penetrando do litoral para o interior, (JACOMINE et alii 1973).

O clima predominante da área experimental pertence à classe Aw' (clima tropical chuvoso), segundo a classificação climática de Köppen (JACOMINE et alii, 1973). A precipitação é o fator que mais influencia o rendimento das culturas nas condições de Pacajus. O regime pluvial da região, definido pelas normais pluviométricas de 1976/1979 compreende duas estações: uma chuvosa na primeira metade do ano, seguida de outra seca que prolonga-se até dezembro. Variações na quantidade e distribuição das chuvas foram evidentes no ano de 1983, ocorrendo precipitação apenas no período de janeiro a março que totalizaram 600mm em comparação com a normal de 1.000mm anuais.

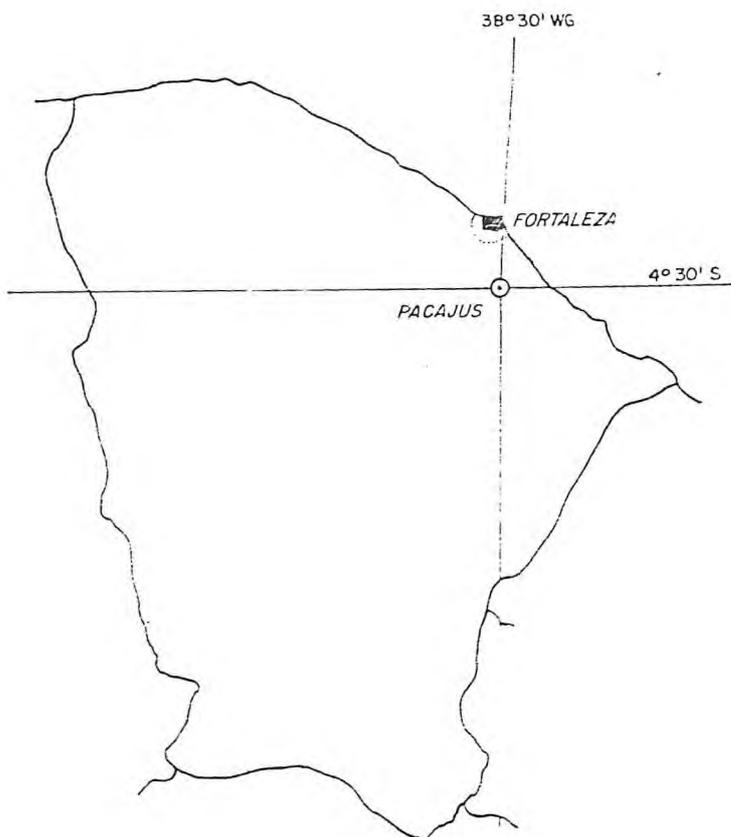


FIGURA 1 - Situação geográfica do município de Pacajus, Estado do Ceará.

A disponibilidade de energia luminosa expressa em horas de brilho solar, apresentou sazonalidade no ano de 1983, constatando-se um período com pequena insolação diária durante os meses da estação chuvosa, é um aumento marcante da mesma na estação seca. Ficou comprovada uma relação inversa entre precipitação pluvial e insolação.

Os valores médios mensais das temperaturas máximas e mínimas apresentaram pequenas variações entre 1983 e os três anos que o antecederam. As médias das máximas variaram de 31°C a 38°C e de 19°C a 26°C nas mínimas.

3.2 - Métodos

3.2.1 - Descrição do Perfil do Solo

O exame e descrição do perfil do solo foi realizado de acordo com as normas contidas em LEMOS & SANTOS (1982). Para tal fim, próximo da parcela experimental, abriu-se uma trincheira com profundidade de 150cm. Na determinação da cor do solo, utilizou-se a carta de cores de solo Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY INC., 1954). Nas amostras de cada horizonte foram realizadas análises físicas e químicas.

3.2.2 - Caracterização Analítica do Perfil

A caracterização analítica foi realizada no Laboratório de Solos, do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. Após secadas ao ar, destorroadas e tamisadas em peneira de 2mm, as amostras foram utilizadas nas seguintes determinações: análise granulométrica pelo método de pipeta modificado, usando-se

NaOH como dispersante; argila dispersa em água usando-se água destilada como dispersante e grau de floculação obtido pela expressão: $GF = [(\% \text{ argila total} - \% \text{ argila dispersa em água}) / \% \text{ argila total}] \times 100$; umidade a 1/3 e 15 atm, utilizando-se extratores de placa porosa, (EMBRAPA, 1979). Os cátions trocáveis foram extraídos com acetato de amônio normal a pH 7, de terminando-se $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ e Ca^{+2} por titulação com EDTA, ob tendo-se o Mg por diferença; sódio e potássio por fotometria de chama; hidrogênio mais alumínio permutáveis, extraídos com acetato de cálcio e cloreto de potássio normais, respectiva mente, a pH 7, titulando-se a acidez resultante com NaOH 0,1 N e os indicadores fenolftaleína e azul de bromotimol; o valor T (capacidade de troca de cátions) obtido pela soma dos cá tions trocáveis; o nitrogênio total, por digestão sulfúrica e destilação Kjeldhal (EMBRAPA, 1979). O carbono orgânico foi determinado por oxidação pelo procedimento de Tiurim modifica do por VETTORI (1969) estimando-se a matéria orgânica com o emprego do fator 1,724; o fósforo assimilável, pelo método Ca rolina do Norte com extratores H_2SO_4 0,025 N e HCl 0,05 N (VETTORI, 1969). O pH foi determinado potenciometricamente em pregando-se uma relação solo água 1:2,5; a condutividade elé trica (CE) foi determinada no extrato de saturação e medida em ponte salina Solubridge (RICHARDS, 1954).

3.2.3 - Características Físico-Hídricas

Amostras com estrutura não deformadas foram coletadas em triplicata, em cada horizonte do perfil descrito, utilizan do-se extratores tipo Uhland e cilindros de $347,5 \text{ cm}^3$ e $68,1 \text{ cm}^3$, através de procedimento descrito por BLAKE (1965) e EMBRAPA (1979).

(a) Condutividade hidráulica do solo saturado: As amostras coletadas em cilindros de $347,5 \text{ cm}^3$ foram preparadas e submetidas à saturação. Mediu-se o volume de água percolada

a intervalos regulares de 20 minutos através de um permeâmetro de carga constante (Figura 2) calculando-se a condutividade de hidráulica pela equação de Darcy, (KLUTE, 1965).

(b) Densidade do solo, porosidade total e distribuição de poros: Após a determinação da condutividade hidráulica saturada, as amostras foram colocadas em estufa por um período de 24 horas, obtendo-se a densidade pela relação massa/volume. A porosidade total foi obtida através da expressão: $P = (1 - \rho_s/\rho_p) \times 100$. A distribuição dos poros por tamanho foi obtida através do método do funil de placa porosa, pela aplicação de diferentes tensões às amostras de solo (KLUTE, 1965; EMBRAPA, 1979).

(c) Curvas características de água no solo: As amostras coletadas em cilindros de $68,1\text{cm}^3$ foram preparadas e submetidas à saturação por capilaridade por um período de 24 horas, para determinação das curvas características da água do solo, em cada horizonte do perfil. Após a completa saturação, as amostras foram submetidas em funis de placa porosa (porosidade média) à tensão de até 120cm de H_2O . Utilizaram-se ainda células de pressão (REGINATO & Van BAVEL, 1962) para determinar os pontos correspondentes às tensões de 160 a 800cm de H_2O . Os pontos complementares às curvas características foram obtidos utilizando-se extratores de placa porosa (RICHARDS, 1947) com amostras destorroadas nas tensões de 1000 a 15.000cm de H_2O .

(d) Condutividade hidráulica do solo não-saturado: Foi utilizado o método do perfil instantâneo descrito por HIL LEL et alii (1972) com modificação introduzida por SAUNDERS (1978).

Escolheu-se na parcela experimental uma área com dimensões de 3m x 3m, e instalou-se uma bateria com 10 tensiômetros, colocados nas profundidades de 10, 40, 70, 100 e 130cm, para determinação do regime hídrico do solo na disposição indicada na Figura 3. A área foi limitada por um dique de solo, e adicionou-se água na sua superfície em quantidade suficien

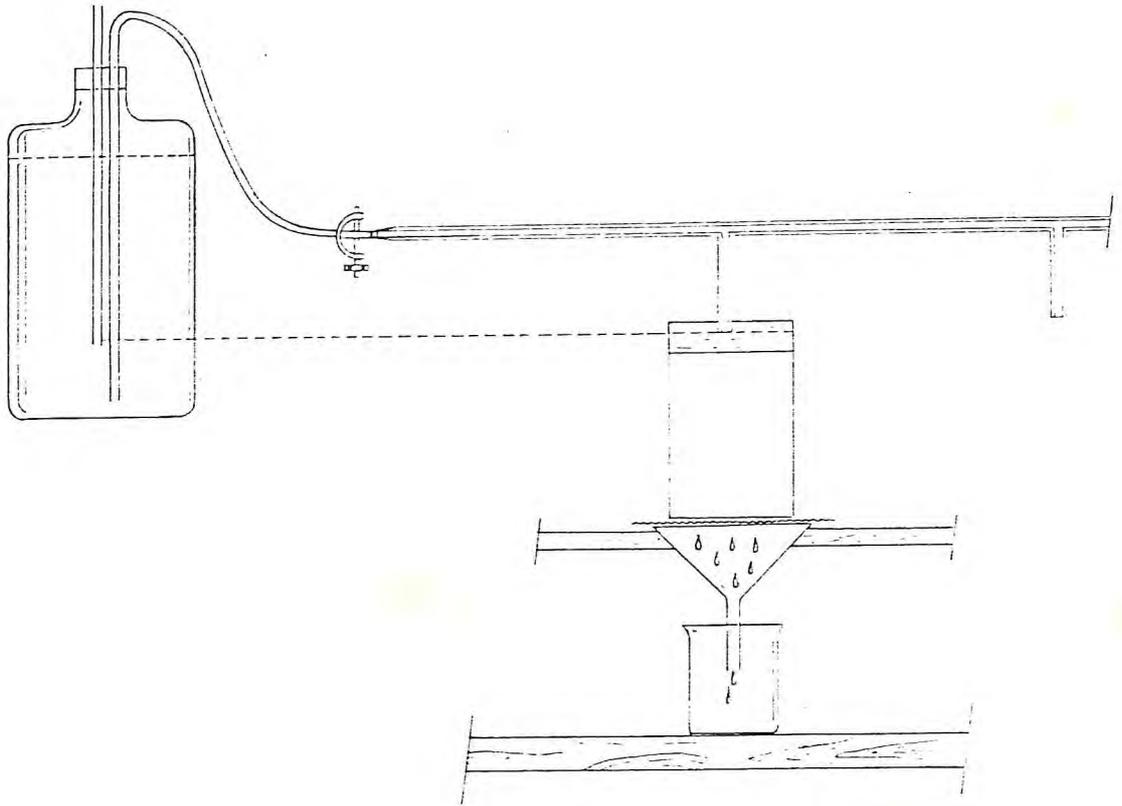


FIGURA 2 - Detalhes do permeâmetro de carga constante para de terminação da condutividade hidráulica.

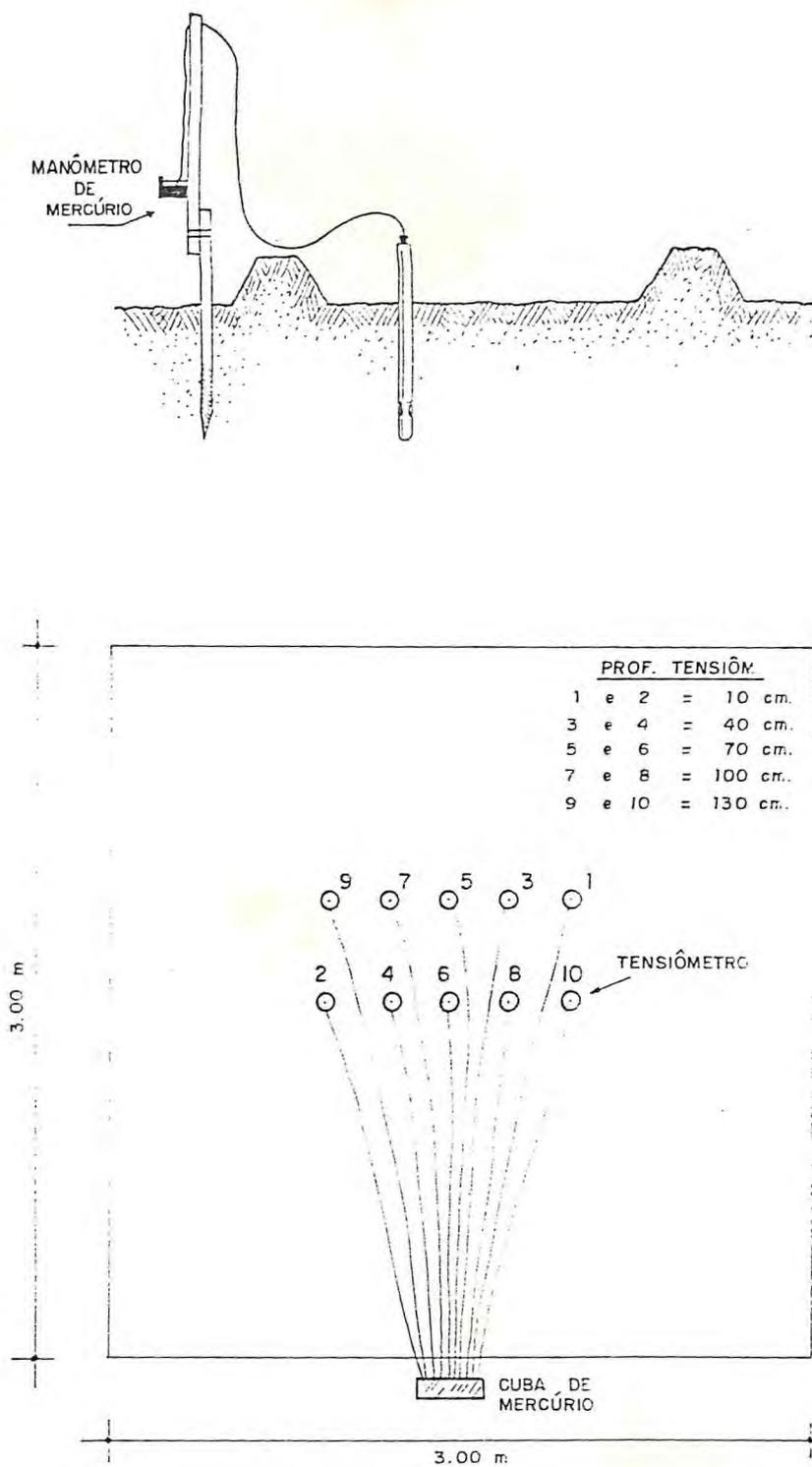


FIGURA 3 - Croquis da parcela experimental e localização dos tensiômetros.

te até manter a infiltração em condições de escoamento permanente, verificada pela leitura constante dos tensiômetros. Atingida essa condição, suspendeu-se a irrigação e cobriu-se a área com lona plástica preta, evitando-se assim a evaporação na superfície do solo e impedindo a entrada de qualquer forma de água na parcela. Nessas condições o solo só perderá água por fluxos descendentes e, sua umidade vai decrescer nas diferentes profundidades com o tempo. Com auxílio dos tensiômetros determinaram-se os valores dos potenciais totais, para verificação da drenagem interna do perfil.

Com a finalidade básica de obter as curvas de condutividade hidráulica (K) procedeu-se inicialmente ao cálculo da variação do armazenamento da água do solo versus logaritmo natural do tempo. Os valores do armazenamento (W) foram determinados pelo produto do conteúdo de água de cada camada e, de sua respectiva espessura, o que possibilitou o cálculo da densidade de fluxo analiticamente. A solução analítica é baseada no princípio de que os pontos experimentais deste gráfico se distribuem segundo uma reta com alto coeficiente de correlação. Assim, um gráfico de armazenamento versus logaritmo natural do tempo será representado pela equação:

$$W = a - b \ln t \quad [1]$$

onde:

W = armazenamento de água do solo (cm)

a = coeficiente linear

b = coeficiente angular

t = tempo (dia)

Calculando-se a primeira derivada da equação [1] com relação ao tempo, tem-se:

$$\frac{dw}{dt} = - \frac{b}{t} \quad [2]$$

Como o primeiro termo representa a densidade de fluxo, a análise de regressão linear permite o cálculo deste parâmetro para qualquer valor de t, uma vez que b representa o coeficiente angular da reta.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Descrição Morfológica e Caracterização do Perfil

O solo foi classificado como Podzólico Vermelho Amarelo com base na descrição morfológica apresentada a seguir, nos resultados de análise constantes da Tabela 1 e de acordo com os critérios estabelecidos em JACOMINE et alii (1973).

| | |
|-------------------------|--|
| Classificação | - Podzólico Vermelho Amarelo distrófico, textura arenosa/média ou Arenic haplustults. |
| Localização | - Na área experimental com mandioca, próximo à plantação de Eucalipto. EUPAE (EMBRAPA) de Pacajus. |
| Situação de declividade | - Trincheira aberta em terreno praticamente plano com declividade de 0-3%. |
| Formação Geológica | - Terciário. Grupo Barreiras. |
| Material Originário | - Sedimentos arenosos e argilosos. |
| Relevo Regional | - Suave ondulado. |
| Relevo Local | - Suave ondulado. |
| Altitude | - 60m aproximadamente. |
| Drenagem | - Fortemente drenado. |
| Pedregosidade | - Ausente. |
| Erosão | - Não aparente. |

| | |
|-------------------------------|--|
| Vegetação Local | - Cultura de mandioca. |
| Vegetação Regional | - Culturas de cajueiro, remanescente de vegetação de transição para caatinga, marmeleiro, unha de gato, etc. |
| Uso Atual | - Experimentação com mandioca e eucaliptos. |
| A _p 0 - 13cm | - bruno acinzentado escuro (10 YR 4/2, úmido); areia; fraca, média granular; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso, transição ondulada e clara. |
| A ₃ 13 - 44cm | - bruno escuro (10 YR 4/3, úmido); areia; maciça; macio, solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual. |
| B ₁ 44 - 80cm | - bruno amarelo claro (10 YR 6/4, úmido); areia, fraca; maciça; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara. |
| B _{21t} 80 - 115cm | - bruno muito claro acinzentado (10 YR 7/4, úmido); franco arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares; macio, friável, não plástico e não pegajoso; transição gradual. |
| B _{22t} 115 - 150cm+ | - bruno muito claro acinzentado (10 YR 7/4, úmido) mosqueado médio, abundante e proeminente vermelho (2,5 YR 5/3, úmido); franco arenosa; fraca e moderada, média, blocos subangulares; Ligeiramente duro; friável, não plástico e não pegajoso. |

Trata-se de um solo profundo com o horizonte A compreendendo uma espessura de 44cm e o horizonte B ultrapassando a profundidade de 150cm. A textura é arenosa até o horizonte B_{21t} e média no horizonte B_{22t} . Verificou-se o predomínio da fração areia grossa sobre as demais frações, com pequena variação entre horizontes. As percentagens de argila aumentaram com a profundidade resultando numa relação textural de 2,85 entre os horizontes B e A. A estrutura apresentou-se fraca até o horizonte B_{22t} o qual possui estrutura moderada em blocos subangulares. Verificou-se também a presença de mosqueado nesse horizonte.

As características químicas contidas na Tabela 1 revelam baixos níveis de bases trocáveis, de fósforo assimilável e de carbono e nitrogênio, os quais decresceram em profundidade no perfil. Os valores de pH em água, revelaram acidez fraca no horizonte A_p , média no horizonte A_3 e forte nos demais horizontes. A saturação de bases (V) decresceu em profundidade no perfil. Os três primeiros horizontes apresentaram seus valores ligeiramente acima de 50%, enquanto que nos dois últimos horizontes o valor (V) foi inferior a 50%. Os baixos níveis de nutrientes e a textura arenosa, em grande parte no perfil, permitem inferir que os principais fatores limitantes ao uso deste solo são, baixa fertilidade natural, baixa retenção de água e lixiviação de nutrientes.

4.2 - Densidade do Solo, Porosidade e Distribuição de Poros

Os valores de densidade do solo, porosidade total e da distribuição dos poros são apresentados na Tabela 2.

Verificou-se que os valores de densidade do solo aumentaram com a profundidade, do horizonte A_p para o horizonte B_{22t} , correspondendo também a um decréscimo da porosidade total na mesma ordem. Nos quatro primeiros horizontes predomi

TABELA 1 - Características Físicas e Químicas do Perfil de Solo Podzólico Vermelho Amarelo (Pacajus-CE.).

| HORIZONTE | | COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%) | | | | ARGILA DISPERSA EM ÁGUA % | CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL |
|------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|------------------------|
| SÍMBOLO | PROFUNDIDADE (cm) | AREIA GROSSA 2 - 0,2 mm | AREIA FINA 0,2 - 0,005 mm | SILTE 0,05 - 0,002 mm | ARGILA < 0,002 mm | | |
| A _p | 0 - 13 | 71,50 | 22,30 | 1,60 | 4,60 | 0,30 | Areia |
| A ₃ | 13 - 44 | 71,65 | 20,65 | 1,15 | 6,55 | 1,20 | Areia |
| B ₁ | 44 - 80 | 62,20 | 27,35 | 1,15 | 9,30 | 1,30 | Areia |
| B _{21t} | 80 - 115 | 57,15 | 26,90 | 2,55 | 13,40 | 0,10 | Fr. aren. |
| B _{22t} | 115 - 150 + | 53,00 | 18,80 | 3,20 | 25,00 | 4,80 | Fr. arg. aren. |

| SÍMBOLO | DENSIDADE PARTÍCULAS | UMIDADE g/100 g | | pH EM ÁGUA | CE A 25°C EXT. SATUR. mmhos/cm | CARBONO % | NITROGÊNIO % | C/N | MATÉRIA ORGÂNICA |
|------------------|----------------------|-----------------|--------|------------|--------------------------------|-----------|--------------|-----|------------------|
| | | 1/3 atm | 15 atm | | | | | | |
| A _p | 2,68 | 5,3 | 2,5 | 6,00 | 0,21 | 0,49 | 0,05 | 10 | 0,84 |
| A ₃ | 2,66 | 7,4 | 2,7 | 5,30 | 0,23 | 0,19 | 0,01 | 19 | 0,33 |
| B ₁ | 2,66 | 6,0 | 3,2 | 5,10 | 0,27 | 0,16 | 0,01 | 16 | 0,27 |
| B _{21t} | 2,65 | 12,0 | 5,3 | 5,00 | 0,24 | 0,19 | 0,01 | 19 | 0,33 |
| B _{22t} | 2,65 | 20,9 | 11,2 | 4,70 | 0,20 | 0,20 | 0,02 | 10 | 0,34 |

| SÍMBOLO | P ASSIMILÁVEL mg/100 g | COMPLEXO SORTIVO meq/100 g DE SOLO | | | | | | | 100 S/T = V % | |
|------------------|------------------------|------------------------------------|------------------|----------------|-----------------|------|------------------------------------|-------------------|---------------|----|
| | | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | S | H ⁺ + AL ⁺⁺⁺ | Al ⁺⁺⁺ | | T |
| A _p | 0,20 | 1,00 | 0,90 | 0,08 | 0,10 | 2,08 | 0,99 | 0,03 | 3,79 | 55 |
| A ₃ | 0,13 | 0,60 | 0,80 | 0,10 | 1,10 | 1,60 | 0,99 | 0,23 | 2,59 | 61 |
| B ₁ | 0,47 | 0,20 | 0,60 | 0,08 | 0,10 | 0,98 | 0,82 | 0,36 | 1,80 | 54 |
| B _{21t} | 0,03 | 0,20 | 0,50 | 0,08 | 0,11 | 0,89 | 0,88 | 0,32 | 2,04 | 44 |
| B _{22t} | 0,23 | 0,20 | 0,60 | 0,18 | 0,12 | 1,10 | 0,87 | 0,73 | 2,58 | 43 |

TABELA 2 - Valores de Densidade do Solo, Porosidade Total e Distribuição dos Poros por Tamanho.

| Horizonte | Densidade do Solo g.cm ⁻³ | Porosidade Total | Diâmetro dos Poros (cm) | | | | | |
|------------------|---|------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| | | | >0,015 | 0,015-0,0075 | 0,0075-0,005 | 0,005-0,0037 | 0,0037-0,003 | <0,003 |
| | | | % | | | | | |
| A _p | 1,5 | 43,3 | 10,7 | 11,7 | 9,0 | 3,4 | 1,3 | 7,2 |
| A ₃ | 1,6 | 40,0 | 1,5 | 14,4 | 8,5 | 4,0 | 1,9 | 9,8 |
| B ₁ | 1,6 | 40,0 | 2,6 | 8,4 | 11,0 | 4,6 | 2,6 | 10,8 |
| B _{21t} | 1,7 | 36,0 | 5,1 | 5,7 | 3,9 | 3,8 | 2,0 | 15,5 |
| B _{22t} | 1,7 | 36,6 | 4,0 | 5,1 | 3,6 | 2,0 | 1,3 | 20,6 |

nam os poros com diâmetros maiores que 0,003cm, sendo essa predominância mais evidente no horizonte A_p onde atinge 83% da porosidade total. Os horizontes A_3 e B_1 de textura arenosa, apresentaram um percentual de volume de poros bem equivalente, sendo que os poros considerados maiores que 0,003cm, ainda predominam em termos de distribuição. No horizonte B_{22t} predominam os poros menores que 0,003cm os quais chegam a 56% da porosidade total. Essa distribuição está diretamente relacionada aos teores de areia nos quatro primeiros horizontes e ao aumento do teor de argila em profundidade, o que pode ser comprovado pelo correspondente aumento na percentagem dos poros menores que 0,003cm e pelo coeficiente de correlação ($r = 0,960$) altamente significativo obtido na comparação entre teor de argila e poros com diâmetro inferior a 0,003cm.

4.3 - Curvas Características de Umidade do Solo

As curvas características de umidade dos horizontes do perfil estão representadas nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8, e os valores de conteúdo de água e tensões correspondentes a cada ponto das curvas constam da Tabela 3.

Observou-se que nos três primeiros horizontes, na faixa compreendida entre a saturação e a tensão de 20cm a retenção de água foi mais acentuada, sendo no entanto maior no horizonte A_p , onde a predominância de poros $> 0,003$ cm atinge 83% da porosidade total. Entretanto, na faixa de tensões entre 1.000 e 15.000cm de H_2O este horizonte retém menos água em comparação com os demais, o que deve ser atribuído à pequena percentagem de poros com diâmetros menores que 0,003cm e o baixo teor de argila presente. Verificou-se ainda a semelhança entre as curvas características dos horizontes A_3 e B_1 , de textura arenosa e com valores iguais de densidade do solo, e que os conteúdos de água não diferem na saturação e

TABELA 3 - Conteúdos volumétricos de água em equilíbrio com as tensões empregadas na obtenção da curva característica de umidade do solo.

| Horizontes e Profundidades (cm) | Tensões | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | X 1033 (cm. H ₂ O) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,2 | 0,33 | 0,5 | 0,8 | 1 | 2 | 4 | 5 | 8 | 15 |
| | cm ³ .cm ⁻³ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A _p 0 - 13 | 0,397 | 0,332 | 0,210 | 0,120 | 0,087 | 0,068 | 0,062 | - | - | 0,053 | 0,055 | - | 0,045 | 0,031 | 0,034 | 0,030 | 0,030 | 0,025 |
| A ₃ 13 - 44 | 0,394 | 0,363 | 0,240 | 0,152 | 0,120 | 0,101 | 0,087 | 0,081 | 0,077 | 0,074 | 0,068 | 0,063 | 0,056 | 0,034 | 0,034 | 0,031 | 0,032 | 0,027 |
| B ₁ 44 - 80 | 0,400 | 0,367 | 0,283 | 0,181 | 0,125 | 0,101 | 0,075 | 0,070 | 0,067 | 0,060 | 0,059 | 0,057 | 0,057 | 0,042 | 0,042 | 0,036 | 0,036 | 0,032 |
| B _{21t} 80 - 115 | 0,356 | 0,308 | 0,255 | 0,216 | 0,177 | 0,154 | 0,145 | - | - | 0,120 | 0,123 | - | 0,098 | 0,063 | 0,059 | 0,056 | 0,046 | 0,053 |
| B _{22t} 115 - 150+ | 0,366 | 0,311 | 0,257 | 0,250 | 0,224 | 0,214 | 0,188 | 0,180 | 0,172 | 0,148 | 0,137 | 0,130 | - | 0,113 | 0,116 | 0,118 | 0,110 | 0,112 |

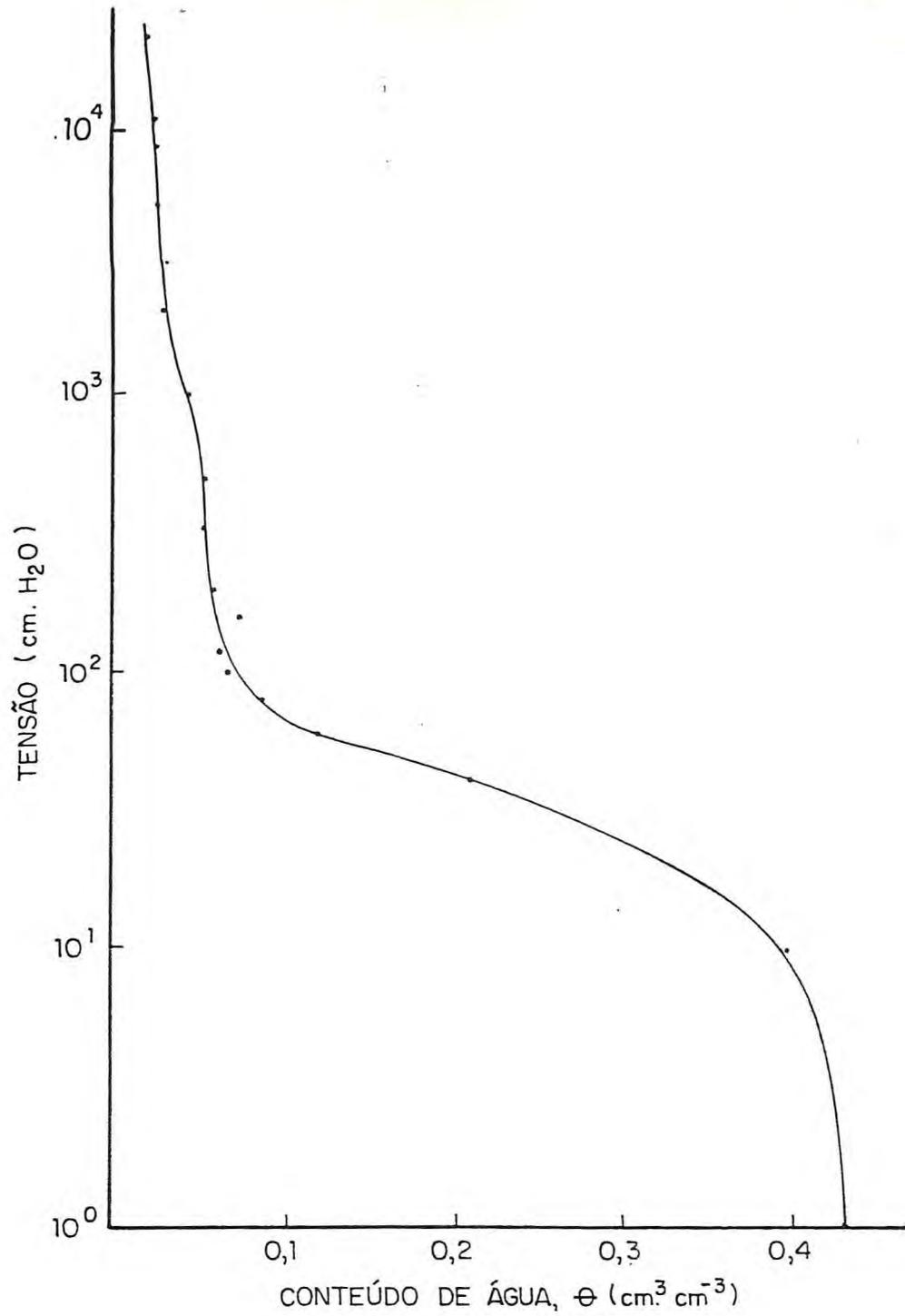


FIGURA 4 - Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte Ap.

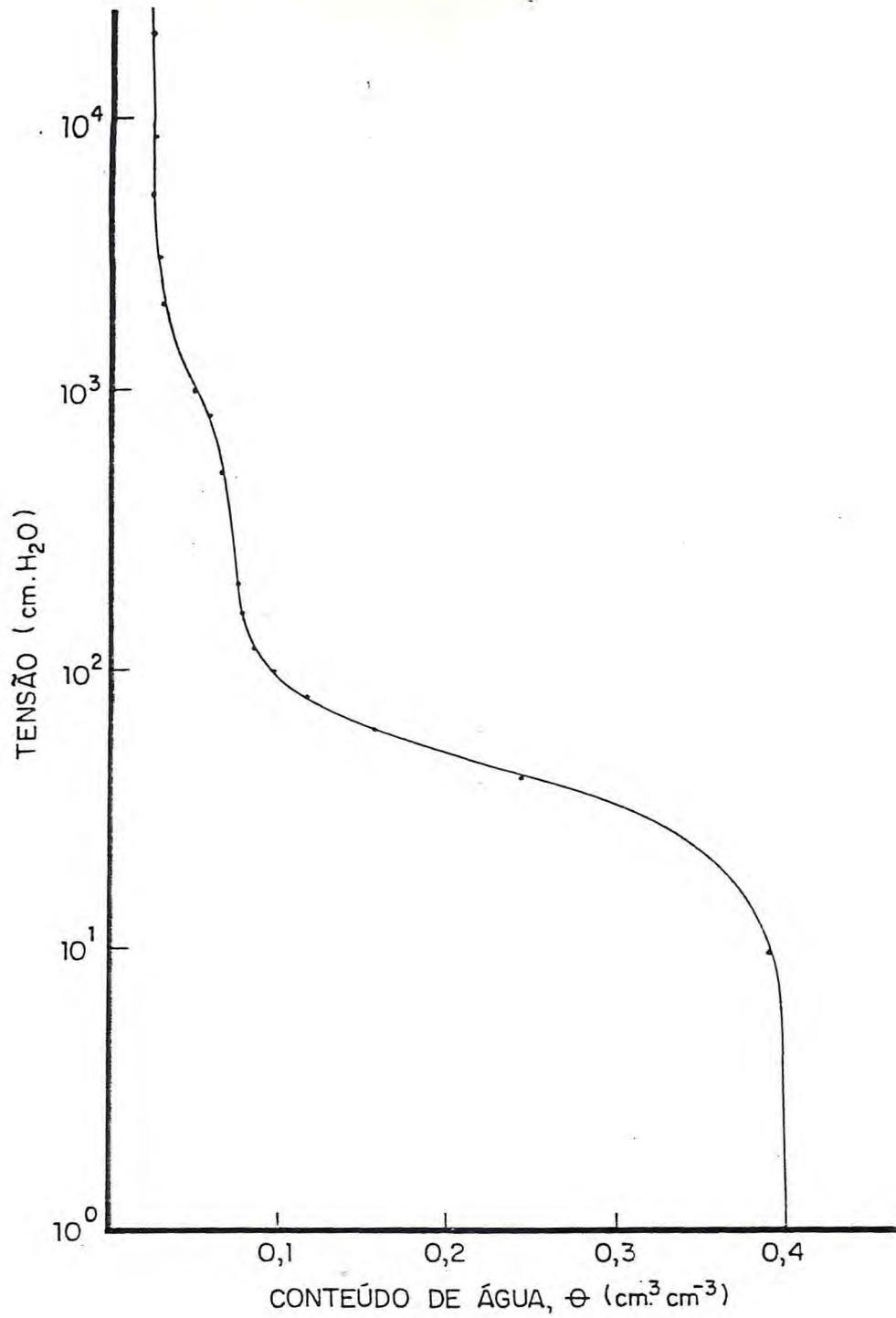


FIGURA 5 - Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte A₃.

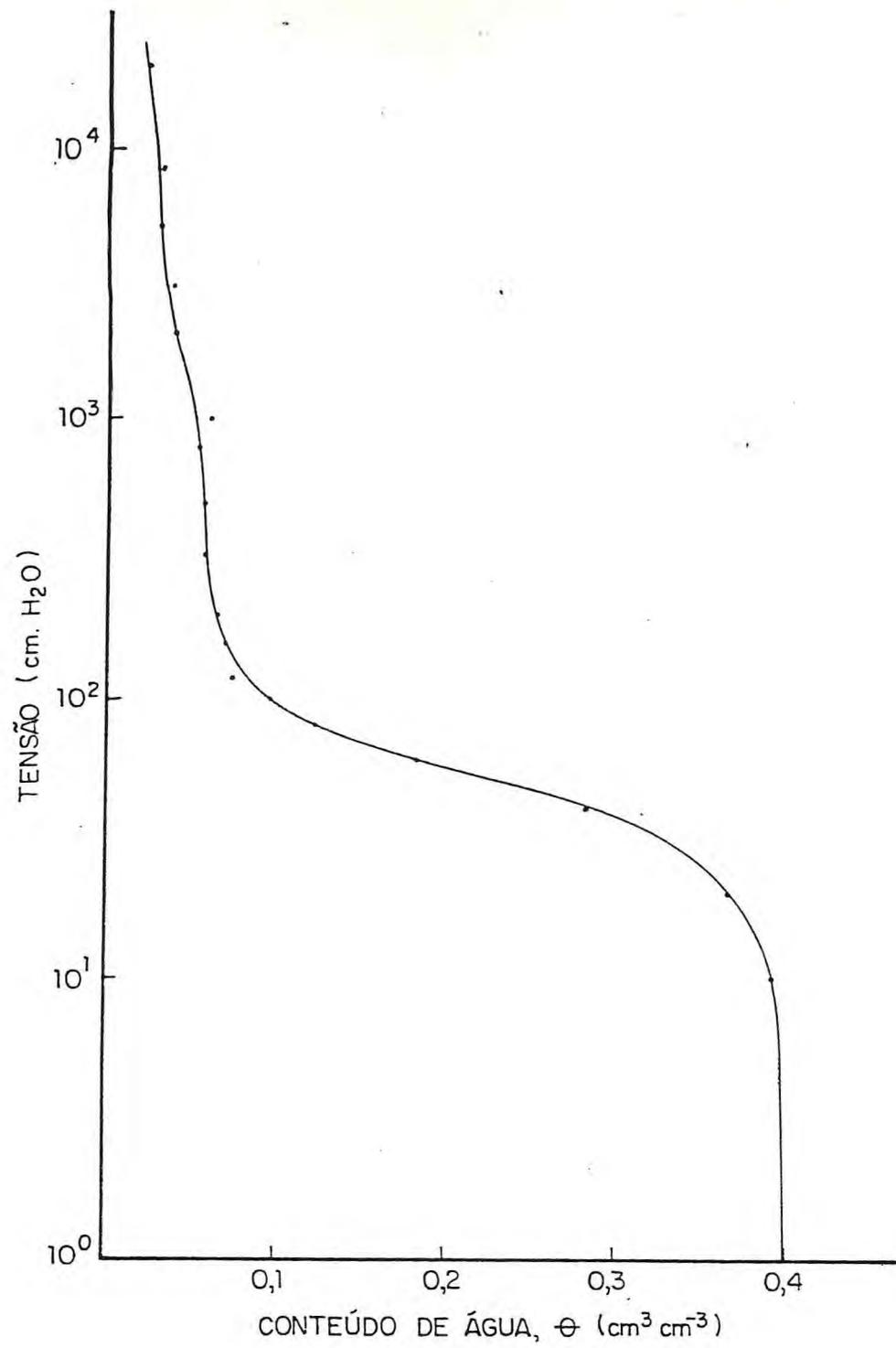


FIGURA 6 - Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte B₁.

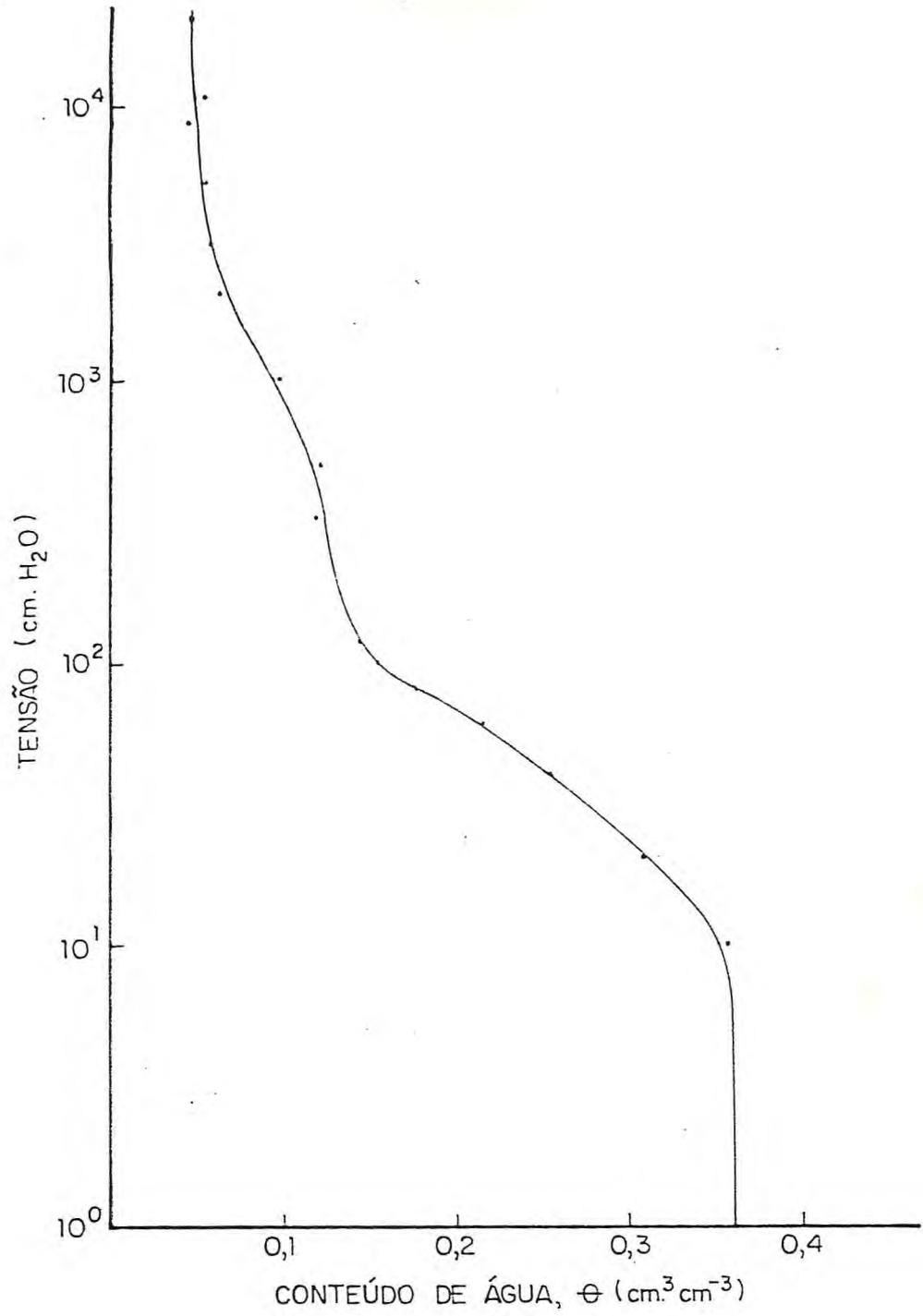


FIGURA 7 - Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte B_{21t}.

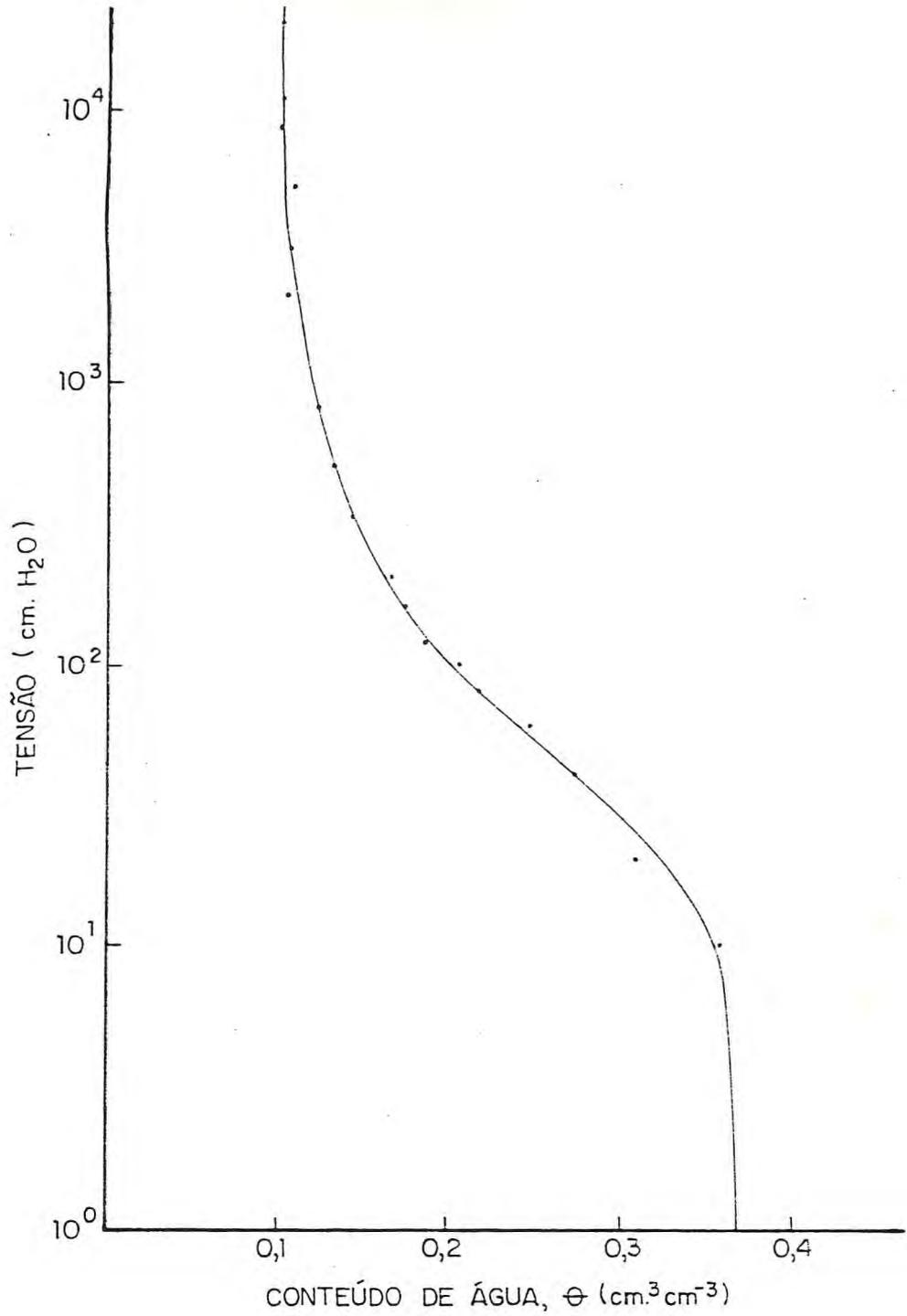


FIGURA 8 - Curva característica de umidade do solo correspondente ao horizonte B_{22t}.

na tensão de 100cm de H_2O . Praticamente não houve variação no conteúdo de água das curvas correspondentes aos horizontes A_p , A_3 e B_1 , em altos valores de tensão relativos à faixa de 3.000 e 15.000cm de H_2O , e neste caso as forças atuantes são mais de adsorção, sendo o potencial matricial influenciado pela textura.

A semelhança entre as curvas dos horizontes B_{21t} e B_{22t} é evidente até a tensão de 20cm de H_2O , apesar destes apresentarem diferenças em termos de estrutura, o que deve ser atribuído à distribuição dos poros por tamanho nestes horizontes. Segundo HILLEL (1970) e REICHARDT (1975), a importância maior da distribuição dos poros ocorre na faixa de baixas tensões, uma vez que, nessa faixa o potencial matricial da água do solo, está mais na dependência de fenômenos capilares. No entanto, o maior volume de água retida foi verificado na curva do horizonte B_{22t} na faixa compreendida pelas altas tensões em relação aos demais horizontes, fato atribuído ao seu teor de argila. Observou-se que, nas amostras indeformadas na faixa de baixas tensões, o volume de poros com diâmetro $> 0,003$ cm e o teor de argila foram as variáveis que mais influenciaram na retenção de água no Podzólico Vermelho Amarelo.

Associação entre conteúdo de água retida e o teor de argila foi observado por GROHMANN (1960); GAVANDE (1968); COELHO (1971); WINKLER & GOEDERT (1972); MOTA (1976) e SALGADO (1983).

4.4 - Condutividade Hidráulica

Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado, em cm/h, são apresentados na Tabela 4, como média de três repetições. Verificou-se que nos quatro primeiros horizontes A_p , A_3 , B_1 e B_{21t} a condutividade hidráulica apresentou valo

TABELA 4 - Valores de Condutividade Hidráulica do Solo Saturado K (cm.h⁻¹),

| Horizonte | Profundidade (cm) | Cond. Hidr. (cm/h) |
|------------------|-------------------|--------------------|
| A _p | 0 - 13 | 73,94 |
| A ₃ | 13 - 44 | 55,36 |
| B ₁ | 44 - 80 | 58,86 |
| B _{21t} | 80 - 115 | 37,30 |
| B _{22t} | 115 - 150 | 3,40 |

res bem elevados principalmente nos horizontes A_p e B_1 , com uma média de 56,36cm/h entre os quatro horizontes de textura arenosa. Estes valores estão diretamente relacionados com os teores de areia nos quatro primeiros horizontes e com a predominância de poros maiores que 0,003cm neles presentes. Isto foi comprovado pelo coeficiente de correlação ($r = 0,900$) altamente significativo, obtido na comparação entre volume de poros de diâmetro maior que 0,003cm e condutividade hidráulica do solo saturado.

MILLER (1973) verificou em material arenoso, com distribuição de partículas entre 0,5mm e 1,0mm de diâmetro, valor de condutividade hidráulica saturada da ordem de 10^4 cm/dia. Por outro lado, BOUMA & ANDERSON (1973) encontraram também, em material arenoso com distribuição de partículas entre 0,25mm e 0,50mm de diâmetro, valores de condutividade hidráulica em torno de 4×10^2 cm/dia. COELHO (1971) estudando a característica condutividade hidráulica em solos aluviais encontrou valores de K de 29,06 e 23,09cm.h⁻¹, em amostras cuja fração areia grossa foi 38,1 e 18,6% respectivamente.

A partir dos dados relativos a um período de 30 dias de redistribuição da água no perfil, contidos na Tabela 5, construiu-se a Figura 9, que expressa a variação do armazenamento de água do solo versus o logaritmo natural do tempo. Os dados para as quatro profundidades estudadas se distribuíram segundo retas com alto coeficiente de correlação ($r > 0,940$). Através da análise dos resultados, observou-se que a variação da água na camada de 0-25cm foi de 38% do 1º ao 30º dia, enquanto que nas camadas de 0-55cm, 0-85cm e 0-115cm foi de 45, 52 e 46% respectivamente.

A variação do potencial total da água do solo durante o período de redistribuição nas profundidades de 10, 40, 70, 100 e 130cm, está representada na Figura 10. Observa-se que na profundidade de 10cm a drenagem se processa de maneira acentuada até o 1º dia e em seguida torna-se mais ou menos constante. Na profundidade de 40cm o processo é quase idênti

TABELA 5 - Valores Médios do Armazenamento (Lâmina d'água) da Água do Solo, nas Profundidades de 0-25, 25-55, 55-85 e 85-115cm, para Diversos Tempos de Drenagem.

| Tempo (dias) | Profundidade (cm) | | | |
|-----------------|-------------------|-------|-------|-------|
| | 0-25 | 0-55 | 0-85 | 0-115 |
| | cm | | | |
| 1 | 3,63 | 10,04 | 17,33 | 24,59 |
| 2 | 3,62 | 9,32 | 15,62 | 22,34 |
| 3 | 3,37 | 8,65 | 14,05 | 20,53 |
| 4 | 3,15 | 8,13 | 13,23 | 19,71 |
| 8 | 2,75 | 7,34 | 11,93 | 17,72 |
| 30 | 2,24 | 5,55 | 8,12 | 13,08 |

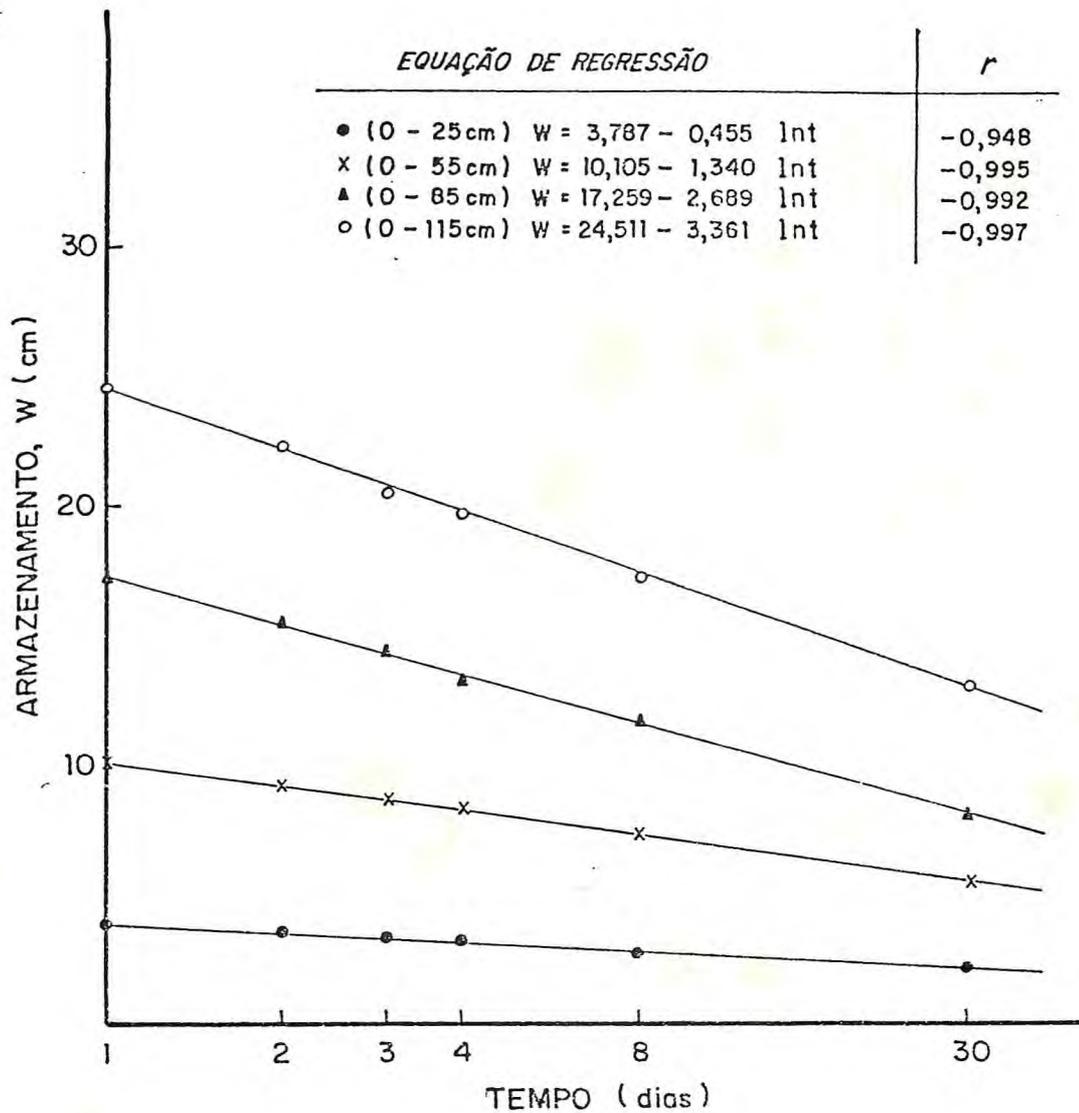


FIGURA 9 - Variação do armazenamento da água do solo nas profundidades de 0 — 25cm, 0 — 55cm, 0 — 85 cm, 0 — 115cm, para diversos tempos de drenagem.

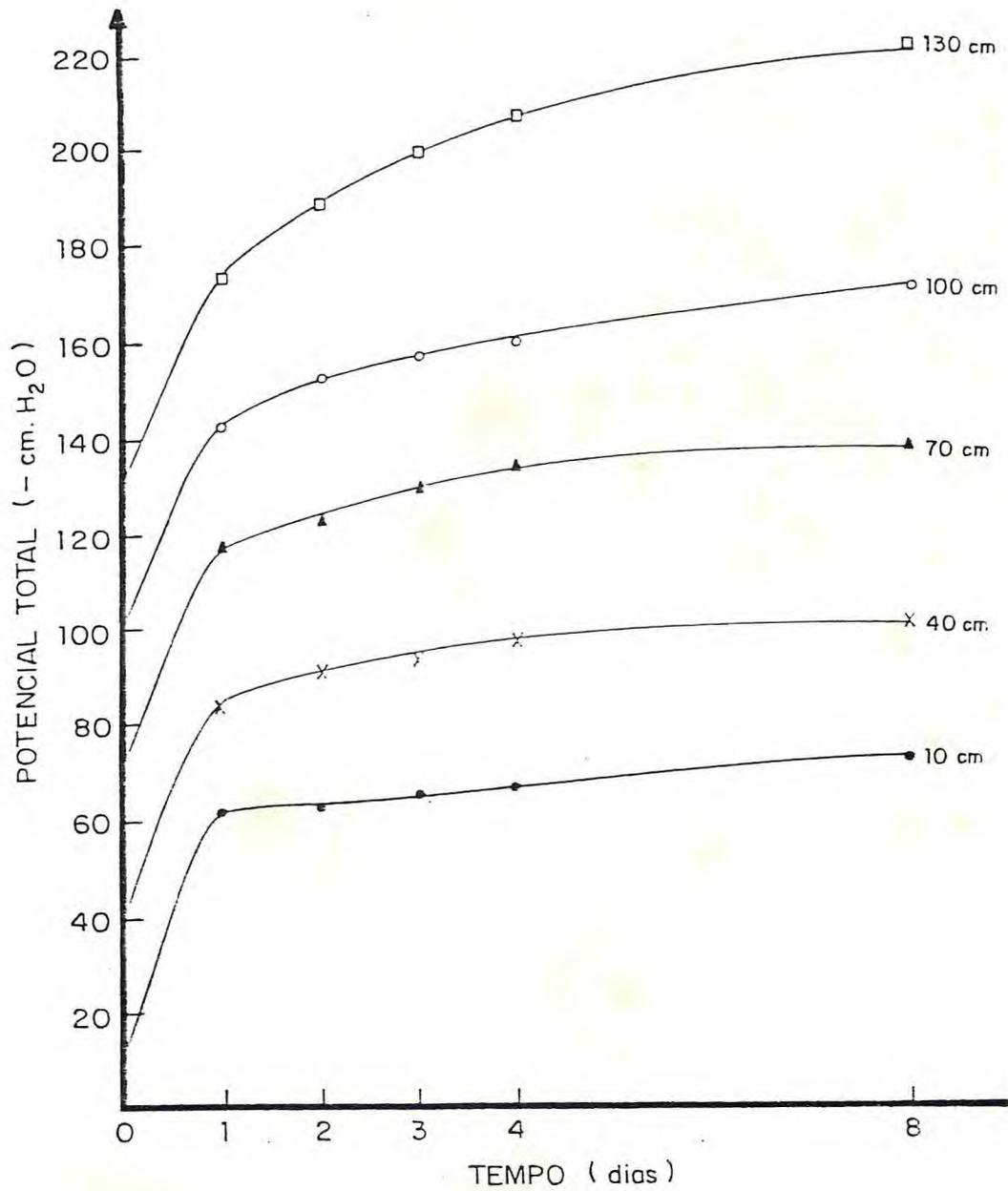


FIGURA 10 - Variação do potencial total da água do solo nas profundidades de 10, 40, 70, 100 e 130cm para diversos tempos de drenagem.

co ao da primeira camada, entretanto, a diminuição da variação do potencial total da água nesta profundidade ocorreu so mente após o quarto dia. O processo de redistribuição é na verdade contínuo e apesar de sua velocidade decrescer com o tempo, o mesmo continua indefinidamente e a tendência ao equi líbrio ocorre somente apenas de longo período de tempo. Esse fenômeno é facilmente visualizado através das curvas corres pondentes às profundidades de 100 a 130cm. Em solos de textu ra grossa, nos quais a condutividade hidráulica decresce rápi damente com a diminuição do conteúdo de água do solo, o fluxo torna-se muito pequeno. No entanto, em solos de textura mé dia, o processo de redistribuição poderá persistir de maneira apreciável por vários dias, conforme observou-se com a última camada. Contudo, vale salientar que na camada de textura are nosa de 85cm, a redistribuição tende a persistir após o 8º dia, podendo-se considerar que ainda haja fluxo de água da ca mada superior a esta, neste período de tempo. Em todo caso, a velocidade de redistribuição decresce com o tempo de drena gem interna do perfil, devido o gradiente de potencial total entre a zona média e seca diminuir à medida que a primeira perde e a última ganha umidade (REICHARDT, 1975).

Os resultados dos cálculos da condutividade (K) em função do conteúdo de água (θ), estão apresentados na Tabela 6 e sumarizados nas Figuras 11 e 12, onde as retas apresentam uma função exponencial de K (θ).

Na Figura 11 estão plotados os pontos correspondentes aos valores da condutividade hidráulica obtidos para os dias 1 a 8. A fim de ampliar a faixa de valores de K, foram incluí dos na Figura 12 os valores da condutividade hidráulica do so lo saturado obtidos em amostras com estrutura não deformada. Na faixa de condutividade hidráulica de 1,0 a 0,1cm.dia⁻¹, os conteúdos de água das camadas 0-25cm, 25-55cm e 55-85cm são menores que o da camada 85-115cm, em virtude do fluxo para o mesmo gradiente de potencial. Para variação da condutividade hidráulica em torno de uma ordem de magnitude, verificou-se

TABELA 6 - Condutividade Hidráulica em Função do Conteúdo de Água do Solo nas Profundidades 25, 55, 85, 115cm.

| Tempo (dias) | Z (cm) | $\Delta\Psi/\Delta Z$ (cm.cm ⁻¹) | $-\Psi_m$ (cm.H ₂ O) | θ (cm.cm ⁻³) | $-q$ (cm.dia ⁻¹) | $K(\theta)$ (cm.dia ⁻¹) |
|-----------------|-----------|---|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|
| 0 | 0- 25 | 1 | 0 | 0,415 | 1.772,160 | 1.772,160 |
| | 25- 55 | 1 | 0 | 0,408 | 1.328,640 | 1.328,640 |
| | 55- 85 | 1 | 0 | 0,385 | 1.412,640 | 1.412,640 |
| | 85-115 | 1 | 0 | 0,365 | 895,200 | 895,200 |
| 1 | 0- 25 | 0,798 | 51,92 | 0,146 | 0,455 | 0,570 |
| | 25- 55 | 1,092 | 45,86 | 0,179 | 1,430 | 1,227 |
| | 55- 85 | 1,840 | 48,62 | 0,200 | 2,689 | 3,201 |
| | 85-115 | 1,008 | 43,82 | 0,211 | 3,361 | 3,334 |
| 2 | 0- 25 | 0,924 | 53,18 | 0,145 | 0,228 | 0,247 |
| | 25- 55 | 1,134 | 50,90 | 0,167 | 0,670 | 0,591 |
| | 55- 85 | 0,966 | 54,92 | 0,181 | 1,340 | 1,387 |
| | 85-115 | 1,155 | 53,90 | 0,192 | 1,681 | 1,455 |
| 3 | 0- 25 | 0,945 | 56,33 | 0,133 | 0,152 | 0,161 |
| | 25- 55 | 1,177 | 54,68 | 0,154 | 0,447 | 0,380 |
| | 55- 85 | 0,923 | 60,00 | 0,163 | 0,896 | 0,971 |
| | 85-115 | 1,386 | 57,68 | 0,176 | 1,120 | 0,808 |
| 4 | 0- 25 | 1,029 | 57,60 | 0,126 | 0,114 | 0,111 |
| | 25- 55 | 1,218 | 58,46 | 0,146 | 0,335 | 0,275 |
| | 55- 85 | 0,840 | 65,00 | 0,154 | 0,672 | 0,800 |
| | 85-115 | 1,554 | 60,20 | 0,169 | 0,840 | 0,541 |
| 5 | 0- 25 | 0,924 | 63,26 | 0,110 | 0,057 | 0,062 |
| | 25- 55 | 1,260 | 60,98 | 0,131 | 0,168 | 0,133 |
| | 55- 85 | 1,092 | 68,78 | 0,138 | 0,336 | 0,308 |
| | 85-115 | 1,974 | 71,54 | 0,152 | 0,420 | 0,213 |

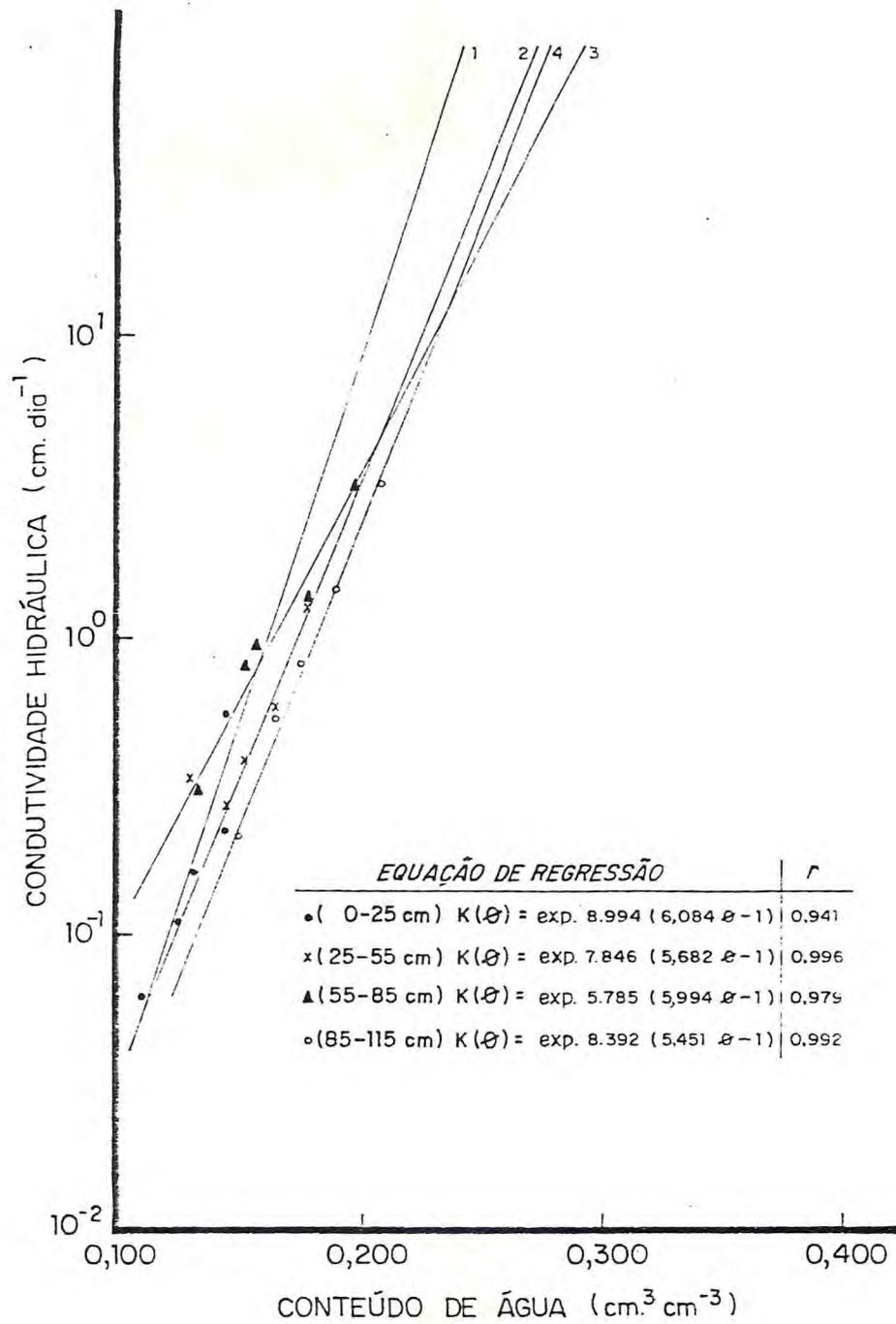


FIGURA 11 - Variação da condutividade hidráulica em função do conteúdo médio de água do solo nas profundidades de 0 — 25cm, 25 — 55cm, 55 — 85cm, 85 — 115cm.

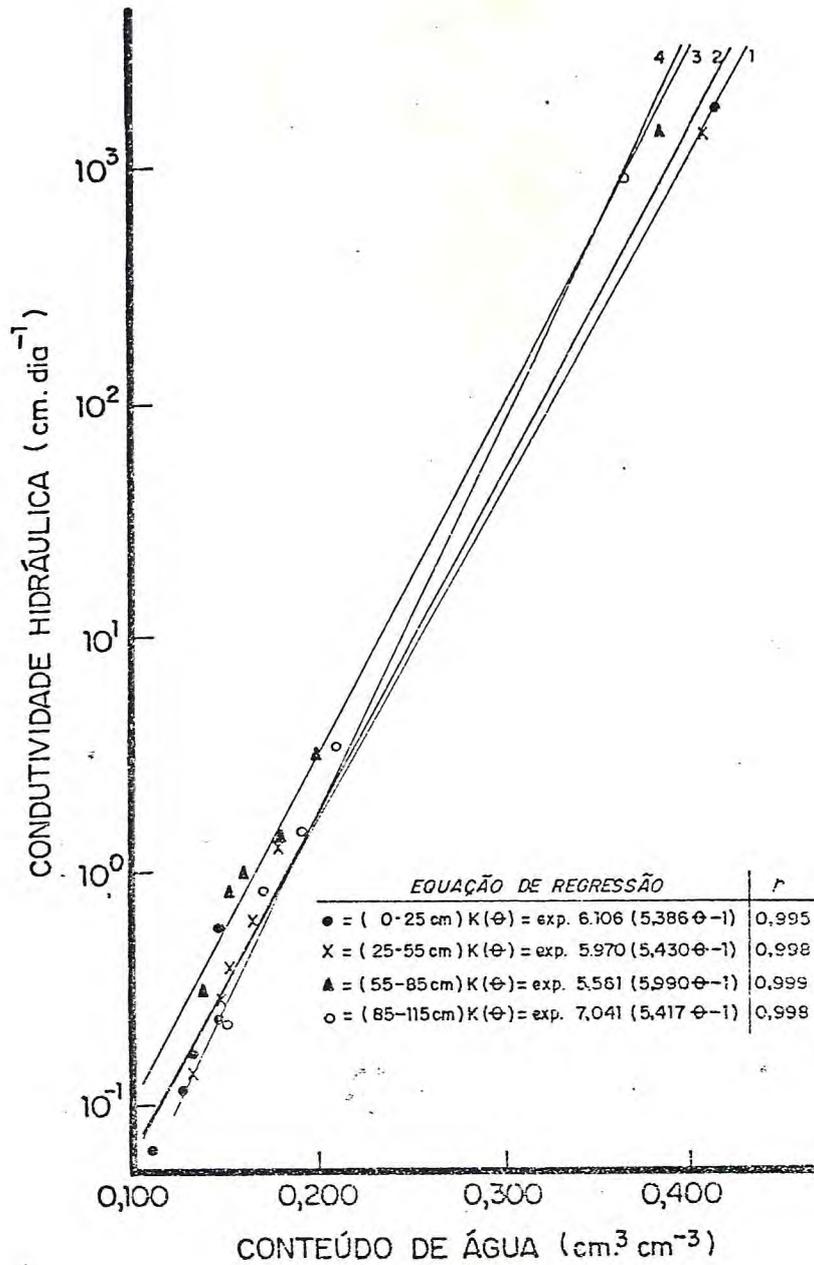


FIGURA 12 - Variação da condutividade hidráulica em função do conteúdo médio de água do solo, a partir da saturação, nas profundidades de 0 — 25cm, 25 — 55cm, 55 — 85cm, 85 — 115cm.

uma variação do conteúdo de água de $0,04$ e $0,05\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para as camadas de $0-25\text{cm}$ e $25-55\text{cm}$ respectivamente e $0,06\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para as camadas $55-85$ e $85-115\text{cm}$.

Considerando ainda as retas da Figura 12, na faixa de valores de conteúdo de água variando de $0,110$ a $0,211\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, verificados durante o processo de redistribuição do 1º ao 8º dia, o valor de K varia de $7,0$ a $0,03\text{cm}.\text{dia}^{-1}$ na camada de $0-25\text{cm}$, de $3,0$ a $0,035\text{cm}.\text{dia}^{-1}$ na camada de $25-55\text{cm}$, de $3,0$ a $0,1$ na camada de $55-85$ e de $3,0-0,03\text{cm}.\text{dia}^{-1}$ na camada de $85-115\text{cm}$.

A análise de regressão linear das curvas da Figura 11 revelou altos coeficientes de correlação, entretanto, essa correlação foi sensivelmente aumentada na Figura 12 com o fator de correlação ($r = 0,995$). Constata-se que no valor de condutividade hidráulica igual a $10^3\text{cm}.\text{dia}^{-1}$, o conteúdo de água das camadas de $0-25\text{cm}$ e $25-55\text{cm}$ foram $0,395$ e $0,390\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ respectivamente, ou seja, com uma diferença de $0,005\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ de água entre ambas. Entretanto, quando K (θ) decresceu para $1,0\text{cm}.\text{dia}^{-1}$, essa diferença continuou praticamente a mesma, o que pode ser explicado pela semelhança das características de textura, porosidade e estrutura destas duas camadas. Igualmente, verificou-se pela inclinação das quatro retas, que as camadas $0-25\text{cm}$ e $25-55\text{cm}$ guardam maior semelhança entre si.

Os valores de condutividade hidráulica em função do potencial matricial nas quatro camadas estudadas se encontram sumarizados na Figura 13. De um modo geral verificou-se que a condutividade hidráulica decresce a medida que diminui o valor do potencial matricial. Comparando as camadas observou-se que a primeira $0-25\text{cm}$, apresenta valores de K superiores aos da quarta camada $85-115\text{cm}$ até valores de potencial matricial em torno de -20cm de H_2O , a partir do qual os valores de K decresceram de modo menos acentuado na quarta camada.

As camadas intermediárias $25-55$ e $55-85\text{cm}$, apresentaram um comportamento similar, com valores maiores de conduti

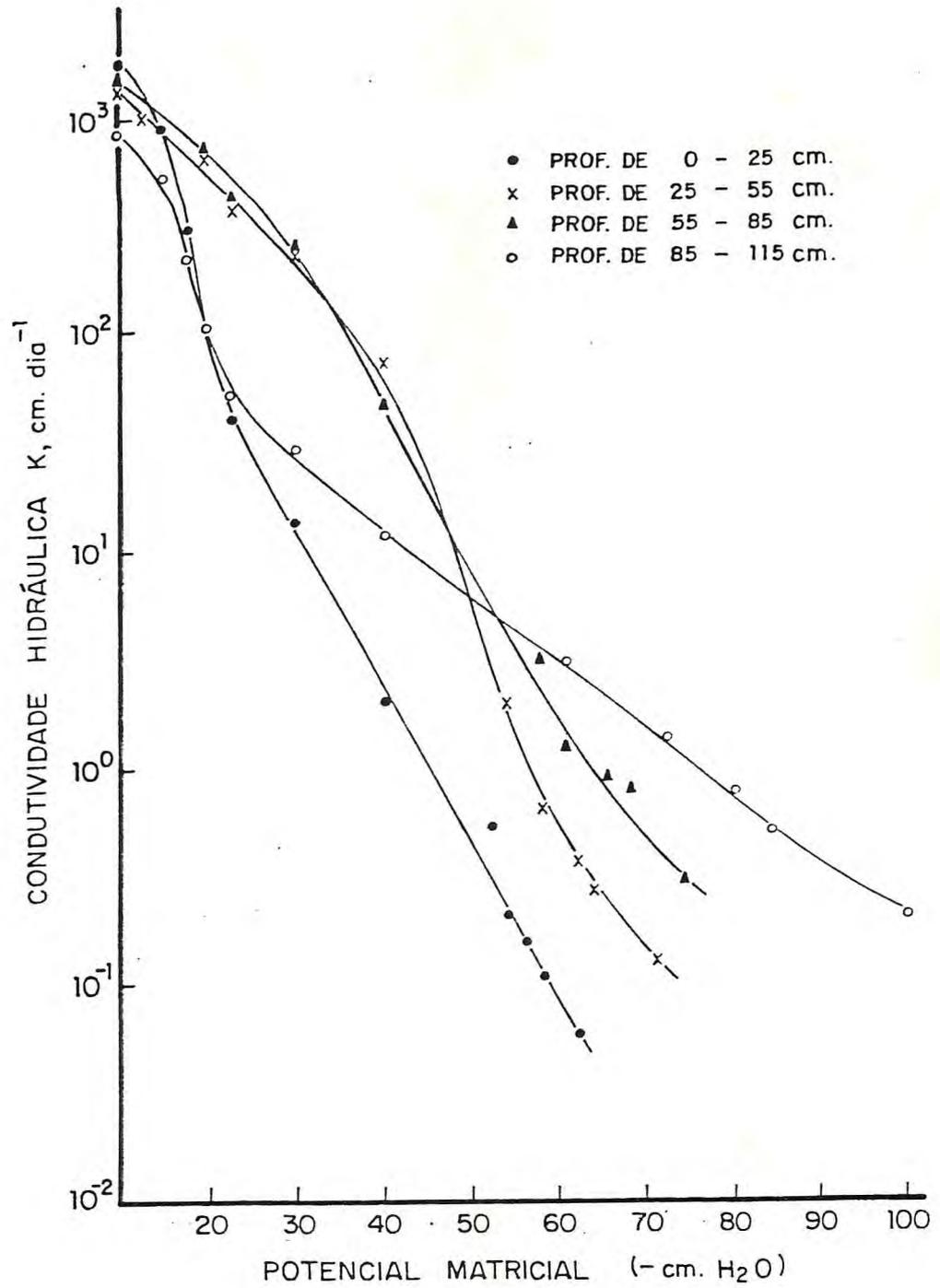


FIGURA 13 - Variação da condutividade hidráulica em função do potencial matricial (-cm, H₂O) nas profundidades de 0 — 25cm, 25 — 55cm, 55 — 85cm e 85 — 115 cm.

vidade em toda faixa de potencial matricial considerada, em relação à primeira. Com relação a última camada, os valores de K foram superiores aos das duas camadas intermediárias a partir do potencial matricial igual a -55cm de H₂O. O comportamento observado entre as diferentes camadas pode ser atribuído a diferenças texturais e ao arranjo das partículas (HILLEL, 1970; REICHARDT, 1975; REICHARDT, 1978).

5 - CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o estudo, a interpretação dos resultados obtidos conduziram às seguintes conclusões:

A profundidade do horizonte A (44cm) e do perfil (150 + cm), o predomínio da fração areia grossa e aumento da argila em profundidade, os baixos níveis de bases trocáveis, de fósforo assimilável, de matéria orgânica e de nitrogênio são as características mais marcantes do perfil do solo estudado.

A distribuição dos poros por tamanho, com predominância de poros de diâmetro maior que 0,003cm nos quatro primeiros horizontes, apresentou influência nos altos valores de condutividade hidráulica do solo saturado e nas características de retenção de água a baixas tensões.

As curvas características de umidade do solo revelaram que o volume de água retida à tensões superiores a 100cm H₂O é reduzido e praticamente invariável com o aumento da tensão, a partir de 2000cm de H₂O.

Os dados da condutividade hidráulica não saturada revelaram decréscimos sensíveis no valor de K com a diminuição do conteúdo de água do solo. Para variação de K em torno de uma ordem de magnitude, θ variou de 0,04 e 0,05cm³.cm⁻³ nas camadas 0-25cm e 25-55cm respectivamente e de 0,06cm³.cm⁻³ nas camadas 55-85cm e 85-115cm. Foram verificados fluxos de grande magnitude no início do processo de redistribuição do 1º ao 8º dia, onde K variou de 7,0 a 0,03cm.dia⁻¹ na camada de 0-25cm, de 3,0 a 0,035cm.dia⁻¹ na camada de 25-55cm, de 3,0 a 0,1cm.dia⁻¹ na camada de 55-85 e 3,5 a 0,03cm.dia⁻¹ na camada de 85-115cm, quando θ variou de 0,110 a 0,211cm³.cm⁻³, deter

minando desta forma baixos valores de armazenamento ao longo do tempo.

As características de retenção e movimento da água determinadas, representam parâmetros fundamentais para os cálculos de irrigação suplementar, quantificação das perdas de água por drenagem profunda e de lixiviação de nutrientes necessários para o manejo adequado desse solo.

6 - LITERATURA CITADA

- BARBOSA, R.O - Retenção de água de um perfil alfissolo do município de Lavras. Lavras, ESAL, 1978. 130p. (Tese de Mestrado).
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p. 374-90.
- BOUMA, J. & ANDERSON, J.L. Relationships between soil structure characteristics and hydraulic conductivity. In: Bruce, R.R.; FLACH, K.W. & TAYLOR, H.M. Field Soil Water Regime. Madison, Soil Science Society of America. 1973.
- BRUCE, R.R. Hydraulic conductivity evaluation of the soil profile from soil water retention relations. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:555-60, 1972.
- COELHO, M.A. Características de umidade de alguns solos de aluvião; Normais, sódicos e sódico-salinos. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1971. 113p. (Tese de Mestrado).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solos. Rio de Janeiro. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1979.
- FREIRE, J.C. Condutividade hidráulica e capacidade de campo de Podzólico Vermelho Amarelo equivalente eutrófico não saturado. Ciênc. Prat., Lavras, 3(2):188-99, 1979.
- _____. Retenção de umidade em perfil oxissolo do município de Lavras, Minas Gerais. Piracicaba, ESALQ, 1975. 76p. (Tese de Mestrado).

- FREIRE, J.C.; SOISA, J.J.; LOPES, A.S.; BAHIA, V.G.; BAHIA, F.C.F. Água disponível em dois solos do município de Lavras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Campinas, 1975. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1975. p. 75-80.
- GAVANDE, S.A. Física de suelos; principios y aplicaciones, México, Limusa, 1973. 351p.
- GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 19(21): 319-28, 1960.
- GROHMANN, F. & MEDINA, H.P. Características de umidade dos principais solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 21(18): 285-95, 1962.
- GROHMANN, F. & CAMARGO, O.A. Influência dos óxidos de ferro livres e matéria orgânica na absorção da água pelo solo. Bragantia, Campinas, 32(10): 203-22, 1973.
- HILLEL, D. Solo e água-Fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre, UFRGS-USAID/WISCONSIN, 1970. 231p.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D. & STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. Soil Sci., 114(5): 395-400, 1972.
- HILLEL, D. & Van BAVEL, C.H.M. Simulation of profile water storage as related to soil hydraulic properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 6(40): 807-15, 1976.
- JACKSON, R.D. On the calculation of hydraulic conductivity Soil Sci. Am. Proc., 36:380-3, 1972.
- JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C. & MEDEIROS, L.A.R. Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, MA-Divisão de Pesquisa Pedalógica, 1973. 2v. (Boletim Técnico, 28). (Série Pedologia, 16).

- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. Part 1. physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. 110p.
- KLUTE, A. The determination of the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. 113:264-276. 1972.
- KUNZE, R.J.; UEHARA, G. & GRAHN, K. Factors important in the calculation of hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32:760-5, 1969.
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2.^a ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo/EMBRAPA-SNLCS, 1982. 42p.
- MARSHALL, T.J. A relation between permeability and size distribution of pores. Soil Sci., 9(1/8), 1958.
- MEDINA, H.P. Água no solo. In: MONIZ, A.C. Elementos de Pedologia. 2a. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1975. p. 45-52.
- MEDINA, H.P. & GROHMANN, F. Contribuição ao estudo da análise granulométrica do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 6., Salvador, 1962. Anais... Rio de Janeiro, Soc. Bra. Ciênc. Solo, 1962. p. 29-38.
- MILLER, D.E. Water retention and flow in layered soil profiles. In: BRUCE, R.R. ed. Field soil water regime. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, 1973. p.
- MILLINGTON, R.J. & QUIRK, J.P. Permeability of porous media. Nature, 183:387-8, 1959.
- MOTA, F.O.B. Retenção de água em perfil alfissolo do município de Mossoró - RN. Piracicaba, ESALQ/USP. 1976. 70p. (Tese de Mestrado).
- MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell color charts. Baltimore, Munsell Company 1954.

- OLIVEIRA, L.B. de & QUEIROZ, E.N. Curvas características de retenção de umidade de solos no Nordeste do Brasil. Pesq. Agropec. Bras. Sér. Agron., Rio de Janeiro, (1):69-75, 1975.
- REGINALDO, J.R. & BAVEL, C.H.M. Van. Pressure cell for soil cores. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26(1):1-3, 1962.
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 3^a ed. Piracicaba, CENA-USP-CNEN/Fundação Cargill, 1975. 286p.
- _____. A água na produção agrícola. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978. 115p.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & NIELSEN, D.R. Unsaturated hydraulic conductivity determination by scaling techniques. Soil Sci. Soc. Am., 120:165-8, 1975.
- RICHARDS, L.A. ed. Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sódicos. 6^a ed. México, Limusa, 1984. 172p.
- SALGADO, L.T. Caracterização físico-hídrica de um perfil de terra roxa estruturada no município de Perdões, M.G. Lavras, ESAL, 1983. 75p. (Tese de Mestrado).
- SAUNDERS, L.C.U. Métodos de determinação e variabilidade espacial da condutividade hidráulica sob condições de campo. Piracicaba, ESALQ. 1978. 71p. (Tese de Mestrado).
- SCARDUA, P. Porosidade livre de água de dois solos do município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ, 1972. 83p. (Tese de Mestrado).
- Van BAVEL, C.H.M.; STIRK, G.G. & BRUST, K.J. Hydraulic properties of a clay loam soil and the field measurement of water uptake by roots. I - interpretation of water content and pressure profiles. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32. 310-7, 1968.

VETTORI, L. Métodos de análises de solos. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, MA. Rio de Janeiro, 1969. 24p. (Bol. Téc., 7).

WINKLER, E.I.G. & GOEDERT, W.J. Características hídricas dos solos de Pelotas, Rio Grande do Sul. Pesq. Agropec. Bras. Sér. Agron., Rio de Janeiro, 7:1-4, 1972.