

# RETENÇÃO DE ÁGUA EM PERFIL ALFISSOL DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ - RN

FRANCISCO OCIAN BASTOS MOTA

Orientador: Prof. Dr. Rubens Scardua

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Outubro, 1976

Aos meus pais e irmãos,  
pelo apoio e incentivo em  
todas as etapas de minha  
formação educacional,

D E D I C O

## AGRADECIMENTOS

O autor manifesta seus agradecimentos as seguintes pessoas e instituições:

- Ao Prof. Dr. Rubens Scardua pela orientação segura, amiga e humana em todas as fases de execução deste trabalho.
- Ao Dr. Antônio Carlos Moniz por ter colocado a nossa disposição o laboratório de mineralogia do IAC, para a execução das análises mineralógicas.
- Ao Prof. Dr. Antônio Fernando L. Olitta pelas sugestões e críticas na fase de redação do trabalho.
- Ao Prof. Dr. José Luiz I. Demattê pela ajuda na classificação do solo.
- Ao Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos pela versão ao inglês do resumo.
- Aos Srs. José Solon Alves, Airton José Bigeli e Wanderley Brajão pela colaboração nas análises de laboratório e datilografia do trabalho.
- À Escola Superior de Agricultura de Mossoró-RN, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" pelos ensinamentos ministrados.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.
- A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram conosco.

## Í N D I C E

	Página
RESUMO .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Relações de energia da água do solo .....	3
2.2. Fatores que afetam a retenção de água pelo solo ....	5
2.2.1. Textura, matéria orgânica e natureza da ar- gila .....	5
2.2.2. Estrutura do solo .....	9
2.3. Curvas características de retenção de água .....	11
2.4. Intervalo da faixa de água disponível .....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1. Material .....	16
3.1.1. Solo .....	16
3.2. Métodos .....	19
3.2.1. Coleta das amostras .....	19
3.2.2. Preparo das amostras de solo .....	19
3.2.3. Métodos físicos de análise .....	19
3.2.3.1. Análise granulométrica .....	19
3.2.3.2. Argila natural e índice de floclula ção .....	20
3.2.3.3. Densidade do solo - Ds .....	20
3.2.3.4. Densidade de partículas - Dp .....	21
3.2.3.5. Volume total de poros - VTP .....	21
3.2.4. Métodos químicos de análise .....	21

	Página
3.2.4.1. Carbono orgânico .....	21
3.2.4.2. Óxidos de ferro livre .....	22
3.2.4.3. Condutividade elétrica .....	22
3.2.4.4. pH em água e em KCl normal .....	22
3.2.4.5. Ataque pelo ácido sulfúrico .....	22
3.2.5. Minerais de argila .....	23
3.2.5.1. Pré-tratamento e separações para as análises das amostras .....	23
3.2.5.2. Identificação dos argilo-minerais..	25
3.2.6. Plano experimental .....	26
3.2.6.1. Retenção de água nas amostras dos vários horizontes .....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1. Classificação do solo .....	29
4.2. Características e propriedades do solo .....	34
4.3. Retenção de água nos vários horizontes do solo .....	35
4.4. Intervalo de água disponível .....	56
4.5. Correlações entre retenção de água e alguns fatores do solo que afetam o seu valor .....	57
5. CONCLUSÕES .....	61
6. SUMMARY .....	62
7. LITERATURA CITADA .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Tensões, Tipo de Amostra e Aparelhos Utilizados no Experimento .....	26
2	Análise granulométrica dos vários horizontes, expressa em % de T.F.S.E., de acordo com o sistema internacional de classificação (média de 3 repetições) .....	30
3	Valores de densidade de partículas, densidade do solo, volume total de poros e análise qualitativa de argilo-minerais .....	31
4	Complexo sortivo determinado nos horizontes do perfil (média de 3 repetições) .....	32
5	Características químicas determinadas nos horizontes do perfil (média de 2 repetições) .....	33
6	Umidade em % de T.F.S.E., obtida por secagem nas diversas tensões empregadas, nas amostras dos horizontes estudados (média de 3 repetições) .....	50
7	Análise de variância da retenção de água, nas amostras dos horizontes estudados .....	51
8	Correlações entre teores de água retida nas diversas tensões com: % argila, % carbono, % silte, % areia grossa, % areia fina e % $Fe_2O_3$ livre .....	58

## Tabela

## Página

9	Correlações entre valores de água disponível compreendidos nas tensões 0,06 - 15 atm, 0,10 - 15 atm, 0,33 - 15 atm, com: % argila, % carbono, % silte, % areia grossa, % areia fina e % $\text{Fe}_2\text{O}_3$ livre.....	59
---	--	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Curva característica de umidade do horizonte $A_p$ , obtida por secagem .....	36
2	Curva característica de umidade do horizonte $A_2$ , obtida por secagem .....	37
3	Curva característica de umidade do horizonte $B_1$ , obtida por secagem .....	38
4	Curva característica de umidade do horizonte $B_{21t}$ , obtida por secagem .....	39
5	Curva característica de umidade do horizonte $B_{22t}$ , obtida por secagem .....	40
6	Curva característica de umidade do horizonte $B_{31t}$ , obtida por secagem .....	41
7	Curva característica de umidade do horizonte $B_{32t}$ , obtida por secagem .....	42
8	Difratograma da fração argila de amostra orientada do horizonte $A_p$ . .....	43
9	Difratograma da fração argila de amostra orientada do horizonte $A_2$ . .....	44
10	Difratograma da fração argila de amostra orientada do horizonte $B_1$ . .....	45
11	Difratograma da fração argila de amostra orientada do horizonte $B_{21t}$ . .....	46



Figura		Página
12	Difratograma da fração argila de amostra orientada do horizonte B <sub>22t</sub> .....	47
13	Difratograma da fração argila de amostra orientada do horizonte B <sub>31t</sub> .....	48
14	Difratograma da fração argila de amostra orientada do horizonte B <sub>32t</sub> .....	49

## R E S U M O

Usando-se amostras de sete horizontes de um perfil Alfissol do município de Mossoró - RN, determinou-se a propriedade retenção de água em 16 tensões diferentes, desde a tensão de 0,001 atm considerada como umidade de saturação, até a tensão de 15,0 atm, fixa da como o possível limite inferior da faixa de disponibilidade de água para as plantas. Para as tensões de 0,001 a 0,1 atm foram utilizados torrões estruturais, enquanto que, para as demais tensões, em pregou-se terra fina seca ao ar. A curva característica de umidade para cada horizonte foi obtida por secamento, e os aparelhos utilizados foram, a unidade de sucção para tensões de 0,001 a 0,1 atm e as placas porosas de Richards para as tensões acima de 0,1 atm. O de lineamento estatístico empregado foi o de experimentos inteiramente

casualizados, com três repetições, e sendo considerados tratamentos os horizontes e tensões. Determinou-se também, correlações entre a água retida nas várias tensões com os percentuais de argila, carbono, silte, areia grossa, areia fina e óxidos de ferro livre e entre água armazenada nas faixas de 0,06 a 15, 0,10 a 15 e 0,33 a 15 atm, com os mesmos constituintes citados.

Os resultados obtidos permitiram verificar haver diferença significativa na retenção de água entre horizontes e subhorizontes genéticos, bem como entre tensões e interação horizonte/tensão. Concluiu-se também, haver pouca disponibilidade de água para as plantas a partir de 1,0 atm, e que as variações acentuadas nas retenções entre os horizontes A e B, foram devidas à diferença no teor de colóides existente nesses horizontes.

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um dos componentes mais importantes no metabolismo de todo ser vivo. A grande maioria das espécies vegetais têm o solo como suporte mecânico de sustentação. A água utilizada por esses seres provem do solo, no entanto, sabe-se, que nem toda água presente está em condições de ser prontamente utilizada pelas plantas.

O estudo das relações água-energia nos vários horizontes ou camadas que formam o perfil de um determinado solo específico, é de fundamental importância no aspecto de disponibilidade de água para os vegetais. Várias são as características e propriedades do solo que podem influenciar nessas relações tais como: teor de argila, natureza do argilo-mineral, conteúdo de matéria orgânica, estrutura, distribuição de poros por tamanho, entre outras, fazendo com que cada solo e cada horizonte ou camada do mesmo, apresente diferentes aspectos de retenção de água.

A grande importância prática da retenção de água do solo, como pesquisa básica, está relacionada com a irrigação. Tal fato é destacado por GUERRA (1970), ao discutir os problemas de irrigação no Nordeste do Brasil, onde ele destaca a necessidade da pesquisa básica como um subsídio imprescindível no desenvolvimento dos projetos de irrigação.

A ausência de pesquisas dessa natureza no município de Mossoró-RN, justificou a realização da presente investigação científica, cujos objetivos principais são: a) verificar o comportamento da retenção de água em amostras dos vários horizontes de um perfil alfisol, representativo do município de Mossoró-RN, pelo estabelecimento das curvas de retenção de água; b) explicar as variações que ocorrem na retenção da água nos diversos horizontes; c) e como consequência principal fornecer subsídios para possíveis projetos de irrigação, os quais constituem metas prioritárias do Governo para a região Nordeste do Brasil.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A retenção de água sendo uma propriedade que varia de solo para solo, está na dependência de uma série de fatores inerentes a esse corpo natural. Vários são os trabalhos já publicados e que versam sobre o referido problema, embora na região Nordeste do Brasil sejam raras as pesquisas dessa natureza.

Na presente revisão o assunto será subdividido em: relações de energia da água do solo, fatores que afetam a retenção de água, curvas características de retenção de água e intervalo da faixa de água disponível.

### 2.1. Relações de energia da água do solo

Os estudos mais modernos da água do solo são unânimes em afirmar que a água é a mesma em qualquer posição e tempo dentro

do solo, visto que ela não difere na forma mas sim em seu estado de energia. Sendo o solo um meio poroso onde a água se movimenta e é armazenada, torna-se fácil compreender o aspecto dinâmico da mesma no que se refere às relações solo-água-planta.

Para se avaliar o estado de energia da água do solo, a norma mais simples consiste em se determinar a umidade existente associada com a força de retenção, e representar esta dependência através de curvas características da água do solo.

Segundo TAYLOR et alii (1961), a importância da avaliação das relações de energia da água do solo, justifica-se, pelo fato da movimentação da água no solo e na planta ser uma função de diferenças de potencial ou energia. Por outro lado, de acordo com os mesmos autores, a resposta das plantas à umidade depende diretamente do trabalho necessário para removê-la do solo.

As forças responsáveis pelo estado de energia da água do solo são representadas quantitativamente pelo seu potencial total. Este por sua vez consiste de uma série de componentes tais como: componente de pressão, gravitacional, osmótico e matricial. O componente térmico pode ser desprezado, visto que, os processos que ocorrem no solo podem ser considerados isotérmicos.

O componente matricial, que resulta de forças capilares e de adsorção como consequência da interação entre a água e a matriz sólida do solo, é um dos mais importantes e está diretamente relacionado com o teor de água, uma vez que, quanto mais elevado ele for, maior

será a umidade. Ao contrário dos componentes de pressão e gravitacional, o potencial matricial tem sua descrição matemática muito complexa e sua determinação é feita experimentalmente por meio de tensiômetros ou aparelhos de pressão ou sucção (REICHARDT, 1975).

De acordo com COELHO (1971), o termo potencial é usado para caracterizar a energia potencial capaz de realizar trabalho, e, uma vez que, para retirar a água do solo é necessário realizar trabalho, o seu potencial é negativo. Por sua vez, GARDNER (1965), afirma que o potencial total da água do solo, quando referido a unidades de pressão, será igual mas de sinal contrário à tensão total da água do solo.

As unidades usadas para expressar a energia potencial são: energia por unidade de massa, energia por unidade de volume e energia por unidade de peso. Na determinação do potencial matricial da água do solo a norma corrente é expressá-la em energia/unidade de volume, que possui dimensões de pressão (atm, bar, dina/cm<sup>2</sup>, etc.), possibilitando a leitura direta através de manômetros usados nos principais aparelhos utilizados na sua medição (HILLEL, 1970 e REICHARDT, 1975).

## 2.2. Fatores que afetam a retenção de água pelo solo

### 2.2.1. Textura, matéria orgânica e natureza da argila

Vários são os fatores do solo que podem afetar a sua



retenção de água, assim é que GROHMANN e MEDINA (1962), propõem que a quantidade de água retida pelo solo depende principalmente do teor e natureza da fração argila e do seu percentual em matéria orgânica, sendo que a influência desta torna-se mais acentuada quando o perfil do solo é homogêneo em relação a textura.

Segundo KELLEY (1954), a textura, estrutura, profundidade e uniformidade do solo, são fatores que afetam a quantidade de água armazenada no solo e disponível para as plantas.

De acordo com SALTER e WILLIAMS (1965), as diferenças nos aspectos de retenção de água dentro de uma classe textural podem ser devidas a variações estruturais, pequenas diferenças na textura e teor de matéria orgânica. Eles encontraram ainda, que a retenção de água a 0,33 e 15 atm aumentava dos solos arenosos para os solos argilosos.

Segundo ALI et alii (1966), a retenção de água depende do teor e tipo de argila e da quantidade de matéria orgânica, cuja importância é mais ou menos acentuada dependendo do tipo de solo. Eles encontraram correlações positivas e significativas entre a água retida a 0,1, 0,33 e 15 atm com os percentuais de argila e limo das amostras estudadas.

Ao estudar as características de retenção de água de alguns solos da Costa Rica, GAVANDE (1968), concluiu que as diferenças encontradas foram devidas às variações nos percentuais de argila, limo, areia fina e matéria orgânica.

PETERSEN et alii (1968), encontraram correlações negativas entre umidade disponível com areia e argila e positiva com limo. Concluíram também haver associação entre carbono orgânico e umidade a 15 atm, não se verificando o mesmo para a tensão de 1/3 de atm. MACLEAN e YAGER (1972), obtiveram correlações positivas entre limo, carbono orgânico e retenção de água nas camadas superficiais e entre areia fina e água retida, nas camadas mais profundas. Por sua vez KIVISAARI (1971), encontrou correlação positiva entre água disponível e conteúdo de argila menor que 30%, e com partículas com diâmetros compreendido na faixa de 2 a 60µm. Percentuais de argila menores do que 20%, afetaram grandemente a quantidade de água retida a 15 atm.

Correlacionamento entre conteúdo de argila e água retida a 15 e 0,33 atm, bem como correlação negativa entre água retida a 1/3 atm e areia grossa, foram verificados por SALTER e WILLIAMS (1969).

Conforme GOEDERT e FORMOSO (1970), citados por WINKLER e GOEDERT (1972), a boa capacidade de retenção dos solos Gley não está associada somente ao alto teor de argila, mas sim, à presença predominante de argilo-minerais do tipo 2:1. Do mesmo modo SERRANO (1972), procura explicar a baixa capacidade de retenção de água de solos ferrolíticos e fersialíticos, como consequência da predominância nesses solos de argilo-minerais de grade 1:1 e óxidos de ferro e alumínio.

COELHO(1971), encontrou que os valores mais elevados de água disponível foram observados nos solos de textura média e relacionados ao teor de silte.

WINKLER e GOEDERT (1972), concluíram haver boa relação entre textura e a retenção de água em três solos no Rio Grande do Sul. Por sua vez FREIRE (1975), no estudo de um perfil oxissol verificou que a participação da argila, limo e óxidos de ferro livre, nas variações de retenção de água entre os horizontes foi mínima, sendo que a influência da matéria orgânica foi mais acentuada nos horizontes superficiais e nas baixas tensões.

De acordo com BAVER (1972), a dilatação das argilas coloidais está relacionada com sua mineralogia e com a natureza dos cations trocáveis na superfície. A embebição dos distintos minerais diminui ao diminuir a hidratação segundo a ordem: vermiculita > montmorilonita > illita > caulinita. O elevado poder de embebição de algumas argilas (montmorilonita por exemplo), em comparação com outras argilas coloidais, indica que a montmorilonita adsorve grande quantidade de água, como resultado de forças associadas com as superfícies internas localizadas entre as suas unidades estruturais.

REEVE et alii (1973), verificaram que a retenção a baixas tensões está mais correlacionada ao teor de matéria orgânica e distribuição de poros por tamanho, enquanto que a retenção à tensão de 15 bar está mais na dependência do teor de argila.

De uma maneira geral, a maioria dos autores apontam a textura e matéria orgânica como os principais fatores responsáveis pela retenção de água, visto que, a própria estrutura, que é a responsável pela geometria do espaço poroso do solo, está na dependência dessas duas características do solo (THOMPSON 1965, BUCKMAN e BRADY 1968

e MEDINA (1975).

### 2.2.2. Estrutura do solo

Do ponto de vista físico, o conceito de estrutura mais funcional é o proposto por BRADFIELD, contido em LOW (1954), que diz: estrutura é o arranjo das partículas sólidas no solo. Esse conceito define uma geometria de poros e pode ser avaliado pelas propriedades relacionadas, entre as quais a retenção de água.

A influência da estrutura do solo na retenção de água, é mais acentuada em baixas tensões, pois nessa faixa o potencial matricial da água do solo está mais na dependência de fenômenos capilares do que de forças de adsorção. Tal fato, faz com que, a retenção de água seja afetada pela geometria da amostra, e nesse caso, a distribuição de poros por tamanho assume grande importância. Para altos valores de tensão as forças de adsorção são mais atuantes, e o potencial matricial da água do solo praticamente não depende da estrutura, sendo mais influenciado pela textura e superfície específica do solo (HILLEL, 1970 e REICHARDT, 1975).

RICHARDS e FIREMAN (1943), afirmam que a alteração das amostras de solo induz a um aumento na retenção de água em tensões menores que 1,0 atm. Resultados semelhantes foram obtidos por COELHO (1971), ao verificar que as curvas características de umidade relativas à amostra destorroada e a amostra com estrutura não alterada, apre

sentaram diferenças, principalmente em amostras de textura fina e para valores de tensão inferiores a 1,0 atm.

Curvas diferentes de retenção de água foram também obtidas por RICHARDS e WADLEIGH (1952), ao utilizarem amostras de solos com estrutura alterada e não alterada. Tal efeito foi observado apenas em baixas tensões.

O efeito da estrutura na retenção de água pelo solo é mencionado por MARCOS (1968), ao analisar o horizonte Ap de duas séries de solos do município de Piracicaba-SP, onde ele verificou que a retenção de água nos solos, era afetada pela estrutura nas tensões abaixo de 0,1 atm.

Por sua vez SCARDUA (1972), ao estudar também solos do município de Piracicaba-SP, concluiu que as alterações oriundas da deformação das amostras de solo, afetam a retenção de água a baixas tensões, para tanto devem ser evitadas as amostras deformadas para tensões abaixo de 0,2 atm.

JACCOUD e CASTRO (1974), verificaram que o efeito da estrutura na capacidade de retenção de água, é mais frequente nos solos de textura média do que nas texturas extremas; comprovaram também, que a influência estrutural é mais acentuada nas baixas tensões, sendo que nas altas tensões diferenças de retenção em amostras deformadas e indeformadas não foram significativas. Os métodos de amostragem estudados comprovaram que as amostras com estrutura indeformada coletada em anel, não diferiram em termos de retenção de água daquelas obtidas na forma

de torrões, dentro da faixa de água disponível.

### 2.3. Curvas características de retenção de água

As curvas características de retenção de água, apresentam como vantagem principal o fato de mostrar o aspecto dinâmico da água do solo. Por outro lado, como até o momento não existe nenhuma teoria satisfatória para previsão da curva característica de umidade, REICHARDT (1975), a mesma é determinada experimentalmente e constitui uma característica específica de cada solo, ou mesmo de cada horizonte ou camada do seu perfil.

Segundo GARDNER (1960), a curva característica de retenção de água, geralmente corresponde àquela obtida por secamento, visto que, a sucção durante a remoção da água do solo pelas plantas, segue esta curva mais do que qualquer outra.

Uma outra particularidade das curvas de retenção de água, é que as mesmas refletem a distribuição de poros por tamanho, uma vez que, a aplicação de determinada sucção "h", fornece o tamanho aparente dos poros esvaziados do solo. Os macroporos retêm a água fracamente, enquanto que os microporos a retêm com mais força (GROHMANN, 1960 e NAAR e WYGAL, 1962).

GROHMANN e MEDINA (1962), estudando quatro solos representativos do Estado de São Paulo, verificaram que nos solos com baixo percentual de argila, não há praticamente variação de umidade sob ten

sões de 3, 8, 15 e 20 atm, concluíram também, que as maiores variações no teor de água, ocorrem entre as tensões de 0,1 a 1,0 atm.

WINKLER e GOEDERT (1972), verificaram não haver praticamente água disponível a tensões superiores a 1,0 atm, em solos Vermelho Amarelo Podzolizados. Em Planossolos isso se verifica sob tensões superiores a 3,0 atm, enquanto que em solos Gley, as curvas são descendentes até 5,0 atm de tensão, havendo água disponível em toda faixa de retenção, até 15 atm.

Curvas de retenção de água em solos do Nordeste do Brasil, foram determinadas por OLIVEIRA e QUEIROZ (1974), onde observaram que a tendência à horizontalidade das curvas dos vários horizontes dos perfis analisados, começa à tensão de cinco atmosferas para Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, Terra Roxa Estruturada Eutrófica e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, enquanto que para Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico essa tendência ocorre a partir de duas atmosferas.

FREIRE (1975), ao estudar retenção de umidade em perfil Oxissol, concluiu que os teores de água retidos acima de 5 atm, não diferiram significativamente entre si em todos os horizontes, sendo que as maiores variações de umidade ocorreram nas tensões abaixo de 0,3 atm e as menores nas tensões acima de 3,0 atm.



#### 2.4. Intervalo da faixa de água disponível

O conceito de disponibilidade da água do solo para as plantas, no estágio atual de conhecimento teórico de seu estado no solo, na planta e na atmosfera, está a mostrar que a quantidade de água absorvida pelas plantas não é uma função somente do seu potencial no solo. Aspectos inerentes à planta bem como condições ambientais podem influir grandemente no problema. Assim, fatores do sistema solo-planta-atmosfera como um todo, tais como: textura, estrutura, fertilidade, condutividade hidráulica, difusividade, relações umidade-tensão, aptidão fisiológica da planta, estágio de desenvolvimento da planta, profundidade e densidade do sistema radicular, déficit de saturação, vento e radiação disponível, são, na realidade, os processos que norteiam a água disponível para os vegetais (REICHARDT, 1975).

Por outro lado, em razão da dificuldade que se encontra na prática para caracterizar todos os fatores envolvidos na disponibilidade de água para as plantas, os parâmetros capacidade de campo e ponto de murchamento permanente, ainda continuam sendo largamente utilizados nos estudos de física do solo e projetos de irrigação. Embora as tensões de 1/3 e 15 atm, sejam as mais usadas na identificação dos limites da faixa de água disponível, o valor da energia para esses dois pontos da curva de retenção, provenientes de estudos de correlação, apresenta variação segundo os diversos autores.

Estudos efetuados por FRANZMEIER et alii (1960), mostraram melhor correlação entre capacidade de campo e tensão de 0,06 atm do que com 0,33 atm, em 161 solos de textura variada, MARCOS (1971), estudando oxissolos, obteve resultados semelhantes, ao verificar que para esses so-



los a água retida a 0,06 atm era uma estimativa mais adequada da capacidade de campo.

OLIVEIRA e MELLO (1971), estimam a capacidade de campo em um valor pouco mais elevado do que 0,06 atm, em um perfil de solo podzozolizado.

THOMASSON e ROBSON (1967), apontam o valor de 0,5 atm como correspondente à capacidade de campo.

A energia de retenção na capacidade de campo corresponde a valores entre 0,05 e 0,2 atm (GRADWELL, 1968).

PETERSEN et alii (1968), consideram a água retida sob as tensões de 1/3 e 15,0 atm como limite superior e inferior da água disponível para os vegetais, enquanto que MACLEAN e YAGER (1972), concordam com o limite inferior, mas consideram o limite superior como a água retida a 0,1 ou 0,05 atm de tensão.

RIVERS e SHIPP (1972), atribuem a tensão de 1/10 de bar, como correspondente à capacidade de campo em estudo de disponibilidade de água em solos arenosos.

MEDINA (1975), leva em consideração a textura e teor de matéria orgânica do solo, como critérios básicos na avaliação da energia de retenção na capacidade de campo. Para solos muito argilosos e orgânicos, ele considera água retida a 1,0 atm, solos argilosos e barrentos água retida a 1/3 atm, solos limosos e arenosos água retida a 1/10 atm. A energia do ponto de murchamento é considerada em todos os casos como água retida a 15,0 atm. Do mesmo modo, HILL, citado por GRADWELL (1968), recomenda que a capacidade de campo deve ser estimada à tensão de 0,1 atm em solos arenosos e a 0,3 atm em solos argilosos.

RICHARDS e WEAVER (1943), encontraram estreita correlação entre o método fisiológico e água retida a 15 atm, com a relação umidade de de murchamento versus umidade a 15 atm, sendo da ordem de 1,14.

RICHARDS e WEAVER (1944), comprovaram que de um total de 71 amostras analisadas, 64 delas, tinham a umidade a 15 atm situada na faixa de murchamento permanente.

Segundo GARDNER (1960), o ponto de murchamento permanente ocorre numa faixa de energia compreendida entre 10 e 20 atm.

OLIVEIRA (1966), estudando solos do Nordeste do Brasil, encontrou alta correlação entre o método fisiológico e a água retida a 15,0 atm em 108 amostras analisadas. A relação umidade de murchamen-to e umidade a 15 atm foi de 0,90.

Para a maioria das plantas mesófitas, o ponto de murcha-mento permanente situa-se no intervalo de 10 a 25 atm (KOHNKE, 1968).

Diante dessa controvérsia de opiniões a respeito dos valores da energia de retenção nos limites superior e inferior da faixa de disponibilidade, a obtenção da curva de retenção de água, parece ser uma das melhores soluções para se avaliar a disponibilidade dessa substância para os vegetais, pois segundo RICHARDS e WADLEIGH (1952), a tensão com que a água disponível é retida no solo, certamente, tem maior influência nas funções biológicas da planta do que a quantidade total de água disponível.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Material

##### 3.1.1. Solo

O solo utilizado na presente pesquisa pertence ao gran de grupo Podzólico Vermelho Amarelo, sendo bastante representativo do município de Mossoró-RN, conforme dados do Mapa Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte (1968). De acordo com a 7a. aproximação do Soil Survey Staff (1967), ele é classificado como pertencendo a ordem Alfissol.

O perfil estudado, está localizado no campus experimental da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), e apresenta

as características morfológicas a seguir, segundo descrição de MOTA e FERNANDES<sup>a/</sup>.

A<sub>p</sub> - 0 - 8 cm; bruno para bruno escuro (10YR 4/3, úmido); areia; grãos individuais com tendência para granular; solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e abrupta.

A<sub>2</sub> - 8 - 20 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); areia; grãos individuais; solto, não-plástico e não pegajoso; transição ondulada e clara.

B<sub>1</sub> - 20 - 42 cm; vermelho escuro (2.5YR 3/6, úmido); franco argilo arenoso; fraca, média em blocos sub-angulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e clara.

B<sub>21t</sub> - 42 - 87 cm; vermelho escuro (2.5YR 3/6, úmido); franco argilo arenoso; moderada, média a grande em blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca nos poros e nas faces dos agregados; firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e difusa.

---

a/ FRANCISCO OCIAN BASTOS MOTA e VERA LÚCIA BAIMA FERNANDES, professores do Departamento de Química e Tecnologia - Setor de Solos, da Escola Superior de Agricultura de Mossoro-RN.

B<sub>22t</sub> - 87 - 118 cm; vermelho escuro (2.5YR 3/6, úmido); mosqueado pouco médio e distinto bruno amarelado (10YR 5/8, úmido); argila arenosa; moderada, média a grande em blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e difusa.

B<sub>31t</sub> - 118 - 185 cm; vermelho (10 R 4/6, úmido); franco argilo arenoso; fraca, média em blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca nos poros; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e difusa.

B<sub>32t</sub> - 185 - 200 cm; vermelho (10R 4/6, úmido); mosqueado comum médio e distinto de vermelho (2.5YR 5/8, úmido) e cinzento brunado claro (10YR 6/2, úmido); franco argilo arenoso; fraca, média em bloco subangulares; cerosidade pouca e fraca nos poros; friável, plástico e ligeiramente pegajoso. Presença de plinthite na parte inferior do horizonte.

Raízes; muitas em Ap, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub> e comuns em B<sub>21t</sub>

Cascalhos: presença em todos os horizontes de cascalhos de quartzo muito finos e limpos de filmes de argila.

## 3.2. Métodos

### 3.2.1. Coleta das amostras

Foram coletadas em cada horizonte amostras com estrutura deformada e indeformada, sendo que estas últimas foram obtidas na forma de torrões ou unidades estruturais.

### 3.2.2. Preparo das amostras de solo

As amostras com estrutura deformada e indeformada colhidas em cada horizonte, foram secadas ao ar, antes de serem submetidas a qualquer tipo de tratamento ou análise. Aquelas com estrutura alterada foram ainda destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura de malha(T.F.S.A.). Após esse preparo inicial as mesmas foram acondicionadas em sacos de algodão e etiquetadas, onde foram conservadas e posteriormente usadas durante o experimento.

### 3.2.3. Métodos físicos de análise

#### 3.2.3.1. Análise granulométrica

Foi realizada pelo Método da pipeta, utilizando-se NaOH N com dispersante, levando-se em consideração aos resultados obtidos por OLIVEIRA (1966).

O separado areia grossa foi determinado por peneiramento, enquanto que as frações argila e silte foram obtidas por sedimentação de acordo com a lei de Stokes, citada em BAVER (1972). A fração areia fina foi obtida por diferença. A classificação das partículas separadas pela análise granulométrica, foi feita segundo o sistema internacional, adotado pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo e contido em BAVER (1972).

#### 3.2.3.2. Argila natural e índice de floculação

A argila natural ou dispersa em água, foi também obtida pelo método da pipeta, porém sem a utilização de solução química dispersante.

De posse dos resultados da argila total (dispersada com NaOH) e da argila natural, calculou-se o índice de floculação (IF) segundo a fórmula:

$$IF = \frac{\% \text{ argila total} - \% \text{ argila natural}}{\% \text{ argila total}} \times 100$$

#### 3.2.3.3. Densidade do solo - D<sub>s</sub>

A densidade do solo foi determinada pelo método da balança hidrostática, utilizando-se torrões capeados com parafina aquecida na faixa de 70-80°C. A marcha analítica utilizada na determina-

ção da densidade do solo foi a descrita por BLAKE (1965).

#### 3.2.3.4. Densidade de partículas - $D_p$

Foi obtida pelo método do picnômetro, usando-se 10g de terra fina seca em estufa (TFSE), água destilada isenta de oxigênio solúvel e picnômetro com volume de 50 ml, de acordo com o método recomendado por BLAKE (1965).

#### 3.2.3.5. Volume total de poros - VTP

O volume total de poros foi calculado com os valores de  $D_s$  e  $D_p$ , através da equação:

$$VTP\% = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \cdot 100$$

### 3.2.4. Métodos químicos de análise

#### 3.2.4.1. Carbono orgânico

Adotou-se o método proposto por Tiurim e modificado por VETTORI (1969), que consiste na oxidação da matéria orgânica pelo ion bicromato de potássio 0,4 N e titulação do excesso com sulfato ferroso amoniacal 0,1 N.



#### 3.2.4.2. Óxidos de ferro livre

Consistiu na extração com citrato de sódio 0,3 M, bicarbonato de sódio 1 M e uma grama de ditonito de sódio e determinação fotocolorimétrica do extrato tratado com água oxigenada a 30%, ácido clorídrico 6 N e tiocinato de potássio a 20%. O padrão foi feito com  $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , contendo 40  $\mu\text{g}$  de Fe por 1 ml (JACKSON, 1969).

#### 3.2.4.3. Condutividade elétrica

Foi determinada no extrato de saturação, utilizando-se uma ponte salina tipo solubridge com escala de leitura direta em mmhos/cm a 25°C. Antes de serem feitas as leituras das amostras, determinou-se a constante da célula com solução padrão (RICHARDS, 1954).

#### 3.2.4.4. pH em água e em KCl normal

Foi determinado na suspensão solo-água e solo - KCl N na relação 1:2,5 e tempo de contato de uma hora (VETTORI, 1969).

#### 3.2.4.5. Ataque pelo ácido sulfúrico

Utilizou-se 2,0g de TFSA, 50 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  de peso específico 1,47 e fervura sob refluxo durante uma hora, determinando-se os

teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , conforme VETTORI (1969). De posse dos resultados obtidos, calculou-se as relações moleculares  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Ki) e  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (Kr).

#### 3.2.4.6. Complexo sortivo

Através da determinação individual dos cations trocáveis,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+++}$  obteve-se o complexo sortivo do solo, seguindo-se a metodologia descrita por VETTORI (1969). O cálcio, magnésio e alumínio foram extraídos com KCl N; potássio e sódio com ácido clorídrico 0,05 N e hidrogênio + alumínio com acetato de cálcio normal ajustado a pH 7,0. O somatório das bases trocáveis (S) o valor T e a percentagem de saturação de bases (V%), foram determinados através das expressões:

$$S = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na} \text{ em emg/100g solo}$$

$$T = S + \text{H}^+ + \text{Al}^{++} \text{ em emg/100g solo e}$$

$$V\% = 100S/T$$

#### 3.2.5. Minerais de argila

##### 3.2.5.1. Prê-tratamento e separações para as análises das amostras

Tomou-se aproximadamente 20g de T.F.S.A. e adicionou-se

uma solução tamponada a pH 5,0 e água oxigenada, de acordo com a metodologia descrita por JACKSON (1969), visando a eliminação da matéria orgânica e manganês.

A remoção dos óxidos de ferro livre foi feita com ditionito - citrato - bicarbonato de sódio, conforme o método descrito por MEHRA e JACKSON (1969). Após a remoção dos óxidos de ferro livre as amostras foram lavadas tantas vezes quanto necessárias com NaCl 0,5 N, visando-se a floculação da argila e sifonação do sobrenadante contendo o ferro complexado.

Estando as amostras isentas de matéria orgânica, manganês e óxidos de ferro livre, procedeu-se a separação do silte + argila, das frações mais grosseiras, utilizando-se uma peneira de abertura de malha de 0,053 mm. A suspensão contendo silte + argila foi levada para tubos de centrífuga e a fração argila (menor de  $2\mu\text{m}$ ), foi separada a 750 rpm durante 3 minutos em uma centrífuga marca internacional nº 2.

Obtida a suspensão de argila, tratou-se uma alíquota da mesma com  $\text{Mg Cl}_2\text{N}$ , para a eliminação dos acetatos, segundo recomendações de JACKSON (1969). Foram feitas cinco saturações com íons magnésio em centrífuga a 1800 rpm durante 5 minutos. O excesso de sal foi eliminado através de lavagens com água destilada, álcool etílico + água destilada, e álcool etílico, também sob centrifugação. A eliminação completa dos cloretos foi verificada com  $\text{AgNO}_3$  a 1%.

As amostras que foram submetidas ao aquecimento de 350°C e 550°C, foram saturadas com KCl em vez de MgCl<sub>2</sub>, seguindo-se recomendações de JACKSON (1969). O procedimento de saturação com KCl foi idêntico ao descrito para MgCl<sub>2</sub>.

As amostras saturadas com magnésio, ainda úmidas, foram tratadas com etileno glicol e orientadas preferencialmente em lâminas de vidro tipo microscópicas. As saturadas com potássio também foram orientadas preferencialmente e aquecidas a 350 e 550°C.

Após os tratamentos já mencionados, as lâminas contendo a argila orientada, foram irradiadas com raios-X no intervalo de 2 a 28°C, em aparelho com tubo de cobre e filtro de níquel.

#### 3.2.5.2. Identificação dos argilo-minerais

Obtidos os difratogramas das lâminas irradiadas, a identificação dos minerais de argila foi feita baseada nos trabalhos de BRINDLEY (1955) e JACKSON (1969), de acordo com os espaçamentos interplanares característicos de cada mineral.

#### 3.2.6. Plano Experimental

As amostras de solo coletadas em cada horizonte do perfil, foram avaliadas em termos de retenção de água de acordo com o esquema apresentado na tabela 1. A retenção de água foi determinada em

Tabela 1 - Tensões, Tipo de Amostra e Aparelhos Utilizados no Experimento.

Tensão (atm)	Tipo de Amostra	Aparelho
0,001		
0,005		
0,01	Indeformada	Unidade de Sucção
0,02	(torrões)	(Funis com Placa Porosa)
0,04		
0,06		
0,08		
0,10		
0,20		
0,33		
0,70		
1,00	Deformada	Placa Porosa de
3,00	(T.F.S.A.)	Richards
5,00		
8,00		
15,00		

dezesseis tensões diferentes para cada horizonte. A tensão de 0,001 atm foi considerada como unidade de saturação e a de 15 atm como o possível ponto de murchamento permanente ou limite inferior da faixa de disponibilidade de água para as plantas.

Todas as amostras foram submetidas às tensões com três repetições e o delineamento estatístico utilizado foi o de experimentos inteiramente casualizados conforme contido em GOMES (1966). Foram também estabelecidas correlações entre a retenção de água do solo e alguns fatores que a afetam.

#### 3.2.6.1. Retenção de água nas amostras dos vários horizontes

As determinações da retenção de água nas amostras dos vários horizontes foram feitas através da unidade de sucção, por meio de coluna de água, GROHMANN (1960) e utilizando o aparelho de pressão de placa porosa de RICHARDS (1943). A saturação das amostras foi feita com água destilada e diretamente sobre os aparelhos empregados na determinação, no caso a placa porosa de Richards e funis com placa porosa produzidos por JENA GLASS, tipo 2504, de porosidade média. O tempo de saturação foi de 24 horas, mantendo-se o nível de água sobre a placa constante. Após a completa saturação, as amostras foram submetidas às respectivas tensões, uma de cada vez. Ao ser atingido o equilíbrio em cada tensão empregada, as amostras foram pesadas e secas em

estufa na faixa de 105 a 110°C por um período nunca inferior a 24 horas. Os teores de água retida pelas amostras dos diversos horizontes, foram avaliados em percentagem de peso com relação ao peso do solo seco em estufa.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Classificação do solo

De acordo com os dados analíticos apresentados nas tabelas 2, 3, 4 e 5 e descrição morfológica de campo, classificou-se o solo estudado como Typic Plinthustalf, argiloso, caolinítico, hipertérmico, segundo os critérios da Soil Taxonomy (1975), considerando-se o horizonte B<sub>22t</sub> como seção de controle. Conforme os dados do Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte (1968), ele foi classificado como Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico abruptico plínthico A fraco textura arenosa/argilosa cascalhenta.

A identificação do solo através desses dois sistemas de classificação, é de primordial importância para a extrapolação dos resultados de retenção de água obtidos, para outros locais do município de Mossoró, onde ocorram essas mesmas unidades taxonômicas.



Tabela 2 - Análise granulométrica dos vários horizontes, expressa em % de T.F.S.E., de acordo com o sistema internacional de classificação (média de 3 repetições).

Horizonte	Prof. (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila natural	Índice de Flocu- lação
A <sub>p</sub>	0 - 8	65,16	27,70	4,41	2,73	0,63	76,92
A <sub>2</sub>	8 - 20	65,80	27,63	3,64	2,93	1,20	59,04
B <sub>1</sub>	20 - 42	46,60	25,10	5,30	23,00	5,56	69,11
B <sub>21</sub> <sub>t</sub>	42 - 87	45,90	18,86	7,51	27,73	5,46	80,31
B <sub>22</sub> <sub>t</sub>	87 -118	38,16	18,33	7,85	35,66	4,80	86,53
B <sub>31</sub> <sub>t</sub>	118 -185	51,63	15,96	8,91	23,50	3,80	83,82
B <sub>32</sub> <sub>t</sub>	185 -200	46,43	18,93	9,81	24,83	4,70	81,07

Tabela 3 - Valores de densidade de partículas, densidade do solo, volume total de poros e análise qualitativa de argilo-minerais.

Horizonte	Prof. (cm)	$D_p^a/$ g/cm <sup>3</sup>	$D_s^a/$ g/cm <sup>3</sup>	VTP %	Argilo-Minerais <sup>b/</sup>
A <sub>p</sub>	0-8	2,59	1,71	34,08	caulinita, mica e montmorilonita
A <sub>2</sub>	8-20	2,62	1,81	31,00	" " " "
B <sub>1</sub>	20-42	2,61	1,54	41,16	" " " "
B <sub>21<sub>t</sub></sub>	42-87	2,61	1,53	41,30	" " " "
B <sub>22<sub>t</sub></sub>	87-118	2,62	1,42	45,66	" " " "
B <sub>31<sub>t</sub></sub>	118-185	2,60	1,53	41,23	" " " "
B <sub>32<sub>t</sub></sub>	185-200	2,59	1,41	45,68	" " " "

a/ média de 3 repetições.

b/ obtida por difração de raios-X

Tabela 4 - Complexo sortivo determinado nos horizontes do perfil (média de 3 repetições).

Horizonte	Prof. (cm)	e.mg/100g solo								V %
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	S	T	
A <sub>p</sub>	0-8	3,16	0,86	0,19	0,05	1,18	0,00	4,26	5,44	78,31
A <sub>2</sub>	8-20	2,18	0,55	0,20	0,05	0,91	0,00	2,98	3,89	76,61
B <sub>1</sub>	20-42	3,06	2,47	0,30	0,08	1,54	0,01	5,91	7,45	79,33
B <sub>21</sub> <sub>t</sub>	42-87	2,75	2,51	0,23	0,12	1,65	0,01	5,61	7,27	77,17
B <sub>22</sub> <sub>t</sub>	87-118	3,04	3,54	0,16	0,16	1,54	0,01	6,90	8,45	81,66
B <sub>31</sub> <sub>t</sub>	118-185	2,65	2,76	0,16	0,16	0,56	0,01	5,73	6,30	90,95
B <sub>32</sub> <sub>t</sub>	185-200	2,84	3,17	0,12	0,19	0,27	0,00	6,32	6,59	95,90

Tabela 5 - Características químicas determinadas nos horizontes do perfil (média de 2 repetições).

Horizonte	Prof. (cm)	C %	CE mmhos. cm <sup>-1</sup> a 25°C	Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d=1,47(%)			Ki	Kr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Livre %	pH	
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				H <sub>2</sub> O	KCl
A <sub>p</sub>	0-8	0,50	0,33	13,41	10,20	2,60	2,23	1,92	1,97	7,00	6,10
A <sub>2</sub>	8-20	0,26	0,21	1,68	1,78	0,90	1,60	1,21	0,31	7,00	5,90
B <sub>1</sub>	20-42	0,24	0,28	8,64	6,63	1,80	2,22	1,89	1,20	6,40	5,10
B <sub>21t</sub>	42-87	0,26	0,26	2,15	1,53	0,90	2,39	1,74	0,29	6,20	5,10
B <sub>22t</sub>	87-118	0,19	0,28	7,59	5,86	1,60	2,20	1,87	1,07	6,40	5,40
B <sub>31t</sub>	118-185	0,16	0,20	9,93	8,41	2,10	2,01	1,73	1,54	6,60	5,30
B <sub>32t</sub>	185-200	0,14	0,20	7,83	5,61	1,50	2,37	2,03	1,13	6,60	5,40

## 4.2. Características e propriedades do solo

Os resultados contidos na tabela 2, mostram a existência de uma variação textural abrupta entre os horizontes A e B, com o máximo de acumulação da fração argila localizando-se nos horizontes  $B_{21t}$  e  $B_{22t}$ . Os teores de silte com exceção do horizonte  $A_2$ , crescem a medida que a profundidade aumenta no perfil. A maior acumulação de argila nos horizontes  $B_{21t}$  e  $B_{22t}$ , explica-se pela própria natureza do solo, visto que, a existência de cerosidade em tais horizontes, caracteriza a formação de um B argílico e presença de argila eluvial.

Os valores de densidade, volume total de poros e mineralogia da fração argila podem ser observados na tabela 3. Os maiores valores encontrados nos dois horizontes superficiais para a densidade do solo, denotam a influência dos seus teores mais elevados da fração areia, o que reflete-se em um baixo volume total de poros para ambos. A densidade de partículas apresenta pequena variação ao longo do perfil, com o baixo percentual de carbono orgânico encontrado em todos os horizontes, não tendo praticamente influência nos resultados obtidos para essa característica.

A mineralogia da fração argila determinada por difração de raios-X, pode ser vista nas figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14. A uniformidade observada em todas as camadas do perfil e a presença de argilo-minerais do tipo 2:1, evidenciam a relativa pouca intemperização do solo, embora os horizontes mais superficiais provavelmente devam apresentar maiores percentuais de argilo-minerais 1:1. Tal aspecto pode ser

explicado com base no trabalho de JACKSON (1948), onde uma de suas principais generalizações diz, que, à medida que nos dirigimos para a superfície do solo o intemperismo aumenta, ou seja, quanto mais próximo a rocha, maior percentual de minerais de argila menos intemperizados ou de grade 2:1.

As tabelas 4 e 5 mostram as principais propriedades químicas do solo. O teor de carbono orgânico é baixo em todos os horizontes, o que mostra a ação marcante das condições semiáridas da região na oxidação da matéria orgânica do solo.

A condutividade elétrica do extrato de saturação também é baixa nos vários horizontes o que confirma a pouca participação do componente osmótico no potencial total da água do solo.

A percentagem de saturação de bases elevada em todo o perfil, indica uma baixa lixiviação dessas bases, em razão das condições de precipitação reinantes no município serem inferiores à evaporação.

#### 4.3. Retenção de água nos vários horizontes do solo

As curvas características de umidade para os diversos horizontes do perfil estão apresentadas nas figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. A tabela 7 mostra a análise de variância dos resultados de retenção de água, onde destaca-se o baixo coeficiente de variação, indicando uma boa precisão do experimento. A umidade associada com cada tensão, e expressa em percentagem com relação ao peso do solo seco em estufa, está apresentada na tabela 6.

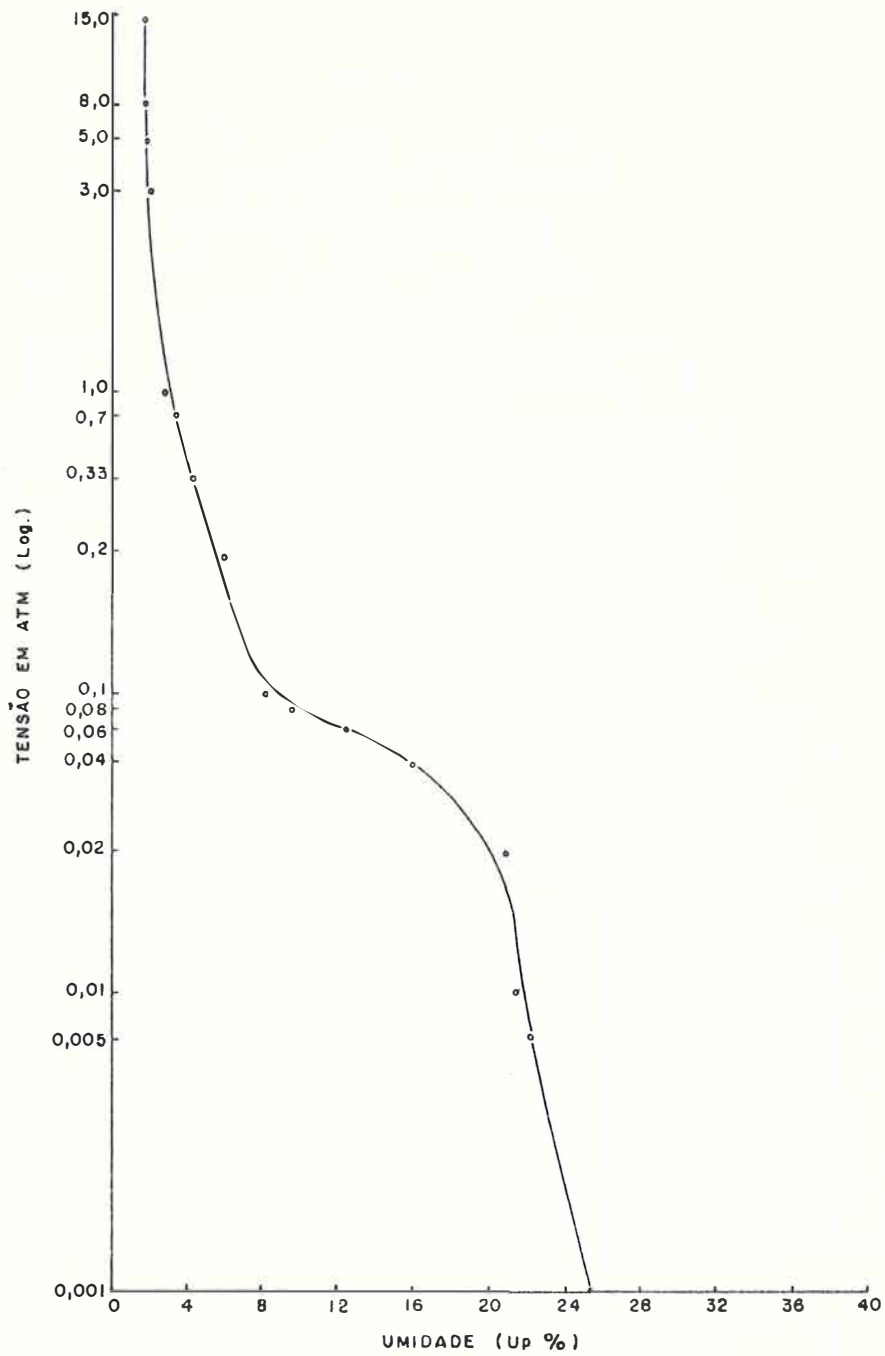


Fig. 1 - Curva característica de umidade do horizonte  $A_p$ , obtida por secagem.

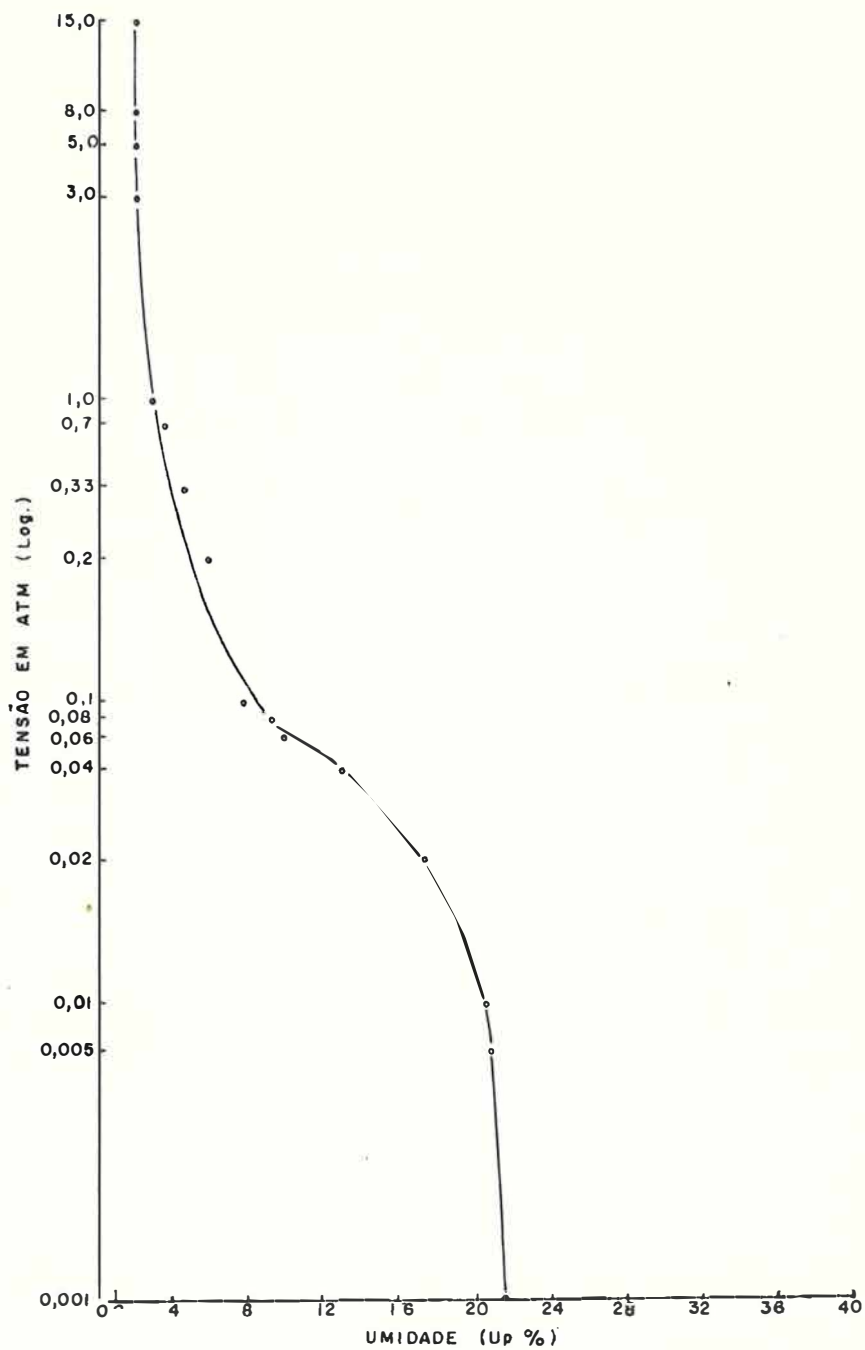


Fig. 2 - Curva característica de umidade do horizonte A<sub>2</sub>, obtida por secagem.



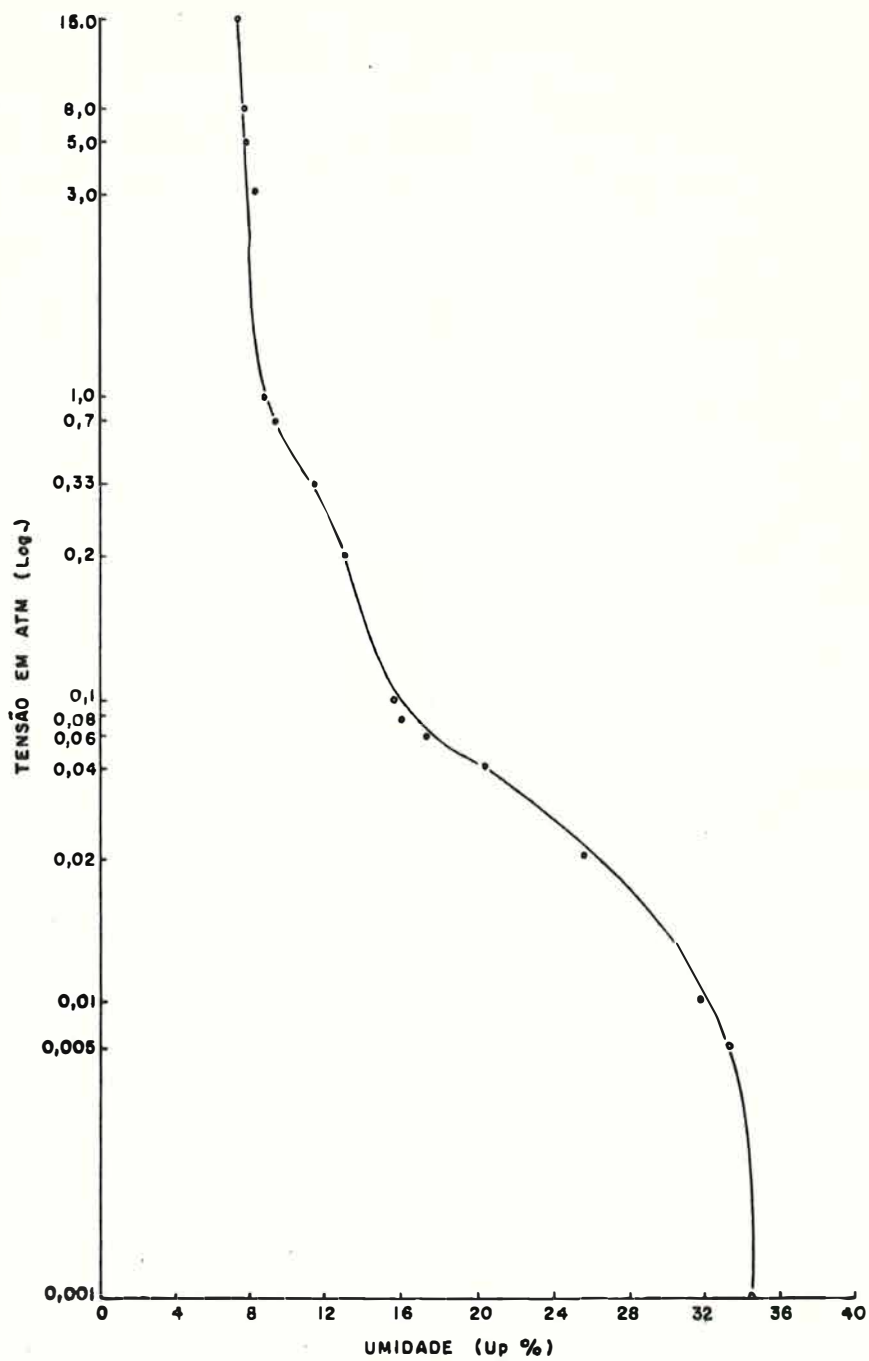


Fig. 3 - Curva característica de umidade do horizonte B<sub>1</sub>, obtida por secagem.

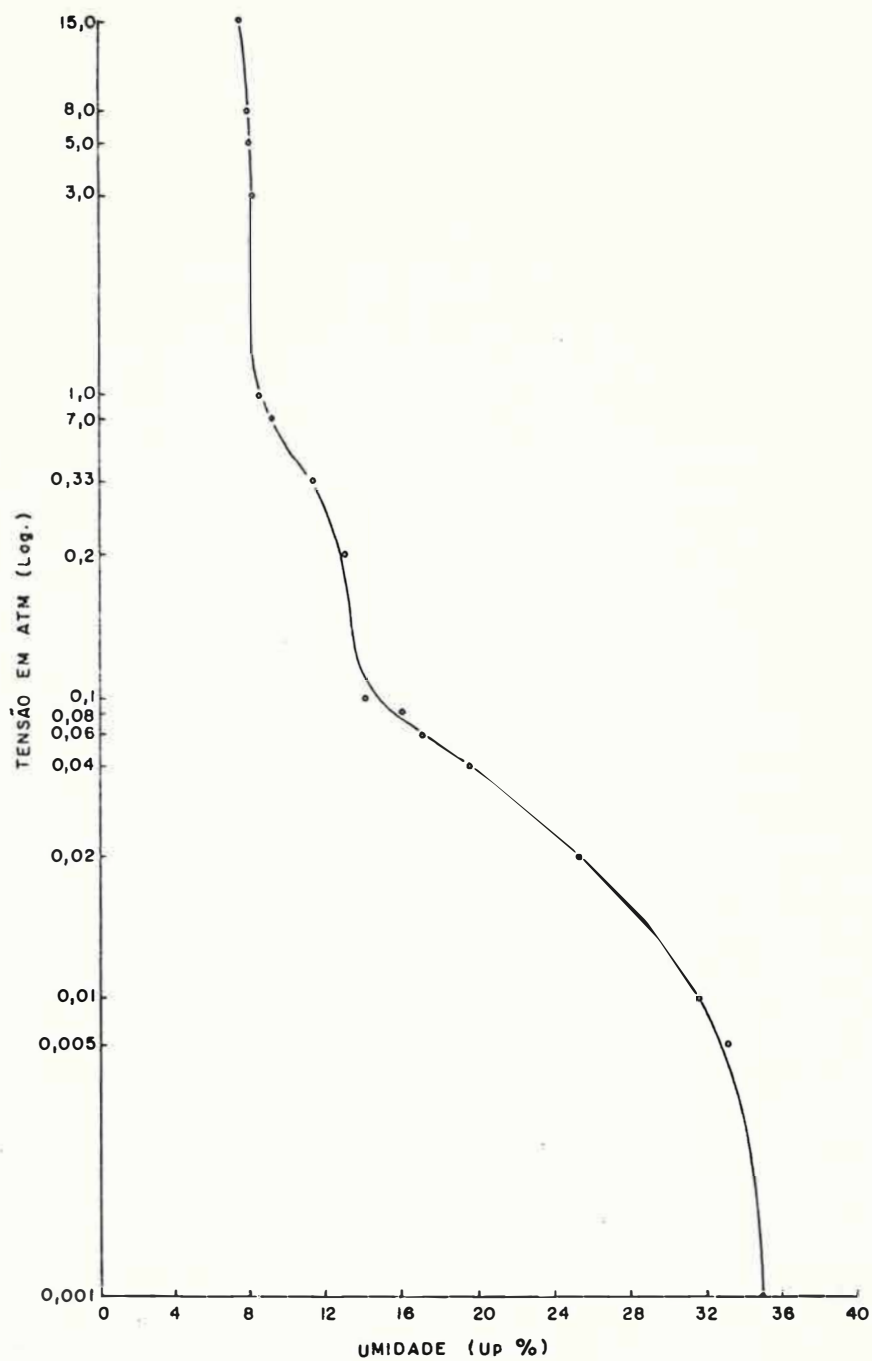


Fig. 4 - Curva característica de umidade do horizonte B<sub>21t</sub>, obtida por secagem.

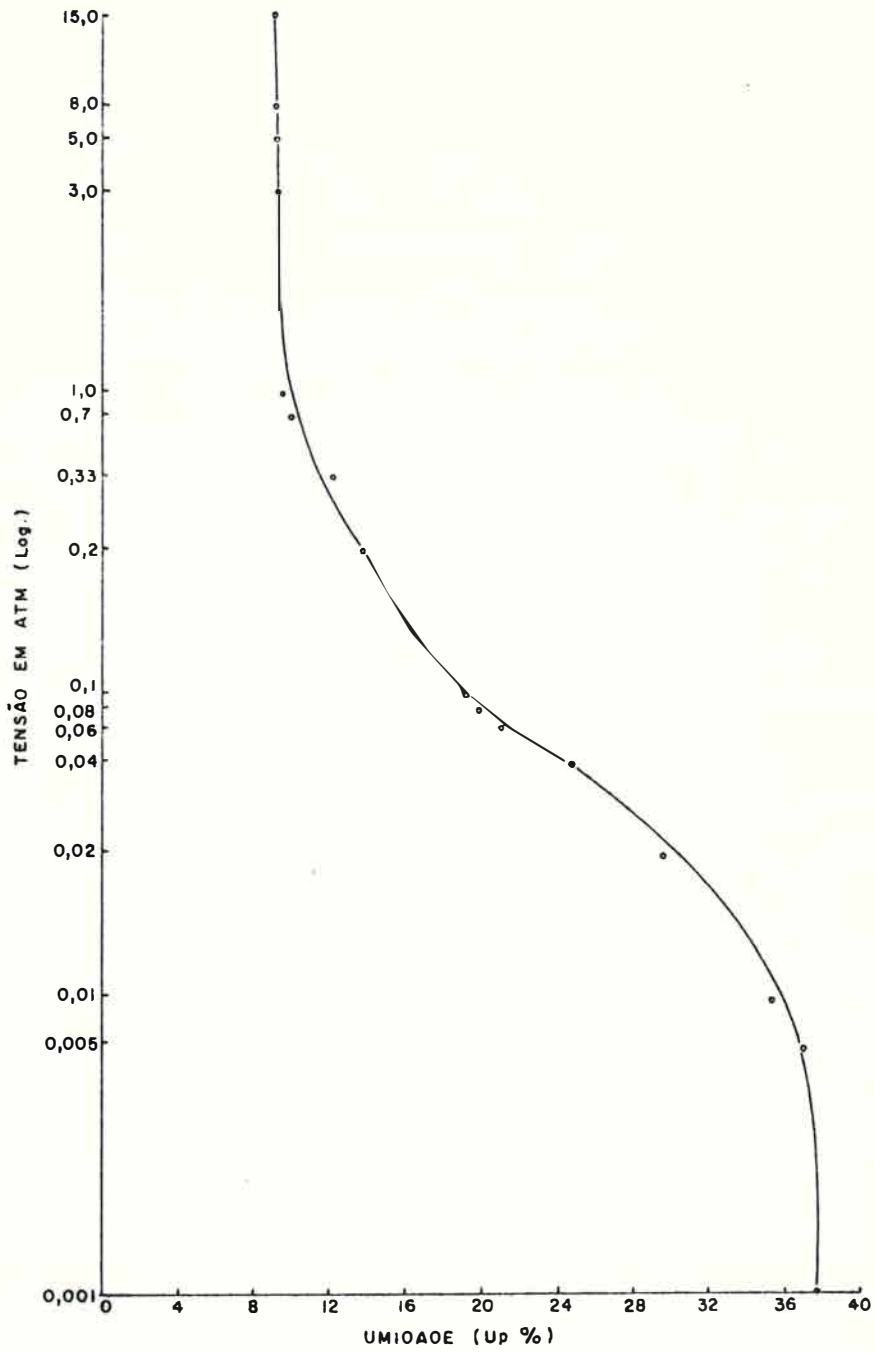


Fig. 5 - Curva característica de umidade do horizonte B<sub>22t</sub>, obtida por secagem.

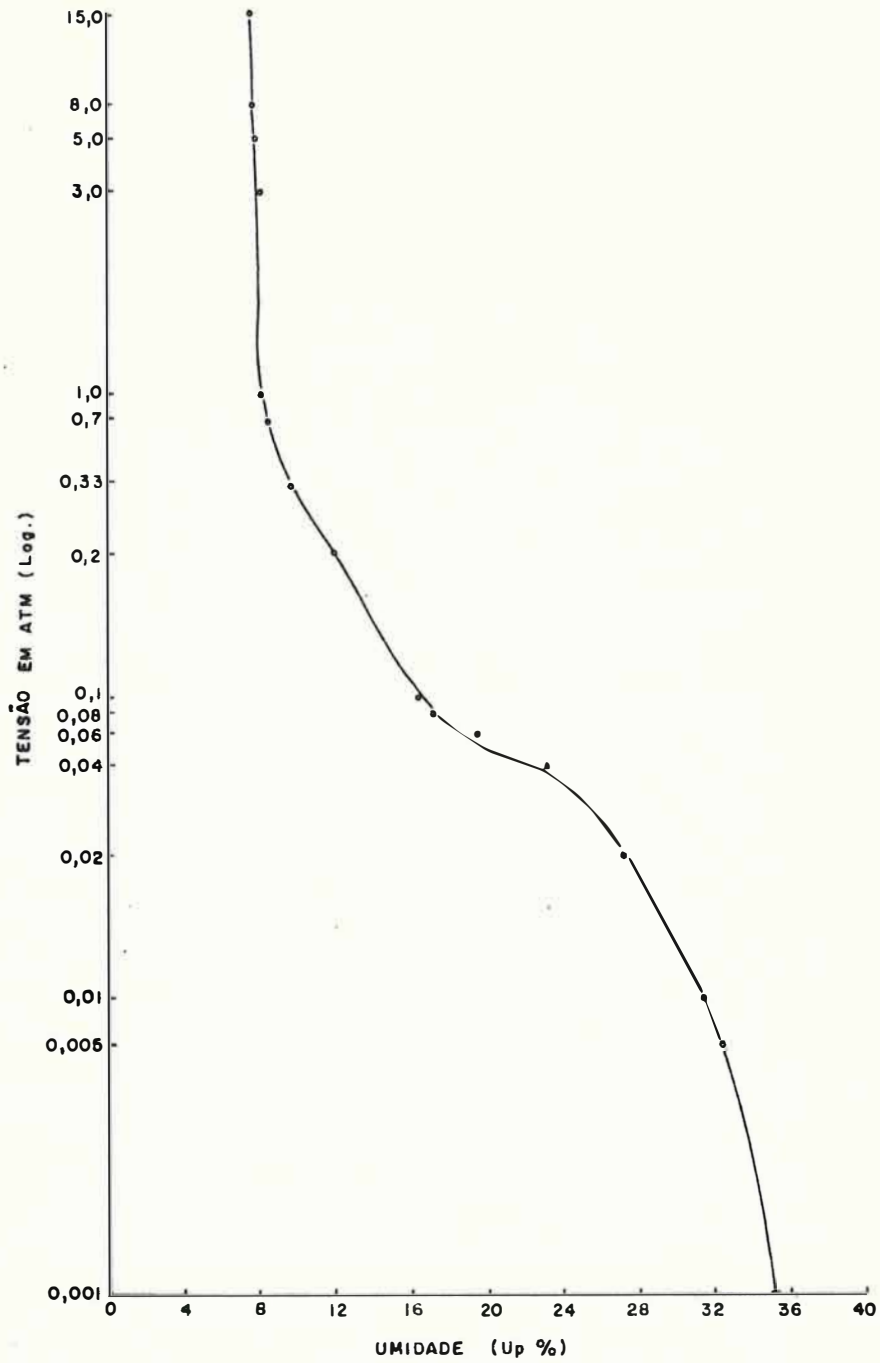


Fig. 6 - Curva característica de umidade do horizonte B<sub>31t</sub>, obtida por secagem.

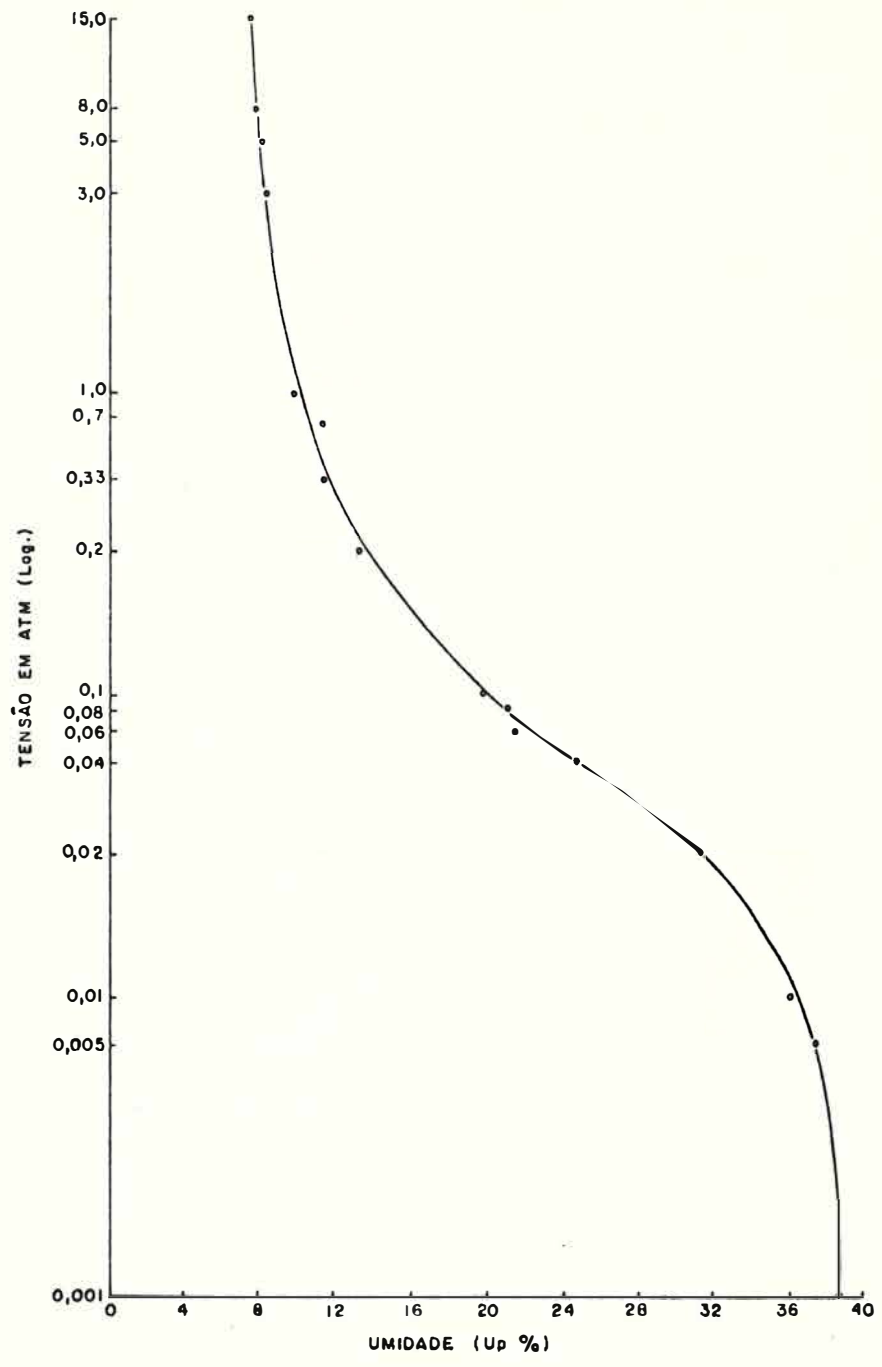
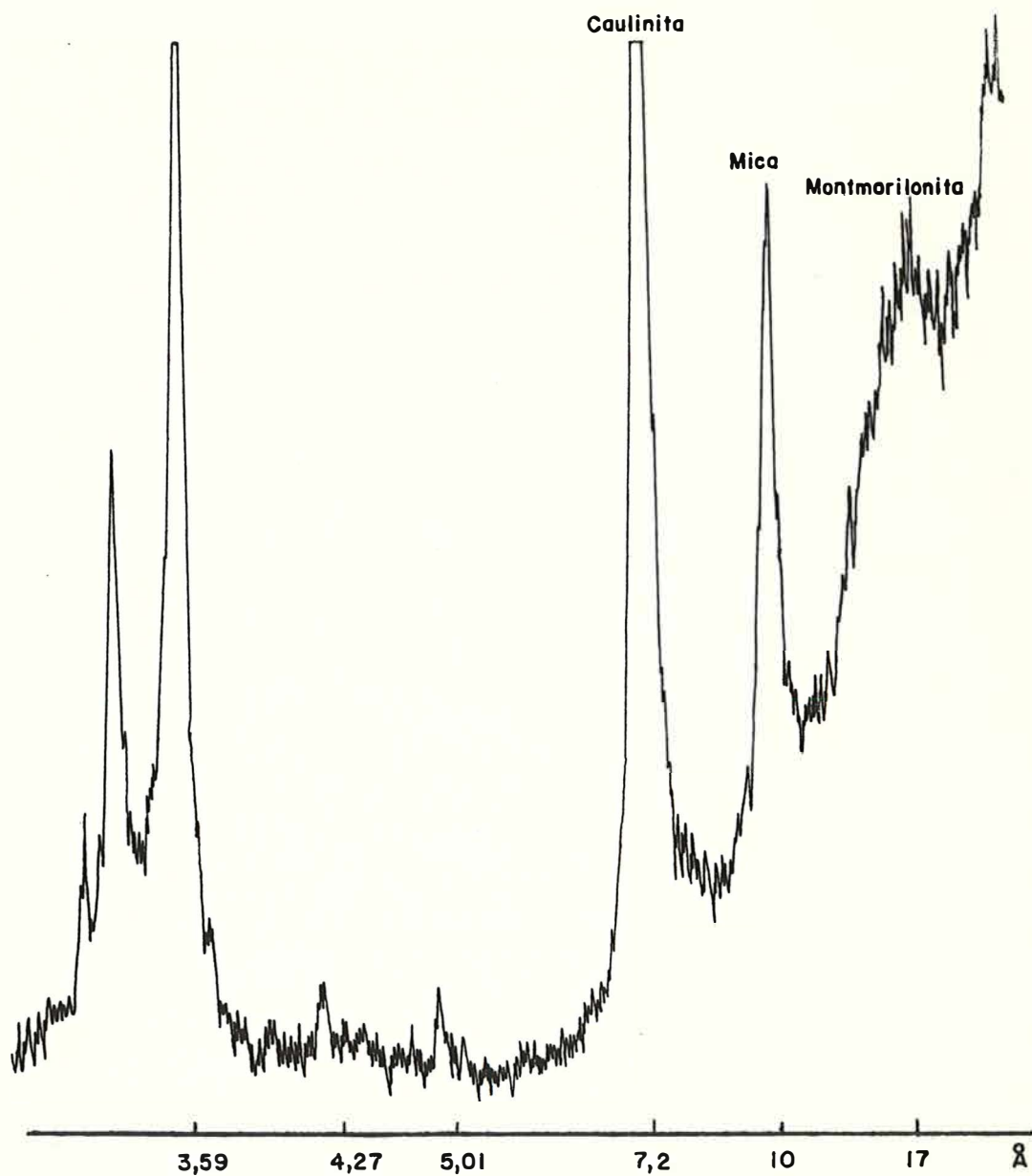
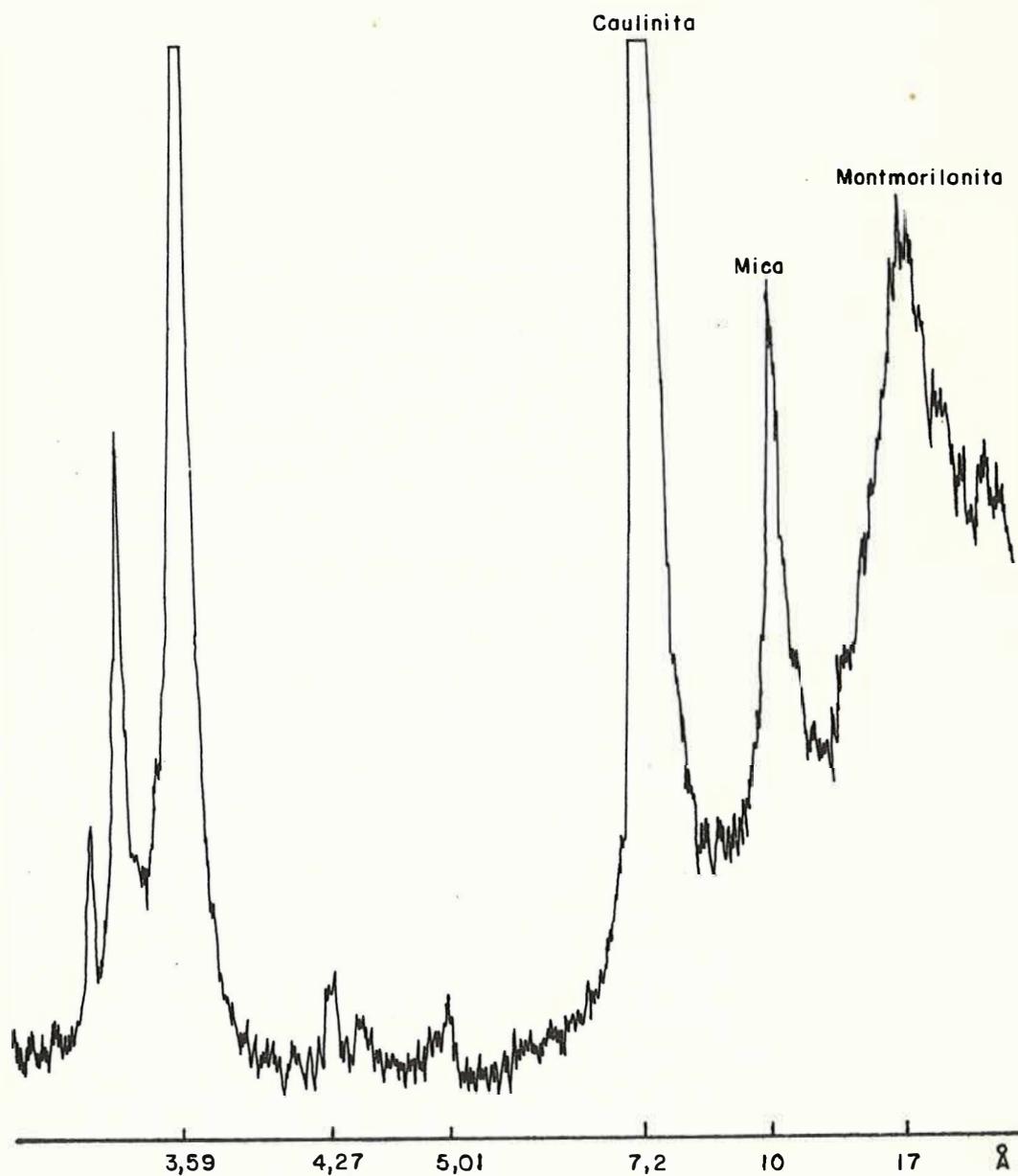


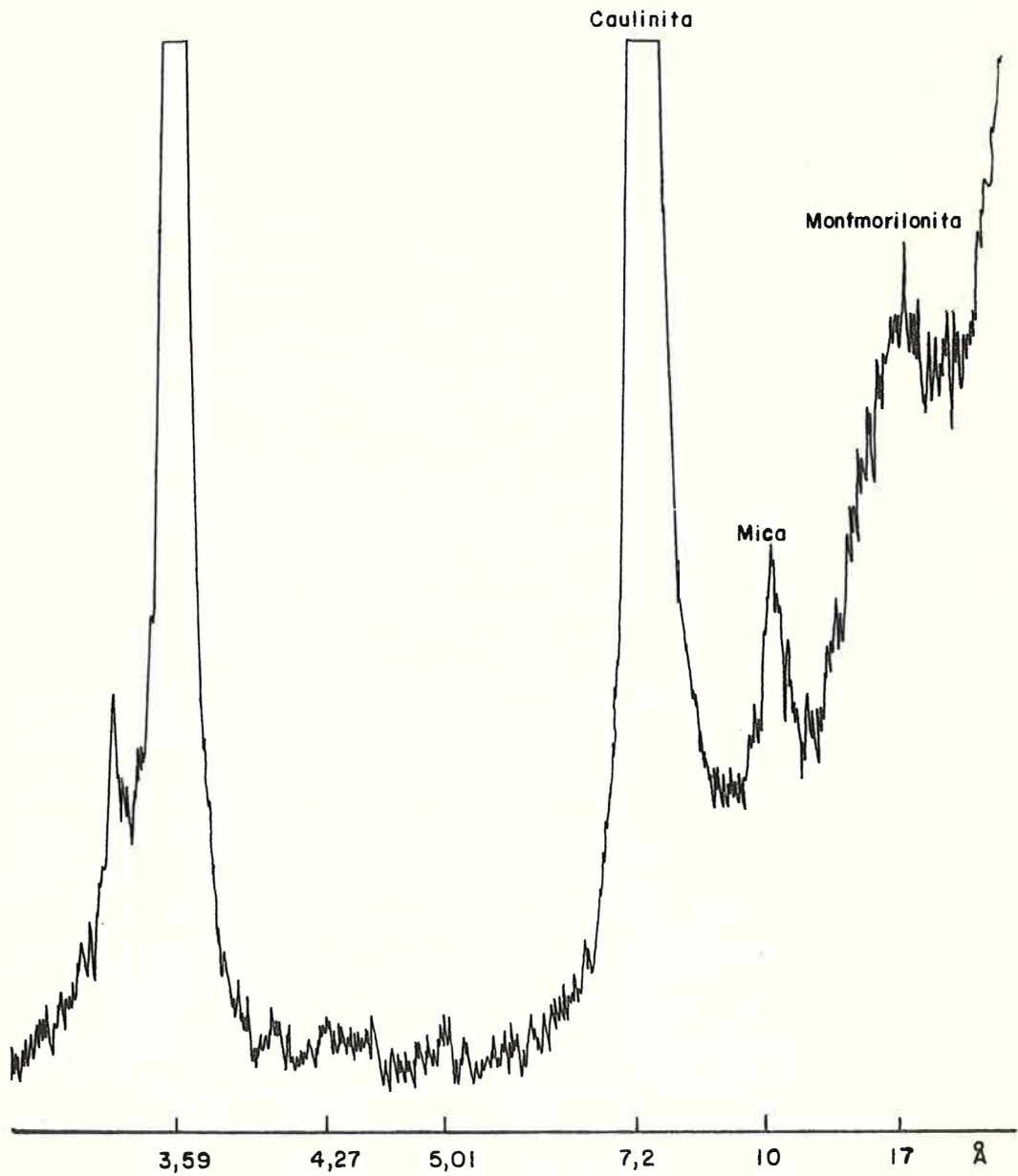
Fig. 7 - Curva característica de umidade do horizonte B<sub>32t</sub>, obtida por secagem.



**Fig. 8 - Difratoograma da fração argila de amostra orientada do horizonte Ap.**

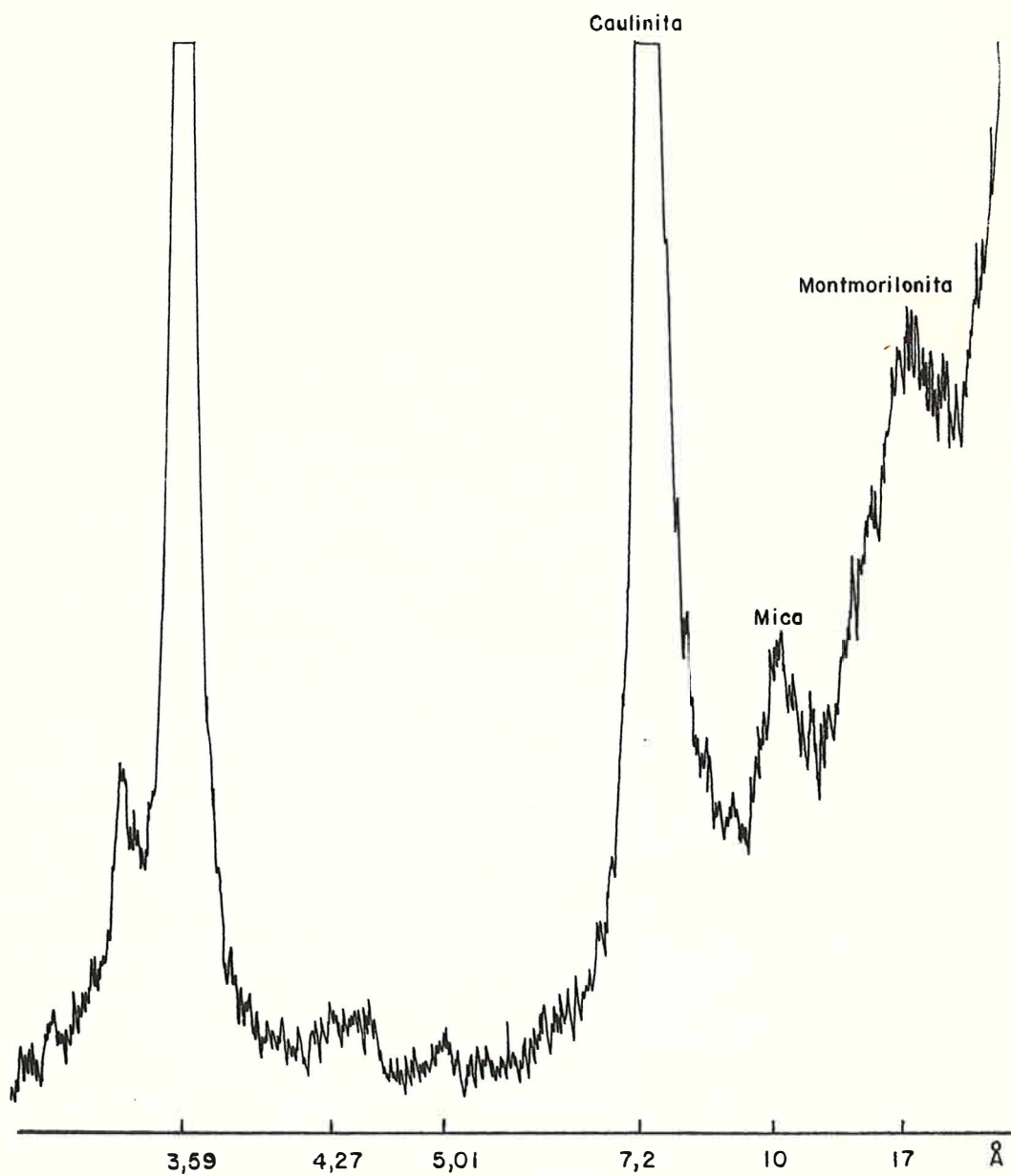


**Fig. 9 - Difratoograma da fração argila de amostra orientada do horizonte A<sub>2</sub>.**



**Fig. 10 - Difratoograma da fração argila de amostra orientada do horizonte B<sub>1</sub>.**





**Fig. 11 - Difratoograma da fração argila de amostra orientada do horizonte B21t.**

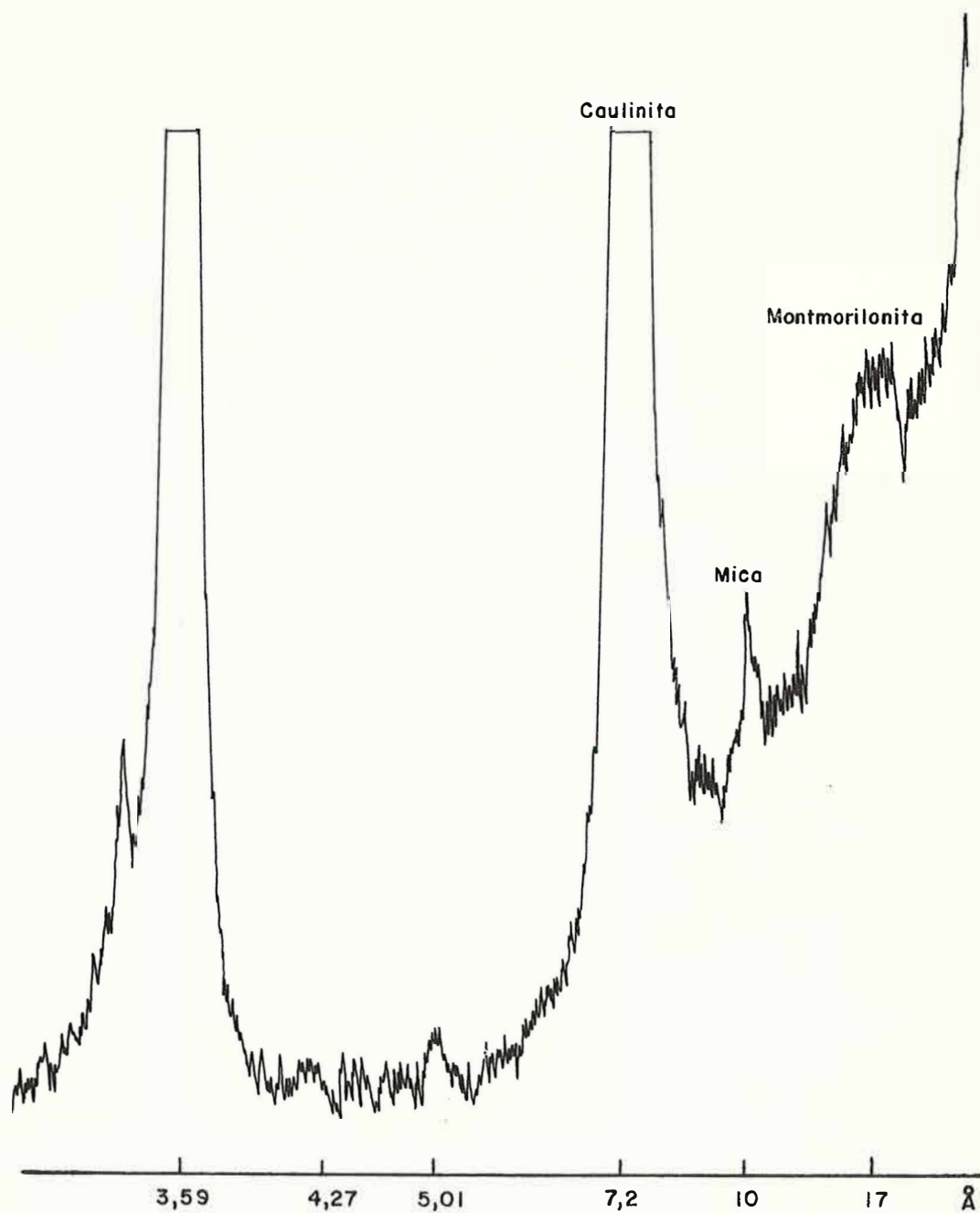


Fig. 12 - Difratoograma da fração argila de amostra orientada do horizonte B22t.

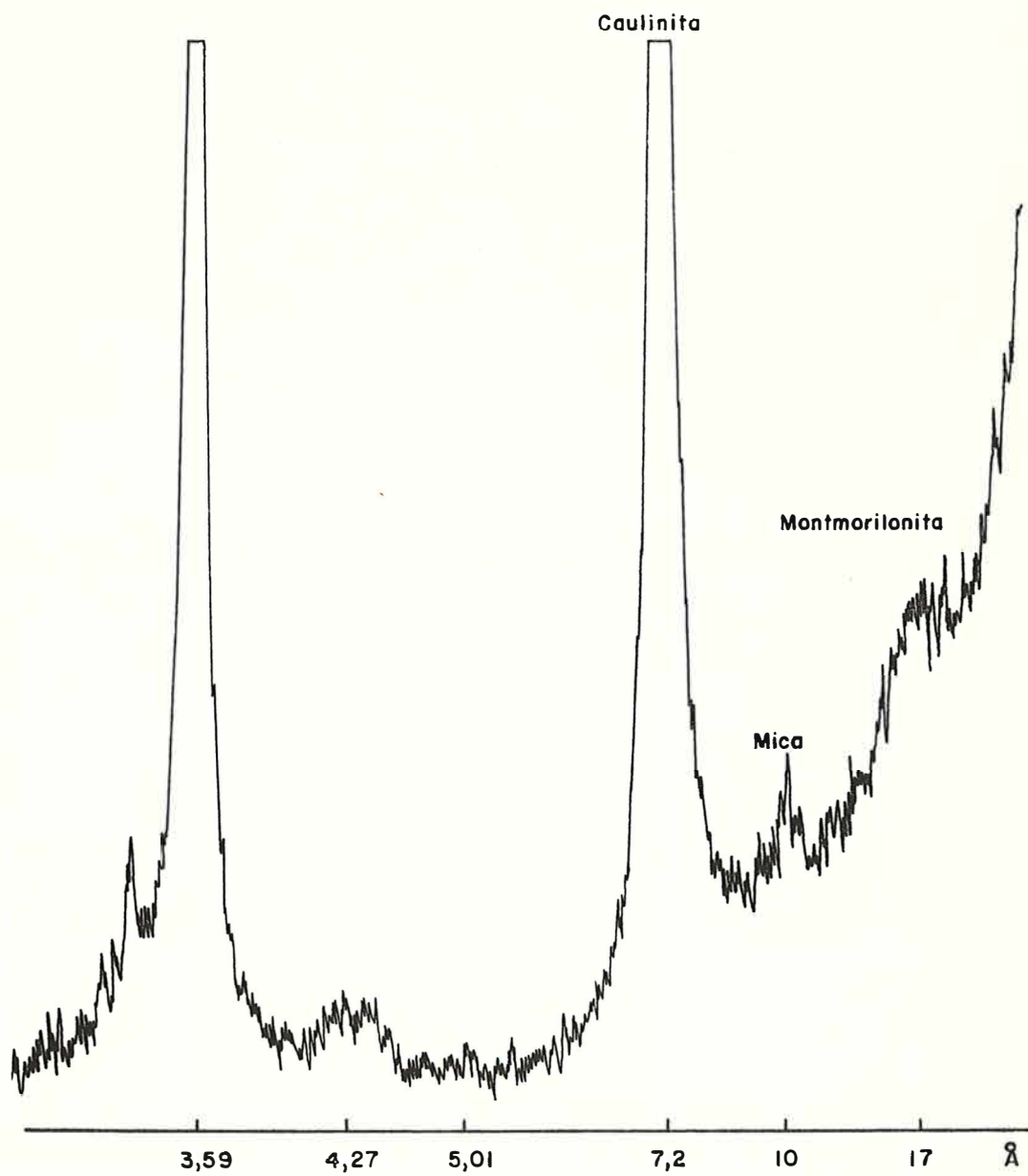


Fig. 13 - Difratoograma da fração argila de amostra orientada do horizonte B31t.

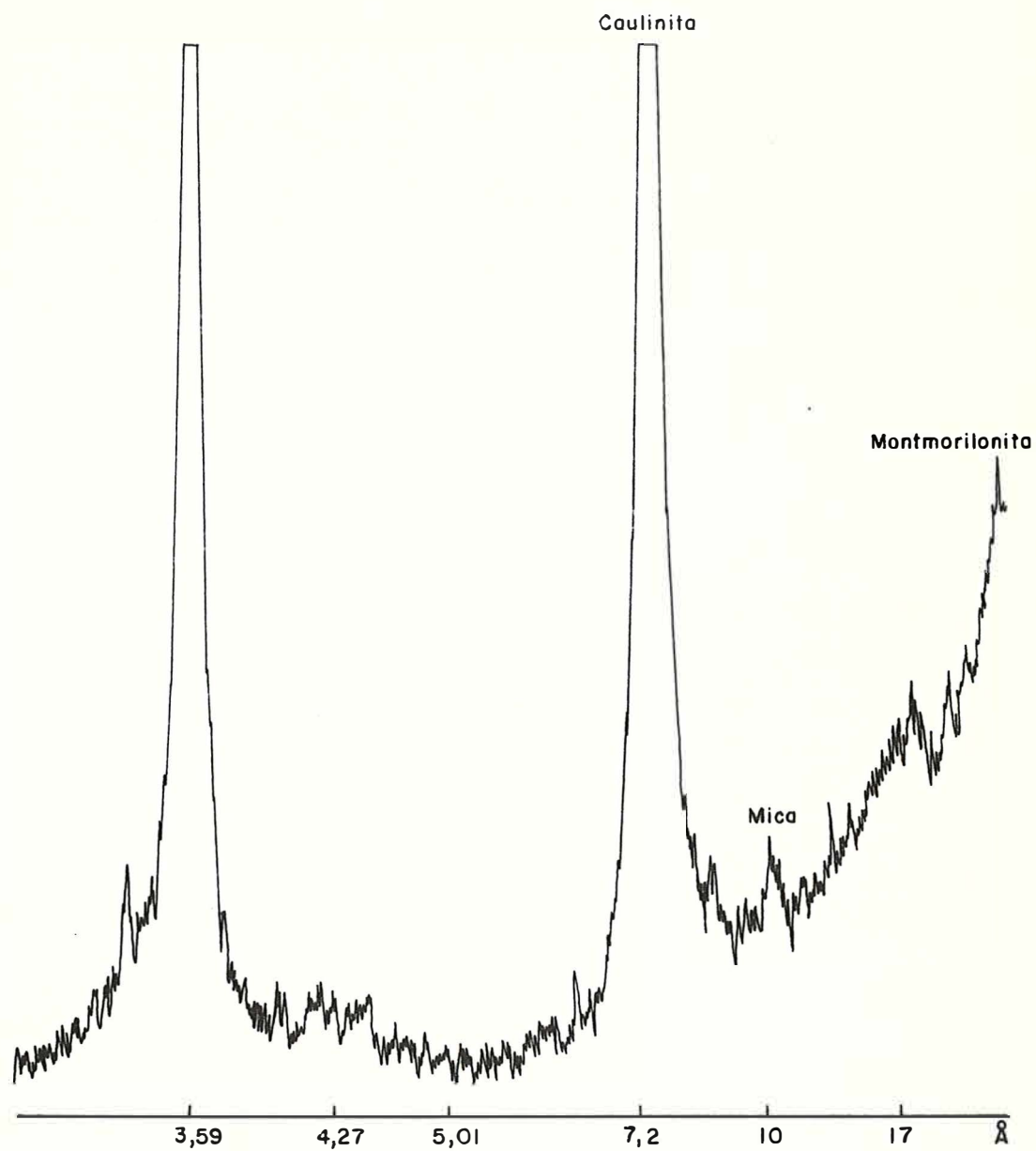


Fig. 14 - Difratoograma da fração argila de amostra orientada do horizonte B<sub>32t</sub>.

Tabela 6 - Umidade em % de T.F.S.E., obtida por secagem nas diversas tensões empregadas, nas amostras dos horizontes estudados (média de 3 repetições).

Horizontes e Prof. (cm)	Tensões (atm)															$\bar{X}$	
	15	8	5	3	1	0,7	0,33	0,2	0,1	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,005		0,001
Ap 0-8	2,32	2,40	2,41	2,83	3,76	3,98	5,38	6,85	8,44	10,09	12,72	16,06	21,53	22,19	23,22	25,98	10,64
A <sub>2</sub> 8-20	2,42	2,43	2,44	2,64	3,45	3,53	4,61	6,06	7,47	9,18	10,12	13,07	17,52	20,17	20,81	21,82	9,23
B <sub>1</sub> 20-42	7,70	7,78	7,89	8,52	8,98	9,74	11,33	13,24	15,29	15,86	17,42	20,53	25,67	31,62	32,41	34,95	16,82
B <sub>21</sub> t 42-87	7,87	7,94	8,17	8,29	8,72	9,31	11,24	13,47	14,83	16,16	17,24	19,40	25,57	31,50	32,51	34,78	16,69
B <sub>22</sub> t 87-118	9,12	9,51	9,55	9,74	10,08	10,96	12,29	14,58	19,39	19,66	21,33	25,01	30,06	35,52	37,82	38,50	19,57
B <sub>31</sub> t 118-185	7,36	7,87	8,07	8,22	8,40	8,97	10,20	12,27	16,28	17,42	19,71	22,28	27,17	31,67	32,97	35,10	17,12
B <sub>32</sub> t 185-200	7,49	7,99	8,44	8,55	10,05	11,04	11,89	13,72	19,62	21,39	21,89	24,90	31,21	35,91	37,86	38,07	19,38
$\bar{X}$	6,33	6,56	6,71	6,97	7,63	8,22	9,56	11,46	14,47	15,68	17,20	20,18	25,53	29,80	31,12	32,74	

DMS<sub>5%</sub> entre horizontes e mesma tensão = 1,12

DMS<sub>5%</sub> entre tensões e mesmo horizonte = 1,30

DMS<sub>5%</sub> para média global entre horizontes = 0,28

DMS<sub>5%</sub> para média global entre tensões = 0,49

Tabela 7 - Análise de variância da retenção de água, nas amostras dos horizontes estudados.

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	111	33.826,7305	304,7453	1.410,8579**
Horizontes (H)	6	4.807,6047	801,2675	3.709,5718**
Tensões (T)	15	28.380,8120	1.892,0541	8.759,5097**
T x H	90	638,3138	7,0924	32,8352**
H/0,001	6	723,4933	120,5822	558,2509**
H/0,005	6	798,3166	133,0528	615,9852**
H/0,01	6	691,3152	115,2192	533,4222**
H/0,02	6	407,1590	67,8598	314,1657**
H/0,04	6	355,1042	59,1840	274,0000**
H/0,06	6	346,6627	57,7771	267,4866**
H/0,08	6	375,6608	62,6101	289,8616**
H/0,1	6	420,4300	70,0717	324,4060**
H/0,2	6	219,1642	36,5274	169,1083**
H/0,33	6	183,6944	30,6157	141,7394**
H/0,7	6	178,3494	29,7249	137,6153**
H/1,0	6	143,7194	23,9532	110,8944**
H/3,0	6	155,1906	25,8651	119,7458**
H/5,0	6	159,7555	26,6259	123,2681**
H/8,0	6	150,3245	25,0541	115,9912**
H/15,0	6	137,5788	22,9298	106,1565**
Resíduo	224	48,3883	0,2160	
<b>TOTAL</b>	<b>335</b>	<b>33.875,1188</b>		

CV = 2,97%

\*\* significativo ao nível de 1%.

A interpretação estatística da análise de variância revela alta significância do teste F para horizontes, tensões e interação horizonte versus tensão. O desdobramento da interação horizonte/tensão também revela diferenças significativas entre horizontes e todas as tensões estudadas.

Independente da tensão verifica-se um comportamento semelhante de retenção de água entre os horizontes  $B_1$  e  $B_{21t}$  e entre  $B_{22t}$  e  $B_{32t}$ . Os demais horizontes apresentam comportamento diferente uns em relação aos outros. Observa-se que os maiores teores de água retida nas diversas tensões por alguns horizontes, estão correlacionados com seus percentuais mais elevados das frações argila e silte (tabela 2). É o caso do horizonte  $B_{22t}$  que representa a zona de máxima acumulação de argila no perfil. Associação entre maior retenção de água e teor de argila foi também observada por GROHMANN e MEDINA (1962), WINKLER e GOEDERT (1972), SALTER e WILLIAMS (1965), ALI et alii (1966), GAVANDE (1968), SALTER e WILLIAMS (1969), e entre retenção de água e conteúdo de limo por ALI et alii (1966), COELHO (1971), GAVANDE (1968), PETERSEN et alii (1968) e MACLEAN e YAGER (1972). O horizonte  $B_{32t}$  embora apresentando menor conteúdo de argila do que o horizonte  $B_{22t}$ , apresenta aspecto semelhante em termos de retenção de água. Possivelmente tal fato seja consequência de um maior percentual de argilo-minerais do tipo 2:1, visto que, a sua posição mais próxima da rocha, lhe confere menor intemperização, pois de acordo com JACKSON (1948), quanto mais próximo do material de origem estiver o horizonte ou camada, menos intemperizada ela será e logicamente

possuindo maior quantidade de minerais de argila de grade 2:1.

Verifica-se que, em virtude dos horizontes apresentarem um baixo teor de carbono orgânico a influência desse constituinte é mínima na retenção de água, embora a diferença estatística observada entre os dois horizontes superficiais deva ser uma função dos seus teores de carbono, já que eles são mais ou menos idênticos em granulometria mineral. Segundo GROHMANN e MEDINA (1962), uma influência mais acentuada da matéria orgânica na retenção de água é obtida quando o perfil do solo é homogêneo em relação a textura, o que não é verdadeiro no perfil ora estudado.

De uma maneira geral, nota-se que, o perfil apresenta uma relativa baixa retenção de água em seus vários horizontes. Isso talvez encontre explicação nos teores mais elevados de frações grosseiras em relação às frações finas, bem como no tipo de argila predominante em cada horizonte. Observando-se os valores da relação molecular sílica/alumina ( $K_i$ ), na tabela 5, vê-se que, os mesmos oscilam em torno de 2,0 ou ligeiramente acima desse valor. De acordo com VERDADE (1975), uma das interpretações atribuídas ao índice " $K_i$ " é a determinação do mineral de argila predominante no solo. Assim, valores abaixo de 1,8 indicam a presença de gibbsita; valores entre 1,8 e 2,0 indicam a dominância de minerais do grupo da caulinita; valores entre 2,0 e 4,0 indicam a presença de minerais do tipo 2:1 e valores acima de 4,0 indicam a dominância de minerais do tipo 2:1. Portanto, à luz dessas informações e apoiado nos valores obtidos para o índice " $K_i$ ", admite-se que o



argilo-mineral predominante nos horizontes estudados, seja a caulinita, que por sua vez afeta a retenção de água nos vários horizontes.

Independente dos horizontes o teste de Tukey para média global entre tensões, indicou não haver diferença significativa entre as tensões de 5 a 15 atm e entre 3 e 5 atm.

Entre horizontes e mesma tensão verificou-se os seguintes aspectos:  $A_p = A_2$  de 0,08 a 15 atm e diferente de 0,06 a 0,001;  $B_1 = B_{21t}$  em todas as tensões;  $B_{22t}$  diferente dos demais horizontes, exceto  $B_{32t}$  em todas as tensões;  $B_{22t} = B_{32t}$  nas baixas tensões, abaixo de 1,0 atm;  $B_1 = B_{21t} = B_{31t} = B_{32t}$  nas tensões de 15, 8, 5 e 3 atm, sendo que o  $B_{32t}$  diferiu desses mesmos horizontes nas demais tensões. Os maiores teores de água retida pelo horizonte  $A_p$  em relação ao  $A_2$ , nas baixas tensões, reflete a influência do seu maior teor de matéria orgânica, pois de acordo com REEVE et alii (1973), a retenção a baixas tensões está mais correlacionada ao conteúdo de matéria orgânica do solo e distribuição de poros por tamanho. Observação semelhante foi verificada por FREIRE (1975), ao estudar o efeito da remoção da matéria orgânica na retenção de água do solo, concluindo que a ação da matéria orgânica é mais acentuada nas baixas tensões. Explica-se o comportamento semelhante dos horizontes  $B_1$  e  $B_{21t}$  em razão deles apresentarem aproximadamente o mesmo teor de colóides. Por sua vez o  $B_{22t}$  diferencia-se dos demais horizontes em virtude de ser aquele que possui a maior quantidade de argila. A semelhança entre os horizontes  $B_{22t}$  e  $B_{32t}$  nas baixas tensões, a despeito deles apresentarem diferenças relativamente sig

nificativas em termos de granulometria, possivelmente deve estar relacionado a uma melhor distribuição de poros por tamanho no horizonte  $B_{32t}$ . Observa-se também, semelhança entre os horizontes  $B_1$ ,  $B_{21t}$ ,  $B_{31t}$  e  $B_{32t}$ , portadores de mais ou menos o mesmo teor de argila, nas tensões acima de 3 atm, enquanto que nas outras tensões o  $B_{32t}$  mostrou-se diferente em relação aos mesmos. Isso confirma a maior ação das forças de adsorção na caracterização do potencial matricial da água do solo em altas tensões. Por outro lado, a maior retenção do  $B_{32t}$  nas baixas tensões, reforça a suposição já aludida anteriormente, ou seja, a sua melhor distribuição de poros por tamanho. Segundo HILLEL (1970) e REICHARDT (1975), a importância da distribuição de poros por tamanho na retenção de água pelo solo ocorre nas baixas tensões, visto que, nessa faixa o potencial matricial da água do solo, está mais na dependência de fenômenos capilares. Para altos valores de tensão, as forças de adsorção são mais atuantes e o potencial matricial praticamente não depende da estrutura, sendo mais influenciado pela textura e superfície específica.

As diferenças na retenção de água entre tensões e mesmo horizonte variou com o horizonte. De um modo geral as maiores diferenças ocorreram abaixo de 0,7 atm e as menores variações acima de 1,0 atm. Praticamente, a partir de 1,0 atm, os valores de umidade são muito próximos indicando pouca disponibilidade de água para as plantas a partir dessa tensão. Resultados semelhantes foram obtidos por WINKLER e GOEDERT (1972) ao verificarem que em solos Vermelho Amarelo Podzolizados prati-

camente não existia água disponível sob tensões superiores a 1,0 atm. OLIVEIRA e QUEIROZ (1974), observaram esse aspecto a partir de 2,0 atm em Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico enquanto que GROHMANN e MEDINA (1962), concluíram que nos solos com baixo percentual de argila não há praticamente variação de umidade acima de 3,0 atm. Como a curva de retenção de água é específica e característica de cada solo, os resultados obtidos pelos diversos pesquisadores quase sempre não coincidem, embora solos com características parecidas apresentem curvas mais ou menos semelhantes.

#### 4.4. Intervalo de água disponível

À luz dos conhecimentos teóricos atuais da física do solo, sabe-se que, o fenômeno de disponibilidade da água para as plantas não pode ser interpretado somente em termos do seu potencial no solo, uma vez que, outras variáveis são bastante atuantes no processo, de acordo com REICHARDT (1975). Na prática, entretanto, encontra-se várias dificuldades em se caracterizar todos os parâmetros ligados ao processo, razão porque as propriedades capacidade de campo e ponto de murchamento permanente continuam sendo grandemente empregadas como limites da faixa de umidade disponível. A literatura, porém, apresenta uma certa discordância quanto ao valor da energia de retenção para esses dois pontos da curva, principalmente a capacidade de campo, como pode observar-se nos trabalhos de MEDINA (1972), GRADWELL (1968), THOMASSON e

ROBSON (1967), FRANZMEIER et alii (1960), MARCOS (1971), OLIVEIRA e MELO (1971), RIVERS e SHIP (1972), GARDNER (1960), KOHNKE (1968), RICHARDS e WEAVER (1943), RICHARDS e WEAVER (1944), OLIVEIRA (1966), PETERSEN et alii (1968) e MACLEAN e YAGER (1972). A água retida a 15 atm tem sido usada pela maioria dos autores para expressar o limite inferior da faixa de disponibilidade, enquanto que as tensões de 0,06, 0,10 e 0,33 atm, são as mais citadas como limite superior. Apoiando-se principalmente no trabalho de OLIVEIRA (1966), e em razão das diferenças encontradas nas características dos horizontes estudados, utilizou-se as tensões de 0,06, 0,10 e 0,33 atm como limite superior do intervalo de disponibilidade, enquanto que a tensão de 15,0 atm foi considerada como limite inferior. A tabela 9 apresenta os resultados de correlações obtidas entre água disponível e alguns constituintes do solo que podem influenciar o seu valor. Verifica-se haver correlação positiva e significativa entre teor de silte e água disponível nas faixas de 0,06 a 15 e 0,10 a 15 atm e entre conteúdo de argila e água disponível na faixa de 0,10 a 15. COELHO (1971), observou também correlação entre percentagem de silte e água disponível, o mesmo acontecendo com PETERSEN et alii (1968).

#### 4.5. Correlações entre retenção de água e alguns fatores do solo que afetam o seu valor

A tabela 8 mostra os valores encontrados para os estudos de correlação entre as tensões empregadas no experimento, e alguns

Tabela 8 - Correlações entre teores de água retida nas diversas tensões com: % argila, % carbono, % silte, % areia grossa, % areia fina e %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  livre.

Tensões (atm)	Umidade x % argila	Umidade x % carbono	Umidade x % silte	Umidade x % areia grossa	Umidade x % areia fina	Umidade x % $\text{Fe}_2\text{O}_3$ Livre
0,001	0,94**	-0,64	0,85**	-0,95**	-0,86**	0,10
0,005	0,94**	-0,71*	0,87**	-0,94**	-0,82**	0,04
0,01	0,95**	-0,71*	0,86**	-0,95**	-0,82**	0,03
0,02	0,87**	-0,62	0,90**	-0,87**	-0,80**	0,20
0,04	0,88**	-0,66	0,88**	-0,88**	-0,81**	0,22
0,06	0,90**	-0,69*	0,91**	-0,88**	-0,85**	0,17
0,08	0,90**	-0,75*	0,92**	-0,89**	-0,84**	0,04
0,1	0,93**	-0,75*	0,88**	-0,93**	-0,83**	0,05
0,2	0,97**	-0,68*	0,79**	-0,98**	-0,79**	-0,07
0,33	0,96**	-0,68*	0,79**	-0,97**	-0,78**	-0,05
0,7	0,93**	-0,73*	0,82**	-0,96**	-0,79**	-0,03
1,0	0,96**	-0,73*	0,82**	-0,96**	-0,80**	-0,05
3,0	0,98**	-0,72*	0,79**	-0,97**	-0,81**	-0,05
5,0	0,98**	-0,75*	0,81**	-0,97**	-0,84**	-0,08
8,0	0,99**	-0,73*	0,79**	-0,97**	-0,83**	-0,08
15,0	0,99**	-0,72*	0,76*	-0,98**	-0,81**	-0,11
$\bar{X}$	0,94**	-0,70*	0,84**	0,94**	-0,82**	0,02

\*\* 5% de probabilidade.

\* 10% de probabilidade.

Tabela 9 - Correlações entre valores de água disponível compreendidos nas tensões 0,06 - 15 atm, 0,10 - 15 atm, 0,33 - 15 atm, com: % argila, % carbono, % silte, % areia grossa, % areia fina e %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  livre.

Intervalo de A.D.	A.D. x % argila	A.D. x % carbono	A.D. x % silte	A.D. x % Areia grossa	A.D. x Areia fina	A.D. x % $\text{Fe}_2\text{O}_3$ livre
0,06-15	0,54	-0,87**	0,85**	0,63	0,51	0,48
0,10-15	0,79**	-0,66	0,70*	-0,72*	-0,72*	0,22
0,33-15	0,51	-0,29	0,60	-0,59	-0,35	0,19

\*\* 5% de probabilidade.

\* 10% de probabilidade.

fatores do solo que podem afetar a sua propriedade de retenção de água. Observa-se 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 areia grossa e fina e água retida, também em todas as tensões. A existência de correlação negativa e significativa em alguns casos, entre carbono e água retida pode também ser verificada ao examinar-se a tabela 8.

Essas correlações positivas encontradas com argila e silte e negativas com carbono refletem a influência do tipo de solo em estudo. A sua heterogeneidade granulométrica ao longo do perfil, faz com que as frações de diâmetros menores no caso argila e silte, sejam as principais responsáveis pela explicação das diferenças de retenção de água encontradas nos diversos horizontes do perfil. Correlações entre retenção de água e quantidade de argila foram observadas por ALI et alii (1966) e SALTER e WILLIAMS (1969).

FREIRE (1975), confirmou as observações de GROHMANN e MEDINA (1962), verificando que a influência da matéria orgânica na retenção de água é mais acentuada quando o perfil do solo é uniforme em relação a textura. O perfil que ora estuda-se, além de ser heterogêneo em relação a textura, não apresenta associação entre os conteúdos de argila e carbono, ou seja o horizonte com maior percentual em carbono é exatamente aquele que apresenta menor teor de argila. Esses aspectos talvez expliquem as correlações negativas encontradas para carbono e retenção de água nas tensões examinadas.



## 5. CONCLUSÕES

A análise estatística, discussão e interpretação dos resultados obtidos, conduziram às seguintes conclusões:

1. Verificou-se diferença significativa na retenção de água, entre horizontes e subhorizontes genéticos do perfil Alfissol estudado. Foram também observadas diferenças significativas para tensões e para a interação horizonte versus tensão.
2. As diferenças acentuadas de retenção de água dos horizontes genéticos A e B, foram devidas aos teores de argila desses horizontes.
3. A disponibilidade de água acima de 1,0 atm de tensão é pequena, sem interesse prático para a irrigação.
4. Houve uma alta dependência da água retida nas várias tensões com os percentuais de argila e silte dos horizontes.



## 6. SUMMARY

Using soil samples taken from seven horizons of an Alfisol profile occurring in Mossoró Municipality-RN, the soil property, moisture retention, was determined for 16 different tensions, from 0.001 atm taken to be moisture saturation, up to 15 atm considered the possible lower limit of the water availability to plants. Structural clodswere used for the range 0,001 to 0,1 atm. For the other tensions air-dry fine earth was used. The characteristic moisture retention curve for each horizon was obtained by drying and the apparatus used were suction unit for the range 0.001 to 0,1 atm and Richards porous plates for the tensions above 0,1 atm. The statistical design used was that of completely randomized experiments, with three replications, and considering horizons and tensions as treatments. Another determination was the correlation between moisture

retention at various tensions and the percentage of clay, carbon, silt, coarse sand, fine sand and free iron oxides and between moisture retention in the ranges of 0.06 to 15 atm, 0.1 to 15 atm and 0,33 to 15 atm and the same components mentioned before.

The results obtained permitted the verification of significant differences in water retention between horizons and genetic subhorizons, as well as between tensions and the interaction horizon/tension. It was also concluded that there is little water availability for the plants when tensions are over 1,0 atm, and that the large variations between A and B horizons water retention were due to different colloid content in these horizons.

## 7. LITERATURA CITADA

ALI, M.K. et alii., 1966. Soil Moisture Tension Relationships of Some Indian Soils. Journal of Soil Science. Oxford, 14: 51-62.

BAVER, L.D.; W.H. GARDNER e W.R. GARDNER, 1972. Soil Physics. fourth ed. New York, John Wiley & Sons Inc. 498 p.

BLAKE, G.R. ed., 1965. Bulk density. In: Methods of Soil Analysis. Madison, American Society of Agronomy Inc., part 1, p. 374-390.

BLAKE, G.R. ed., 1965. Particle density. In: Methods of Soil Analysis. Madison, American Society of Agronomy Inc., part 1, p. 371-373.

BRINDLEY, G.W., 1955. Identification of Clay Minerals by X-Ray Diffraction Analysis. In: Nat. Conf. on Clays and Clay Tecnology, 1th. Proceedings. San Francisco, Dep. of Nat. Resources, p. 119-129.

- BUCKMAN, H.O. e N.C. BRADY, 1968. Natureza e Propriedades dos Solos. 2a. ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos S/A. 594p.
- COELHO, M.A., 1971. Características de Umidade de Alguns Solos de Aluvião: Normais, Sódicos e Sódico-Salinos. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 113p. (Tese de Mestrado).
- FRANZMEIER, D.P. et alii., 1960. Relationships of Texture Classes of Fine Earth to Readily Available Water. In: Transactions of 7th International Congress of Soil Science. Vol. I, Madison, Wisconsin, p.354-363.
- FREIRE, J.C., 1975. Retenção de Umidade em Perfil Oxissol do Município de Lavras, Minas Gerais. Piracicaba, ESALQ/USP, 76p. (Dissertação de Mestrado).
- GARDNER, W.R., 1960. Soil Water Relations in Arid and Semi-Arid Conditions. Plant-Water Relationships in Arid and Semi-Arid Conditions. Reviews of Research (Arid Zone Research XV).
- GARDNER, W.R., 1965. Dinamic Aspects of Soil-Water Availability to Plants. Ann. Rev. Plant Physiol. California, 16:323-342.
- GAVANDE, S.A., 1968. Water Retention Characteristics of Some Costa Rica Soils. Turrialba. Turrialba, 18(1) 34-38.
- GRADWELL, M.W., 1968. The Moisture-Holding Properties of Waikato Soils and Methods of Their Determination. New Zealand Journal of Agric. Research. Wellington, 11:631-654.
- GROHMANN, F., 1960. Distribuição e Tamanho de Poros em Três Tipos de Solos do Estado de São Paulo. Bragantia. Campinas, 19(21): 319-328.

- GROHMANN, F. e H.P. MEDINA, 1962. Características de Umidade dos Principais Solos do Estado de São Paulo. Bragantia. Campinas, 21(18): 285-295.
- GUERRA, P. de B., 1970. Evolução e Problemas da Irrigação no Nordeste. Ceará-Brasil (Mimeografado).
- HILLEL, D., 1970. Solo e Água. Fenômenos e Princípios Físicos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 231p.
- JACCOUD, A e A.F. de CASTRO, 1974. Curvas de Caracterização de Umidade dos Solos da Área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Município de Itaguaí. In: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Santa Maria - RS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 150-178.
- JACKSON, M.L., 1969. Soil Chemical analysis. Advanced Course. Second ed. Madison, Un. of Wisconsin. 895p.
- JACKSON, M.L., et alii. 1948. Weathering Sequence of Clay-Size Minerals in Soil and Sediments. Journal Phys. Colloid Chem. 52: 1237-1260.
- KELLEY, O.J., 1954. Requirement and Availability of Soil Water. Advances of Agronomy. New York, 6: 67-94.
- KIVISAARI, S. 1971. Influence of Texture on Some Soil Moisture Constants. Acta Agral Fenn. Helsinki Univ. Finland. Dept. Agricultural. 123:217-222.
- KONKE, H., 1968. Soil Physics. New York, MacGraw-Hill Book Company. 224p.

- LOW, A.J., 1954. The Study of Soil Structure in the Field and the Laboratory. Journal of Soil Science. Oxford, 5(1): 57-74.
- MACLEAN, A.H. e T.V. YAGER, 1972. Available Water Capacities of Zambian Soils in Relation to Pressure Plate Measurements and Particle Size Analysis. Soil Sci. New Brunswick - N.J., 113(1):23-29.
- MARCOS, Z.Z., 1968. Estrutura, Agregação e Água do Solo. Piracicaba, ESALQ/USP, 55p. (Tese de Doutorado).
- MARCOS, Z.Z., 1971. Morphologic and Physical Properties of Fine-Textured Oxisols, State of São Paulo. Ohio State University, 272p. (Ph.D. Dissertation).
- MEDINA, H.P., 1975. Água no Solo. In: MONIZ, A.C., Coord. Elementos de Pedologia. 2a. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., p. 45-57.
- MEHRA, O.P. e M.L. JACKSON, 1969. Removal of Free Iron Oxides from Soil or Clay by Sodium Dithionite-Citrate-Bicarbonate Method. In: JACKSON, M.L., Soil Chemical Analysis. Advanced Course. Second ed. Madison, Un. of Wisconsin. 895 p.
- NAAR, J. e R.J. WYGAL, 1962. Water-Suction Curves of Large Grained Aggregates. Journal of Soil Science. Oxford, 13(2): 198-201.
- OLIVEIRA, L.B., 1966. Análise Mecânica em Solos da Zona Semi-Árida do Nordeste. Solos: Normais, Calcários, Calcários com Sais Solúveis e Salinos. Pesq. Agropec. Bras. Rio de Janeiro, 1:7-15.
- OLIVEIRA, L.B. e A.M.C.M. MARTINS, 1966. Considerações Sobre a Umidade a 15 Atmosferas e a Umidade de Murchamento (Método Fisiológico), em Solos do Nordeste. Pesq. Agrop. Bras. Rio de Janeiro, 1: 91-95.

- OLIVEIRA, L.B. e E.N. QUEIROZ, 1974. Curvas Características de Retenção de Umidade de Alguns Solos do Nordeste do Brasil. In: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Santa Maria - RS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 189.
- OLIVEIRA, L.B. e V. MELLO, 1971. Estudo da Disponibilidade de Água em um Solo da Estação Experimental de Itapirema (Goiana - PE). In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.16.
- PETERSEN, G.W. et alii., 1968. Moisture Characteristics of Pennsylvania, Soils: I. Moisture Retention as Related to Texture. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 32(2): 271-275.
- PIMENTEL GOMES, F. 1966. Curso de Estatística Experimental. 3a. ed. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba-SP, 404p.
- RECIFE. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1968. Mapa Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte.
- REEVE, M.J. et alii., 1973. The Effect of Density on Water Retention Properties of Field Soils. Journal of Soil Science, Oxford, 24(3): 355-367.
- REICHARDT, K., 1975. Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. 3a. ed. Piracicaba-SP, CENA-USP-CNEN e Fundação Cargill. 286p.
- RICHARDS, L.A. ed., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil. Washington, D.C., Agriculture Handbook Nº 60. U.S.D.A.

- RICHARDS, L.A. e C.H. WADLEIGH, 1952. Soil Water and Plant Growth. In: Soil Physical Conditions and Plant Growth. New York, Academic Press Inc. 491 p.
- RICHARDS, L.A. e L.R. WEAVER, 1943. Fifteen - Atmosphere - Percentage as Related to the Permanent Wilting Percentage. Soil Sci. New Brunswick - N.J., 56: 331-339.
- RICHARDS, L.A. e L.R. WEAVER, 1944. Moisture Retention by Some Irrigated Soils as Related to Soil Moisture Tension. Journal Agric. Research. Washington, 69: 215-235.
- RICHARDS, L.A. e M. FIREMAN, 1943. Pressure Plate Apparatus for Measuring Moisture Sorption and Transmission by Soils. Soil Sci. New Brunswick - N.J., 56:395-404.
- RIVERS, E.D. e R.F.SHIPP, 1972. Available Water Capacity of Sandy and Gravelly North Dakota Soils. Soil Sci. New Brunswick - N.J., 113(2): 74-80.
- SALTER, P.J. e J.B. WILLIAMS, 1965. The Influence of Texture on the Moisture Characteristics of Soils. II. Available Water Capacity and Moisture Release Characteristics. Journal of Soil Science. Oxford, 16(2):310-317.
- SALTER, P.J. e J.B. WILLIAMS, 1969. The Influence of Texture on the Moisture Characteristics of Soils. V. Relationships Between Particle - Size Composition and Moisture Contents at the Higher and Lower Limits of Available - Water - Journal of Soil Science. Oxford, 20(1): 126-131.
- SCARDUA, R., 1972. Porosidade Livre de Água de Dois Solos do Município de Piracicaba-SP., Piracicaba, ESALQ/USP, 83p. (Tese de Mestrado).



- SERRANO, J.F., 1972. A Capacidade Utilizável para a Água em Grandes Grupos de Solos de Moçambique. Agronomia Moçambicana. Moçambique, 6(4): 259-266.
- TAYLOR, S.A. et alii., 1961. Evaluating Soil Water. Agricultural Experiment Station. Utah State University. Buletin 426.
- THOMASSON, A.J. e J.D. ROBSON, 1967. The Moisture Régimes of Soils Developed on Keuper Marl. Journal of Soil Science. Oxford, 18(2): 329-340.
- THOMPSON, L.M., 1965. El Suelo y Su Fertilidad. 3a. ed. Barcelona, Editorial Reverté S.A. 407 p.
- VERDADE, F.C., 1975. Análise Química Total. In: MONIZ, A.C., Coord. Elementos de Pedologia. 2a. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., p. 209-221.
- VETTORI, L., 1969. Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Boletim Técnico Nº 7. 24p.
- WASHINGTON. U.S. Department of Agriculture. Soil Survey Staff, 1967. Supplement to Soil Classification System (7th approximation).
- WASHINGTON, U.S. Department of Agriculture. Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.
- WINKLER, E.I.G. e W.J. GOEDERT, 1972. Características Hídricas dos Solos de Pelotas - RS. Pesq. Agropec. Bras. Rio de Janeiro, 7: 1-4.