

JEZIEL CARDOSO FREIRE

Engenheiro Agrônomo

**RETENÇÃO DE UMIDADE EM PERFIL OXISSOL DO MUNICÍPIO DE LAVRAS,
MINAS GERAIS**

DR. RUBENS SCARDUA

Orientador

Dissertação apresentada à ESCOLA SUPERIOR
DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ" da
Universidade de São Paulo, para obtenção do
título de Mestre.

**PIRACICABA - S. P.
1975**

ao Senhor que me iluminou.
aos meus pais pelo exemplo de vida.
ã minha esposa, ã minha filha pelo
incentivo irrestrito.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos a todos que participaram de maneira efetiva ou indireta na realização deste trabalho. Em especial agradecemos:

Ao Dr. Rubens Scardua, pela orientação e dedicação constante no andamento do trabalho.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela oportunidade de cursarmos o mestrado em Solos e Nutrição de Plantas.

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, pela compreensão e liberação para o aperfeiçoamento, que ora concluímos.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa, pela bolsa concedida.

Ao Dr. Antonio Carlos Moniz, Dr. Francisco Grohmann, Dr. João Bertoldo de Oliveira, Dr. Juventino Julio de Souza e Dr. Zilmar Ziller Marcos, pela contribuição técnica.

Ao Dr. Klaus Reichardt, pela contribuição técnica, sugestões e críticas, e versão ao inglês do resumo.

Ao Dr. Magno Patto Ramalho, pelo auxílio nas análises estatísticas, sugestões e críticas na redação do trabalho.

Ao Dr. Gilnei de Souza Duarte, pelas sugestões realizadas nas análises estatísticas.

Ao Dr. Antonio Fernando L. Olitta, Dr. Maurício de Souza, pelas sugestões e críticas na fase de redação.

Ao Dr. Valdemar Antonio Demétrio pela revisão linguística.

Ao Dr. Antônio de Pádua Sousa, pela colaboração na confecção das figuras.

Ao Sr. Airton José Bigeli pelo auxílio no laboratório e ao Sr. Wanderley Brajão pelo serviço de datilografia.

Ao Sr. Carlos Jorge dos Santos e Bernardo Gonçalves da Silva, pela colaboração prestada na coleta das amostras e auxílio nas análises químicas de laboratório.

C O N T E Ú D O

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 - Fatores que Influenciam à Retenção de Umidade	3
2.1.1 - Fatores Intrínsecos ao Solo	3
2.1.1.1 - Influência da textura, matéria orgânica e óxidos de ferro livre	3
2.1.1.2 - Influência da superfície específica	7
2.1.2 - Fatores Introduzidos pelo Preparo da Amostra	8
2.2 - Curvas Características de Retenção de Umidade	10
2.3 - Amplitude da Faixa de Água Disponível	11
2.4 - Efeito de Histerese na Retenção de Umidade pelo Solo	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 - Amostras de Solo	14
3.2 - Características das Amostras dos Horizontes	16
3.2.1 - Características Físicas	16
3.2.1.1 - Densidade aparente	16
3.2.1.2 - Densidade de partículas	18
3.2.1.3 - Volume total de poros	18
3.2.1.4 - Análise mecânica	19
3.2.1.5 - Superfície específica total do solo	19
3.2.2 - Características Químicas	20
3.2.2.1 - Complexo sortivo	20
3.2.2.2 - Óxidos de ferro livre	21
3.2.2.3 - Carbono orgânico	21
3.2.2.4 - Ataque pelo H_2SO_4 d = 1,47	21
3.2.2.5 - pH em água e em KCl 1N	22
3.2.2.6 - Capacidade de troca de cátions	22
3.3 - Plano experimental	22
3.3.1 - Retenção de umidade em amostras originais	23
3.3.2 - Retenção de umidade em amostras com matéria orgânica oxidada	25

	Página
3.3.3 - Tratamento estatístico	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 - Caracterização do Solo	27
4.2 - Retenção de Umidade em Amostras Originais para Curvas de Retenção Obtidas por Secagem	28
4.2.1 - Retenção de umidade pelos horizontes nas diferentes tensões	28
4.2.2 - Correlações entre características físicas e químicas do solo com a sua retenção de umidade e água disponível	38
4.3 - Retenção de Umidade em Amostras Originais para Curvas de Retenção Obtidas por Umidecimento	44
4.4 - Retenção de Umidade em Amostras dos Horizontes A ₁ e B ₂₂ com Matéria Orgânica Oxidada, para Curvas de Retenção Obtidas por Secagem	57
5. CONCLUSÕES	66
6. RESUMO	68
7. SUMMARY	69
8. LITERATURA CITADA	71

LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Aparelhos e tensões empregados para determinação da retenção de umidade	24
2	Complexo sortivo determinado nos diversos horizontes do perfil	29
3	Características químicas determinadas nos diversos horizontes do perfil	29
4	Análise mecânica dos diversos horizontes, expressos em % de T.F.S.E., usando o sistema norte-americano (USDA) de classificação	30
5	Resultados da densidade aparente, de partículas, porosidade de aeração, teores de óxidos de ferro livre, superfície específica total e capacidade de troca de cátions	30
6	Análise de variância da retenção de umidade em amostras originais, obtida por secagem	32
7	Teores de umidade em % de T.F.S.E., obtidos por secagem de amostras originais, dos diversos horizontes, nas tensões em estudo	33
8	Equações da reta e coeficientes de correlação para as amplitudes de retenção de 0,33; 0,10; 0,06 e 15 atm de tensão, onde Y = teor de umidade em % de T.F.S.E. e X = tensão aplicada em atm	39
9	Correlações entre teores de umidade retidos por amostras originais com: % Fe ₂ O ₃ livre, % carbono, % argila, % limo, superfície específica total e CTC, nas diversas tensões	42
10	Correlações entre valores de água disponível em amostras originais com: % Fe ₂ O ₃ livre, % carbono, % argila, % limo, superfície específica total e C.T.C.	43
11	Análise de variância da retenção de umidade em amostras originais, obtida por umidhecimento	45

QUADRO	Página
12 Teores de umidade em % T.F.S.E., obtidos por umidecimento de amostras originais, dos diversos horizontes em nove tensões e retenção à 0,2 atm obtido por secagem	46
13 Correlações entre teores de umidade referente à histerese em amostras originais com: % Fe_2O_3 livre, % carbono, % <u>ar</u> gila, % limo, superfície específica total e CTC, nas diversas tensões	56
14 Análise de variância da retenção de umidade em amostras com matéria orgânica oxidada, dos horizontes A_1 e B_{22} , obtida por secagem	59
15 Teores de umidade em % de T.F.S.E., obtidas por secagem de amostras com matéria orgânica oxidada dos horizontes A_1 e B_{22} , nas tensões em estudo	60

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Situação do município de Lavras, Minas Gerais	17
2	Curvas características de umidade dos horizontes A_1 , A_3 , B_1 , B_{21} , B_{22} , T_1 e T_2 , obtidas por secagem de amostras originais	37
3	Curvas características de umidade do horizonte A_1 , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese	49
4	Curvas características de umidade do horizonte A_3 , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese	50
5	Curvas características de umidade do horizonte B_1 , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese	51
6	Curvas características de umidade do horizonte B_{21} , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese	52
7	Curvas características de umidade do horizonte B_{22} , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese	53
8	Curvas características de umidade do horizonte T_1 , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese	54
9	Curvas características de umidade do horizonte T_2 , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese	55
10	Curvas características de umidade do horizonte A_1 , obtidas por secagem de amostras originais e com matéria orgânica oxidada ..	62
11	Curvas características de umidade do horizonte B_{22} , obtidas por secagem de amostras originais e com matéria orgânica oxidada ..	63

1. INTRODUÇÃO

Oxissóis ocorrem no município de Lavras, Estado de Minas Gerais, representando ainda potencial agrícola a ser explorado. São frequentes, abrangem extensas áreas, possuem características intrínsecas e relevo de modo a possibilitar utilização da tecnologia agrônômica.

Porém as precipitações na região são mal distribuídas concentrando-se nos meses de novembro a março, restringindo seu aproveitamento. A irrigação será por este motivo o suplemento do déficit hídrico nos outros meses do ano. Permitirá a instalação de culturas rotativas de ciclo curto e, o aumento e garantia da produção de culturas permanentes.

Para o emprego racional da prática de irrigação, estudos sobre a água do solo, são necessários, visando o conhecimento do fenômeno solo-água destes solos. Os resultados que evidenciam a relação entre o potencial matricial e o solo úmido, favorecem a avaliação rápida e precisa da disponibilidade de água do solo às plantas. Estes resultados oferecem subsídio para a avaliação de parâmetros representativos a serem usados em irrigação dos oxissóis.

Vários fatores no solo podem influir na retenção de água com maior ou menor intensidade, sendo mais importantes: o teor de umidade, a granulometria, o tamanho e distribuição de poros, o conteúdo de matéria orgânica e óxidos de ferro livre. Cada solo e os horizontes que o compõe apresentarão diferentes características de retenção de água, segundo WINKLE & GOEDERT (1972).

Verifica-se porém uma influência marcante da fase sólida na retenção de água, através de suas forças de atração. A ação das forças de atração, torna-se cada vez maior a medida que o conteúdo de água diminui, quer por dre

nagem, e ou evaporação e remoção pelos vegetais. Na presente dissertação abrangeu-se uma ampla faixa de retenções, para permitir verificar as diversas situações de retenção de umidade para os horizontes do oxissol.

Os objetivos do experimento foram: determinar os teores de umidade de retidos em amostras de horizontes do perfil de oxissol, por secagem e umidecimento a diversos potenciais; verificar a contribuição dos óxidos de ferro livre, carbono orgânico, argila, limo, superfície específica total e capacidade de troca de cátions na retenção de água; determinar a influência da matéria orgânica na retenção de umidade dos horizontes A_1 e B_{22} do perfil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Fatores que Influenciam à Retenção de Umidade

Vários fatores influenciam à retenção de umidade pelo solo. A contri
buição dos mesmos varia em função da natureza do solo em que se encontram.

2.1.1 - Fatores Intrínsecos ao Solo

2.1.1.1 - Influência da textura, matéria orgânica e óxidos de ferro livre

PREBBLE & STIRK (1953), observaram que a remoção dos óxidos de ferro livre, proporcionam aumentos nos valores individuais de retenção (1/3 e 15 atm) e na faixa relativa à água disponível em relação ao solo original. Os aumentos são devidos a dispersão do solo durante o tratamento e o efeito aumenta, com o aumento do teor de argila.

A maior retenção para terra roxa legítima de mata nas camadas superiores até 30 cm, foi atribuída por GROHMANN & MEDINA (1962), à matéria orgânica cujos teores variaram de 6,8 a 0,8%. Em terra roxa inten
samente cultivada, a retenção é menor nas camadas superiores. Esta menor retenção foi mais influenciada pela variação de textura do que pelos teores de matéria orgânica. Verificaram também que quando há homogeneidade do per
fil de solo em relação à textura, a matéria orgânica influencia a retenção de umidade no solo.

SALTER & WILLIAMS (1965), mostraram que a capacidade de retenção de água considerada como capacidade de campo (0,33 atm) e o ponto de murcha permanente (15 atm), aumentavam progressivamente dos solos arenosos para os argilosos. As variações nas características de umidade dentro de uma classe textural, foram estimadas por diferenças estruturais nos solos, por pequenas variações na composição textural e conteúdo de matéria orgânica.

SALTER et al. (1966), encontraram correlações positivas entre água disponível e areia fina, limo e carbono, e negativa para areia grossa. SALTER & WILLIAMS (1969), encontraram novamente correlações negativas entre água retida à 1/3 atm e areia grossa. A retenção a 15 atm e 1/3 atm foi correlacionada com teor de argila.

A retenção de umidade conforme ALI et al. (1966), é função da quantidade e natureza da argila e para alguns solos da matéria orgânica. Correlações positivas e altamente significativas foram encontradas entre teores de argila e limo com umidades retidas a 1/10, 1/3 e 15atm.

As diferenças na retenção de água, foram atribuídas por GAVANDE (1968) à diferenças no conteúdo de argila, limo, areia fina e matéria orgânica.

PETERSEN et al. (1968a), observaram associação de carbono orgânico com 15 atm, mas não com 1/3 atm de tensão. A explicação dada pelo autor foi que a matéria orgânica favorece a agregação do solo e a formação de poros grandes os quais retêm pouca água. Correlações negativas foram encontradas entre umidade disponível com areia e argila e positiva com teor de limo.

PETERSEN et al. (1968b), estudando os fatores que afetam a retenção de umidade dentro da classe textural barro-limoso, verificaram que a retenção de umidade a 1/3 e 15 atm aumentou com acréscimo de carbono orgânico. Este aumento não promoveu mudança na faixa de umidade disponível. Isto indica que a adição de matéria orgânica em solos com textura mais fina que barro-limoso, não promoverá aumento significativo na umidade disponível.

O humus do tipo mor e mull no solo, segundo DIAZ (1970), tem uma influência negativa sobre a quantidade de água disponível, enquanto que o tipo moder tem influência positiva. Os ácidos fúlvicos estão positivamente relacionados com os níveis de água disponível e os ácidos húmicos negativamente. Para o autor a influência da matéria orgânica sobre a capacidade de água disponível é mais devido a formação de microagregados do tamanho do limo.

KIVISAARI (1971), verificou que o conteúdo de argila teve grande influência na percentagem de umidade a 15 atm, quando o teor de argila era inferior a 20%. Foram obtidas correlações entre água disponível e percentagem de argila quando inferior a 30% e com frações de tamanho de 2 a 60 μ .

Os teores elevados de óxidos de ferro livre encontrados por MARCOS (1971), em oxissol, extraído com ditionito e citrato de sódio, indicam possivelmente grande contribuição relativa do material original-basalto.

A diminuição da água disponível foi observada por PETERSEN et al. (1971) em função do aumento nos teores de argila, areia, fragmentos grosseiros e profundidade.

Boa relação entre a textura, matéria orgânica e a retenção de água, foi observada por WINKLER & GOEDERT (1972), em solos podzolizados, planossolos e gleizados.

A baixa capacidade de retenção de água devido, possivelmente, a natureza dos minerais de argila (predominantemente tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al) dos solos ferralíticos e fersialíticos, tiveram uma melhoria nas correlações pela introdução de limo associado à argila, SERRANO (1972). As variações na umidade disponível entre os solos, foram explicadas em função do aspecto qualitativo da argila.

O limo, e limo mais areia muito fina, mostrou ter importância variável como indicador da disponibilidade de umidade do solo, segundo RIVERS & SHIPP (1972).

Correlações altamente positivas foram verificadas por MACLEAN & YAGER (1972), para a fração limo (USDA), para o carbono orgânico nas profundidades superficiais e para areia fina (I.S.S.S.) nas camadas profundas.

CLAYTON & JENSEN (1973), encontraram efeito secundário da textura do solo na retenção de água. Em contraste, a retenção foi grandemente afetada pelos teores de matéria orgânica devido ao potencial de retenção da matéria orgânica. A variação da retenção à 1/3 bar de tensão foi explicada em 57% pela matéria orgânica e à 15 bar de tensão em 62%.

Estudos sobre adsorção da água em latossolos e podzólicos, realizados por GROHMANN & CAMARGO (1973), mostram que a espessura da camada de água e o teor de água higroscópica são maiores, relativamente ao solo original, quando se destroi a matéria orgânica. Verificaram também que após a eliminação dos óxidos de ferro livres, tanto a espessura como o

teor de água higroscópica do solo diminuem.

REEVE et al (1973) relataram que a retenção à 15 bar está associada à argila, enquanto que a retenção a baixas tensões ao conteúdo de matéria orgânica e à distribuição de tamanho do poro.

SHETRON (1974), observou que os conteúdos de carbono orgânico e óxidos de ferro livre tem maior efeito sobre a retenção de água no horizonte B₂₁ do que a composição do tamanho de partículas. No horizonte C a retenção da água disponível é mais dependente dos óxidos de ferro livre e do tamanho de partículas, do que do teor de carbono.

2.1.1.2 - Influência da superfície específica

MORTLAND (1954), encontrou correlações altamente significativas entre a superfície específica total do solo e percentagem de argila, CTC e retenção de umidade para tensões correspondentes a capacidade de campo, umidade equivalente e ponto de murcha.

A superfície específica foi altamente correlacionada, segundo MORIN & JACOBS (1964), com percentagem de argila e percentagem de água retida a 1/3, 1, 4, e 15 atm de tensão. A correlação entre retenção de água e a superfície específica, geralmente aumenta com acréscimo de tensão da água do solo de 1/3 para 15 atm.

A superfície específica total de quarenta e três amostras de solo sem sofrer qualquer pré-tratamento foi correlacionada com água retida a 1 e 15 atm. O coeficiente de correlação encontrado por GROHMANN (1969), demonstra uma interdependência bastante significativa entre as variáveis estudadas.

Correlações altamente significativas, foram obtidas por GROHMANN (1970), entre superfície específica e umidade retida a 1 e 15 atm de tensão, em solos com horizonte B latossólico e B textural. Encontrou também estreita correlação entre superfície específica e CTC da fração mineral e com teores de argila dos dois solos.

A superfície específica está relacionada com propriedades do solo como, CTC, disponibilidade de certos elementos e retenção de água a altas tensões, conforme HILLEL (1972b).

Os resultados da superfície específica total de Latossol Roxo do Estado de São Paulo, encontrados por GROHMANN (1972), variaram de 68,00 m²/g a 90,40 m²/g e de 80,20 m²/g a 95,00 m²/g em dois perfis estudados.

A correlação entre água disponível e superfície específica não foi significativa, para SHETRON (1974).

2.1.2 - Fatores Introduzidos pelo Preparo da Amostra

Segundo RICHARDS & FIREMAN (1943), a manipulação das amostras de solo, promove um aumento significativo na retenção de umidade para a faixa de tenção inferior a 1 atm.

Confirmando estas observações RICHARDS & WADLEIGH (1952), encontraram posteriormente curvas de tensão diferentes à baixas tensões, quando obtidas a partir de amostras de terra com estrutura natural e deformada pelo preparo.

Porém MARCOS (1968), observou que o efeito da manipulação é variável dependendo de sua intensidade. O efeito maior foi verificado

em geral na faixa de 0,04 e 1,0 atm. Devido a impossibilidade de repetir a mesma disposição das partículas sólidas, com amostras preparadas artificialmente, torna-se inevitável uma variação na estrutura das amostras. Portanto à baixas tensões (até 0,1 atm), a retenção de umidade pelas amostras foi sensível as variações estruturais.

Para CHANG (1968), amostras preparadas com pequenos agregados (<0,25 mm), retém mais água à altos pF (>2,0), mas menos água a baixos pF (<2,0) do que amostras preparadas com agregados grandes. Nos solos argilosos com agregados grandes (1,00 - 4,76 mm), onde a geometria do poro não é uniforme, o arranjo dos agregados é restrito e mudanças no tamanho do poro não ocorre, capaz de mudar a curvatura de interface ar-água.

SHARMA & UEHARA (1968), verificaram também efeito do tamanho de agregados na retenção de água. Os agregados grosseiros influenciam grandemente a retenção de água na faixa de 0 - 0,3 bar, sendo que o efeito dos agregados finos foi mais acentuado acima desta faixa.

Existe uma maior quantidade de água disponível, quando a retenção é realizada por agregados menores. Este comportamento foi explicado por ESCOLAR & LOPEZ (1969), em função da retenção de umidade à tensões altas, decrescer quando diminui o tamanho dos agregados, porém aumenta a retenção à tensões baixas.

As alterações provocadas pela deformação das amostras de solo causam variações sensíveis na retenção de umidade a baixas tensões, na faixa inferior à 0,2 atm, conforme SCARDUA (1972).

A quantidade de água retida à baixas tensões (0 a 1 bar de tensão) depende principalmente do efeito de capilaridade e distribuição do tamanho de poros, sendo grandemente afetada pela estrutura do solo. A reten

ção de água na faixa de altas tensões é devido a capacidade de adsorção do solo e é menos influenciada pela estrutura do solo e mais pela textura e superfície específica do solo, segundo HILLEL (1972c).

2.2 - Curvas Características de Retenção de Umidade

As curvas características de umidade são específicas para cada solo, podendo ocorrer variações entre horizontes de um mesmo perfil de solo. A representação em curva, da retenção de umidade, permite uma avaliação precisa e rápida da disponibilidade de umidade dos solos para as plantas.

GROHMANN & MEDINA (1962), observaram nos solos estudados que é mínima a quantidade de água disponível às plantas sob tensão superior a 8 atm e que não há praticamente, variação entre os teores retidos sob tensões de 15 a 20 atm. As maiores variações nos teores de umidade são observadas entre as tensões de 0,1 a 1 atm.

NAAR & WIGAL (1962), afirmaram que a curva de retenção de umidade do solo, dá o tamanho aparente dos poros esvaziados com a sucção relativa a altura h, e também descreve o limiar capilar estático do material.

Já MARCOS (1968), verificou que a formação de patamar na curva, entre as tensões 0,02 e 0,1 atm, foi atribuída a uma distribuição de poros não uniforme.

Para ALI et al (1966), as curvas de retenção encontradas para superfície e sub superfície foram similares, diferindo somente na retenção relativa. Observaram também que acima de 1 atm de tensão o teor de umidade é uma função linear de logaritmo da tensão

As curvas características de umidade determinada por WINKLER & GOEDERT

(1972), mostram que não há praticamente água disponível às plantas sob tensão superior a 1 e 3 atm para solos podzolizados e planossolos respectivamente. O solo gley apresentou praticamente, água disponível em toda faixa de 1/3 a 15 atm de tensão.

2.3 - Amplitude da Faixa de Água Disponível

A bibliografia apresenta certa variação para os parâmetros capacidade de campo e ponto de murcha permanente, no tocante a sua retenção.

Segundo RICHARDS & WADLEIGH (1952), a amplitude definida como água disponível às plantas, por duas constantes de umidade, é um conceito hipotético e não prontamente identificável com as propriedades físicas do solo ou da água.

A faixa de umidade disponível é considerada como a diferença entre umidades retidas à 1/3 e 15 atm de tensão por PETERSEN et al. (1968a).

A faixa de água disponível em oxissolos estudados por MARCOS (1971), não é representada adequadamente pela retenção de umidade à 0,33 e 15 atm medidas em laboratório. Em vista das observações de campo, para resposta a crescimento e produção destes solos, torna-se necessário uma re-avaliação do critério para disponibilidade de umidade. Pelas propriedades destes solos, acredita-se que a retenção de umidade à 0,06 atm seja uma estimativa mais adequada da capacidade de campo.

Como a retenção de água está relacionada com as atividades de superfície de partículas, MEDINA (1972), adota para uma avaliação rápida de capacidade de campo, retenção variando com textura e matéria orgânica. Para solos muito argilosos e orgânicos, considera água retida a 1 atm, solos argi-

losos e barrentos água retida à 1/3 atm, solos limosos e arenosos água retida à 1/10 atm. Para o ponto de murcha, água retida à 15 atm.

A capacidade de campo, observada em estudo de disponibilidade de água de solos arenosos é água retida a 1/10 bar de tensão, por RIVERS & SHIPP (1972).

Os limites superiores de água disponível foram determinados, para água retida à 1/10 ou 1/20 atm de tensão e os limites inferiores em 15 atm de tensão, por MACLEAN & YAGER (1972).

2.4 - Efeito de Histerese na Retenção de Umidade pelo Solo

Pelo aumento do potencial matricial do solo, com aumento da densidade global, BOX e TAYLOR (1962), sugerem que o fenômeno de histerese comumente resultante a partir de curvas de umedecimento e secagem, possa ser explicado em parte por mudanças na densidade aparente.

A razão de mudanças no conteúdo de água do solo durante a secagem e reumidecimento para uma dada pressão, foi por TOPP (1971) usada para determinar a importância da interação poro e separado em dois tipos de poros bloqueados.

ROSE (1971) verificou que as histereses que ocorrem nas características micro-hidrológicas de um solo (condutividade e difusividade) é uma função do conteúdo de água e do potencial de água. Porém, afirma que as variações causadas por histerese, ainda que reais podem, possivelmente, ser negligenciáveis na prática devido a efeitos causados por mudanças que ocorrem no solo (temperatura) ou por mudanças no manejo do solo (estrutura).

A relação entre potencial matricial e solo umidecido, pode ser obtido por dois caminhos, conforme ROSE (1969) e HILLEL (1972a):

- a) Por desorção que consiste em retirar água de uma amostra de solo saturada inicialmente, com aumento gradual da tensão.
- b) Por sorção que consiste em umidecer a amostra de solo seca inicialmente, com redução da tensão. Para HILLEL (1972a), as curvas obtidas pelos dois métodos não são idênticas. O equilíbrio do solo úmido numa tensão é maior na desorção (secagem) do que na sorção (umidecimento). Esta dependência do equilíbrio e do estado da água do solo sobre a direção do processo dominante é conhecido como histerese. O autor estabelece como causas da histerese a geometria não uniforme de poros individuais; o ângulo de contato modificando o menisco; poros bloqueados e manuseio da amostra afetando a estrutura.

O efeito da histerese para HILLEL (1972a) é em geral mais pronunciado em solos de textura grosseira na faixa de baixas tensões.

A característica do poro, o conteúdo de água no poro e a sucção, não é única mas segue comportamento diferente, sendo representado por curvas distintas, dependendo da direção em que são atravessadas a partir da sucção de umidecimento para secagem ou vice-versa, segundo CHILDS (1972).

PAVLAKIS & BARDEN (1972) consideram histerese como um fenômeno comum associado com uma grande variedade de comportamentos físicos. É causada por uma dissipação de energia numa forma ou outra, que elimina a reversibilidade do processo.

Existem várias explicações possíveis para os fenômenos de histerese. É provável que nenhum dos modelos físicos seja correto, segundo GAVANOE (1973).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Amostras de Solo

As amostras de solo utilizadas no experimento, foram coletadas em perfil representativo no município de Lavras, Estado de Minas Gerais. Lavras situa-se na região Sul do Estado de Minas Gerais a uma altitude de 900 metros aproximadamente, $21^{\circ}14'$ de latitude e $45^{\circ}00'$ de longitude (fig. 1). O perfil descrito morfológicamente por SOUZA e BAHIA⁽¹⁾, pertence a unidade taxonômica Latossolo Roxo Distrófico segundo BENNEMA (1966) ou Typic Acrorthox pela 7a. Aproximação, do SOIL SURVEY STAFF (1967).

A seguir são apresentadas as características morfológicas do perfil descrito:

Perfil Nº 1

Classificação - Latossolo Roxo Distrófico ou Typic Acrorthox

Localização - Fazenda Ceres da Escola Superior de Agricultura de Lavras, M.G.

Situação e declive - Trincheira aberta em floresta natural, na parte superior da elevação, com declive de 5%.

Altitude - 920 metros.

Material originário - Eruptiva básica

Relevo - Suave ondulado

Erosão - Ausente

(1) SOUZA, J.J. & BAHIA, V.G. - 1974. Informação pessoal.

- Drenagem - Acentuadamente drenado
- Vegetação - Floresta latifoliada tropical
- Uso atual - Local - Reserva florestal
- Regional - café, culturas anuais e pastagem

A₁ 0-22 cm; vermelho escuro acinzentado (2,5 YR 3/2 seco), bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4 úmido e amassado); argila; granular; pequena a muito grande, moderada; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; gradual e irregular; raízes abundantes.

A₃ 22-56 cm; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4 seco e úmido); argila; granular, pequena e grande, moderada; ligeiramente duro, friável, plástico, ligeiramente pegajoso; gradual e difusa: raízes muitas.

B₁ 56-95 cm; vermelho escuro acinzentado (10 R 3/4 seco), vermelho escuro acinzentado (10 R 3/3 úmido); argila; blocos angulares e subangulares, pequeno a médio, moderada; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; plana e difusa; raízes comuns.

B₂₁ 95-155 cm; vermelho escuro acinzentado (10 R 3/3 seco), vermelho escuro acinzentado (10 R 3/4 úmido): argila; blocos angulares, muito pequeno, médio, fraco; macio, muito friável, plástico e pegajoso; plana e difusa; raízes raras.

B₂₂ 155-200 cm; vermelho escuro (10 R 3/6 seco), vermelho acinzentado (10 R 3/4 úmido); argila; blocos angulares e subangulares, muito pequeno, fraco; macio, friável, plástico, pegajoso; plana e difusa; raízes raras.

T₁ 200-270 cm; vermelho escuro (10 R 3/6 seco), vermelho escuro acizentado (10 R 3/4 úmido); argila; macio, friável, plástico e pegajoso.

T₂ 270-310 cm+; vermelho escuro (10 R 3/6 seco), vermelho escuro acizentado (10 R 3/4 úmido); argila; macio, friável, plástico e pegajoso.

A coleta de amostras do perfil, abrangeu os cinco horizontes e as duas tradagens. Foram coletados aproximadamente cinco quilos de terra de cada horizonte com estrutura deformada. Dos cinco primeiros horizontes foram também coletados três anéis volumétricos pelo cilindro de Uhland por horizonte, constituindo amostras com estrutura indeformada.

As amostras com estrutura deformada, foram secas à sombra e tamizadas em peneira com 2 mm de malha, constituindo desta forma a TFSA.

3.2 - Características das Amostras dos Horizontes

Os métodos empregados na determinação de características das amostras dos sete horizontes foram:

3.2.1 - Características Físicas

3.2.1.1 - Densidade aparente - Da

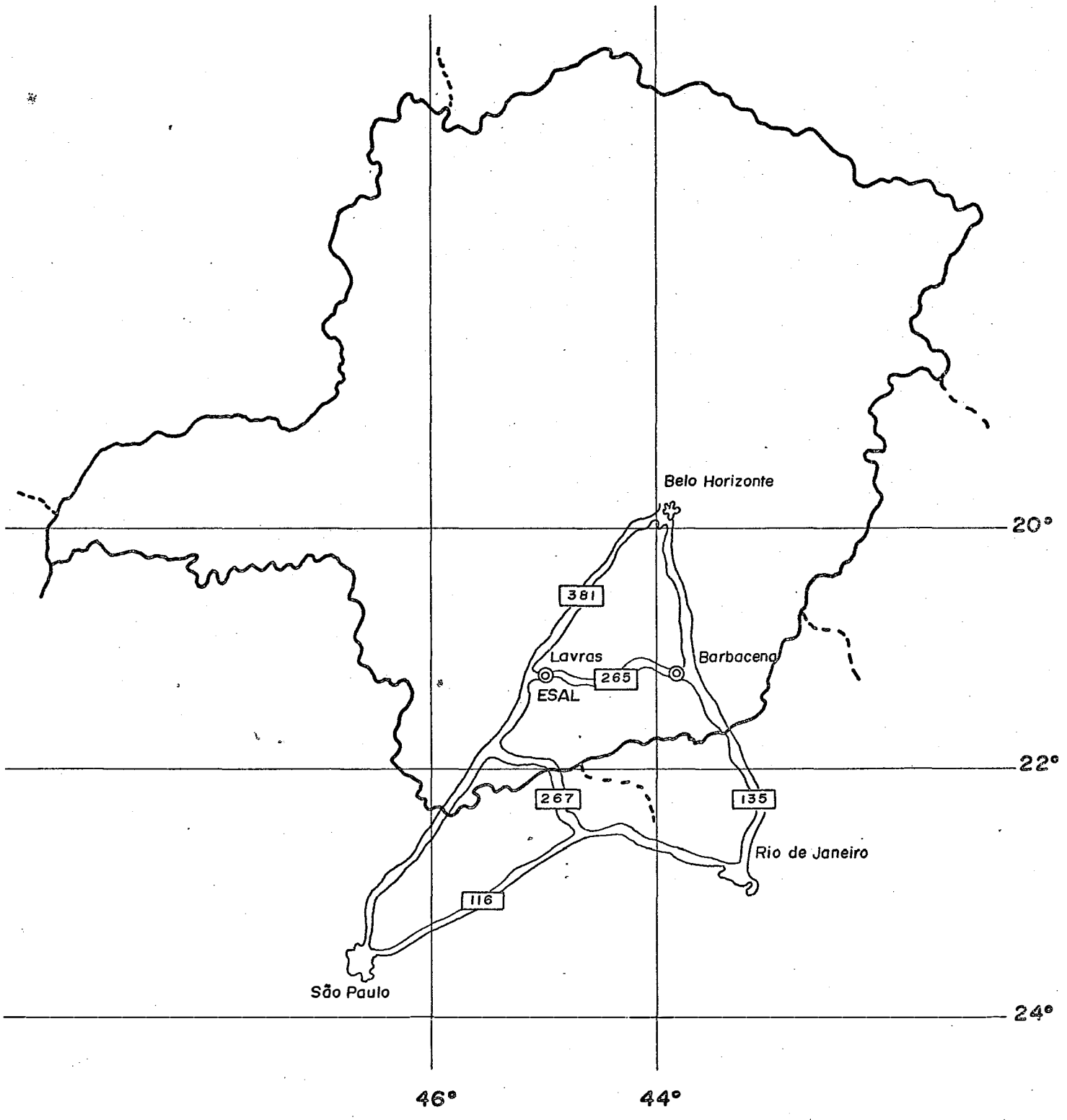


FIGURA 1. Situação de município de Lavras, Minas Gerais

A densidade aparente, foi determinada utilizando anéis volumétricos de 347,5 cm³. Os anéis de alumínio foram introduzidos em cada horizonte com auxílio do cilindro de UHLAND (1949), por percussão. Após remoção do cilindro, foi retirado o excesso de solo retidos nos anéis e acondicionados em caixa de papelão própria. No laboratório as amostras foram secas em estufa na faixa térmica de 105^o a 110^oC, durante 24 horas. Após a secagem as amostras esfriaram em dessecador contendo no fundo sílica gel desidratada. A amostra seca e pesada, permitiu o cálculo da densidade aparente por razão do peso do solo seco pelo volume do anel volumétrico. O procedimento empregado na determinação da densidade aparente foi o mesmo descrito por BLAKE (1965).

Para determinação da densidade aparente das amostras das tradagens, utilizou-se o peso seco de terra correspondente ao mesmo volume do anel.

3.2.1.2 - Densidade de partículas - D_p

Foi utilizado 5g de terra fina seca em estufa (TFSE) e picnômetro com volume de 50 ml com água destilada sem oxigênio solúvel, conforme o procedimento descrito por BLAKE (1965).

3.2.1.3 - Volume total de poros

O volume de poros foi determinado com auxílio da D_a e D_p, pela expressão:

$$VPT\% = 100 \left(1 - \frac{D_a}{D_p} \right)$$

3.2.1.4 - Análise mecânica

Foi determinada pelo método da pipeta, sendo a dispersão realizada em TFSE, com hidróxido de sódio 0,1N mais 20g de areia grossa (0,5 - 1,0 mm) e uma agitação lenta durante 18 horas, segundo GROHMANN & VAN RAIJ (1974). O tempo de sedimentação para argila (<0,002 mm) e limo (0,053 - 0,002 mm) foi calculado empregando a lei de Stokes, segundo BAVER (1966). As frações separadas na análise mecânica, foram classificadas segundo BUCKMAN & BRADY (1966) pelo sistema adotado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (U.S.D.A.).

Argila dispersa em água, determinada pelo método da pipeta, sem uso de dispersante químico e com agitação lenta por 18 horas.

Pelos teores de argila dispersa com auxílio do NaOH 0,1 N (argila total) e de argila dispersa em água, calculou-se o índice de floculação (I.F.%) pela expressão:

$$IF\% = \frac{\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}}{\text{argila total}} \times 100$$

3.2.1.5 - Superfície específica total do solo

O método empregado foi o proposto por HEILMAN et al (1965) que utiliza como fase adsorvida o éter monoetílico do etileno glicol (2 - etoxietanol) (EMEG).

As amostras antes da adsorção com éter monoetílico do etileno glicol foram tamizadas em peneira de 60 meshes (malha de 0,246 mm), para posterior saturação com cálcio. A retenção do éter monoetílico

do etileno glicol foi realizada pela adição de 1 ml, em 0,5 g de amostra de solo. Para secagem até peso constante, empregou-se vácuo menor que 0,2 mm de Hg em dessecador contendo P_2O_5 . O cálculo da superfície específica foi realizado pela fórmula empregada por GROHMANN (1972).

$$St \text{ m}^2/\text{g} = \frac{\text{mg EMEG/g de solo}}{2,86 \cdot 10^{-4} \text{ g/m}^2} = \text{mg EMEG/g de solo} \times 3,4950$$

3.2.2 - Características Químicas

3.2.2.1 - Complexo sortivo

Os elementos constituintes do complexo sortivo, foram determinados, empregando-se metodologia descrita por VETTORI (1969). A extração do cálcio + magnésio e alumínio trocáveis foi realizada com KCl 1N. O EDTA 0,025N foi utilizado para determinação do cálcio + magnésio usando negro de eriochromo como indicador. Para o alumínio utilizou-se $NaOH$ 0,25N e azul de bromotimol como indicador. A extração do potássio e sódio realizada com solução contendo H_2SO_4 0,025N e HCl 0,050N, sendo a determinação por fotometria de chama. O hidrogênio trocável foi determinado por diferença com o alumínio dosado anteriormente. A extração e determinação conjunta foi realizada com acetato de cálcio 1N e hidróxido de sódio 0,1N respectivamente, usando fenolftaleína 5% como indicador.

A soma de bases (S) foi determinada pela somatória dos cátions trocáveis, cálcio, magnésio, potássio e sódio. O valor T pela somatória da soma de bases com hidrogênio e alumínio. O cálculo da saturação de bases foi realizado pela fórmula:

$$V\% = \frac{100 \cdot S}{T}$$

3.2.2.2 - Óxidos de ferro livre

Segundo JACKSON (1965), pela redução do ferro contido em 0,5g de TFSE, com ditonito de sódio e complexação pelo citrato de sódio 0,3M e bicarbonato de sódio 1,0M. Para a determinação utilizou-se fotocolorímetro em comprimento de onda de 530m μ . O desenvolvimento da cor foi auxiliado pelo ácido ascórbico, 1-10 fenantrolina a 0,25% e citrato de sódio a 25%, sendo a leitura realizada após 15 minutos.

3.2.2.3 - Carbono orgânico

O método adotado foi de combustão por via úmida, com ácido crômico 0,4N, que em síntese é o método de Tiurim, modificado por VETTORI (1969).

3.2.2.4 - Ataque pelo H₂SO₄ d = 1,47

Seguiu-se o método descrito por VETTORI (1969) empregando 0,5g de TFSA e 50 ml de H₂SO₄ d = 1,47 fervidos sob refluxo durante uma hora. A partir do ataque, determinou-se as percentagens de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₅.

Baseadas nas determinações acima, calculou-se as relações moleculares Ki e Kr ou seja as relações SiO₂/Al₂O₃ e SiO₂/(Al₂O₃ + Fe₂O₃) respectivamente. Calculou-se também as relações Al₂O₃/Fe₂O₃.

3.2.2.5 - pH em água e em KCl 1N

Adotou-se uma relação solo-água e solo - KCl 1N de 1:2,5, e tempo de contato de meia hora, com agitação imediatamente antes da leitura, que foi realizada em potenciômetro com eletrodo de calomelano, conforme VETTORI (1969).

3.2.2.6 - Capacidade de troca de cátions

Determinada por extração com acetado de amônio pH 7, segundo VETTORI (1969).

3.3 - Plano Experimental

A retenção de umidade pelo solo em estudo, nos seus diversos horizontes, foi realizada em amostras deformadas com partículas sólidas de diâmetro máximo de 2 mm.

O presente experimento consistiu em determinar a retenção de umidade em dezesseis tensões nos sete horizontes do perfil. As tensões empregadas, abrangeram desde 0,001 atm tomado como umidade de saturação, até 15 atm tomado como o ponto de murcha permanente. Dentro deste intervalo de tensões encontram-se as demais tensões, assim distribuídas: 0,001; 0,005; 0,01; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,33; 0,7; 1; 3; 5; 8; 10 e 15 atm. As determinações da retenção pelas amostras de solo em cada tensão foi realizada com três repetições.

O experimento foi realizado em amostras de solo dos sete horizontes originais e com amostras de solo dos horizontes A_1 e B_{22} com matéria orgânica oxidada.

3.3.1 - Retenção de umidade em amostras originais

As determinações da retenção de umidade nas amostras originais dos sete horizontes foram possíveis mediante utilização de unidade de sucção empregada por GROHMANN (1960), e os aparelhos de pressão, placa porosa de RICHARDS (1943) e membrana de RICHARDS (1947). Os aparelhos e respectivas tensões empregados na obtenção das umidades retidas encontram-se no quadro 1. Para as tensões de 0,001 a 0,1 atm, a retenção de umidade foi determinada com sucção por meio de coluna de água. Para as tensões acima de 0,1 atm as amostras foram submetidas a pressão correspondente a tensão desejada.

A retenção de umidade em cada tensão foi determinada a partir de amostras saturadas previamente com água destilada, para obtenção da curva de secagem. A determinação da retenção de umidade foi realizada de uma só vez; amostras com suas respectivas repetições foram submetidas a cada tensão simultaneamente, em função da capacidade das câmaras de pressão para placa porosa e membrana de Richards. Para a unidade de sucção utilizou-se sete funis com placa porosa fabricados por JENA-GLAS, tipo 25D4, de média porosidade. Toda repetição foi colocada em cilindro de PVC de 19,24 cm³, fechados na parte inferior com compressa de gase. Procurou-se desta forma uniformizar ao máximo as condições experimentais.

QUADRO 1 - Aparelhos e tensões empregados para determinação da retenção de umidade.

Aparelho	Tensão em atm
Unidade de sucção	0,001
Unidade de sucção	0,005
Unidade de sucção	0,010
Unidade de sucção	0,020
Unidade de sucção	0,040
Unidade de sucção	0,060
Unidade de sucção	0,080
Unidade de sucção	0,100
Placa porosa de Richards	0,330
Placa porosa de Richards	0,700
Placa porosa de Richards	1,000
Membrana de Richards	3,000
Membrana de Richards	5,000
Membrana de Richards	8,000
Membrana de Richards	10,000
Membrana de Richards	15,000

Os teores de umidade retidos pelas amostras de solo, foram determinados em função do solo seco em estufa. Para isto as amostras foram pesadas com os respectivos teores de umidade retidos e levadas a estufa para secagem na faixa térmica de 105^o a 110^oC até peso constante de solo seco.

Determinou-se também em amostras originais dos sete horizontes os efeitos de histerese, por molhamento das amostras com coluna d'água em 9 tensões, de 0,001 a 0,2 atm, por ser mais pronunciado seu efeito à baixas tensões. Os teores de umidade obtidos por molhamento, foram determinados em três repetições e os resultados expressos em percentagem com base em peso seco (T.F.S.E.). Como os teores de umidade a 0,2 atm na curva obtida por molhamento estão bem próximos da curva de secagem tendendo encontrar-se, completou-se a curva até 15 atm com a forma retilínea, obedecendo o comportamento da curva de secagem.

3.3.2 - Retenção de umidade em amostras com matéria orgânica oxidada

Os horizontes A₁ por apresentar o maior teor de carbono orgânico e o B₂₂ um dos mais baixos, tiveram suas matérias orgânicas oxidadas.

A oxidação foi realizada empregando-se H₂O₂ a 130 vol. P.A., com ataque a frio e depois a quente, adicionando-se previamente 3 gotas de ácido acético 1N, para intensificar o ataque da água oxigenada. Cessado a reação a quente, adicionou-se 1 ml de hidróxido de amônio P.A., para eliminar o excesso de água oxigenada. As amostras foram secas em estufa a 60^oC, destorroadas em gral de porcelana e tamizadas em peneira de 2 mm.

Determinou-se o teor de carbono residual nas amostras dos horizontes A₁ e B₂₂, empregando o método de Tiurim, modificado por VETTORI (1969).

O efeito da matéria orgânica na retenção de umidade, foi determinado pela curva de retenção obtida por secagem para as amostras com matéria orgânica oxidada. O procedimento empregado nesta determinação foi o mesmo adotado para a curva de retenção obtida por secagem de amostras originais.

3.3.3 - Tratamento estatístico

Os teores de umidade para a curva de retenção obtida por secagem de amostras originais, com matéria orgânica oxidada e para curva obtida por molhamento, foram analisados estatisticamente segundo GOMES (1966), seguindo delineamento inteiramente casualizado. Foi também determinado a correlação entre as várias características estudadas das amostras originais: e os teores de umidade da curva de retenção obtida por secagem e o efeito da histerese.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização do Solo

Para um melhor conhecimento do solo em estudo, procedeu-se as determinações das características que permitissem identificar a unidade de mapeamento dentro da classificação de solos, brasileira e 7a. aproximação. Com base nos resultados apresentados nos quadros 2, 3 e 4, classificou-se este solo como Latossol Roxo Distrófico segundo BENNEMA (1966) e como Typic Acrorthox pela 7a. Aproximação do Soil Survey Staff (1967). Esta classificação se fez necessária, tendo em vista a inexistência de carta de solos do município de Lavras, contribuindo desta forma para a futura carta e para facilidade de extrapolação dos dados de retenção de umidade obtidos.

Os resultados das características apresentadas nos quadros 2, 3 e 4, evidenciam ser um solo bastante intemperizado com certa uniformidade nas características ao longo do perfil. Nos resultados da análise mecânica (quadro 4), verifica-se que o conteúdo de argila cresce do horizonte A_1 para o A_3 , permanecendo constante em profundidade. O limo cresceu até 2,00 metros, e a partir deste limite tendeu decrescer com aumento da profundidade.

Os teores de carbono orgânico (quadro 3) decresceram em profundidade, desde 3,39% no horizonte A_1 até 0,57% no T_2 .

A densidade aparente (quadro 5) apresentou menor valor no horizonte A_1 , evidenciando a influência da matéria orgânica. Os demais horizontes apresentaram valores maiores, porém bastante uniformes, havendo ligeira tendência em decrescer com a profundidade. Os valores da densidade de partí-

culas aumentam da camada superficial para as demais, permanecendo constante em profundidade. Estes valores elevados de densidade de partículas mostram a contribuição dos teores de ferro (quadro 3), encontrados neste solo.

O volume total de poros foi acima de 65% em todos horizontes (quadro 5). A densidade aparente determinada a partir de TFSA nos horizontes T_1 , T_2 , apresentou resultados semelhantes da coletada com estrutura indeformada, não afetando a porosidade total. Tudo indica que as condições de porosidade do campo, foram semelhantes no laboratório, durante a realização das determinações das curvas de retenção de umidade do solo original.

Observa-se que os teores de óxido de ferro livre (quadro 5) são elevados, confirmando os resultados encontrados por MARCOS (1971), que indicam grande contribuição relativa do material original. A superfície específica total variou de $53 \text{ m}^2/\text{g}$ a $84 \text{ m}^2/\text{g}$ dos horizontes A_1 a T_2 respectivamente, resultados semelhantes aos de GROHMANN (1972). A capacidade de troca de cátions decresceu em profundidade de $16,00 \text{ eq.mg}/100\text{g}$ do A_1 à $6,00 \text{ eq.mg}/100\text{g}$ no T_2 .

4.2 - Retenção de Umidade em Amostras Originais para Curvas de Retenção Obtidas por Secagem

4.2.1 - Retenção de Umidade pelos Horizontes nas Diferentes Tensões

QUADRO 2 - Complexo sortivo determinado nos diversos horizontes do perfil, (média de 3 determinações).

Horiz.	Prof. cm	eq. mg / 100 cm ³							V %
		Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	S	T	
A ₁	0 - 22	0,30	1,50	0,05	0,04	12,50	0,39	14,39	2,71
A ₃	22 - 56	0,30	0,40	0,01	0,02	5,20	0,33	5,93	5,56
B ₁	56 - 95	0,20	0,20	0,01	0,02	3,90	0,23	4,33	5,31
B ₂₁	95 - 155	0,30	0,10	0,01	0,02	3,10	0,33	3,53	9,35
B ₂₂	155 - 200	0,20	0,10	0,01	0,02	3,10	0,23	3,43	6,71
T ₁	200 - 270	0,20	0,10	0,01	0,02	3,10	0,23	3,43	6,71
T ₂	270 - 310+	0,20	0,10	0,01	0,02	3,10	0,23	3,43	6,71

QUADRO 3 - Características químicas determinadas nos diversos horizontes do perfil (média de 3 determinações).

Horiz.	Prof. cm	C %	Ataque por H ₂ SO ₄ d=1,47 (%)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃	pH	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			Fe ₂ O ₃	H ₂ O	KCl
A ₁	0-22	3,39	24,34	26,26	22,15	0,94	0,11	1,57	1,02	1,86	4,6	3,9
A ₃	22-56	1,88	18,22	28,30	24,55	0,85	0,09	1,09	0,70	1,81	4,8	4,1
B ₁	56-95	1,06	22,68	28,56	23,95	0,80	0,10	1,35	0,88	1,87	5,1	4,5
B ₂₁	95-155	0,95	22,26	29,07	23,55	0,84	0,11	1,30	0,86	1,94	5,0	4,8
B ₂₂	155-200	0,85	17,80	29,58	24,15	0,83	0,10	1,02	0,67	1,92	5,0	4,8
T ₁	200-270	0,74	17,60	29,62	23,85	0,82	0,10	1,01	0,66	1,94	5,2	5,0
T ₂	270-310+	0,57	17,80	29,55	24,35	0,83	0,09	1,02	0,67	1,90	5,4	5,2

QUADRO 4 - Análise mecânica dos diversos horizontes, expressos em % de T.F.S.E., usando o sistema norte-americano (U.S.D.A.) de classificação (média de 2 determinações).

Horiz.	Prof. cm	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Areia total	Limo	Argila	Argila H ₂ O	Índice de Floculação
A ₁	0-22	1,42	1,13	4,67	5,99	2,04	15,25	2,10	82,65	63,10	23,65
A ₃	22-56	1,10	0,69	3,40	3,90	1,51	10,60	2,25	87,15	70,00	19,68
B ₁	56-95	1,01	0,53	3,41	3,57	1,44	9,96	2,70	87,34	14,80	83,00
B ₂₁	95-155	0,89	0,65	3,78	3,53	1,50	10,35	3,15	86,50	0,00	100,00
B ₂₂	155-200	0,90	0,89	3,48	3,47	1,66	10,40	3,55	86,05	0,00	100,00
T ₁	200-270	1,00	0,51	3,12	3,68	1,79	10,10	1,95	87,95	0,00	100,00
T ₂	270-310+	1,28	0,54	4,00	3,29	1,39	10,50	1,75	87,75	4,70	94,64

QUADRO 5 - Resultados da densidade aparente, de partículas, porosidade de aeração, teores de óxidos de ferro livre, superfície específica total e capacidade de troca de cations.

Horiz.	Prof. cm	Da* g/cm ³	Dp* g/cm ³	VTP %	Fe ₂ O ₃ Livre** % TFSE	St* m ² /g	CTC* eq mg / 100 g
A ₁	0-22	0,90	2,74	67,15	14,25	53,00	16,00
A ₃	22-56	0,99	2,85	65,26	15,95	76,00	10,60
B ₁	56-95	0,98	2,89	66,08	16,83	86,00	7,20
B ₂₁	95-155	0,98	2,89	66,08	16,53	71,00	7,20
B ₂₂	155-200	0,97	2,89	66,43	15,60	63,00	6,60
T ₁	200-270	0,96	2,89	66,78	17,03	67,00	6,40
T ₂	270-310+	0,96	2,86	66,43	16,83	84,00	6,00

* - média de 3 determinações

** - média de 2 determinações

A análise de variância dos dados de retenção de umidade pelas amostras originais é apresentada no quadro 6. Pode-se observar que o teste F, foi altamente significativo para horizontes e tensões. Observa-se também que houve interação altamente significativa entre tensões em que a umidade é retida com os horizontes estudados.

O desdobramento da interação horizonte/tensão, mostra que há variações na retenção de umidade entre horizontes para tensões de 0,001 atm até 3 atm. De 5 até 15 atm de tensão, as possíveis diferenças na retenção de umidade não apresentam variações significativas.

Os teores de umidade expressos em percentagem com base em peso seco, para curva de secagem em amostras originais, são apresentados no quadro 7. Independente da tensão, observa-se uma tendência de diminuir a retenção de umidade com a profundidade. Como os horizontes superficiais apresentaram maior teor de carbono orgânico, esta maior retenção parece ser ligada a este constituinte, o que concorda com as observações de GROHMANN & MEDINA (1962), SALTER & WILLIAMS (1965), SALTER et al (1966), ALI et al (1966), GAVANDE (1968), PETERSEN et al (1968b), WINKLER & GOEDERT (1972), MACLEAN & YAGER (1972), CLAYTON & JENSEN (1973).

Independente do horizonte observou-se diferença na retenção de umidade em todas as tensões abaixo de 0,7 atm; entre as tensões de 8 a 15 atm; 5 a 8; 0,7 e 1 atm não houve diferença significativa. Esta semelhança nos teores de umidade de muitas tensões, mostra que as curvas características de umidade, poderão ser determinadas com menor número de pontos de tensão.

QUADRO 6 - Análise de variância da retenção de umidade em amostras originais, obtida por secagem.

C. Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	111	81542,6706	734,6187	1719,2110**
Horizontes (H)	6	376,5571	62,7595	146,8740**
Tensões (T)	15	78796,3623	5253,0908	12293,6830**
H x T	90	2369,7512	26,3306	61,6210**
H / 15 atm	6	3,1480	0,5250	1,2280 ^{ns}
H / 10 atm	6	2,3680	0,3950	0,9240 ^{ns}
H / 8 atm	6	2,1870	0,3650	0,8540 ^{ns}
H / 5 atm	6	2,1580	0,3600	0,8420 ^{ns}
H / 3 atm	6	6,6890	1,1150	2,6090**
H / 1 atm	6	5,1440	0,8570	2,0050**
H / 0,7 atm	6	6,2450	1,0410	2,4360**
H / 0,33 atm	6	14,0830	2,3470	5,4920**
H / 0,1 atm	6	72,9980	12,1660	28,4710**
H / 0,08 atm	6	96,3750	16,0630	37,5930**
H / 0,06 atm	6	44,4000	7,4000	17,3180**
H / 0,04 atm	6	45,9490	7,6580	17,9220**
H / 0,02 atm	6	238,0530	39,6760	92,8530**
H / 0,01 atm	6	590,0630	98,3440	230,1520**
H / 0,005 atm	6	799,6530	133,2760	311,9030**
H / 0,001 atm	6	816,7980	136,1330	318,5890**
Resíduo	224	95,7185	0,4273	
TOTAL	335	81638,3891		
CV% 1,62				

** significativo ao nível de 1%

QUADRO 7 - Teores de umidade em % de T.F.S.E., obtidos por secagem de amostras originais, dos diversos horizontes nas tensões em estudo (média de 3 repetições).

Tensões atm	Horizontes											M					
	15	10	8	5	3	1	0,7	0,33	0,1	0,08	0,06		0,04	0,02	0,01	0,005	0,001
A ₁	24,41	25,03	25,34	25,93	27,53	28,39	29,08	30,85	34,25	36,01	38,25	44,64	56,23	68,14	73,90	76,64	40,29
A ₃	23,78	24,32	24,56	24,97	25,83	27,24	28,29	29,51	32,96	34,63	38,05	43,20	56,83	66,33	70,06	73,44	39,00
B ₁	24,57	24,86	25,07	25,20	25,91	26,90	27,46	28,63	32,45	34,46	39,28	47,18	57,00	65,44	65,77	69,66	38,75
B ₂₁	24,78	25,05	25,12	25,33	25,85	26,90	27,28	28,13	32,54	34,98	39,44	46,18	57,73	65,93	66,49	68,12	38,74
B ₂₂	24,75	25,19	25,39	25,41	25,93	27,07	27,99	28,74	31,98	34,80	38,56	45,73	59,86	66,75	67,53	70,38	39,13
T ₁	24,93	25,35	25,50	25,77	26,44	27,30	28,11	29,60	37,87	40,98	42,70	46,59	51,37	54,93	55,88	58,94	37,54
T ₂	25,03	25,40	25,58	25,73	26,16	27,72	27,94	29,49	34,25	36,78	39,48	43,22	49,69	54,89	56,65	59,24	36,70
M	24,60	25,03	25,22	25,47	26,24	27,36	28,02	29,28	33,76	36,09	39,39	45,25	55,53	63,20	65,18	68,09	

DMS 5% entre horizontes e mesma tensão = 1,58

DMS 5% entre tensões e mesmo horizonte = 1,84

DMS 5% para média global entre horizontes = 0,39

DMS 5% para média global entre tensões = 0,69

As maiores variações na retenção de umidade ocorreram nas tensões abaixo de 0,33 atm e as menores acima de 3 atm⁹. Os resultados de retenção de umidade indicam que é mínima a quantidade de umidade para as plantas sob tensão superior a 8 atm. Esta disponibilidade de umidade para as plantas, é semelhante a encontrada por GROHMANN & MEDINA (1962), porém a tensão estabelecida foi superior a de WINKLER & GOEDERT (1972). Esta diferença na tensão que determina a quantidade de água para as plantas, pode ser explicada pelos autores estarem trabalhando com solos de ordem diferente deste estudo.

Verifica-se que a diferença na retenção de umidade entre horizontes variou em função da tensão que a umidade foi retida. Não houve diferença significativa na retenção de umidade entre horizontes para as tensões de 1 atm e de 5 a 15 atm. Diferenças nas retenções de umidade, são verificadas entre os horizontes A e B, havendo também diferenças entre A, B e T para tensões abaixo de 0,1 atm.

Nas tensões entre 0,7 a 0,02 atm não ocorreram diferenças significativas entre os horizontes A₁ e A₃. O horizonte A₁ apresentou sempre teores maiores de umidade do que A₃ nas tensões abaixo de 0,02 atm. Esta maior retenção de umidade do horizonte A₁ nas baixas tensões, parece indicar a influência do carbono orgânico porque segundo REEVE et al (1973), a retenção de umidade a baixas tensões está associada ao conteúdo de matéria orgânica, e este horizonte apresentou maior teor de carbono orgânico (quadro 3).

Observando o efeito da tensão na retenção de umidade dentro do horizonte A₁, verificou-se que na faixa de 0,1 a 0,02 atm de tensão os teores de umidade não foram os maiores do perfil. Tudo indica que a retenção nesta faixa, esteja ligada a distribuição de tamanho do poro, porque

segundo REEVE et al (1973), além da matéria orgânica, há influência da distribuição de tamanho do poro na retenção de umidade.

Como a curva de retenção de umidade do solo, dá o tamanho aparente dos poros esvaziados com a sucção h (NAAR & WYGAL, 1962), observa-se então que a distribuição de poros não foi uniforme, entre as curvas características (fig. 2). Porém observa-se que os horizontes A e B apresentam distribuição de poros com mais regularidade dentro de uma faixa de amplitude em todo sentido das curvas. Já para os horizontes T ocorre uma tendência nas tensões abaixo de 0,04 atm de divergir dos horizontes A e B. Esta distribuição de poros não uniforme pode ser observada, pela tendência à formação de patamar na curva, conforme obtida por MARCOS (1968). Os resultados mostram que a amplitude do patamar se encontra aproximadamente de 0,02 atm a 0,10 atm de tensão. No entanto o intervalo entre tensões que ocorreu o patamar não permaneceu constante entre horizontes (fig. 2).

Para os horizontes B, as retenções não diferiram entre si em todas tensões, exceto na tensão de 0,02 atm. Pode-se observar pela média global, que a retenção nos horizontes B, não diferiu entre si, porém, dos demais horizontes. Os dados indicam que a subdivisão do horizonte B, neste solo foi um trabalho desnecessário quanto ao aspecto de retenção de umidade, diante da uniformidade destes horizontes no tocante aos constituintes responsáveis pela retenção de umidade.

A retenção de umidade de T_1 e T_2 , diferiu entre si na faixa de 0,1 a 0,02 atm de tensão, não apresentando diferenças em retenções nas demais tensões. Pela média global verifica-se que a retenção de umidade, foi semelhante nos horizontes T_1 e T_2 .

Diante dos resultados obtidos para retenção de umidade, para os horizontes A e T nas diversas tensões, verifica-se também a possibilidade de uma única coleta de amostras, tendo em vista que a faixa de umidade de interesse prático em termos de irrigação, encontrar-se na amplitude de tensões onde os teores de umidade não diferiram entre si.

A amplitude de umidade disponível, segundo RICHARDS & WADLEIGH (1952), é um conceito hipotético e não prontamente identificável com as propriedades físicas do solo ou da água. Porém, em vários trabalhos sobre umidade disponível, os autores parecem concordar com o limite inferior de umidade, estabelecido como 15 atm. Os mesmos autores no entanto, não são coerentes quanto ao limite superior de umidade disponível. O teor de umidade de 1/3 atm é adotado por PETERSEN et al (1968) e MARCOS (1971), porém este autor afirma que em vista das observações de campo, para respostas a crescimento e produção, torna-se necessário uma re-avaliação do critério para disponibilidade de umidade. Sugere que a retenção a 0,06 atm seja uma estimativa mais adequada da capacidade de campo. Para MEDINA (1972), a capacidade de campo varia com a textura e matéria orgânica. Nos solos muito argilosos e orgânicos considera-se água retida a 1 atm, solos argilosos e barrentos 1/3 atm, solos limosos e arenosos 1/10 atm que é a tensão determinada também por RIVERS & SHIPP (1972) e MACLEAN & YAGER (1972).

Diante da falta de conhecimento do parâmetro representativo da capacidade de campo e da divergência encontrada na literatura, adotou-se as tensões de 0,33; 0,10 e 0,06 atm como o limite superior da faixa de umidade disponível e limite inferior, umidade retida a 15 atm.

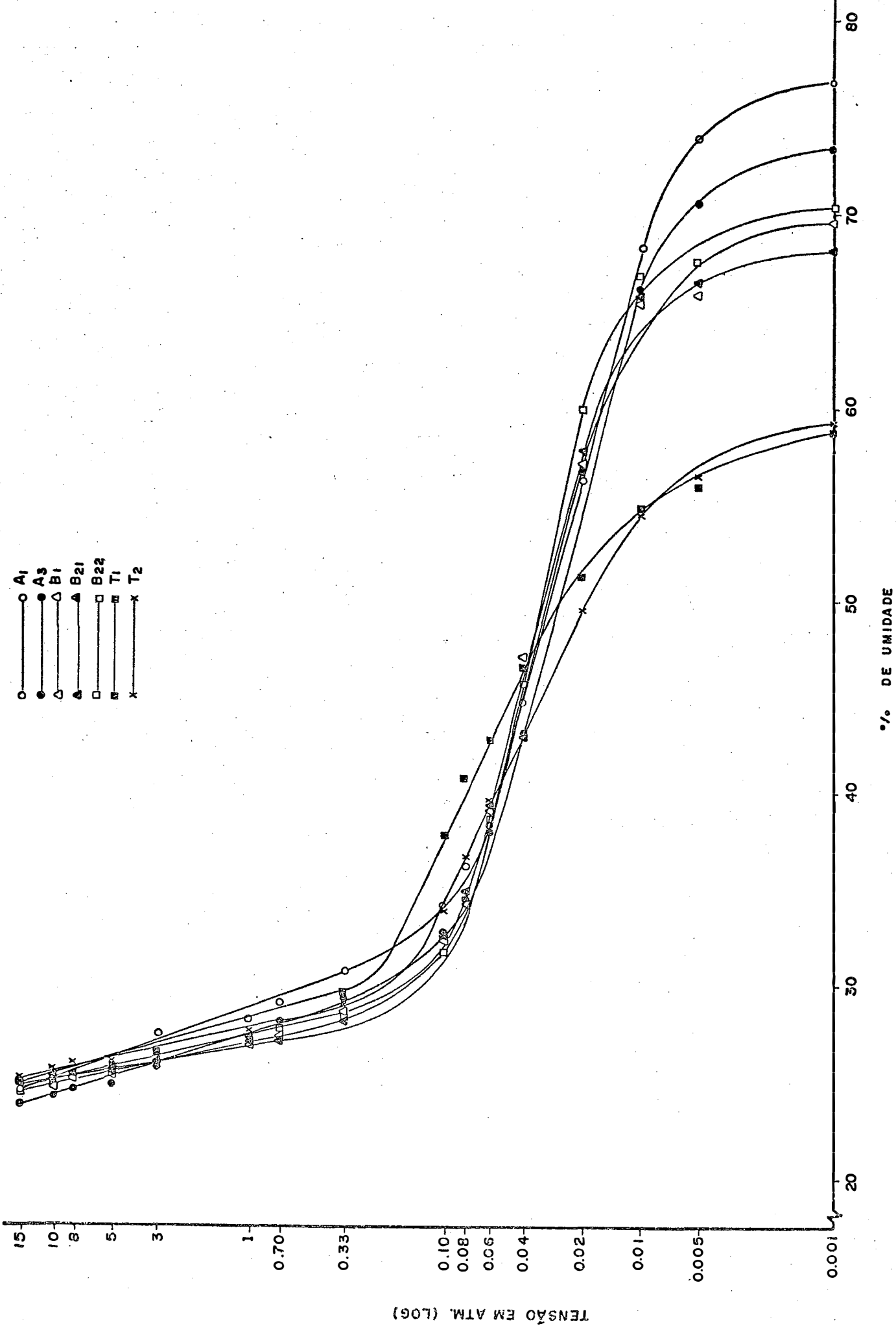


FIGURA 2. Curvas características de umidade dos horizontes A₁, A₃, B₁, B₂₁, B₂₂, T₁ e T₂, obtidas por secagem de amostras originais

A similaridade apresentada pelas sete curvas de retenção (fig. 2), para as tensões acima de 0,33 atm, sugerem uma função linear de logaritmo da tensão, semelhante as encontradas por ALI et al (1966), sendo que o autor estabeleceu a função para retenção acima de 1 atm. Procurou-se então estabelecer a equação de reta na faixa de retenção de 0,33 a 15 atm de tensão. As equações estabelecidas entre logaritmo da tensão e teores de umidade (quadro 8), indicam uma função linear na retenção de 0,33 a 15 atm. Todos os coeficientes de correlação foram altamente significativos.

Observa-se que para as tensões de 0,1 a 15 atm e de 0,06 a 15 atm os ajustamentos a uma função linear não são tão perfeitos como nas tensões 0,33 a 15 atm. Observa-se também que o aumento da amplitude da faixa de umidade disponível, promove um decréscimo nos coeficientes de correlação.

4.2.2 - Correlações entre Características Físicas e Químicas do Solo com a sua Retenção de Umidade e Água Disponível

Foram estabelecidas correlações para verificar a influência de: óxidos de ferro livre, carbono orgânico, argila, limo, superfície específica total e capacidade de troca de cátions nas variações de retenção de umidade entre horizontes. A escolha destes fatores se deveu ao fato da literatura apresentá-los como causadores de variação na retenção de umidade, sendo considerado neste estudo como os mais importantes. Vários trabalhos têm demonstrado influência da textura, carbono orgânico e óxidos de ferro livre na retenção. PREBBLE & STIRK (1953), SALTER & WILLIAMS (1965), SALTER et al (1966), SALTER & WILLIAMS (1969), ALI et al (1966), GAVANDE (1968),

QUADRO 8 - Equações da reta e coeficientes de correlação para as amplitudes de retenção de 0,33, 0,10, 0,06 e 15 atm da tensão, onde Y = teor de umidade em % de T.F.S.E. e X = tensão aplicada em atm.

Horizontes	Umidade Disponível		Umidade Disponível		Umidade Disponível	
	0,33 - 15 atm		0,10 - 15 atm		0,06 - 15 atm	
A ₁	Y = 29,144 - 0,385 X r = -0,895**		Y = 30,246 - 0,496 X r = -0,811**		Y = 32,331 - 0,706 X r = -0,752**	
A ₃	Y = 27,899 - 0,341 X r = -0,867**		Y = 28,991 - 0,451 X r = -0,783*		Y = 31,215 - 0,675 X r = -0,716*	
B ₁	Y = 27,327 - 0,233 X r = -0,845**		Y = 28,430 - 0,343 X r = -0,712*		Y = 30,981 - 0,601 X r = -0,633*	
B ₂₁	Y = 27,129 - 0,200 X r = -0,853**		Y = 28,293 - 0,317 X r = -0,676*		Y = 30,987 - 0,588 X r = -0,611*	
B ₂₂	Y = 27,556 - 0,232 X r = -0,838**		Y = 28,509 - 0,327 X r = -0,734*		Y = 30,978 - 0,576 X r = -0,641*	
T ₁	Y = 27,997 - 0,255 X r = -0,835**		Y = 30,118 - 0,468 X r = -0,605*		Y = 33,660 - 0,825 X r = -0,619*	
T ₂	Y = 27,959 - 0,247 X r = -0,825**		Y = 29,312 - 0,383 X r = -0,681*		Y = 31,978 - 0,651 X r = -0,647*	
M	Y = 27,859 - 0,271 X r = -0,858**		Y = 29,129 - 0,398 X r = -0,717*		Y = 31,732 - 0,661 X r = -0,662*	

* - significativo a 5%.

** - significativo a 1%.

PETERSEN et al (1968a e 1968b), DIAZ (1970), KIVISAARI (1971), PETERSEN et al (1971), WINKLER & GOEDERT (1972), SERRANO (1972), RIVERS & SHIPP (1972), MACLEAN & YAGER (1972), CLAYTON & JENSEN (1973), REEVE et al (1973), e SHETRON (1974).

Os resultados do quadro 9, mostram que a contribuição dos óxidos de ferro livre, carbono orgânico e argila, não apresenta o mesmo comportamento em todas as tensões estudadas. O carbono orgânico, possui atuação contrária aos óxidos de ferro livre e argila. Quando o carbono orgânico contribui positivamente para a retenção de umidade, os óxidos de ferro livre e argila, contribuem negativamente e vice-versa. Os óxidos de ferro livre e argila apresentam tendência de correlacionar positivamente com teores de umidade retidos nas tensões de 10 e 15 atm, 0,04 a 0,1 atm, sendo o inverso para carbono orgânico. Este apresenta influência positiva na retenção na faixa abaixo de 0,02 atm, e de 0,1 a 5 atm de tensão.

As correlações para limo, superfície específica total e CTC, apresentaram resultados variáveis. Correlações altamente significativas foram encontradas por vários autores, para superfície específica e umidade retidas a 0,33, 1, 4 e 15 atm de tensão. MORTLAND (1954), MORIN & JACOBS (1964), GROHMANN (1969 e 1970), HILLEL (1972b) e SHETRON (1974).

Verifica-se portanto que a superfície específica não apresentou correlações significativas. Evidencia-se apenas tendências de correlação positiva para as tensões 0,06; 0,08; 10 e 15 atm, sendo negativa nas demais tensões.

A argila sendo a maior participante da retenção de água e da superfície específica do solo ($r = 0,765$, significativo a 5%) apresenta teores quantitativos uniformes no perfil, seu causar variações na retenção de umidade.

Independente da tensão verifica-se que o limo não apresentou correlação significativa, sendo negativa e significativa para óxidos de ferro livre, argila, superfície específica e positiva para carbono e CTC. Estes resultados mostram que o carbono foi, provavelmente o constituinte que mais contribuiu com a retenção de umidade.

Procurou-se verificar a influência dos óxidos de ferro livre, carbono orgânico, argila, limo, superfície específica total e CTC, nas variações de umidade disponível (quadro 10).

Os resultados mostram que na faixa de 0,33 a 15 atm, houve correlação significativa e positiva para carbono e CTC, sendo negativa para óxidos de ferro livre. Para os óxidos de ferro livre acredita-se que sua participação isolada na retenção de umidade, não queira significar muito. Isto porque a sua maior participação talvez seja em associação com os demais constituintes, promovendo agregação de partículas que vai afetar a quantidade e distribuição de poros do solo. Na faixa de 0,10 a 15 atm somente o limo apresentou significância, sendo negativa. Para a faixa de 0,06 a 15 atm, nenhum dos fatores correlacionados com a umidade disponível explicam as variações. As correlações de umidade disponível nas três amplitudes com a superfície específica, apresentaram resultados semelhantes a SHETRON (1974).

As correlações negativas obtidas para argila, talvez possam ser explicadas em termos qualitativos de argila, pela predominância de argilas de tipo 1:1, com baixa capacidade de retenção de umidade, conforme sugere SERRANO (1972).

QUADRO 9 - Correlações entre teores de umidade retidos por amostras originais com: % Fe₂O₃ livre, % carbono, % argila, % limo, superfície específica total e CTC, nas diversas tensões.

Tensões atm	Umidade x % Fe ₂ O ₃	Umidade x % Carbono	Umidade % % Argila	Umidade x % Limo	Umidade x St m ² /g	Umidade x CTC
0,001	-0,791**	0,775**	-0,726**	0,361	-0,585	0,754**
0,005	-0,812**	0,776**	-0,758**	0,385	-0,578	0,758**
0,010	-0,661	0,578	-0,626	0,611	-0,555	0,552
0,020	-0,455	0,267	-0,400	0,850**	-0,499	0,232
0,040	0,293	-0,287	0,104	0,476	-0,471	-0,324
0,060	0,628	-0,503	0,509	0,260	0,097	-0,496
0,080	0,322	-0,210	0,258	-0,565	0,014	-0,192
0,100	0,235	0,046	0,175	-0,689*	-0,018	-0,027
0,330	-0,611	0,736*	-0,567	-0,697*	-0,346	0,752*
0,700	-0,776**	0,795**	-0,676*	-0,471	-0,463	0,806*
1,000	-0,657	0,708*	-0,675*	-0,616	-0,303	0,729*
3,000	-0,682*	0,759*	-0,779*	-0,455	-0,639	0,765**
5,000	-0,265	0,218	-0,409	-0,455	-0,326	0,236
8,000	0,078	-0,272	-0,063	-0,162	-0,120	-0,263
10,000	0,222	-0,415	0,062	-0,089	0,333	-0,404
15,000	0,431	-0,599	-0,245	0,019	0,105	-0,592
\bar{M}	-0,824**	0,786**	-0,811**	0,406	-0,800**	0,761**

*, ** 10 e 5% de probabilidade respectivamente.

QUADRO 10 - Correlações entre valores de água disponível em amostras originais com: % Fe₂O₃ livre, % Carbono, % Argila, % Limo, Superfície específica total e CTC.

Faixa A.D.	A.D. x % Fe ₂ O ₃	A.D. x % Carbono	A.D. % Argila	A.D.x Limo	A.D.x St m ² /g	A.D. x CTC
15 - 0,33 atm	- 0,675**	0,845*	- 0,567	- 0,587	- 0,329	0,857*
15 - 0,10 atm	0,154	0,082	0,131	- 0,730**	- 0,042	0,100
15 - 0,06 atm	0,590	- 0,395	0,510	- 0,366	0,079	- 0,389

*, ** 10 e 5% de probabilidade, respectivamente.

4.3 - Retenção de Umidade em Amostras Originais para Curvas de Retenção Obtidas por Umidecimento

As curvas de umidecimento para amostras originais do perfil foram obtidas da saturação até 0,2 atm de tensão. Acima de 0,2 atm, completou-se a curva arbitrariamente ligando este ponto ao de 15 atm da curva de secagem. A sorção foi limitada a 0,2 atm em virtude de rompimento da coluna de água. O objetivo da determinação da curva de umidecimento foi verificar os efeitos de histerese para o solo em estudo. Considerou-se no entanto, satisfatórios os pontos encontrados, tendo em vista o efeito mais pronunciado da histerese às baixas tensões.

Pela análise de variância (quadro 11), verifica-se pelo teste F, diferenças significativas entre os teores de umidade retidos por sorção nos diferentes horizontes e nas diferentes tensões.

Os teores de umidade expressos em percentagens de T.F.S.E., apresentados no quadro 12 mostram retenção uniforme para os dois horizontes A e para os três horizontes B, os quais diferiram entre si, havendo também diferença para os horizontes T. Verifica-se diferença significativa entre todas tensões independente dos horizontes. As retenções realizadas pelos horizontes, individualmente, mostram que nas tensões 0,2, 0,1 e 0,08 atm, ocorre divergência no comportamento de retenção. Para tensões abaixo de 0,08 atm, observa-se que os teores de umidade retidos pelos diversos horizontes apresentam diferenças significativas entre tensões, para todos os horizontes.

QUADRO 11 - Análise de variância da retenção de umidade em amostras originais, obtida por umidecimento.

C. Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	62	42306,4260	682,3617	1269,7463**
Horizontes (H)	6	462,6336	77,1056	143,4789**
Tensões (T)	8	40151,0542	5018,8817	9339,1918**
T x H	48	1692,7382	35,2653	65,6220**
H / 0,200	6	11,2205	1,8700	3,4797**
H / 0,100	6	10,1685	1,6947	3,1535**
H / 0,080	6	9,0779	1,5129	2,8152**
H / 0,060	6	12,3742	2,0623	3,8375**
H / 0,040	6	6,3044	1,0507	1,9551**
H / 0,020	6	168,6543	28,1090	52,3055**
H / 0,010	6	807,5626	134,5937	250,4534**
H / 0,005	6	359,2850	59,8808	111,4268**
H / 0,001	6	682,2375	113,7062	211,5857**
Resíduo	126	67,7134	0,5374	
TOTAL	188	42374,1394		
CV % 1,72				

** significativo ao nível de 1%

QUADRO 12 - Teores de umidade em % T.F.S.E., obtidos por umidhecimento de amostras originais, dos diversos horizontes em nove tensões e retenção à 0,2 atm obtida por secagem (média 3 repetições).

Tensões atm Horiz.	Tensões									\bar{M}	0,2 sec.
	0,2	0,1	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,005	0,001		
A ₁	28,53	29,63	30,14	31,65	36,01	43,22	45,68	64,44	75,83	42,78	30,07
A ₃	26,26	28,33	30,01	31,79	36,04	41,19	52,49	63,21	74,16	42,61	30,09
B ₁	27,54	29,34	30,21	32,06	34,60	47,46	60,03	65,41	69,89	44,06	29,40
B ₂₁	27,64	29,33	30,19	31,68	35,17	48,46	61,33	65,51	69,42	44,31	29,14
B ₂₂	27,35	28,83	29,90	30,95	34,53	46,36	60,69	66,87	68,99	43,83	29,13
T ₁	28,42	30,75	32,21	33,23	36,59	44,96	52,63	57,09	59,85	41,75	29,09
T ₂	26,98	29,55	30,00	31,62	34,25	40,56	45,75	54,98	60,08	39,61	28,99
\bar{M}	27,53	29,39	30,38	31,86	35,31	44,61	54,09	62,50	68,32	42,78	29,41

DMS 5% entre horizontes para mesma tensão = 1,77

DMS 5% entre horizontes = 0,59

DMS 5% entre tensões para mesmo horizonte = 1,86

DMS 5% entre tensões = 0,70

Pelas curvas de secagem e umidecimento representadas nas figs. de 3 a 9, verifica-se o efeito de histerese em cada horizonte.

Para ROSE (1969) e HILLEL (1972a), a relação entre potencial matricial e solo umidecido, pode ser obtida por desorção e sorção. HILLEL(1972a), relata que as curvas obtidas pelos dois métodos não são idênticas. O equilíbrio do solo úmido numa tensão é maior na desorção (secagem) do que na sorção (umidecimento). Esta dependência do equilíbrio e do estado da água do solo sobre a direção do processo dominante é conhecido como histerese. Nas figs. de 3 a 9, verifica-se perfeitamente este comportamento, pois os teores de umidade nas tensões estudadas, são maiores para a curva de secagem do que umidecimento.

Estas curvas mostram também tendência da curva de umidecimento se aproximar da curva de secagem nas tensões próximas da saturação (0,001 atm). No outro extremo da curva (tensão de 0,2 atm) observa-se também a tendência de se encontrar com a curva de secagem, evidenciando que o efeito de histerese é maior à baixas tensões, no presente estudo para tensões inferiores a 0,2 atm.

O efeito da histerese para HILLEL (1972a) é em geral mais pronunciada em solos de textura grosseira na faixa de baixas tensões. No presente estudo evidencia-se também efeito de histerese à baixas tensões em solo com textura argilosa. ROSE (1971), afirma que as variações causadas por histerese, ainda que reais podem possivelmente ser negligenciáveis na prática devido os efeitos causados por mudanças que ocorrem no solo (temperatura) ou por mudanças no manejo do solo (estrutura). Os resultados obtidos, mostrando efeito pronunciado de histerese em todos horizontes, contestam a afirmativa de ROSE (1971), principalmente, pelas condições que foram conduzido os trabalhos de

laboratório, com amostras de tamiz de 2 mm, para as duas curvas, sem mudança na estrutura.

O fenômeno de histerese, segundo BOX & TAYLOR (1962), pode ser explicado em parte por mudanças na densidade aparente. Não só em estudo, considera-se que a densidade aparente não afetou a retenção de modo a promover o efeito de histerese, diante das mesmas condições em que as amostras foram colocadas para serem submetidas a desorção ou sorção.

Como causa mais provável de histerese neste solo, considera-se as estabelecidas por HILLEL (1972a), que são: geometria não uniforme de poros individuais; ângulo de contato modificando o menisco, e poros bloqueados.

Com intuito de verificar as mudanças na amplitude de variação entre curva de secagem e umedecimento, realizou-se correlações entre teores de umidade referente ao efeito de histerese com óxidos de ferro livre, carbono orgânico, argila, limo, superfície específica total e CTC. Evidenciou-se pelos resultados destas correlações (quadro 13) que não existe constituinte mineral ou orgânico estudado que esteja influenciando o fenômeno ao longo da faixa de retenção determinada. Diante disto, tudo indica que o fenômeno depende destes constituintes do solo, mas provavelmente, tem seu efeito aumentado pela ação conjunta, afetando a porosidade da amostra, por arranjos de partículas que são alterados pela diminuição ou aumento de constituintes.

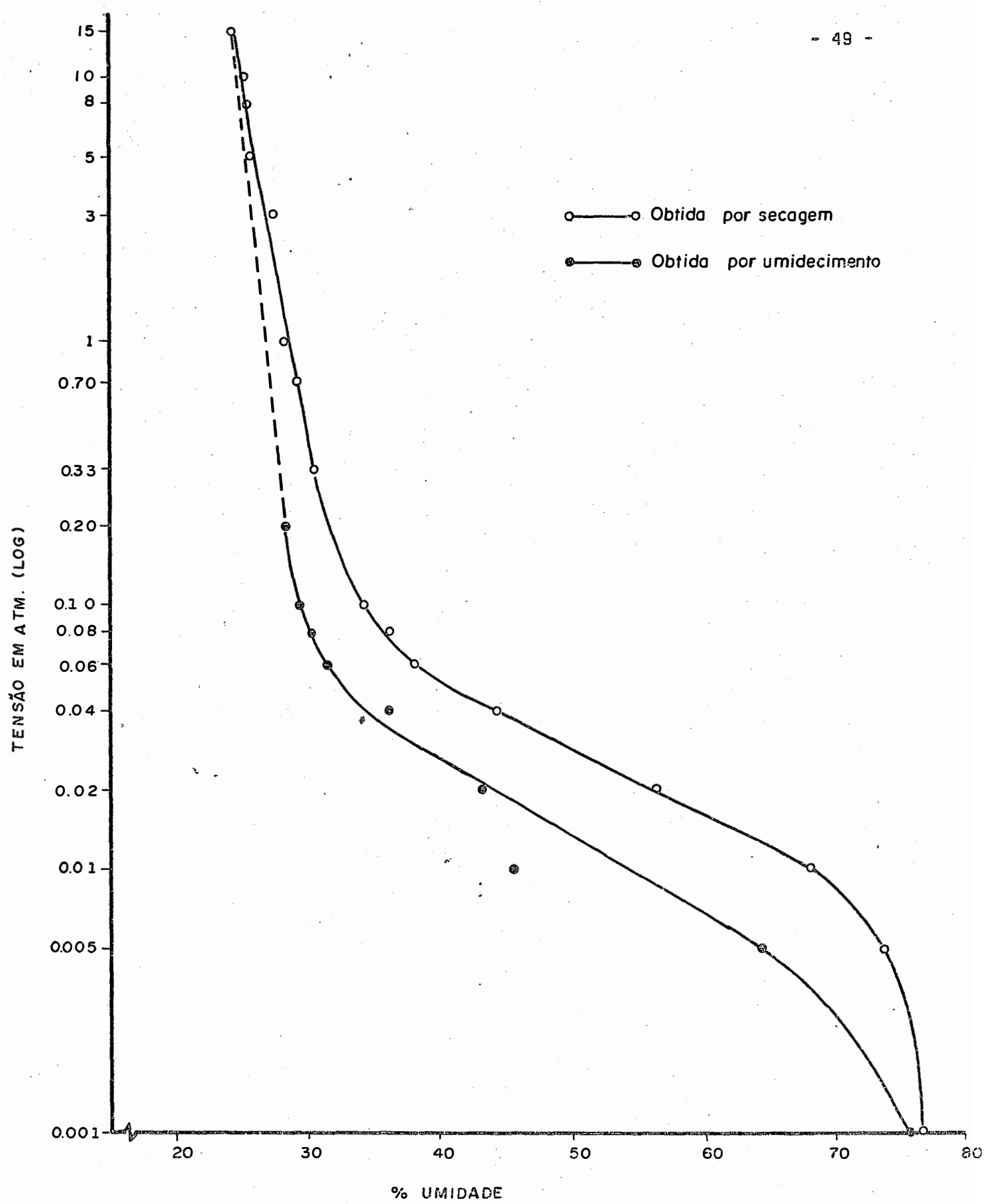


FIGURA 3. Curvas características de umidade do horizonte A₁, obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese.

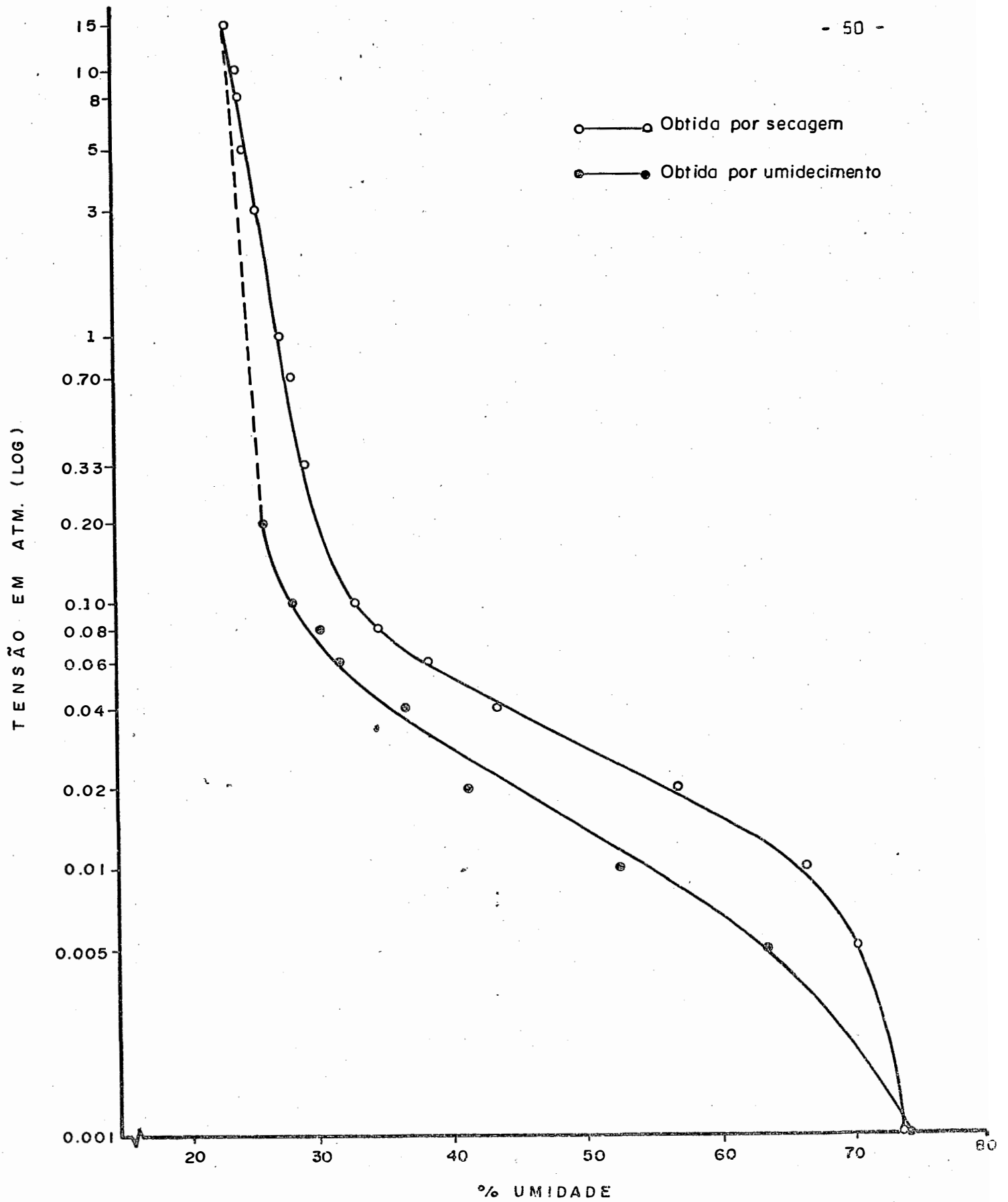


FIGURA 4. Curvas características de umidade do horizonte A₃, obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito histerese.

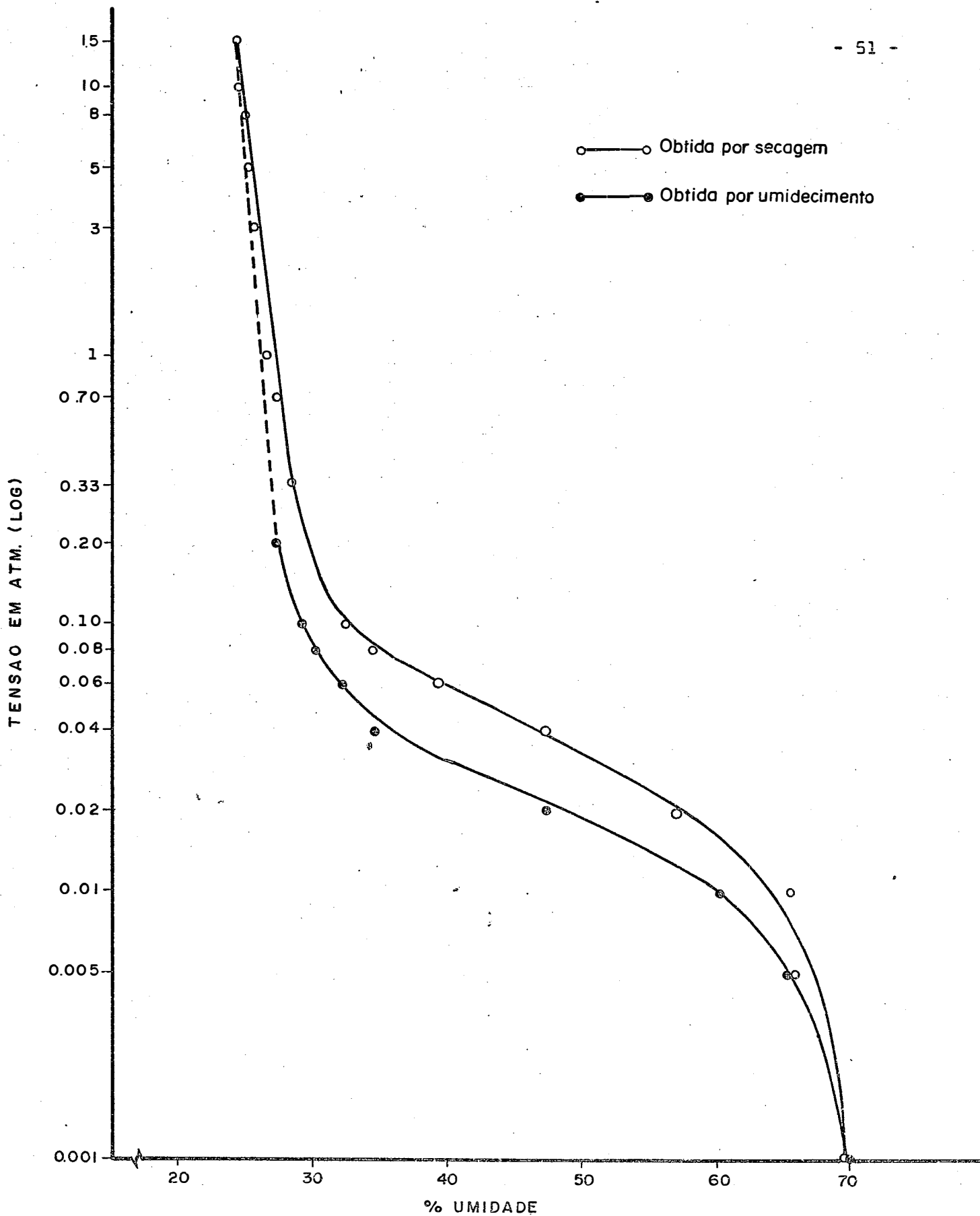


FIGURA 5. Curvas características de umidade do horizonte B_2 , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese

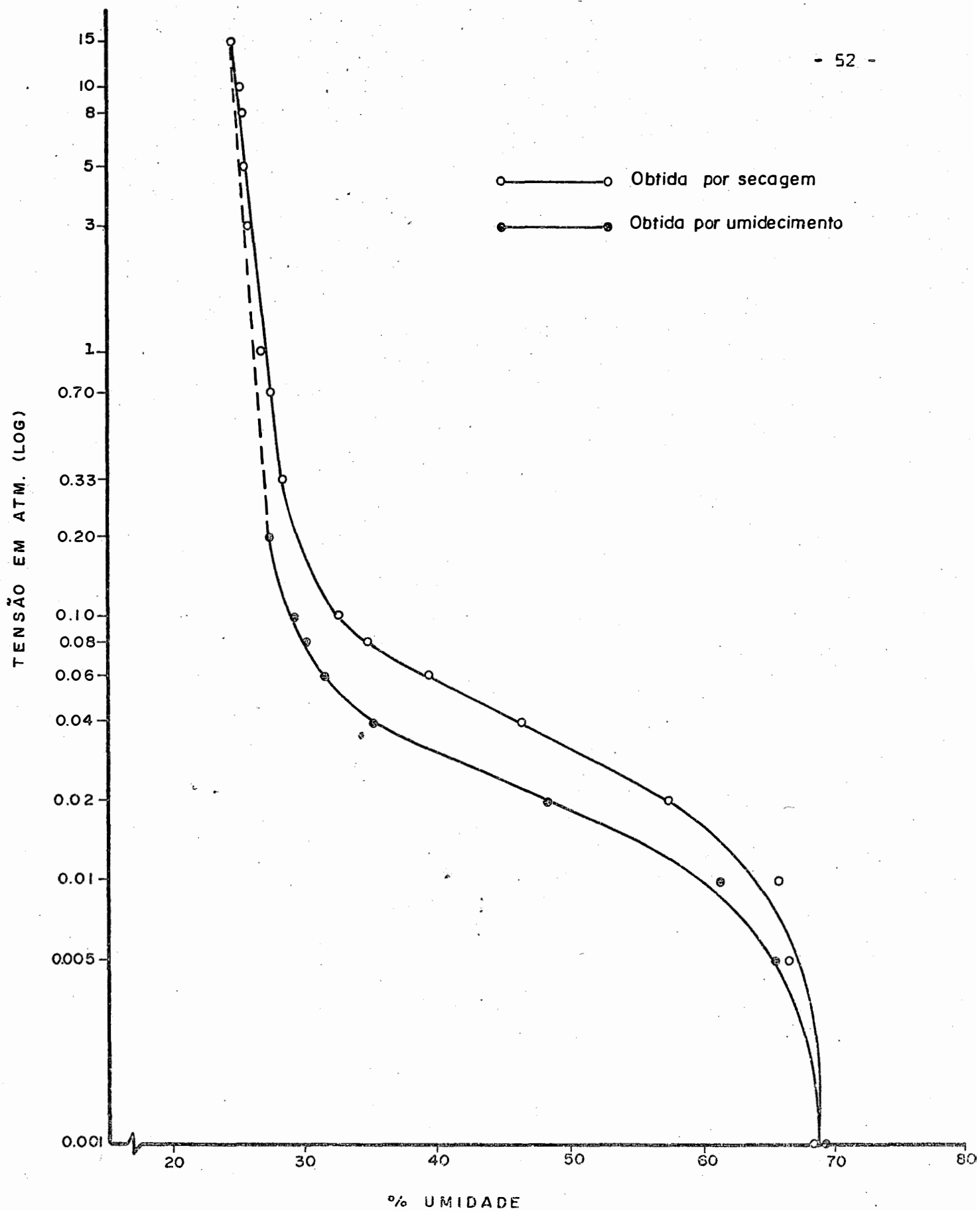


FIGURA 6. Curvas características de umidade do horizonte B_{2t}, obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese

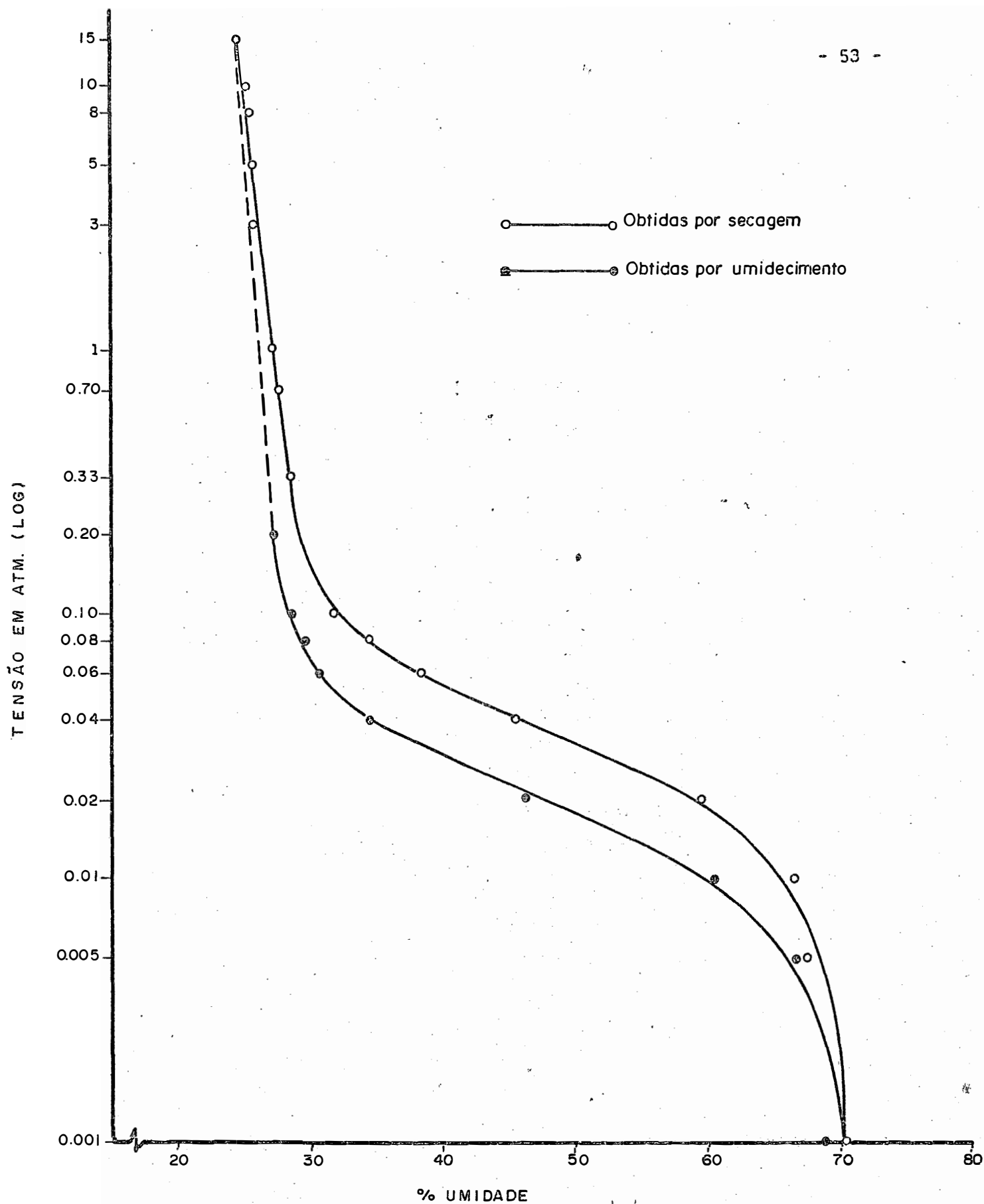


FIGURA 7. Curvas características de umidade do horizonte B₂₂, obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese

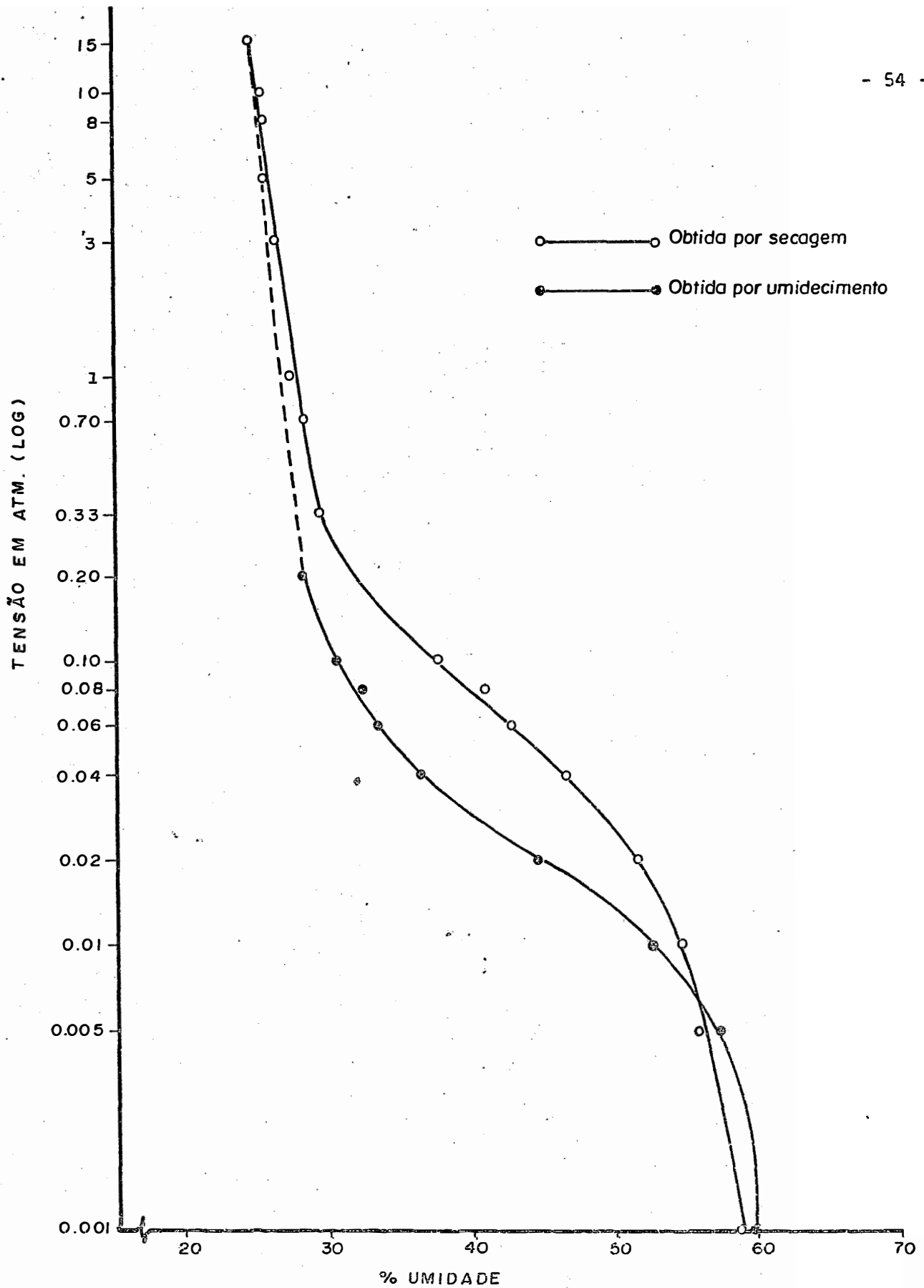


FIGURA 8. Curvas características de umidade do horizonte T_2 , obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese.

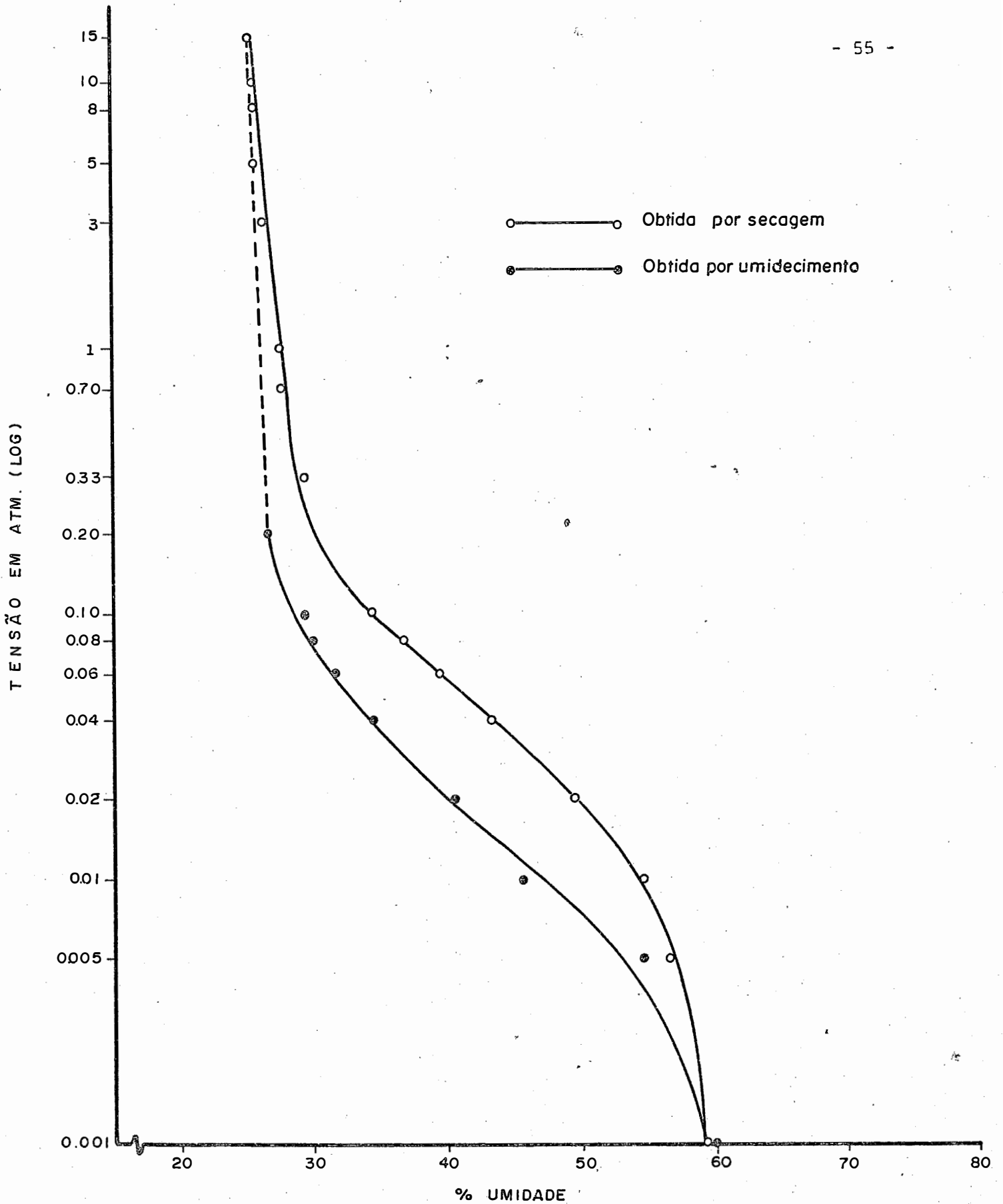


FIGURA 9. Curvas características de umidade do horizonte T₂, obtidas por secagem e umidecimento, de amostras originais, mostrando efeito de histerese.

QUADRO 13 - Correlações entre teores de umidade referente à histerese em amostras originais com: % Fe_2O_3 livre, % Carbono, % argila, % limo, superfície específica total e CTC, nas diversas tensões.

Tensões atm	Umidade x % Fe_2O_3	Umidade x % C	Umidade x % argila	Umidade x % limo	Umidade x St m ² /g	Umidade x CTC
0,001	- 0,692*	0,286	- 0,605	0,433	- 0,447	0,392
0,005	- 0,811**	0,935**	- 0,725*	-0,439	- 0,329	0,948**
0,010	- 0,849**	0,923**	- 0,789**	-0,348	- 0,355	0,933**
0,020	- 0,693*	0,560	- 0,460	0,248	- 0,174	0,556
0,040	0,365	- 0,482	0,188	0,611	- 0,245	- 0,519
0,060	0,616	- 0,654	0,500	-0,109	0,130	- 0,647
0,080	0,258	- 0,184	0,205	-0,629	0,075	- 0,160
0,100	0,177	0,017	0,198	-0,739*	0,071	0,042
0,200	- 0,152	0,206	0,096	-0,036	0,411	0,214

*, ** 10 e 5% de probabilidade, respectivamente.

4.4 - Retenção de Umidade em Amostras dos Horizontes A₁ e B₂₂, com Matéria Orgânica Oxidada, para Curvas de Retenção Obtidas por Secagem

Os resultados da retenção de umidade para os horizontes A₁ e B₂₂, com matéria orgânica oxidada foram submetidos a análise de variância estando os resultados apresentados no quadro 14. Ocorreu diferença significativa para horizontes, tensões e interações T x H.

Os teores de umidade do quadro 15, mostram que as diferenças nas retenções entre A₁ e B₂₂ com matéria orgânica oxidada, foram altamente significativas para todas tensões estudadas. Para tensões abaixo de 0,7 atm, os teores de umidade em ambos os horizontes diferiram altamente entre tensões com exceção de 0,1 e 0,005 atm. Para a faixa de 1 a 5 atm observam-se diferenças altamente significativas no horizonte A₁, sendo que no B₂₂ as tensões de 3 a 5 atm foram semelhantes. Para a faixa acima de 5 atm, os teores de umidade, não diferiram entre tensões nos dois horizontes.

Observa-se que a retenção de umidade pelo A₁ foi sempre menor em todas tensões. Nas amostras originais, ocorreu o contrário para a maioria das tensões. Tal fato se deve a redução do teor de carbono orgânico de 3,39% para 0,52%, havendo uma oxidação na ordem de 85%. Para o horizonte B₂₂ o carbono residual foi de 0,45%, com oxidação na ordem de 47%. Verifica-se portanto que a amplitude de oxidação do carbono do horizonte A₁ representa muito mais do que a do horizonte B₂₂, em termos de retenção de umidade, afetando a retenção conforme resultados no quadro 15.

Em termos de umidade disponível para a faixa de 0,06 a 15; 0,10 a 15 e 0,33 a 15 atm, ocorreu um aumento no horizonte A₁ para faixa 0,06 e 0,10 com ligeiro decréscimo para faixa de 0,33 a 15 atm em relação as amostras

originais. No horizonte B₂₂ houve aumento na umidade disponível para as três faixas em relação as amostras originais.

A remoção dos óxidos de ferro livre, segundo PREEBBLE & STIRK (1953), proporciona aumentos nos valores individuais de retenção (1/3 e 15 atm) e na faixa relativa à água disponível em relação ao solo original. Os aumentos são devidos a dispersão do solo durante o tratamento e o efeito aumenta, com o aumento do teor de argila. Neste estudo pode-se observar efeito semelhante ao da remoção dos óxidos de ferro livre. A remoção da matéria orgânica proporcionou a destruição dos agregados cimentados por ela, promovendo uma dispersão parcial do solo. Esta dispersão aumentou o número de partículas menores que estavam agregadas originalmente em agregados maiores. Existe então uma maior quantidade de água disponível, quando a retenção é realizada por agregados menores, conforme estudos realizados por ESCOLAR & LOPES (1969).

QUADRO 14 - Análise de variancia da retenção de umidade em amostras com matéria orgânica oxidada, dos horizontes A₁ e B₂₂, obtida por secagem.

C. Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	31	10591,7550	341,6695	2392,6435**
Horizontes (H)	1	351,5543	351,5543	2461,8648**
Tensões (T)	15	10124,4917	674,9661	4726,6533**
T x H	15	115,7090	7,7139	54,0189**
H / 0,001	1	19,5843	19,5843	137,1449**
H / 0,005	1	38,0017	38,0017	266,1183**
H / 0,010	1	33,6066	33,6066	235,3403**
H / 0,020	1	63,3100	63,3100	443,3473**
H / 0,040	1	63,8961	63,8961	447,4516**
H / 0,060	1	60,3337	60,3337	422,5049**
H / 0,080	1	53,0443	53,0443	371,4586**
H / 0,100	1	38,3904	38,3904	268,8403**
H / 0,330	1	8,3840	8,3840	58,7114**
H / 0,700	1	10,7201	10,7201	75,0707**
H / 1,000	1	9,2504	9,2504	64,7787**
H / 3,000	1	7,7521	7,7521	54,2864**
H / 5,000	1	3,8048	3,8048	26,6442**
H / 8,000	1	4,8542	4,8542	33,9929**
H /10,000	1	4,6666	4,6666	32,6792**
H /15,000	1	8,6640	8,6640	60,6722**
Resíduo	64	9,1441	0,1428	
TOTAL	95	10600,8991		
CV% = 1,05				

** significativo ao nível de 1%

QUADRO 15 - Teores de umidade em % de T.F.S.E., obtidos por secagem de amostras com matéria orgânica oxidada dos horizontes

A₁ e B₂₂ nas tensões em estudo (média de 3 repetições).

Tensões atm	15	10.	8	5	3	1	0,7	0,33	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,005	0,001	\bar{M}
A ₁	22,92	23,00	23,33	23,79	25,13	26,46	26,96	28,90	35,17	36,71	38,84	41,04	42,75	48,14	48,22	50,27	33,65
B ₂₂	25,32	25,67	26,02	26,35	27,40	28,94	29,63	31,99	40,61	42,66	45,49	47,56	49,24	52,87	53,25	53,88	37,93
\bar{M}	24,12	24,33	24,67	25,07	26,26	27,70	28,29	30,44	37,89	39,68	42,16	44,30	45,99	50,50	50,73	52,07	

DMS 1% entre horizontes para mesma tensão = 0,81

DMS 1% entre horizontes = 0,20

DMS 1% entre tensões para mesmo horizonte = 1,24

DMS 1% entre tensões = 1,24

As curvas características de umidade, por secagem de amostras originais e com matéria orgânica oxidada, dos horizontes A_1 e B_{22} são apresentadas nas figs. 10 e 11.

A representação das curvas na fig. 10, mostra que a retenção por amostras com matéria orgânica oxidada foi menor para tensões abaixo de 15 atm tendo um comportamento uniforme até 0,33 atm. A partir desta tensão houve tendência em aproximar da curva de amostra original, sendo a retenção em 0,10, 0,08 e 0,06 praticamente idêntica à amostra original. Tudo indica que a matéria orgânica não influencia a retenção de umidade nas tensões 0,10, 0,08 e 0,06 atm, estando a retenção ligada a distribuição de tamanho de poro conforme sugere REEVE et al (1973).

Abaixo de 0,06 atm, os teores de umidade foram menores em relação ao das amostras originais. Nesta faixa de baixas tensões, a redução na retenção de umidade pela amostra com matéria orgânica oxidada quando comparada com a original foi bem maior. Observa-se que os teores de umidade foram distanciando dos teores das amostras originais, progressivamente até a tensão de 0,001 atm.

A oxidação da matéria orgânica do horizonte B_{22} , proporcionou aumento na retenção de umidade na faixa de 15 a 0,04 atm de tensão em relação as amostras originais. GROHMANN & CAMARGO (1973), encontraram teores maiores de água higroscópica, em relação ao solo original, quando se destruiu a matéria orgânica. A partir de 0,04 atm a retenção diminuiu em relação as amostras originais. As diferenças de retenção entre as duas curvas aumentaram progressivamente para a umidade de saturação (0,001 atm), como ocorreu para o horizonte A_1 .

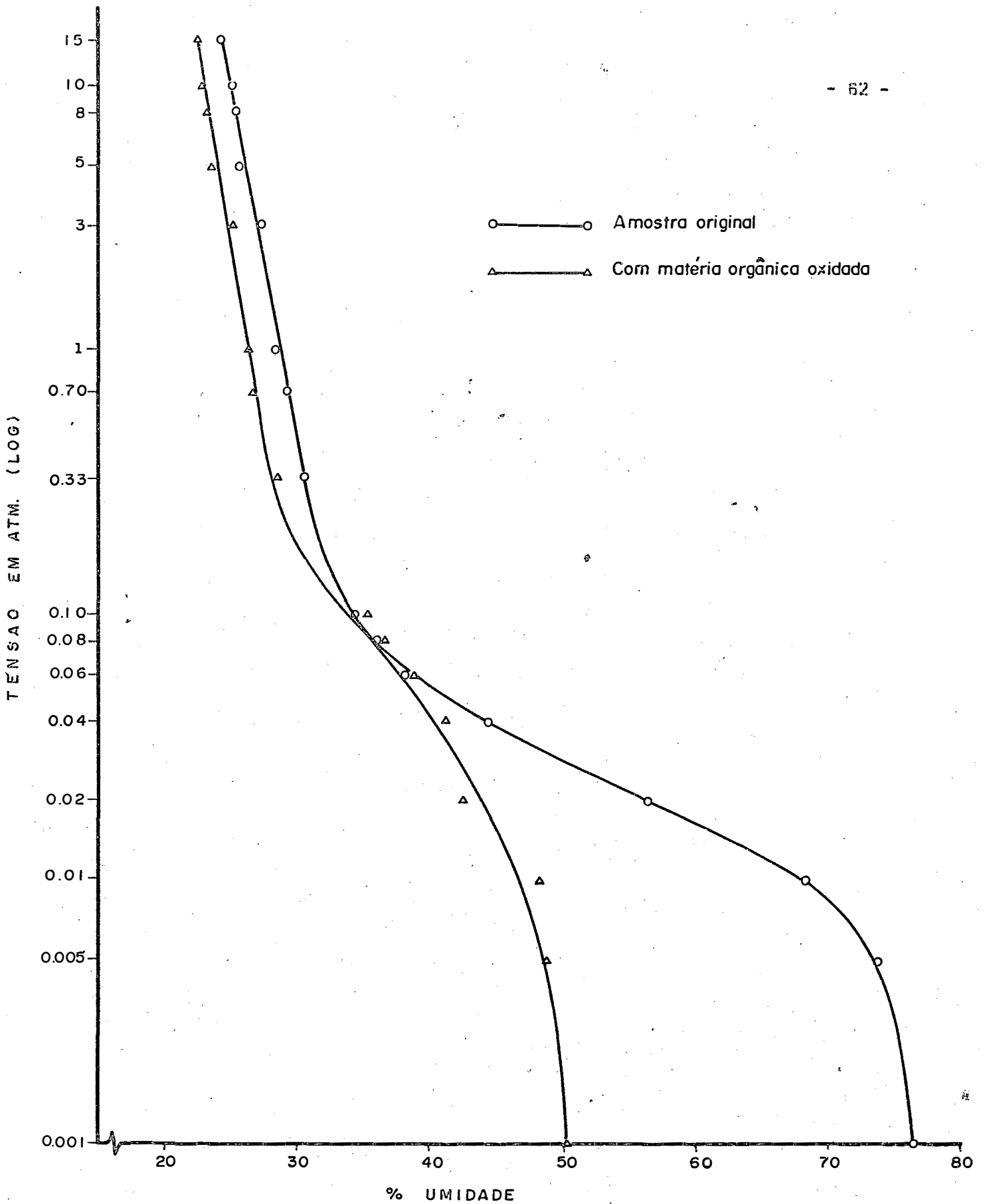


FIGURA 10. Curvas características de umidade do horizonte A₁ obtidas por secagem, de amostras originais e com matéria orgânica oxidada

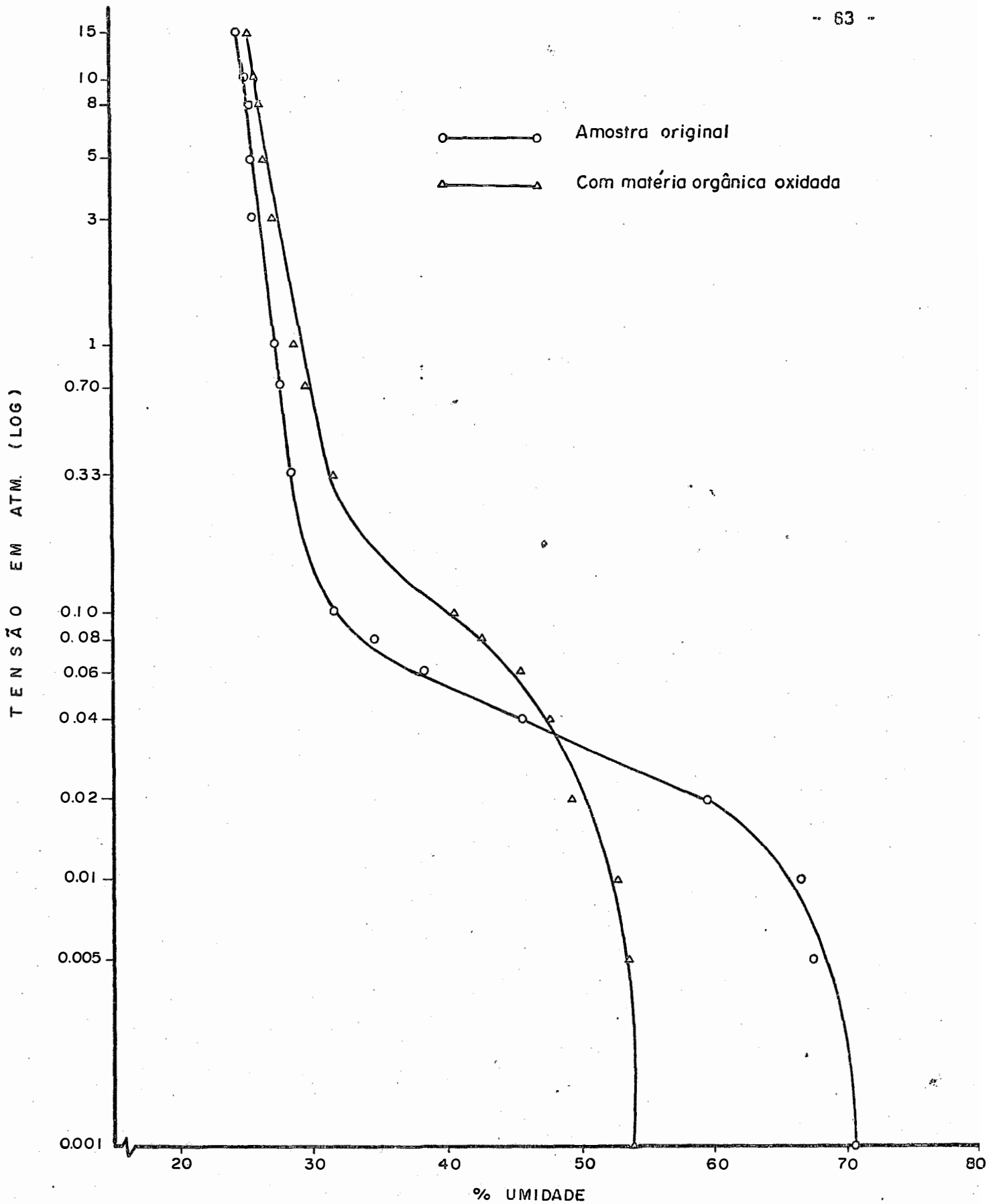


FIGURA 11. Curvas características de umidade do horizonte B₂₂ obtidas por secagem, de amostras originais e com matéria orgânica oxidada.

A maior retenção de umidade de 15 a 0,04 atm do horizonte B₂₂ (fig. 11) indica a existência de certo limite de carbono orgânico no solo, promovendo retenções diferentes à altas tensões em relação a amostras originais. Torna-se evidente que a ação cimentante e mesmo de retenção da matéria orgânica no B₂₂ foi menor do que no A₁. Observa-se então uma participação quase que total das frações minerais na retenção de umidade pelo B₂₂. As figs. 10 e 11, mostram que a influência da matéria orgânica na retenção de umidade, além das tensões estudadas, varia em função do teor inicial desta no solo. Para amostras com teor alto inicialmente, a oxidação proporciona maior efeito a baixas tensões.

O efeito da manipulação das amostras do solo destruindo os agregados promove aumento significativo na retenção de umidade na faixa de tensão inferior a 1 atm, para RICHARDS & FIREMANN (1943). Observa-se na fig. 11, que na faixa onde ocorreu o aumento da retenção, encontram-se os limites estabelecidos pelos autores. A desagregação do solo promovendo retenções diferentes entre amostras com estrutura natural e deformada, foi verificada por RICHARDS & WADLEIGH (1952), comprovando a maior retenção à baixas tensões pela diminuição do tamanho dos agregados. CHANG (1968) observou também que amostras preparadas com pequenos agregados (<0,25 mm), retêm mais água a altos pF (>2,0), mas menos água a baixos pF (<2,0).

Outros trabalhos verificaram a influência do tamanho dos agregados na retenção. MARCOS (1968) observou que o efeito da manipulação é variável dependendo de sua intensidade, sendo o maior efeito na faixa de 0,04 e 1,0 atm. As variações estruturais, influenciaram a retenção a baixas tensões (<0,1 atm). Para SCARDUA (1972) o limite de influência da estrutura foi inferior a 0,2 atm. Os resultados obtidos por MARCOS (1968) e SCARDUA (1972), indicam que este limite é uma função específica de cada solo.

Esta afirmativa pode ser comprovada pelos resultados de SHARMA & UEHARA (1968) que verificaram influência dos agregados grosseiros na retenção de 0 - 0,3 bar de tensão, sendo que o efeito dos agregados finos foi mais acentuado acima desta faixa.

Observa-se porém certa concordância entre os autores nos resultados de retenção para os agregados finos, retendo mais umidade à altas tensões e menos água à baixas tensões, variando apenas a tensão que separa os dois fenômenos.

Os resultados obtidos neste estudo (quadro 15 e fig. 11) confirmam o efeito dos agregados pequenos retendo mais água a altas tensões e menos água à baixas tensões. Indicam também que este comportamento se deveu a destruição dos agregados presentes na amostra original durante a oxidação da matéria orgânica, diminuindo desta forma os diâmetros dos mesmos. A explicação dada por HILLEL (1972c), para retenção de umidade por agregados finos, foi que a retenção à baixas tensões (0 - 1 bar) depende principalmente do efeito de capilaridade e distribuição do tamanho de poros, sendo grandemente afetada pela estrutura do solo. A retenção de umidade na faixa de altas tensões é devido a capacidade de adsorção do solo e é menos influenciada pela estrutura do solo e mais pela textura e superfície específica do solo.

5. CONCLUSÕES

Nas condições do experimento, os resultados para retenção de umidade em perfil oxissol, permitiram tirar-se as seguintes conclusões:

1. Houve diferenças significativas na retenção de umidade obtida por secagem entre os horizontes genéticos A, B e T, não havendo diferenças significativas entre as subdivisões de cada horizonte genético, principalmente na faixa de umidade de interesse para irrigação. Para estudo de retenção de umidade, a coleta de uma amostra para cada horizonte genético, será suficiente para representar o comportamento de retenção das amostras do perfil de solo.

2. Os teores de umidade para retenção acima de 5 atm, não diferiram significativamente entre si em todos horizontes, sendo mínima a quantidade de umidade para as plantas para tensões acima de 8 atm.

3. As maiores variações de umidade ocorreram nas tensões abaixo de 0,3 atm e as menores nas tensões acima de 3 atm.

4. A retenção de umidade obtida por umidecimento mostrou semelhança de retenção para as subdivisões dos horizontes A e B, havendo diferenças entre a subdivisão de T.

5. O efeito de histerese foi maior para tensões inferiores a 0,2 atm.

6. O efeito da matéria orgânica na retenção de umidade obtida por secagem foi maior nos horizontes superficiais. A participação da argila, limo, óxidos de ferro livre, superfície específica total, como responsável pelas variações na retenção de umidade entre horizontes, foi mínima.

7. A remoção de matéria orgânica afetou mais a retenção de umidade na faixa abaixo de 0,06 atm para o horizonte A₁ e abaixo de 0,04 atm para o horizonte B₂₂, mostrando que o efeito da matéria orgânica na retenção é mais acentuado em baixas tensões.

6. RESUMO

A retenção de umidade foi determinada em amostras de solo pertencentes a sete horizontes de perfil oxissol do município de Lavras, Minas Gerais. As amostras com diâmetro máximo de partículas de 2 mm, foram submetidas a 16 tensões, desde 0,001 atm até 15 atm, por secagem de amostras saturadas. Os aparelhos utilizados foram, unidade de sucção para tensões abaixo de 0,1 atm, placa porosa de Richards para tensões de 0,33 e 1 atm e membrana de Richards para tensões de 3 a 15 atm. As determinações foram realizadas em três repetições.

Equações de reta foram estabelecidas para cada horizonte, entre o logaritmo da tensão e os teores de umidade retidos para o intervalo de tensões que variaram de 0,06; 0,10; 0,33 a 15 atm.

Determinou-se também retenção de umidade pelas amostras, por umidecimento a partir de amostras secas ao ar, utilizando unidade de sucção na faixa de tensão de 0,001 atm a 0,2 atm.

Foram observadas diferenças nas retenções de umidade entre horizontes e entre tensões tanto na curva de secagem como umidecimento. O comportamento das subdivisões dos horizontes A, B e T foram praticamente uniformes em reter umidade.

Estabeleceu-se também, correlações entre os teores de umidade e: teores de óxidos de ferro livre, argila, limo, carbono orgânico, superfície específica total e capacidade de troca de cátions.

Removeu-se a matéria orgânica de amostras dos horizontes A₁ e B₂₂, para verificação da influência desta na retenção de umidade. observou-se para o horizonte A₁ decréscimo na retenção tanto em baixa como em altas tensões. O horizonte B₂₂ apresentou aumento na retenção de umidade para altas tensões, e decréscimo em certa faixa para baixa tensão.

7. SUMMARY

MOISTURE RETENTION IN OXISSOL PROFILE OF THE COUNTY LAVRAS, STATE OF MINAS GERAIS

Moisture retention was determined in soil sample of the seven horizons of an oxissol profile of the county Lavras, of state Minas Gerais. Saturated samples with particles of diameter not greater than two millimeters, were subjected to sixteen tensions from 0,001 atm until 15 atm. The measurements have been performed with a suction unit for tensions below 0,1 atm, with porous Richards plates for tensions 0,33 to 1 atm and with Richards membrane for tensions 3 to 15 atm. Three replications have been made for each determination.

Equations were established for each horizon, between the logarithm of the tensions and the moisture content retained by the soil for following interval of tensions, 0,06; 0,10; 0,33 to 15 atm.

Moisture retention was also determined in samples, by wetting dry samples, utilizing suction units at tensions 0,001 atm to 0,2 atm.

Differences were observed in moisture retentions between horizons and tensions for wetting and drying curves. The behavior of samples from the subdivision of horizons A, B and T were practically uniform in moisture retention.

Correlations have also been established between moisture content and contents of oxide free iron, clay, silt, organic carbon, specific surface, and cation exchange capacity.

Organic matter was removed from samples of horizons A₁ and B₂₂ for

verification of its influence on moisture retention. A decrease in moisture retention for A_1 horizon, was found for low as well as for high tensions. The moisture retention in the B_{22} horizon showed an increase for high tensions and a decrease for low tensions.

8. LITERATURA CITADA

- ALI, M.K. et al. 1966. Soil moisture tension relationships of some Indian soils. *Journal of Soil Sci.* 14: 51-62.
- BAVER, L.D. 1966. The mechanical composition of soils. In: *Soil physics*. 3a. ed. N.Y., John Wiley & Sons Inc. 48-80.
- BENNEMA, J. 1966. Classification of Brazilian soils. Rome, FAO EPTA 2197. 83p.
- BLAKE, G.R. 1965. Bulk density. In: *Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. 1a. ed. Madison, American Society of Agronomy. 374-390.
- _____ 1965. Particle density. In: *Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. 1a. ed. Madison, American Society of Agronomy. 371-373.
- BOX, J.E. & TAYLOR, S.A. 1962. Influence of soil bulk density on matric potential. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26(2): 119-122.
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. 1966. Algumas propriedades físicas importantes dos solos minerais. In: *Natureza e propriedades dos solos*. Tradução de Antonio B.N.F. Filho. 1a. ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos S.A. 58-90.
- CHANG, R.K. 1968. Component potentials and hysteresis in water retention by compacted clay soil aggregates. *Soil Sci.* 105(3): 172-176.
- CHILDS, E.C. 1972. Concepts of soil water phenomena. *Soil Sci.* 113(4):246-253.
- CLAYTON, J.L. & JENSEN, C.E. 1973. Water retention of granitic soils in the Idaho Batholith. USDA Forest Service Research Paper INT-143. 20p.

- DIAZ, F.F. 1970. The influence of soil organic matter type on the available water capacity. An Edafol Agrobiol. 29(3/4): 223-243.
- ESCOLAR, R.P. & LOPEZ, M.A.L. 1969. Availability of moisture in agregates of various sizes in a typical ultisol and a typical oxisol of Puerto Rico. 53(2): 113-117.
- GAVANDE, S.A. 1973. Energia de retencion y liberacion de agua. In: Fisica de suelos - principios y aplicaciones. 1a. ed. México. Limusa-Wiley, S.A. 165-172.
- _____ 1968. Water retention characteristics of some Costa Rica soils. Turrialba 18(1): 34-38.
- GOMES, F.P. 1966. Curso de estatística experimental. 3a. ed. E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP. 404p.
- GROHMANN, F. 1969. A correlação da superfície específica com a retenção de água pelo solo a 1 e 15 atmosferas. In: Congr. Bras. de Ciência do Solo, XII^o, Curitiba, PR. Anais. 15-16.
- _____ 1970. A superfície específica e sua correlação com propriedades físicas e físico-químicas do solo. Tese de Doutorado. E.S.A. "Luiz de Queiroz", mimeografado. 52p.
- GROHMANN, F. & MEDINA, H.P. 1962. Características de umidade dos principais solos do Estado de São Paulo. Bragantia. 21(18): 285-295.
- GROHMANN, F. 1960. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia. 19(21): 319-328.
- GROHMANN, F. & CAMARGO, O.A. 1973. Influência dos óxidos de ferro livres e da matéria orgânica na adsorção da água pelo solo. Bragantia. 32(10): 203-222.

- GROHMANN, F. & VAN RAIJ, B. 1974. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: Congr. Bras. de Ciência do Solo, XIV^o, Santa Maria, R.S. Anais, 123-132.
- GROHMANN, F. 1972. Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. I - Estudo de perfis com horizonte B textural e horizonte B latossólico. *Bragantia*. 31(13): 145-165.
- HEILMAN, M.D. et al. 1965. The ethylene glycol monoethyl ether technique for determining soils surface area. *Soil Sci.* 100(6): 409-413.
- HILLEL, D. 1972a. Hysteresis. In: *Soil and water physical principles and processes*. 1a. ed. N.Y. Academic Press. 65-68.
- _____ 1972b. Basic physical properties of soils. In: *Soil and water physical principles and processes*. 1a. ed. N.Y. Academic Press. 7-27.
- _____ 1972c. Soil-moisture characteristics curve. In: *Soil and water physical principles and processes*. 1a. ed. N.Y. Academic Press. 63-65.
- JACKSON, M.L. 1965. *Soil chemical analysis: advanced course*. Madison, Dept. of Soil Science, 991p.
- KIVISAARI, S. 1971. Influence of texture on some soil moisture constants. *Acta Agral Fenn.*, Helsinki Univ., Finland. Dept. Agricultural. 123. 217-222.
- MACLEAN, A.H. & YAGER, T.V. 1972. Available water capacities of Zambian soils in relation to pressure plate measurements and particle size analysis. *Soil Sci.* 113(1): 23-29.
- MARCOS, Z.Z. 1968. *Estrutura, agregação e água do solo*. Tese de Doutoramento, E.S.A. "Luiz de Queiroz", mimeografado. 55p.

- MARCOS, Z.Z. 1971. Morphologic and physical properties of fine-textura oxisols, state of São Paulo. Tese PhD, Ohio State University, mimeografado. 272p.
- MEDINA, H.P. 1972. Água no solo. In: Elementos de pedologia. Coord. A.C. Moniz. 1a. ed., S.P., Editora Poligono. 45-57.
- MORIN, R.E. & JACOBS, H.S. 1964. Surface area determination of soils by adsorption of ethylene glycol vapor. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28(2):190-194.
- MORTLAND, M.M. 1954. Specific surface and its relationships to some physical and chemical properties of soil. Soil Sci. 78(5): 343-347.
- NAAR, J. & WYGAL, R.J. 1962. Water-suction curves of large-grained aggregates. Journal of Soil Sci. 13(2): 198-201.
- PAVLAKIS, G. & BARDEN, L. 1972. Hysteresis in the moisture characteristics of clay soil; Journal of Soil Sci. 23(3): 350-361.
- PETERSEN, G.W. et al 1968a. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: I. Moisture retention as related to texture. Soil Sci. Soc. Am.Proc.32(2): 271-275.
- PETERSEN, G.W. et al. 1968b. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: II. Soil factors affecting moisture retention within a textural class-silt loam. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32(6): 866-870.
- PETERSEN, G.W. et al. 1971. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: III. Parent material and drainage relationships. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33(1): 115-119.
- PREBBLE, R.E. & STIRK, G.B. 1953. Effect of free iron oxide on range of available water in soils. Soil Sci. 88(4): 213-217.

- REEVE, M.J. et al. 1973. The effect of density on water retention properties of field soils. *Journal of Soil Sci.* 24(3): 355-367.
- RICHARDS, L.A. 1947. Pressure membrane apparatus, construction and use. *Agricultural Engineering.* 28: 451-454.
- RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M. 1943. Pressure - plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. *Soil Sci.* 56: 395-404.
- RICHARDS, L.A. & WADLEIGH, C.H. 1952. Soil Water and plant growth. In: *Soil physical conditions and plant growth.* 1a. ed. N.Y. Academic Press Inc. 491p.
- RIVERS, E.D. & SHIPP, R.F. 1972. Available water capacity of sandy and gravelly North Dakota soils. *Soil Sci.* 113(2): 74-80.
- ROSE, C.W. 1969. Soil moisture characteristics. In: *Agricultural physics.* 1a. ed. N.Y. Pergamon Press. 145-148.
- ROSE, D.A. 1971. Water movement in dry soils. II. An analysis of hysteresis. *Journal of Soil Sci.* 22(4): 490-507.
- SALTER, P.J. & EILLIAMS, J.B. 1965. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. II. Available water capacity and moisture release characteristics. *Journal of Soil Sci.* 16(2): 310-317.
- SALTER, P.J. et al. 1966. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. III. Quantitative relationships between particle-size, composition, and available-water capacity. *Journal of Soil Sci.* 17(1): 93-98.
- SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. 1969. The influence of texture on the moisture characteristics of soil. V. Relationships between particle-size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available-water. *Journal of Soil Sci.* 20(1): 126-131.

- SCARDUA, R. 1972. Porosidade livre de água de dois solos do município de Piracicaba, S.P. Tese de Mestrado, E.S.A. "Luiz de Queiroz", mimeografado, 83p.
- SERRANO, J.F. 1972. A capacidade utilizável para a água em grandes grupos de solos de Moçambique. *Agronomia Moçambicana*. 6(4): 259-266.
- SHARMA, M.L. & UEHARA, G. 1968. Influence of soil structure on water relations in low humic latossols: I. Water retention. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32(6):765-770.
- SHETRON, S.G. 1974. Distribution of free iron and organic carbon as related to available water in some forested sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38(2): 359-362.
- SOIL SURVEY STAFF. 1967. Supplement to soil classification system. (7th approximation). Washington, U.S. Department of Agriculture. 205p.
- TOPP, G.C. 1971. Soil-water hysteresis: The domain theory extended to pore interaction conditions. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 35(2): 219-225.
- UHLAND, R.E. 1949. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14: 361-366,
- VETTORI, L. 1969. Métodos de análise do solo. Ministério da Agricultura. Boletim Técnico Nº 7. 24p.
- WINKLE, E.I.G. & GOEDERT, W.J. 1972. Características hídricas dos solos de Pelotas, R.S. *Pesq. Agropec. Bras. Série Agron.* 7:1-4.