

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE VERMICULITA
EXPANDIDA SOBRE ALGUNS PARÂMETROS HÍDRICOS
DE TRÊS SOLOS

JOÃO ANTONIO GALBIATTI

Orientador: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Univer-
sidade de São Paulo, para obtenção do
Título de Doutor em Agronomia. Área de
Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março, 1983

AOS MEUS PAIS E
IRMÃOS

D E D I C O

À MINHA ESPOSA E
FILHOS

O F E R E Ç O

ÀS PESSOAS E INSTITUIÇÕES QUE PROCURARAM DIRETA OU
INDIRETAMENTE CONTRIBUIR COM A REALIZAÇÃO DESTE
TRABALHO

MEUS AGRADECIMENTOS

Í N D I C E

	PÁGINA
1. RESUMO.....	01
2. SUMMARY.....	03
3. INTRODUÇÃO.....	05
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	08
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
5.1. Procedimento experimental.....	13
5.1.1. Preparo do material poroso.....	13
5.1.2. Delineamento experimental.....	16
5.1.3. Curva característica de retenção da água do solo.....	17
5.1.4. Condutividade hidráulica saturada (K_0) e umidade de saturação (θ_0).....	19
5.1.5. Redistribuição da água no solo.....	22

	PÁGINA
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
6.1. Curva característica de retenção da água no solo.....	23
6.1.1. Terra Roxa Estruturada.....	23
6.1.2. Latossol Vermelho Amarelo.....	34
6.1.3. Areia Quartzosa.....	37
6.1.4. Comparação entre os três solos.....	40
6.2. Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) e Umidade de Saturação (θ_o).....	41
6.2.1. Terra Roxa Estruturada.....	45
6.2.1.1. Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o).....	45
6.2.1.2. Umidade de saturação (θ_o).....	45
6.2.1.3. Relação entre a condutividade hidráulica de solo saturado (K_o) e a umidade de saturação (θ_o)..	50
6.2.2. Latossol Vermelho Amarelo.....	50
6.2.2.1. Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o).....	50
6.2.2.2. Umidade de saturação (θ_o).....	51

6.2.2.3. Relação entre a condutividade hidráulica de solo saturado (K_0) e umidade de saturação (θ_0).....	52
6.2.3. Areia Quartzosa.....	52
6.2.3.1. Condutividade hidráulica em solo saturado (K_0).....	52
6.2.3.2. Umidade de saturação.....	53
6.2.3.3. Relação entre a condutividade hidráulica de solo saturado (K_0) e umidade de saturação (θ_0).....	54
6.2.4. Influência da vermiculita nos três solos.....	54
6.3. Redistribuição da água no solo.....	55
6.3.1. Terra Roxa Estruturada.....	64
6.3.2. Latossol Vermelho Amarelo.....	64
6.3.3. Areia Quartzosa.....	65
6.3.4. Comparação entre os três solos.....	66
7. CONCLUSÕES.....	68
8. LITERATURA CITADA.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
1. Análise mecânica (em %), teor de carbono (em %) e classe textura da Terra Roxa Estruturada, Latossol Vermelho Amarelo e Areia Quartzosa.....	15
2. Tipos de vermiculita expandida utilizados.....	16
3. Tratamentos utilizados.....	17
4. Dados médios da umidade (θ), em % volume, da curva característica de retenção da água do solo (textura fina).....	27
5. Dados médios de umidade (θ), em % volume, da curva característica de retenção da água do solo (textura média).....	28

TABELA	PÁGINA
6. Dados médios de umidade (θ), em % volume, da curva característica de retenção da água do solo (textura grossa).....	29
7. Diferenças percentuais entre a umidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita com os tratamentos em que incorporou-se vermiculita expandida, das curvas características de retenção de água do solo (textura fina).....	30
8. Análise de Variância dos dados de umidade (θ) médios da curva característica de retenção da água do solo.....	32
9. Comparação, pelo teste de Tukey, entre médias de umidade % volume, da curva característica de retenção da água do solo, em cada tratamento, para vermiculita dentro de solo.....	33
10. Diferenças percentuais entre a umidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita com os tratamentos em que incorporou-se vermiculita expandida, das curvas características de retenção da água do solo (textura média).....	36

TABELA

PÁGINA

11. Diferenças percentuais na umidade volumétrica(θ) do tratamento sem vermiculita com os tratamentos em que incorporou-se vermiculita expandida, das curvas características de retenção de água do solo (textura grossa).....	39
12. Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) média, em cm/h, e umidade de saturação (θ_o), em % volume, para cada tratamento, (solo textura fina).....	42
13. Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) média, em cm/h, e umidade de saturação (θ_o), em % volume, para cada tratamento, (solo textura média).....	43
14. Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) média, em cm/h, e umidade de saturação (θ_o), em % volume, para cada tratamento, (solo textura grossa).....	44
15. Análise de Variância dos dados médios de condutividade hidráulica em solo saturado (K_o).....	46

TABELA

PÁGINA

16. Comparação, pelo teste de Tukey, entre médias da condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) em cm/h, para os tratamentos e vermiculita dentro de solo.....	47
17. Análise de Variância dos dados médios de umidade de saturação (θ_0).....	48
18. Comparação, pelo teste de Tukey, entre médias de umidade de saturação (θ_0) em % volume, para os tratamentos e vermiculita dentro de solo.....	49
19. Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição da água no solo (textura fina).....	58
20. Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas da redistribuição da água no solo (textura média).....	59
21. Profundidade da frente de molhamento, em cm, e	

TABELA

PÁGINA

umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição no solo (textu <u>r</u> a grossa).....	60
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Esquema de montagem da coluna de solo na vertical	21
2. Curvas características de retenção da água do solo textura fina (Terra Roxa Estruturada), em função do tipo de vermiculita.....	24
3. Curvas características de retenção da água do solo textura média, (Latossol Vermelho Amarelo) em função do tipo de vermiculita.....	25
4. Curvas características de retenção da água do solo textura grossa (Areia Quartzosa) em função do tipo de vermiculita.....	26

FIGURA	PÁGINA
5. Condutividade hidráulica em solo saturado, em (cm/h) versus umidade de saturação (θ_0) em % volume, para cada tratamento.....	56
6. Histogramas comparando a condutividade em solo saturado (K_0), em cm/h, para cada tratamento.....	57
7. Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ_0) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição da água na Terra Roxa Estruturada em cada tratamento.....	61
8. Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição da água no Latossol Vermelho Amarelo, em cada tratamento.....	62
9. Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição da água na Areia Quartzosa, em cada tratamento.....	63

1. RESUMO

Influência da incorporação de vermiculita expandida sobre alguns parâmetros hídricos de três solos.

LIBARDI, P.L.

GALBIATTI, J.A.

-ORIENTADOR-

Realizou-se o presente trabalho nos laboratórios de secção de Física de Solos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, com o objetivo de estudar a influência da incorporação de vermiculita expandida de diversas granulometrias sobre: a retenção de água, a condutividade hidráulica saturada, a umidade de saturação e a redistribuição da água em três tipos de solo.

Utilizaram-se: a) três tipos de solo, um de textura fina (Terra Roxa Estruturada), outro de textura média (Latosol Vermelho Amarelo) e um terceiro de textura grossa (Areia Quartzosa); amostrados da camada superficial de 0 a 30 cm, e b) cinco

tipos de vermiculita expandida, denominadas, de acordo com o tamanho de seus grânulos de: tipo grande, tipo fino, tipo superfino e tipo micron, incorporadas aos solos à base de 10% em volume.

Da análise dos resultados, pôde-se concluir que: a vermiculita expandida, misturada ao solo à base de 10% em volume, influencia o comportamento dos parâmetros hídricos estudados; os tipos de vermiculita com granulometria mais fina parecem ser os mais eficientes em melhorar as condições hídricas dos solos, principalmente as dos solos arenosos.

2. SUMMARY

Influence of vermiculite incorporation into three types of soil on some of its hydric parameters.

LIBARDI, P.L.

GALBIATTI, J.A.

-ORIENTADOR-

This work was carried out at Soil Physics Laboratories of the Nuclear Energy Center for Agriculture (CENA), University of São Paulo, Piracicaba (SP), Brazil. Its objective was to study the influence of incorporation into the soil of expanded vermiculite with different grains size on the following parameters: water retention, saturated hydraulic conductivity, saturation soil-water content and soil-water redistribution.

Three types of soil were used: one of fine texture ("Terra Roxa Estruturada"), one of medium texture ("Latosol Vermelho Amarelo") and one of coarse texture (Areia

Quartzosa) sampled in the field from the surface (0-30 cm) layer. Five were the types of vermiculite utilized, according to the size of their grains: big, medium, fine, superfine and micron which were incorporated into the soils at a concentration of 10% by volume.

From the analysis of results the following could be concluded: the expanded vermiculite mixture into the soil at the concentration of 10% by volume influence the behaviour of the hydric parameters studied; the types of vermiculite with more fine grains seem to be more efficient in improving the hydric conditions of the soils, mainly the sandy soils.

3. INTRODUÇÃO

O nome Vermiculita vem do latim " Vermiculari" e foi usado pela primeira vez, por Webb, em 1824, para descrever um material encontrado em solos de Millbury; Massachusetts (EUA). Frequentemente listada como produto de alteração, principalmente da biotita e muscovita. Somente em 1948 foi reconhecida como um mineral de argila. É constituída, estruturalmente, de duas camadas de tetraedros de sílica (e/ou alumínio) separadas por uma de octaedros de alumínio (e/ou ferro, magnésio). Possui alta capacidade de se expandir, contém considerável teor de magnésio e ferro, além do que, tem alta capacidade de troca catiônica (1 a 1,5 me/g). É um mineral formado de estrutura laminar de distância basal variável, o que, além de permitir trocas iônicas, permite, principalmente, a entrada e saída de moléculas polares de água. Sua alta porosidade e o maior volume de poros, ao se expandir, aumentam consideravelmente a capacidade adsorbtiva, sendo capaz de reter água até 300 % de seu peso seco, propriedade que pode afetar a disponibilidade

de de água para as culturas, quando adicionada ao solo.

A vermiculita encontrada nos solos é denominada de mineral secundário por ter sido formada a partir de outros minerais durante a gênese do solo. Apresenta-se como partículas muito pequenas, de diâmetro menor que 0,002 mm, fazendo parte da fração argila do solo.

No entanto, este material pode também se apresentar como mineral primário concentrado em grandes reservas ou minas. Neste caso, apresenta-se na forma de cristais ou placas de tamanho muito maior que argila e, quando submetidos a temperaturas da ordem de 700 a 800^oC, sofrem esfoliação ou piro-expansão, havendo um aumento de volume de 20 a 30 vezes. O resultado são partículas encurvadas e de baixa densidade. Esta vermiculita expandida apresenta propriedades semelhantes às descritas para vermiculita nativa do solo e por isso sua adição pode melhorar as propriedades físico-químicas do solo.

Desde 1824, tem-se conhecimento da prática da adição de vermiculita e alguns de seus efeitos no solo; no entanto, seu uso em agricultura extensiva é quase que desconhecido.

Os Estados Unidos da América e a República da África do Sul, juntos, contribuem com 92% do fornecimento de vermiculita ao mundo, sendo estimado em 607.000 toneladas em 1979.

No Brasil, o primeiro reconhecimento da vermiculita foi em Ubá, Minas Gerais, em 1936, sendo que se distri

bui em diversos estados do Nordeste e Sudoeste.

Com o objetivo de se verificar o efeito da gra
nulometria de vermiculita expandida, sobre alguns parâmetros
hídricos em três solos, a uma concentração de 10% em volume ,
norteou-se o presente estudo.

4. REVISÃO DE LITERATURA

Há muito tempo conhece-se a vermiculita, tanto nas práticas culturais em agricultura como nos estudos envolvendo o mineral de argila, porém estes conhecimentos, são, somente, de ordem prática e não científica.

Quase não existem, na literatura, trabalhos experimentais envolvendo a vermiculita, principalmente em estudos sobre seus efeitos na hidrologia do solo.

De acordo com GRIM (1968), a vermiculita é um mineral que, submetendo-se a temperaturas elevadas, expande-se, adquirindo alta capacidade de absorção de água. Sua desidratação pode ser facilmente conseguida, deixando-se o material a uma temperatura superior a 100°C por pequeno tempo. Sua rehidratação depende do grau de umidade existente anteriormente no material, sendo dificultada se estiver totalmente seco e facilitada se existir traços de umidade no seu interior.

A grande porosidade da vermiculita expandida lhe

dá características de alta absorção, podendo reter mais que seu próprio peso em água e torná-la disponível às plantas (CASTOLL, 1963, e SHARID, 1975).

EUCATEX (1981) também descreve a qualidade da vermiculita expandida em armazenar água prontamente disponível às plantas, acrescentando que esta aumenta a capacidade de retenção de água no solo, sendo capaz de absorver 4 a 5 vezes seu próprio peso em água.

SALATI et alii (1980), estudando o efeito da adição de vermiculita expandida sobre a retenção e armazenamento de água por Latossolos, verificaram que os efeitos dessa adição dependem de sua granulometria, sendo porém, o aumento de retenção, linear à concentração (% peso) de vermiculita no solo, e, também, os efeitos são significativos apenas a concentrações maiores que 1% (à base de peso).

O efeito da vermiculita sobre o desenvolvimento de culturas foi o objetivo de algumas pesquisas que são relacionadas a seguir.

SAUNDER (1951) comparou um solo argiloso e um solo arenoso, onde adicionou vermiculita expandida à base de 1% em volume. Saturou os meios e deixou-os durante 4 dias secando. Verificou que, no geral, não houve grande diferença na taxa de água perdida; no entanto, houve uma considerável diferença na quantidade de água inicialmente presente, que é viável às plantas. Os solos com vermiculita apresentaram teores maiores de água, favorecendo a sobrevivência das plantas por

um período mais longo. No entanto, estes resultados são verdadeiros para locais em que se possa saturar o solo, caso contrário, a situação pode inverter.

BREWER (1961) estudou a germinação de sementes em bandejas com cavidades cheias de vermiculita expandida e verificou que a germinação se dava com melhor performance, quando comparada com enchimento somente de solo. Observou, ainda, que as plantas germinadas eram retiradas com maior facilidade para o transplante, e com maior porcentagem de pegamento para aquelas germinadas em vermiculita, pois as plantas apresentavam aspecto mais turgido com menor murchamento que as demais. CHAN (sem data) obteve os mesmos resultados em blocos de semeadura.

KRETCHMAN e BAVERLE (1971) cultivaram tomates em vasos, colocando em alguns vasos turfa e vermiculita expandida e em outros, solo argiloso. Os resultados mostraram que os vasos com vermiculita + turfa necessitaram de irrigações somente cada 3 ou 4 dias, enquanto que os demais, todos os dias.

PAULETTO et alii (1981), adicionaram ao solo, onde era cultivado soja, níveis de 0, 1, 2 e 3% de vermiculita expandida à base em TFSE e mantiveram o solo a 100, 75 e 50% da capacidade de campo. Verificaram haver efeito linear altamente significativo entre níveis de vermiculita e peso da parte aérea, bem como para níveis de umidade.

MINAMI (1981), relatou que a vantagem da vermi

culita expandida resume-se em reduzir o número de rega à cultura, mantendo um bom teor de água às raízes por longo tempo . Devido ao controle mais eficiente da água, luz e nutrientes, a vermiculita proporciona condições ótimas para a germinação de sementes.

Sabe-se, portanto, que a vermiculita expandida melhora as condições hídricas do solo, para o desenvolvimento de plantas; no entanto, poucos ou quase nenhum pesquisador de desenvolveu trabalhos testando dosagens e efeitos da granulometria de vermiculita. Alguns trabalhos, neste sentido, são relatados a seguir.

GARMAN (1952) estudou a permeabilidade de várias areias, turfa e vermiculita expandida misturada ao solo. Concluiu que a mistura com 8,2% de vermiculita em peso e 20% em volume de turfa manteve a permeabilidade do solo mesmo em adversidade de tratamento.

DUNHAM (1967) usou solo limoso série sassafrás, onde adicionou pedacinhos de esfagno (musgo) e vermiculita expandida nº 2 (produzida por W.R. Grace Co. Zonolit Division, EUA). Adicionou vermiculita e esfagno na proporção de 2/5 do volume. A adição destes materiais aumentou a capacidade de retenção de água e este adicional estava retido ao redor de 0,6 atmosfera.

REICHARDT (1980) relatou que resultados de laboratório mostraram que a adição de vermiculita começa a ter efeitos significativos, no aumento da retenção de água, a par

tir de doses de 1 a 2% em peso. Para 10%, a água disponível foi dobrada para um latossol sob vegetação de cerrado de Goiás.

BAENA et alii (1981), cultivando eucalipto, utilizaram quantidades de 125, 1000, 4000 e 8000 cm³ de vermiculita de textura média e fina por cova e misturado ao adubo. Os resultados apresentaram concordância com a dose de vermiculita empregada; entretanto, os autores não mencionam o que a vermiculita acrescentou ao solo. Com relação à textura, observaram que o melhor desempenho foi produzido pela vermiculita de textura média, embora nas menores doses a textura fina tenha apresentado melhores resultados.

REICHARDT et alii (1982), estudando a cultura de arroz sob deficiência hídrica, numa terra roxa estruturada, verificaram que a aplicação de vermiculita expandida tipo superfina da RENDMAX, em doses de 0, 2 e 10% em volume, não afetou significativamente a retenção de água pelo solo.

CHOUDHURY (1982) aplicou ao solo latossol vermelho amarelo, em condições de laboratório, as concentrações de 0; 0,5; 1; 2; 5 e 10% de vermiculita tipo micron com base no peso do solo seco. Verificou que as maiores retenções de água ocorrem no intervalo de 0,1 a 1 atm e que a água disponível às plantas, apresentou aumento variando da ordem de 23 a 130% em relação à testemunha. Verificou, ainda, que a retenção de água do solo, através da incorporação de vermiculita tipo micron, é obtida a partir de concentrações superiores a 2% com base no peso do solo seco.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Implantou-se o experimento nos laboratórios da secção de Física de Solos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, o qual caracterizou-se pela confecção de colunas, preenchidas por uma mistura de solo e vermiculita, para determinações e caracterizações de alguns parâmetros hídricos, ou seja, curva característica de retenção da água no solo, condutividade hidráulica saturada, umidade saturação e redistribuição da água no solo.

5.1.1. PREPARO DO MATERIAL POROSO

Utilizaram-se três tipos de solo, um de textura fina (Terra Roxa Estruturada (1)), um de textura mediana (Latosol Vermelho amarelo (2)) e um de textura grossa (Areia Quartzosa (3)). Solos Classificados segundo a Comissão de Solos do Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas - MA. (1960).

O primeiro está localizado no Posto Agrometeorológico da ESALQ, e o segundo localiza-se na Fazenda Sertãozinho, também da ESALQ e o terceiro solo localiza-se próximo do pedágio da via Washington Luís entre as cidades de Rio Claro e São Carlos, SP.

Coletaram-se amostras do horizonte Ap de cada solo.

Os solos foram previamente passados em peneira com malhas de 2 mm de diâmetro, secos ao ar e, posteriormente, determinaram-se suas composições granulométricas (Tabela 1).

Misturaram-se aos solos, na base de 10% em volume, cinco tipos de vermiculita expandida da RENDMAX. As características da vermiculita são apresentadas na Tabela 2.

Determinou-se a densidade global de cada tipo de vermiculita através da equação:

$$dgv = \frac{mv}{V} \dots\dots\dots (1)$$

onde:

dgv = densidade global da vermiculita

mv = massa de vermiculita seca em estufa

V = volume do recipiente

TABELA 1. Análise mecânica (em %), teor de carbono (em %) e classe textura da Terra Roxa Estruturada, Latossol Vermelho Amarelo e Areia Quartzosa.

Solo	Areia muito grossa 2 - 1 mm	Areia grossa 1 - 0,5 mm	Areia média 0,5 - 0,25 mm	Areia fina 0,25- 0,10 mm	Areia muito fina 0,10 - 0,05 mm	Areia 2-0,05 mm	Limo 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 disp. mm	Carbono (%)	Classe Textural	
TE	0,3	1,3	6,2	14,8	7,5	30,1	30,0	39,9	24,9	1,12	Argiloso
LV	0,2	1,9	17,1	41,4	11,8	72,4	6,4	21,2	9,2	0,61	Areno Barrento
Aq	0,2	1,9	23,8	50,2	11,9	88,0	4,2	7,8	3,7	0,44	Areoso

TABELA 2 - Tipos de vermiculita expandida utilizados.

Tipo	Faixa de diâmetro médio do grão (mm)	Densidade global (kg/m ³)
A - Grande	2,8 - 8,0	94,97
B - Médio	1,4 - 4,0	89,72
C - Fino	0,7 - 2,0	87,85
D - Superfino	0,36- 1,0	162,82
E - Micron	Menor que 0,5	177,47

5.1.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, em um esquema fatorial 3 x 6 x 9 (3 tipos de solos, 5 tipos de vermiculita e 9 tensões) para a curva característica de retenção da água do solo, 3 x 6 (3 tipos de solos e 5 tipos de vermiculita) para a condutividade hidráulica saturada, para a umidade de saturação e para a redistribuição da água no solo, e com 3 repetições.

Para comparação de médias, utilizou-se o teste estatístico de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os tratamentos utilizados estão na Tabela 3.

TABELA 3 - Tratamentos utilizados.

Representação	Descrição
1	Solo 1 sem vermiculita
1A, 1B, 1C, 1D, 1E	Solo 1 misturado a cada um dos 5 tipos de vermiculita
2	Solo 2 sem vermiculita
2A, 2B, 2C, 2D, 2E	Solo 2 misturado a cada um dos 5 tipos de vermiculita
3	Solo 3 sem vermiculita
3A, 3B, 3C, 3D, 3E	Solo 3 misturado a cada um dos 5 tipos de vermiculita

Solo 1 (textura fina) - Solo 2 (textura média) - Solo 3 (textura grossa)

A = vermiculita tipo grande, B = vermiculita tipo médio,

C = vermiculita tipo fino, D = vermiculita tipo superfino e

E = vermiculita tipo micron.

5.1.3. CURVA CARACTERÍSTICA DE RETENÇÃO DA ÁGUA DO SOLO.

Para a determinação da curva característica da água, nas condições de solo propostas nos tratamentos, prepara

raram-se 540 amostras, misturando-se aos solos vermiculita à base de 10% do volume, que foram acondicionadas em anéis de metal com 3 cm de altura e 4,83 cm de diâmetro interno. Os anéis foram fechados na extremidade inferior com papel absorvente para sustentar o material poroso e permitir bom contato, com a placa porosa. O material poroso, caracterizado pelos tratamentos, foi preparado misturando-se a vermiculita com o solo até obter-se uma mistura uniforme, após o que, preencheram-se, com este material, os cilindrinhos com ajuda de uma colher. Bateteu-se nos cilindrinhos até obter-se densidade global 1,21 ; 1,29 e 1,55 g/cm³ para o solo 1, solo 2 e solo 3, respectivamente.

Os cilindrinhos, contendo solo e vermiculita, foram deixados saturando durante 24 horas, para posteriormente serem colocados nos aparelhos e deixados até haver equilíbrio hídrico, após o que, foram pesados em balança eletrônica e levados para a estufa onde permaneceram durante 24 horas a 105°C para determinação do peso seco. De posse do peso úmido e peso seco, calculou-se a umidade % em peso (u), que foi transformada em umidade % volume (θ) multiplicando-se (u) pela densidade global de cada amostra, densidade esta calculada por:

$$d_{gs} = \frac{M_s + M_v}{(U + 1)V} \dots \dots \dots (2)$$

onde:

d_{gs} = densidade global da amostra de solo +vermiculita

Ms = massa solo seco ao ar

Mv = massa de vermiculita seca em estufa

U = umidade em peso do solo seco ao ar

V = volume do cilindrinho

As determinações foram feitas por secamento, com aplicação de tensões de 20 em 20 cm até 80 cm de coluna de água, em funis de placa porosa fabricados por JENA-GLAS, tipo 24 D4, ou seja, de média porosidade. Para as tensões 0,1; 0,3; 1,0; 5,0 e 15,0 atmosferas as determinações foram feitas em câmaras de pressão de Richards. Para cada ponto da curva foram preparadas novas amostras.

5.1.4. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA (K_0) E UMIDADE DE SATURAÇÃO (θ_0)

Confeccionaram-se, com tubos de plástico acrílico, 54 colunas com 30 cm de comprimento e 5,7 cm de diâmetro interno. As colunas eram abertas em uma extremidade e fechadas na outra por intermédio de uma tela bem fina e papel filtro. Na extremidade aberta, prendeu-se um cilindro auxiliar com 15 cm de comprimento e diâmetro semelhante ao da coluna, para evitar perda da mistura de solo e vermiculita, no momento do acondicionamento do material às colunas.

Através da extremidade aberta, introduziu-se a mistura de solo e vermiculita com o auxílio de um funil com

haste do mesmo comprimento que a coluna + coluna auxiliar.

Uma vez cheio, bateu-se no tubo com um martelo de borracha até obter-se densidade global de 1,21; 1,29 e 1,55 g/cm³ para os solos 1, 2 e 3, respectivamente. Finalmente vedaram-se as extremidades com uma tampa de acrílico que possuía uma abertura ligada a um tubo de "mariotti" para obter-se carga hidráulica constante (Figura 1).

As colunas foram colocadas na vertical, com entrada de água na extremidade inferior e deixadas para saturar durante 24 horas, após o que, sofreram um giro de 180° para passagem de água pelo sistema saturado até a ocorrência de vazão constante; mediram-se a variação do volume de água e a variação de tempo, para calcular-se a condutividade hidráulica saturada, através da fórmula.

$$q = - K_o \frac{\Delta\Psi}{L} \dots\dots\dots (4)$$

onde:

q = densidade de fluxo de água (cm³ min⁻¹ cm⁻²)

L = comprimento da coluna = 30 cm

ΔΨ= diferença de potencial hidráulico (cm) entre as extremidades da coluna = 40 cm.

Ko= condutividade hidráulica saturada (cm min⁻¹)

Após atingir o equilíbrio dinâmico("steady- state") interrompeu-se o fluxo e, pesou-se a coluna úmida e por

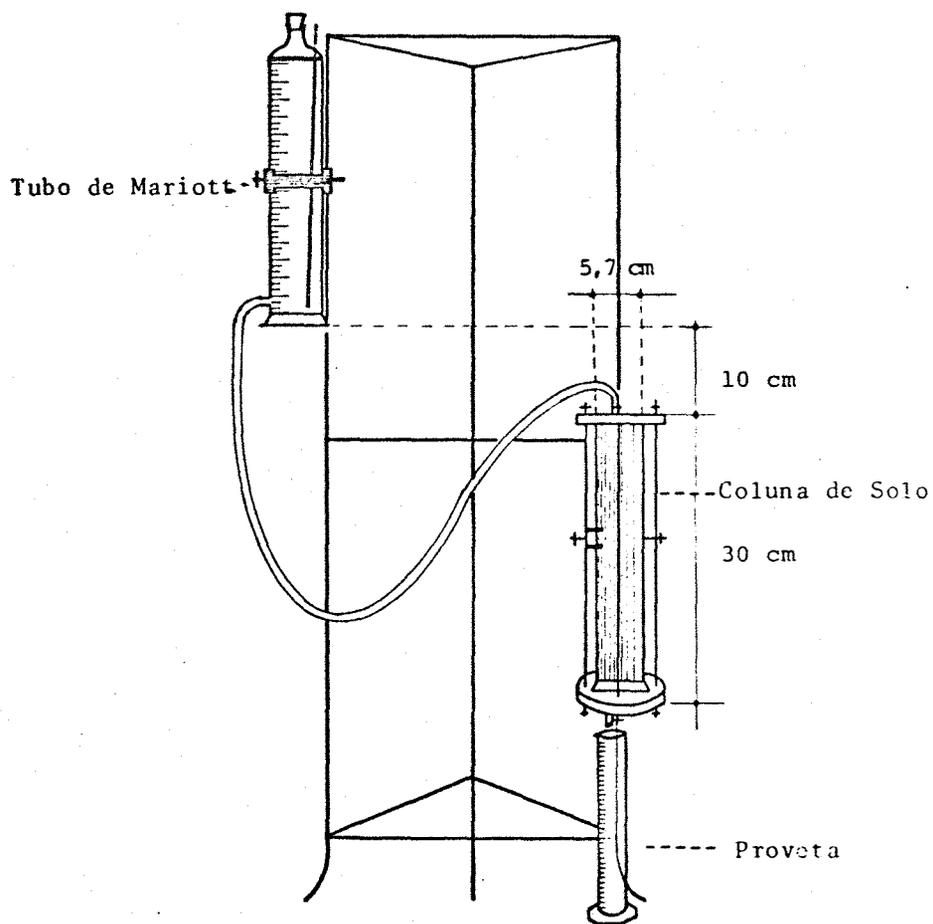


FIGURA 1 - Esquema de montagem da coluna de solo na vertical.

diferença entre o peso do solo seco ao ar e o peso do solo úmido obteve-se o volume de água retido no material poroso. Divi
diu-se o volume de água retido pelo volume da coluna obten
do-se a umidade de saturação.

5.1.5. REDISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

Para a estimativa deste parâmetro, prepararam-se 54 colunas de acrílico com 60 cm de comprimento e 5,7 cm de diâmetro acondicionadas com solo + vermiculita. Acondicionou-se a mistura de solo e vermiculita, dentro da coluna, de maneira semelhante àquela utilizada para a determinação da condutivi
dade hidráulica saturada. Preencheu-se a coluna até uma altura de 50 cm ficando os 10 cm restantes como recipiente para abri
gar a água de uma chuva simulada de 50 mm, colocada na coluna com uma carga hidráulica de 5 cm.

Mediu-se o caminhamento da frente de molhamento visualmente, com o auxílio de uma régua, depois de 1 hora, 12 horas e 24 horas que toda a água havia se infiltrado. Pa
ra cada tempo, fizeram-se amostragens do perfil da coluna de solo através de um amostrador de solo, para determinar-se a umidade média em % peso.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. CURVA CARACTERÍSTICA DE RETENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

As curvas de retenção para as diversas misturas solo + vermiculita encontram-se nas Figuras 2, 3 e 4 e Tabelas 4, 5 e 6 para os solos 1, 2 e 3, respectivamente, e as cinco granulometrias de vermiculita.

6.1.1. TERRA ROXA ESTRUTURADA

Para este solo, de textura fina, como era de se esperar, verifica-se (Figura 2) que a umidade variou quando se aplicaram tensões diferentes no mesmo tratamento, mas também variou quando se aplicaram tensões iguais em tratamentos diferentes, embora não apresentando diferenças acentuadas entre os tratamentos na mesma tensão aplicada.

No entanto, analisando a Tabela 7, verificou-se que, à tensão de 15 atm, houve uma diferença de 28,5% em

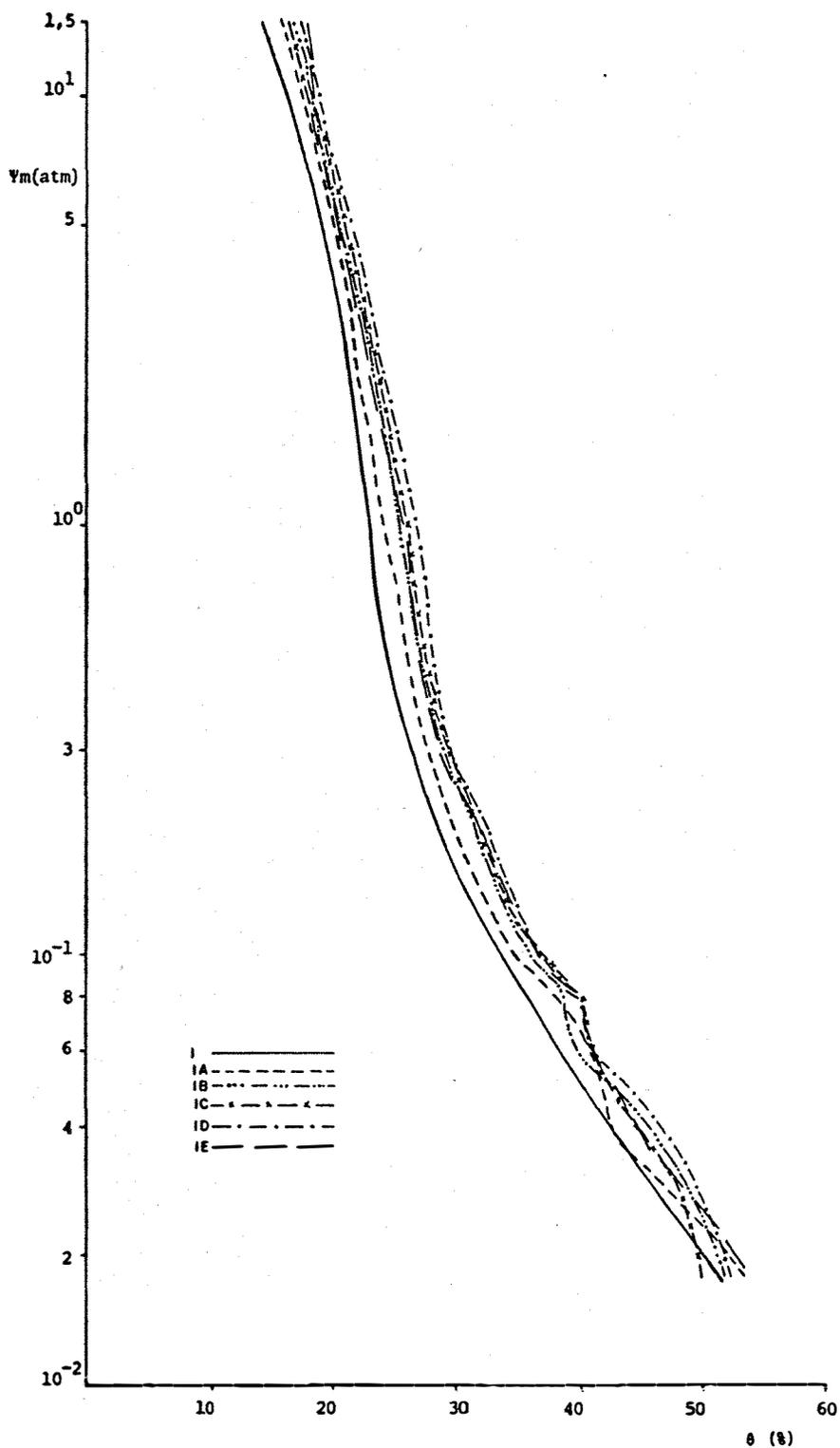


FIGURA 2 - Curvas características de retenção da água do solo textura fina (Terra Roxa Estruturada), em função do tipo de vermiculita.

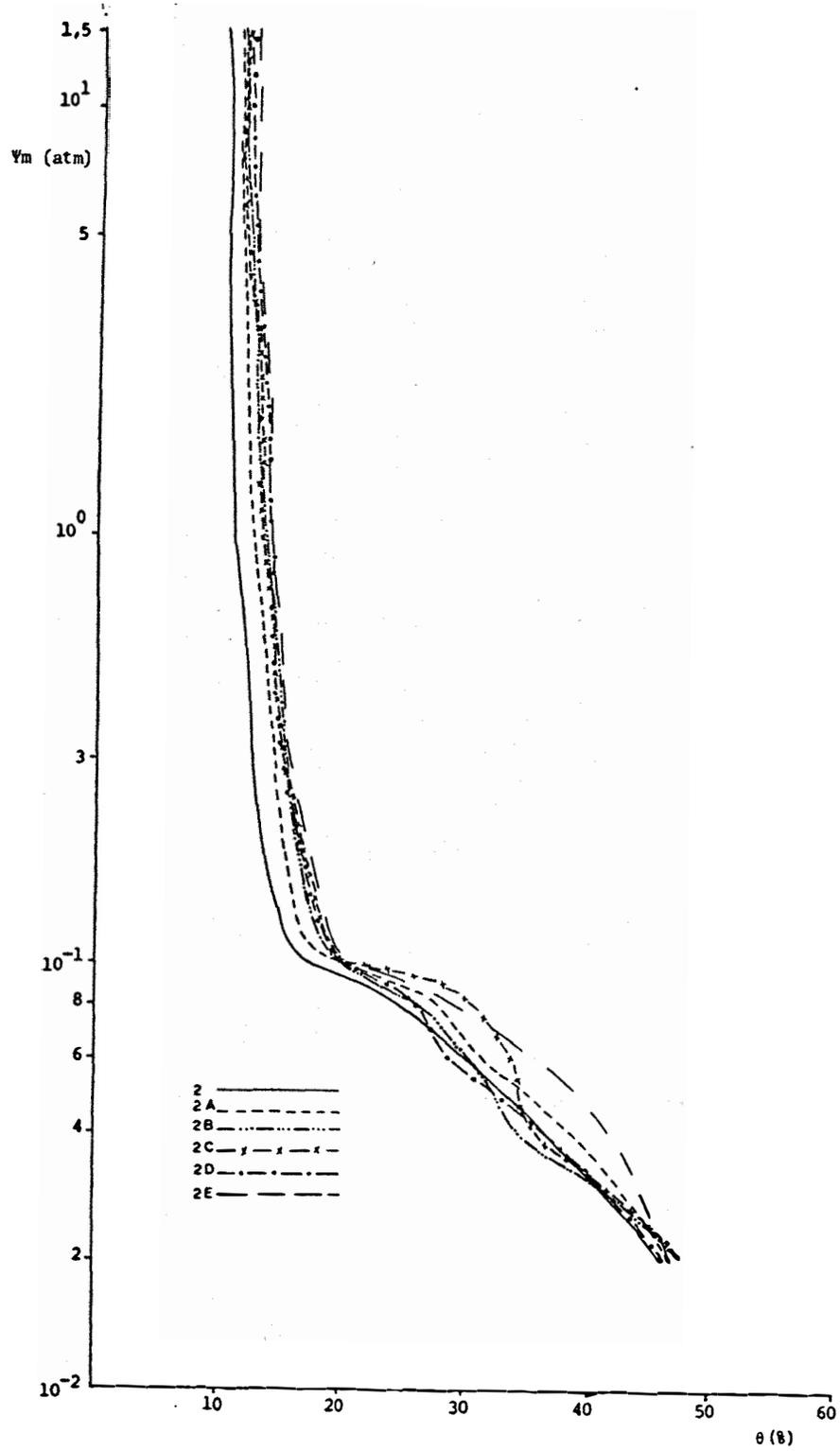


FIGURA 3 - Curvas características de retenção da água do solo. textura média (Latossol Vermelho Amarelo), em função do tipo de vermiculita.

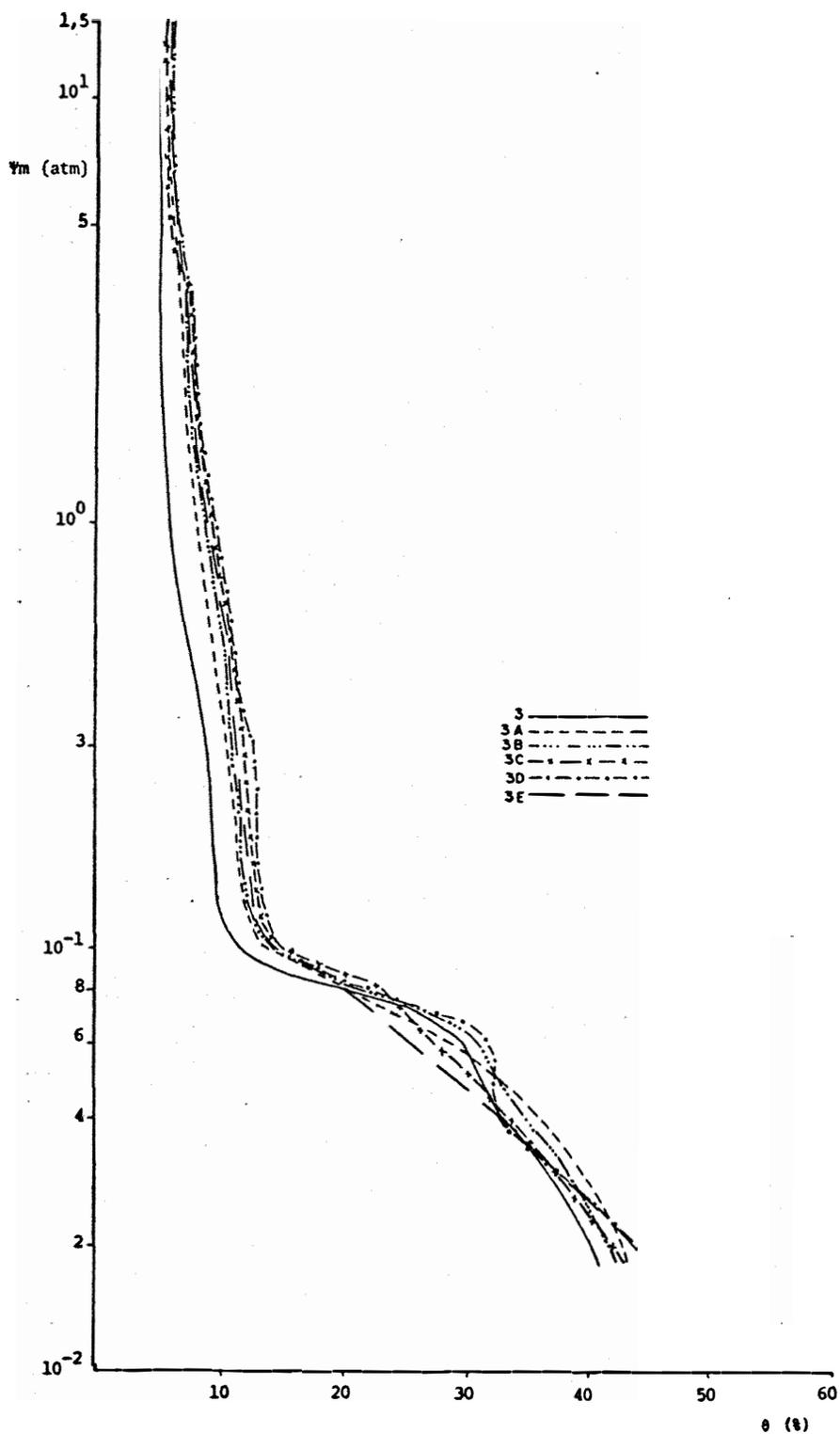


FIGURA 4 - Curvas características de retenção da água do solo textura grossa (Areia Quartzosa), em função do tipo de vermiculita.

TABELA 4 - Dados médios da umidade (θ), em % volume, da curva característica de retenção da água do solo (textura fina).

Tensões (atm)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,30	1,00	5,00	15,00
Trat.	Umidade % Volume (θ)								
1	50,13	42,93	38,74	35,66	33,51	26,80	22,97	19,34	14,03
1A	52,34	42,86	40,72	38,16	34,82	27,90	23,91	19,76	16,24
1B	51,06	45,77	39,64	38,67	35,74	28,73	25,08	19,97	16,61
1C	49,48	45,45	40,60	39,67	35,82	28,79	25,75	19,90	16,45
1D	51,96	46,29	41,24	39,25	36,03	29,56	26,88	21,12	17,03
1E	52,79	44,36	40,53	39,71	35,58	29,41	26,19	21,81	18,01

- 1 - Terra Roxa Estruturada sem vermiculita
- 1A - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo grande
- 1B - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo médio
- 1C - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo fino
- 1D - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo superfino
- 1E - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo micron.

TABELA 5 - Dados médios de umidade (θ), em % volume, da curva característica de retenção da água do solo (textura média).

Tensões (atm)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,30	1,00	5,00	15,00
Trat.	Umidade % Volume (θ)								
2	45,99	36,08	28,29	25,19	16,16	12,44	10,89	10,20	9,71
2A	46,60	38,14	30,82	27,70	18,43	14,48	12,31	11,31	11,13
2B	47,75	33,90	30,41	26,42	19,24	15,44	12,98	11,52	11,40
2C	47,79	35,40	33,04	30,61	19,24	15,14	13,21	12,22	11,40
2D	46,83	41,16	34,99	28,90	19,66	15,46	13,68	12,73	14,16
2E	46,13	35,98	28,41	26,18	19,44	15,47	13,52	12,66	12,32

- 2 - Latossol Vermelho Amarelo sem vermiculita
 2A - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo grande
 2B - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo médio
 2C - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo fino
 2D - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo superfino
 2E - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo micron.

TABELA 6 - Dados médios de umidade (θ), em % volume, da curva característica de retenção da água do solo (textura grossa).

Tensões (atm)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,30	1,00	5,00	15,00
Trat.	Umidade % Volume (θ)								
3	39,82	32,35	29,71	19,37	11,35	8,86	6,46	5,30	5,10
3A	42,51	35,64	28,48	19,70	13,50	10,67	7,93	6,11	6,06
3B	41,65	34,10	30,87	20,13	14,17	11,12	8,35	6,48	6,26
3C	41,81	32,63	27,40	23,23	14,24	12,25	8,26	6,11	6,01
3D	43,31	32,62	31,08	20,91	14,06	12,79	9,32	6,49	6,32
3E	43,62	32,29	25,25	20,23	13,88	11,96	8,61	6,34	6,15

- 3 - Areia Quartzosa sem vermiculita
- 3A - Areia Quartzosa com vermiculita tipo grande
- 3B - Areia Quartzosa com vermiculita tipo médio
- 3C - Areia Quartzosa com vermiculita tipo fino
- 3D - Areia Quartzosa com vermiculita tipo superfino
- 3E - Areia Quartzosa com vermiculita tipo micron

TABELA 7 - Diferenças percentuais entre a unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita com os tratamentos em que se incorporou vermiculita expandida, das curvas características de retenção de água do solo (textura fina).

Tratamentos	Tensões (atm)										
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,30	1,00	5,00	15,00		
						Variação da Unidade Volume $\Delta\theta\%$					
1A - 1	4,4	-0,2	5,1	7,0	3,9	4,1	4,0	2,2	15,7		
1B - 1	1,8	6,6	2,3	8,4	6,6	7,2	9,2	3,2	18,3		
1C - 1	-1,3	5,9	4,8	11,2	6,9	7,4	12,1	2,9	17,2		
1D - 1	3,6	7,8	6,4	10,1	7,5	10,3	17,0	9,2	21,4		
1E - 1	5,3	3,3	4,6	11,3	6,2	9,7	14,0	12,8	28,4		

$$\Delta\theta = \frac{\theta_x - \theta_y}{\theta_y} \cdot 100$$

$\Delta\theta\%$ - Variação percentual entre a unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita com os demais tratamentos.

θ_x - Unidade volumétrica (θ) de cada tratamento em que incorporou-se vermiculita expandida.

θ_y - Unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita expandida.

tre a umidade (θ) do tratamento em que se incorporou vermiculita expandida tipo micron e o tratamento em que não se colocou vermiculita expandida, e para tensões baixas, próximas da saturação do solo (tensão 0,0 atmosfera), a incorporação ao solo, de vermiculita expandida chegou a ser prejudicial em alguns casos, por exemplo, para a tensão 0,02, a adição da vermiculita tipo fino diminuiu a umidade (θ) em 1,3% em relação ao tratamento sem vermiculita.

Comparando-se estatisticamente as médias, pelo teste de Tukey, verificou-se que há diferenças significativas entre a média total do tratamento sem vermiculita com as demais (Tabelas 8 e 9).

As curvas de perdas de água nas diferentes tensões aplicadas obedeceram a tendências semelhantes e a taxas constantes para todos os tratamentos, apesar de que, o tratamento sem vermiculita manteve-se sempre com umidade menor que os tratamentos com vermiculita, sendo portanto, menos eficiente em reter água. Na condição sem vermiculita no solo, obtiveram-se valores de umidade (θ) ao redor de 50% e 14% a tensões de 0,02 atm e 15,0 atm, respectivamente, enquanto que, nos tratamentos em que se misturaram diferentes tipos de vermiculita o valor médio da umidade (θ) obtido para os diferentes tratamentos foi ao redor de 52% e 17% para as tensões 0,02 atm e 15,0 atm, respectivamente.

Analisando, portanto, a Tabela 4 e a Figura 2 evidenciou-se que, para o solo de textura argilosa, a adição de

TABELA 8 - Análise de Variância dos dados de umidade (θ) médios da curva característica de retenção da água do solo.

CAUSAS DE VARIACÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	SIGNIFICÂNCIA
Fator A	2	17734,4131	8867,2066	7283,1487	1%
Fator B	5	349,1933	69,8387	57,3625	1%
Fator C	8	65576,5086	8197,0636	6732,7216	1%
Fator A x B	10	54,1593	5,4159	4,4484	1%
Fator A x C	16	1729,4416	108,0901	88,7806	1%
Fator B x C	40	174,0912	4,3523	3,5748	1%
Fator A x B x C	80	234,3935	2,9299	2,4065	1%
(Tratamentos)	161	85852,2007	533,2435		
Resíduo	324	394,4688	1,2175		

Fator A - Solo

Desvio Padrão = 1,1034

Fator B - Vermiculita

Coefficiente de Variação = 4,3686 %

Fator C - Tensão

TABELA 9 - Comparação, pelo teste de Tukey, entre médias de umidade % volume, da curva característica de retenção da água do solo, em cada tratamento, para vermiculita dentro de solo.

Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média
1D	34,37 ^a	2D	25,28 ^a	3D	19,65 ^a
1E	34,26 ^{ab}	2C	24,22 ^b	3B	19,23 ^{ab}
1C	33,54 ^{ab}	2A	23,43 ^{bc}	3C	19,10 ^{ab}
1B	33,47 ^b	2E	23,34 ^{bc}	3A	18,94 ^{ab}
1A	32,96 ^{bc}	2B	23,22 ^c	3E	18,70 ^b
1	31,56 ^d	2	21,66 ^d	3	17,58 ^c

DMS (TUKEY) = 0,85

vermiculita é benéfica para aumentar o armazenamento de água no solo, o que concorda com SALATI et alii (1980).

Comparando-se os tratamentos contendo vermiculita misturada ao solo (Tabela 4), verificou-se que, foi mais eficiente em reter água, o tipo de vermiculita super fino, pois apresentou média total superior aos demais, embora não diferindo estatisticamente do tratamento com vermiculita tipo micron (Tabelas 8 e 9). Às tensões de 5,0 e 15,0 atm, o tipo micron foi melhor que os demais tipos, sendo portanto, mais eficiente em reter água e tensões altas. O tipo de vermiculita menos eficiente, para este tipo de solo, foi o tipo grande, embora sua média total não tenha diferido estatisticamente das médias totais dos tipos médio e fino.

Nas condições do presente estudo, observou-se que os tipos de vermiculita mostraram uma tendência em influenciar a retenção de água no solo, sendo mais eficientes os tipos com granulometria mais fina e menos eficientes aqueles com granulometria mais grossa. Em ordem decrescente de eficiência em reter água do solo tem-se: tipo superfino, tipo micron, tipo fino, tipo médio e tipo grande.

6.1.2. LATOSSOL VERMELHO AMARELO

Para o solo de textura média, a performance das curvas características da retenção de água no solo obedeceu a dois comportamentos distintos, segundo Tabela 5 e Figura 3. Para as tensões menores (0,0; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 e 0,1 atm)

a perda de água foi superior quando se aplicaram tensões mais altas (0,1; 0,3; 1,0; 5,0 e 15,0 atm). No primeiro segmento da curva (Figura 5) não houve diferenças acentuadas entre os tratamentos, pois notam-se cruzamentos entre as curvas nesta região. No entanto, a partir da tensão 0,1, segundo segmento da curva (Figura 3), notam-se diferenças entre os tratamentos.

Analisando as curvas como um todo (Figura 3) o tratamento sem vermiculita diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, evidenciando portanto, que para este tipo de solo, a adição de vermiculita também proporciona propriedades favoráveis à retenção de água.

Nos tratamentos com vermiculita adicionada ao solo, verificou-se haver superioridade na eficácia em reter água no solo por parte do tipo superfino, pois seu valor médio de umidade foi sempre superior (Tabela 9), diferindo estatisticamente dos demais. O tipo menos eficaz foi o médio, vindo em seguida o micron e o grande, apesar destes não diferirem estatisticamente entre si.

Calculando-se a porcentagem de variação da umidade (θ) (Tabela 10) dos tratamentos sem vermiculita com os tratamentos em que se incorporou vermiculita, observou-se que, a tensões acima de 0,1 atm, as porcentagens de variação são acima de 10%, chegando a apresentar até 45,8% de acréscimo na umidade (θ) para o tratamento em que se incorporou a vermiculita do tipo superfino, a tensão de 15,0 atms. Para tensões

TABELA 10 - Diferenças percentuais entre a unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita com os tratamentos em que se incorporou vermiculita expandida, das curvas características de retenção da água do solo (textura média).

Tratamentos	Tensões (atm)										
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,30	1,00	5,00	15,00		
						Variação da Unidade Volume $\Delta\theta\%$					
2A - 2	1,3	5,7	8,9	9,9	14,0	16,4	13,0	10,9	14,6		
2B - 2	3,8	-6,0	7,5	4,9	19,0	24,1	19,2	12,9	17,4		
2C - 2	3,9	-1,9	16,8	21,5	19,0	21,7	21,3	19,8	17,4		
2D - 2	1,8	14,0	23,7	14,7	21,6	24,3	25,6	24,8	45,8		
2E - 2	0,3	-0,2	0,4	3,9	20,3	24,3	24,1	24,1	26,9		

$$\Delta\theta = \frac{\theta_x - \theta_y}{\theta_y} \cdot 100$$

$\Delta\theta\%$ - Variação percentual entre a unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita com os demais tratamentos.

θ_x - Unidade volumétrica (θ) de cada tratamento em que incorporou-se vermiculita expandida.

θ_y - Unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita expandida.

abaixo de 0,1 atm , existiram casos em que a incorporação de vermiculita ao solo diminuiu a umidade (θ), como exemplo tem-se à tensão de 0,04 atm em que as vermiculitas tipo médio, tipo fino e tipo micron diminuíram em 6,0, 1,9 e 0,2%, respectivamente. (Tabela 10).

Depreende-se, portanto, que os tipos de vermiculita com granulometria mais fina, não se mostraram mais eficazes em reter água neste tipo de solo, quando se analisa de uma maneira geral, mas a tensões mais altas (1,0; 5,0 e 15,0 atm) a de granulometria menor mostra tendência de ser mais eficiente.

6.1.3. AREIA QUARTZOSA

Quando se misturou vermiculita na Areia Quartzosa, notaram-se diferenças mais eficientes entre a umidade (θ) dos tratamentos, quando se aplicaram tensões às amostras de solo, principalmente entre o tratamento sem vermiculita com os que contêm vermiculita. Comparando-se as médias totais dos tratamentos, verificou-se que houve diferença significativa entre o tratamento que não utilizou vermiculita e os demais (Tabelas 8 e 9).

As curvas características de retenção de água no solo comportaram-se de maneira semelhante àquela do solo de textura média (Figura 4). No intervalo entre a tensão 0,02 e tensões 0,1 atm, a amostra porosa estudada, perdeu água a ta

xas maiores que quando se aplicaram, ao sistema, tensões superiores a 0,1 atm e 15,0 atm. Do ponto 0,1 atm em diante, as curvas apresentaram-se quase na vertical, ao contrário do que vinha acontecendo a tensões menores que 0,1 atm, onde as curvas eram quase horizontais, conforme Figura 4.

Através dos dados da Tabela 6 e Figura 4 nota-se, portanto, que a adição de vermiculita a este tipo de solo também proporciona melhoria nas condições de retenção de água pelo solo.

Comparando-se os tratamentos que contêm vermiculita misturada ao solo, faz-se ver que houve diferenças significativas entre as médias totais dos tratamentos com micron e superfino. O tipo superfino foi o que apresentou melhores características em aumentar a retenção de água pelo solo e o tipo micron foi o menos expressivo. Em ordem decrescente em influenciar na retenção de água no solo tem-se: tipo superfino, tipo médio, tipo fino, tipo grande e tipo micron.

De maneira semelhante ao que aconteceu aos solos anteriores, a incorporação ao solo de vermiculita expandida provocou variações na umidade (θ) em todos os tratamentos (Tabela 11). As maiores porcentagens de variação entre o tratamento sem vermiculita com os demais ocorreram a tensões superiores a 0,1 atm. Para a tensão de 1,0 atm e no tratamento em que se incorporou vermiculita tipo superfino, notou-se uma variação de 44,3% (Tabela 11). Quando se aplicou a tensão 0,06 atm houve variações negativas para os tratamentos em que se incorporam ao solo as vermiculitas tipo grande, tipo fino e tipo micron (Tabela 11).

TABELA 11 - Diferenças percentuais na unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita com os tratamentos em que se incorporou vermiculita expandida, das curvas características de retenção de água do solo (textura grossa).

Tratamentos	Tensões (atm)								
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,30	1,00	5,00	15,00
	Variação da Unidade Volume $\Delta\theta\%$								
3A - 3	6,7	10,2	-4,1	1,7	18,9	20,3	22,7	15,3	18,8
3B - 3	4,6	3,1	3,9	3,9	24,8	25,5	29,2	22,2	22,7
3C - 3	5,0	0,8	-7,8	19,9	25,4	38,2	27,8	15,3	14,5
3D - 3	8,7	0,8	4,6	7,9	23,9	44,3	44,3	22,4	23,9
3E - 3	9,5	-0,2	-15,0	4,4	22,3	35,0	33,3	19,6	20,6

$$\Delta\theta\% = \frac{\theta_x - \theta_y}{\theta_y} \cdot 100$$

$\Delta\theta\%$ - Variação percentual entre a unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita com os demais tratamentos.

θ_x - Unidade volumétrica (θ) de cada tratamento em que incorporou-se vermiculita expandida.

θ_y - Unidade volumétrica (θ) do tratamento sem vermiculita expandida.

6.1.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS TRÊS SOLOS

Observando-se os dados das Tabelas 4, 5 e 6 e Figuras 2, 3 e 4 depreende-se que a adição de vermiculita influenciou o comportamento de retenção de água nos três solos estudados. De uma maneira geral, para os solos de textura mais grosseira, à tensões baixas, parece não ter havido diferença entre os tratamentos com e sem vermiculita, o mesmo não acontecendo para tensões altas, quando existem teores menores de água no solo. À medida que a textura do solo se torna mais grosseira, parece não haver efeito da granulometria da vermiculita na retenção de água. No solo argiloso, de textura mais fina que os demais, a influência foi mais individualizada para cada tipo de vermiculita.

Nos três tipos de solo estudados, a vermiculita tipo superfino foi a que melhor influenciou a retenção de água pelo solo, ajudando a reter mais água. Isto talvez seja devido ao maior número de partículas de vermiculita por volume, criando uma microporosidade particular e ainda possuindo tamanho de grânulos que possibilitou a entrada de maior número de moléculas de água em sua estrutura laminar, enquanto que o tipo micron, apesar de proporcionar uma microporosidade grande, não possui grânulos de tamanho suficientes para armazenar em seu interior a mesma quantidade de moléculas de água.

O tipo menos eficiente em reter água no solo foi o tipo grande. Isto pode ser devido ao fato de que possui

grânulos maiores, em relação aos demais, formando poros grandes com baixa capacidade de reter água quando se aplicam tensões acima de 0,1 atm.

A propriedade da vermiculita em melhorar as condições de retenção de água pelo solo é citada por diversos pesquisadores e entre eles tem-se: REICHARDT (1980), CASTOLL (1963), SALATI et alii (1980), DUNHAM (1967), SAUNDER (1951) e MONIZ (1972).

Tentou-se ajustar os dados da curva característica de retenção de água no solo, a uma curva do tipo polinomial, mas não houve bom ajustamento, apresentando coeficientes de regressão ao redor de 0,6, para as equações do terceiro grau.

6.2. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLO SATURADO (K_0) E UMIDADE DE SATURAÇÃO (θ_0)

Discutir-se-ão, primeiramente, os resultados para cada solo e depois para os três solos conjuntamente. Procurar-se-á descrever, em primeiro lugar, no K_0 , em segundo lugar no θ_0 , e finalmente na relação entre K_0 e θ_0 .

Sumarizaram-se os dados médios da condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) e os dados médios da Umidade de saturação (θ_0) nas Tabelas 12, 13 e 14.

TABELA 12- Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) média, em cm/h, e umidade de saturação (θ_o), em % volume, para cada tratamento (solo textura fina).

Tratamento	K_o (cm/h)	θ_o (cm^3/cm^3)
1	21,90	54,67
1A	13,65	54,50
1B	9,60	51,94
1C	10,35	52,35
1D	5,40	54,14
1E	6,00	54,51

- 1 - Terra Roxa Estruturada sem vermiculita
- 1A - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo grande
- 1B - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo médio
- 1C - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo fino
- 1D - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo superfino
- 1E - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo micron

TABELA 13 - Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) média, em cm/h, e umidade de saturação (θ_o), em % volume, para cada tratamento (solo textura média).

Tratamento	K_o (cm/h)	θ_o (cm^3/cm^3)
2	34,65	50,30
2A	23,55	48,55
2B	16,20	47,38
2C	18,15	47,94
2D	12,00	47,09
2E	14,25	47,14

- 2 - Latossol Vermelho Amarelo sem vermiculita
- 2A - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo grande
- 2B - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo médio
- 2C - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo fino
- 2D - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo superfino
- 2E - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo micron.

TABELA 14 - Condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) média em cm/h, e umidade de saturação (θ_o), em % volume, para cada tratamento (solo textura grossa).

Tratamento	K_o (cm/h)	θ_o (cm ³ /cm ³)
3	21,30	40,20
3A	9,30	43,49
3B	7,80	42,79
3C	7,50	42,09
3D	5,85	43,60
3E	4,80	43,49

3 - Areia Quartzosa sem vermiculita

3A - Areia Quartzosa com vermiculita tipo grande

3B - Areia Quartzosa com vermiculita tipo médio

3C - Areia Quartzosa com vermiculita tipo fino

3D - Areia Quartzosa com vermiculita tipo superfino

3E - Areia Quartzosa com vermiculita tipo micron.

6.2.1. TERRA ROXA ESTRUTURADA

6.2.1.1. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLO SATURADO (K_0)

O tratamento sem vermiculita apresentou-se com valores de K_0 superiores àqueles em que se adicionou vermiculita, diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey. Seu valor foi 21,90 cm/h, bem superior aos demais, chegando a ser 4 vezes superior ao do tratamento em que se adicionou ao solo a vermiculita tipo superfino, (Tabelas 15 e 16).

Os tratamentos que continham vermiculita misturada ao solo, apresentaram resultados que diferiram estatisticamente entre si pelo teste estatístico de Tukey (Tabela 16). Observou-se que os tipos de vermiculita com granulometria menor foram os que mais diminuíram o valor de K_0 , obedecendo à seguinte ordem decrescente: tipo superfino, tipo micron, tipo médio, tipo fino e tipo grande.

6.2.1.2. UMIDADE DE SATURAÇÃO (θ_0)

Os dados demonstraram que não houve variação estatística no θ_0 , apesar de a adição de vermiculita ao solo haver diminuído seu valor (Tabelas 17 e 18).

Comparando-se as médias de θ_0 , pelo teste esta

TABELA 15 - Análise de Variância dos dados médios de condutividade de hidráulica em solo saturado (Ko).

COEFICIENTE VARIACÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	SIGNIFICÂNCIA
A	2	1112,6325	556,3163	385,33	1%
B	5	2035,0538	407,0108	281,91	1%
A x B	10	88,6425	8,8642	6,14	1%
(Tratamentos)	17	3236,3288	190,3723	131,86	1%
Resíduo	36	51,9750	1,4437		

Fator A - Solo

Desvio Padrão = 1,2016

Fator B - Vermiculita

Coef. variação = 8,93%

TABELA 16 - Comparação, pelo teste de Tukey, entre médias da condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) em cm/h, para os tratamentos e vermiculita dentro de solo.

Trat.	Média K_0	Trat.	Média K_0	Trat.	Média K_0
1	21,90 ^a	2	34,65 ^a	3	21,30 ^a
1A	13,65 ^b	2A	23,55 ^b	3A	9,30 ^b
1C	10,35 ^c	2C	18,15 ^c	3B	7,80 ^{bc}
1B	9,60 ^c	2B	16,20 ^{cd}	3C	7,50 ^{bcd}
1E	6,00 ^d	2E	14,25 ^{de}	3D	5,85 ^{cd}
1D	5,40 ^d	2D	12,00 ^e	3E	4,80 ^d

DMS (TUKEY) = 2,95

TABELA 17 - Análise de Variância dos dados médios de umidade de saturação (θ_0).

COEFICIENTE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	SIGNIFI CÂNCIA
A	2	1103,9823	551,9912	778,55	1%
B	5	15,2388	3,0478	4,30	1%
A x B	10	55,2843	5,5284	7,80	1%
(Tratamentos)	17	1174,5054	69,0886	97,45	1%
Resíduo	36	25,5239	0,7090		

Fator A - Solo

Desvio Padrão = 1,2016

Fator B - Vermiculita

Coef. Variação = 8,93%

TABELA 18 - Comparação, pelo teste de Tukey, entre médias de umidade de saturação (θ_0) em % volume, para os tratamentos e vermiculita dentro de solo.

Trat.	Média θ_0	Trat.	Média θ_0	Trat.	Média θ_0
1	54,67 ^a	2	50,30 ^a	3D	43,60 ^a
1E	54,51 ^a	2A	48,55 ^a	3A	43,49 ^a
1A	54,50 ^a	2C	47,94 ^b	3E	43,49 ^a
1D	54,14 ^{ab}	2B	47,38 ^b	3B	42,79 ^a
1C	52,35 ^{bc}	2E	47,14 ^b	3C	42,09 ^{ab}
1B	51,94 ^c	2D	47,09 ^b	3	40,20 ^b

DMS (TUKEY) = 2,07

tístico de Tukey (Tabela 18), verificou-se que o tratamento que não continha vermiculita diferiu, apenas, dos tratamentos contendo vermiculita do tipo fino e médio, os quais não diferiram estatisticamente entre si.

6.2.1.3. RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO (K_0) E A UMIDADE DE SATURAÇÃO (θ_0)

Analisando a relação entre K_0 e θ_0 verificou-se que não houve uma relação direta entre K_0 e θ_0 que demonstrasse a influência entre si. Quando a condutividade hidráulica saturada diminuiu, devido à adição de vermiculita, a umidade de saturação nem sempre diminuiu, por exemplo, o K_0 do tratamento 1E diminuiu em relação ao tratamento 1B, no entanto o θ_0 de 1E aumentou em relação a 1B; já para o tratamento 1C em relação ao 1D ocorreu o inverso, (Tabela 12).

6.2.2. LATOSSOL VERMELHO AMARELO

6.2.2.1. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO (K_0)

Analisando-se os dados da Tabela 13, observou-se que a aplicação de vermiculita ao solo modificou o comportamento da condutividade hidráulica saturada (K_0), tendo valo

res menores para os tratamentos em que se misturou vermiculita com granulometria menor. Isto pode ser devido ao fato de que a arquitetura do arranjo poroso modifica com maior intensidade para misturas de granulometria mais fina, aumentando a tortuosidade dos poros e o número de microporos, dificultando a passagem de água.

O tratamento sem vermiculita diferiu estatisticamente, pelo teste de Tukey (Tabela 16), de todos os demais, evidenciando assim, que a adição de vermiculita ao solo de textura média diminuiu o K_o .

Os tratamentos que continham vermiculita misturada ao solo, tiveram comportamentos diferentes para cada tipo de vermiculita. Quanto menor o diâmetro da partícula de vermiculita menor foi o K_o . A ordem decrescente de valores médios dos tratamentos para K_o foi a seguinte: 2A, 2C, 2B, 2E e 2D, ou seja, 34,65; 23,55; 18,15; 16,20; 14,25 e 12,00 cm/h, respectivamente. Os tratamentos 2C e 2B; 2B e 2E, e 2E e 2D não diferiram entre si pelo teste de Tukey (Tabela 16).

6.2.2.2. UMIDADE DE SATURAÇÃO (K_o)

Para este tipo de solo, a umidade de saturação não diferiu acentuadamente entre os tratamentos. Houve diferença estatisticamente significativa apenas para o tratamento sem vermiculita, quando comparado com os demais. As médias dos tratamentos se ordenaram crescentemente da seguinte maneira :

Tratamento 2, Tratamento 2A, Tratamento 2C, Tratamento 2B, Tratamento 2E e Tratamento 2D, sendo seus valores 50,30; 48,55 ; 47,94; 47,38; 47,14 e 47,09%, respectivamente (Tabela 18).

6.2.2.3. RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO (K_o) E A UMIDADE DE SATURAÇÃO (θ_o)

Para este tipo de solo, não houve influência evidente da condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) sobre a umidade de saturação, segundo a Tabela 13. Nos tratamentos em que o K_o diminuiu, a umidade de saturação não diminuiu em taxas proporcionais à do K_o . Isto demonstrou que, ao se misturar vermiculita ao solo, apesar de diminuir a condutividade hidráulica saturada, a umidade de saturação mantém-se constante para este tipo de solo, sem apresentar diferenças estatisticamente significativas (Tabelas 18), quando se compararam suas médias pelo teste de Tukey.

6.2.3. AREIA QUARTZOSA

6.2.3.1. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLO SATURADO (K_o)

A adição de vermiculita na Areia Quartzosa apresentou grande influência no comportamento do K_o em todos os tratamentos. Quando

se misturou ao solo a vermiculita tipo micron, diminuiu-se o valor médio do K_o em 5 vezes quando comparado com a média do tratamento sem vermiculita (Tabela 14).

O tratamento sem vermiculita diferiu estatisticamente dos demais quando se compararam médias pelo teste de Tukey (Tabela 16).

Comparando-se as médias dos tratamentos que continham vermiculita, verificou-se haver influência da granulometria na condutividade hidráulica saturada, pois na medida que se diminuiu o tamanho do grânulo de vermiculita, diminuiu-se o valor de K_o . Este fato pode ser explicado pelo preenchimento dos espaços porosos pelo grânulo de vermiculita, aumentando a microporosidade do solo ou obstruindo os canais porosos, dificultando, em consequência, a passagem da água, diminuindo o K_o . Na ordem decrescente dos valores médios de K_o para os tratamentos tem-se: sem vermiculita, tipo grande, tipo médio, tipo fino, tipo superfino e tipo micron.

6.2.3.2. UMIDADE DE SATURAÇÃO (θ_o)

Para a Areia Quartzosa, a umidade de saturação apresentou diferença entre o tratamento sem vermiculita e os tratamentos com vermiculita, apesar de esta diferença estar ao redor de 4% em volume, o que para um solo arenoso chega a ser expressivo (Tabela 14).

Os tratamentos contendo vermiculita não diferiram estatisticamente entre si quando se compararam suas médias pelo teste de Tukey (Tabela 18). Evidenciou-se, portanto, que qualquer um dos tipos de vermiculita estudados exercem influência, aumentando a umidade de saturação em relação ao solo sem vermiculita.

6.2.3.3. RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO (K_0) E A UMIDADE DE SATURAÇÃO (θ_0)

A adição de vermiculita abaixou o valor médio do K_0 em todos os tratamentos e, também, aumentou o teor médio de θ_0 para todos os tratamentos, o que em um solo arenoso é benéfico, pois a tendência é ter-se um fluxo rápido de água e pequena retenção de água no solo (Tabela 15). Não existiu, entretanto, uma relação funcional entre K_0 e θ_0 .

6.2.4. INFLUÊNCIA DA VERMICULITA NOS TRÊS SOLOS

De uma maneira geral a adição de vermiculita, em uma proporção de 10% do volume, influenciou o comportamento da condutividade hidráulica saturada (K_0) em todos os solos, diminuindo seu valor médio em relação ao solo sem vermiculita.

Em todos os três solos estudados, o tamanho do grânulo influenciou o valor do K_0 , sendo que as granulometrias

mais finas apresentaram maior efeito na diminuição de K_o em relação aos tipos de vermiculita com granulometria mais grossa.

A umidade de saturação (θ_o) também, sofreu influência pela adição de vermiculita. No solo 1 e solo 2 a adição de vermiculita diminuiu o valor médio de θ_o , enquanto que para o solo 3 houve um aumento do θ_o .

Relacionando-se as Figuras 5 e 6 observou-se que, de um modo geral, diminuindo o tamanho do grânulo de vermiculita, misturado ao solo, mantém-se o valor de K_o em valores próximos para os três solos, enquanto que, ao aumentar-se o tamanho da partícula de vermiculita, a amplitude de variação, entre os valores de K_o dos três solos, mantém-se maior. A Adição da vermiculita tipo superfino foi a que mais aproximou os valores de K_o dos três solos, embora a umidade de saturação manteve a mesma relação de diferença que nos demais tratamentos.

6.3. REDISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

Considerou-se uma coluna na vertical, onde se adicionou quantidade de água equivalente a uma carga hidráulica de 50 mm.

Mediu-se a profundidade da frente de molhamento e a umidade média no perfil após 1 hora, 12 horas e 24 horas depois da infiltração. Os dados estão apresentados nas Tabelas 19, 20 e 21 e Figuras 7, 8 e 9.

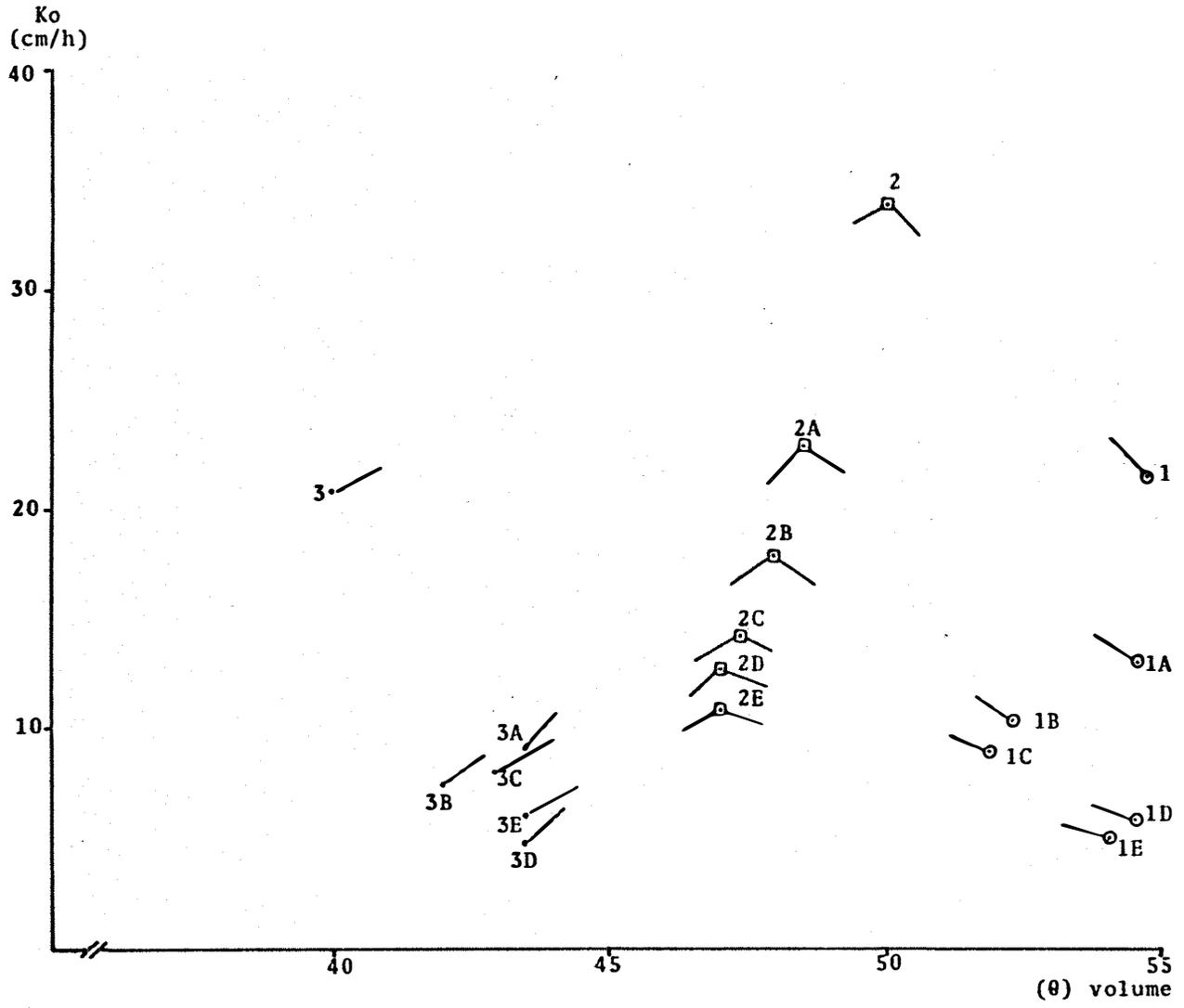


FIGURA 5 - Condutividade hidráulica em solo saturado, em (cm/h) versus umidade de saturação (θo) em % volume, para cada tratamento.

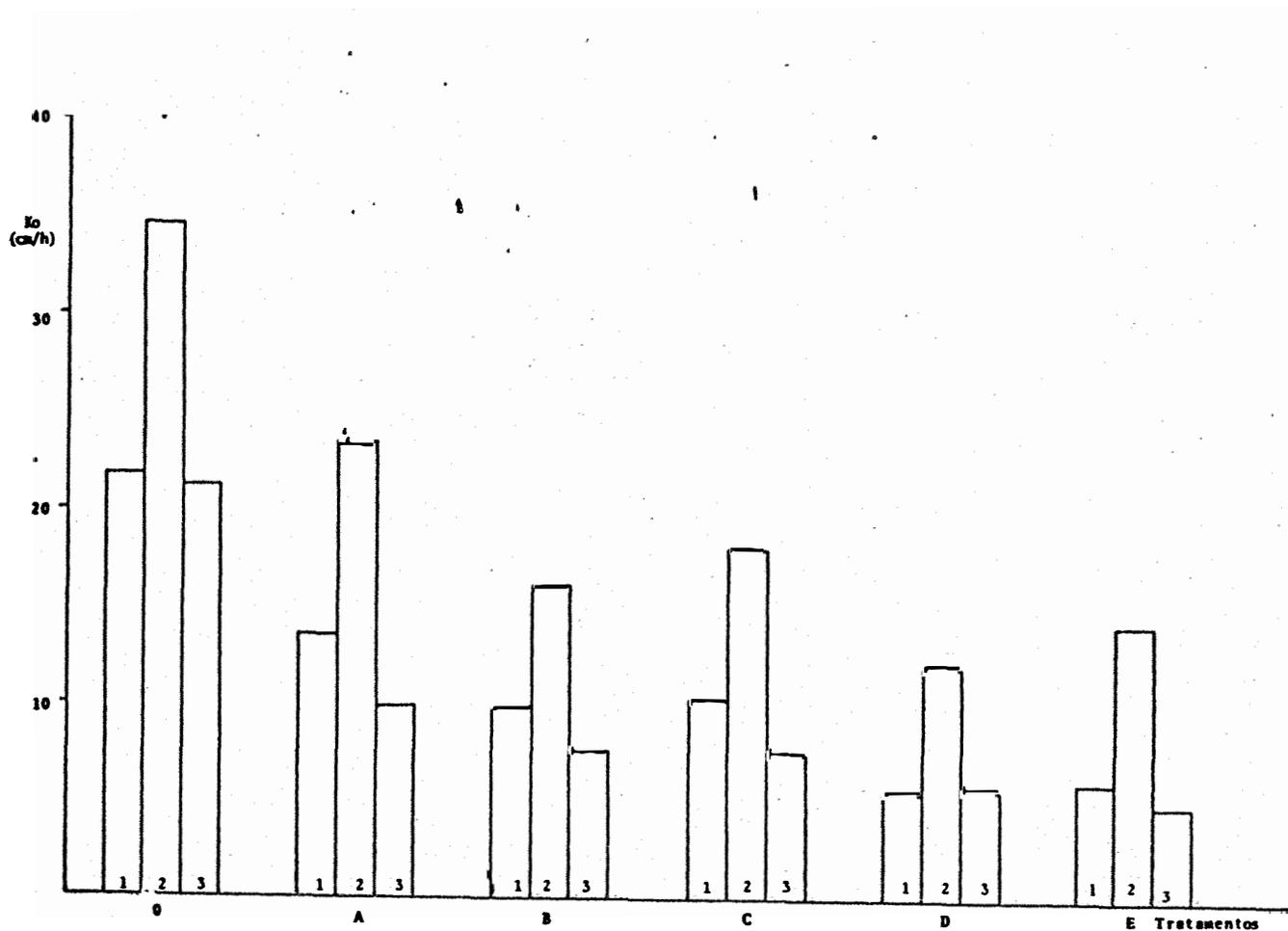


FIGURA 6 - Histogramas comparando a condutividade em solo saturado (K_o), em cm/h, para cada tratamento .

TABELA 19 - Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição da água no solo (textura fina).

Trat.	1 HORA		12 HORAS		24 HORAS	
	Frente (cm)	θ (%)	Frente (cm)	θ (%)	Frente (cm)	θ (%)
1	16,5	36,41	18,8	33,82	20,1	32,61
1A	17,0	36,36	18,5	33,31	20,0	32,84
1B	16,8	37,06	18,4	33,82	20,3	32,23
1C	17,2	35,39	19,3	32,32	21,0	31,86
1D	16,3	37,28	18,9	33,38	21,2	31,82
1E	16,8	36,97	19,5	32,16	22,8	30,60

1 - Terra Roxa Estruturada sem vermiculita

1A - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo grande

1B - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo médio

1C - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo fino

1D - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo superfino

1E - Terra Roxa Estruturada com vermiculita tipo micron.

TABELA 20 - Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas da redistribuição da água no solo (textura média).

Trat.	1 HORA		12 HORAS		24 HORAS	
	Frente (cm)	θ (%)	Frente (cm)	θ (%)	Frente (cm)	θ (%)
2	17,0	29,52	21,5	22,81	24,1	20,10
2A	16,8	29,90	20,8	24,10	22,0	22,23
2B	16,9	30,33	21,0	22,95	21,3	22,95
2C	16,2	28,91	19,5	24,90	22,1	21,78
2D	16,8	29,03	19,6	24,32	21,5	23,81
2E	16,8	26,54	20,2	24,61	20,8	23,21

2 - Latossol Vermelho Amarelo sem vermiculita

2A - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo grande

2B - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo médio

2C - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo fino

2D - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo superfino

2E - Latossol Vermelho Amarelo com vermiculita tipo micron.

TABELA 21 - Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição no solo (textura grossa).

Trat.	1 HORA		12 HORAS		24 HORAS	
	Frente (cm)	θ (%)	Frente (cm)	θ (%)	Frente (cm)	θ (%)
3	19,5	29,47	21,4	26,63	22,5	25,53
3A	18,5	28,21	19,8	27,88	19,9	27,82
3B	18,3	30,77	19,5	27,28	19,7	26,89
3C	18,5	30,57	19,3	26,94	20,2	26,18
3D	18,3	29,36	19,6	27,25	20,4	27,14
3E	18,3	29,17	19,8	27,82	20,5	25,47

3 - Areia Quartzosa

3A - Areia Quartzosa com vermiculita tipo grande

3B - Areia Quartzosa com vermiculita tipo médio

3C - Areia Quartzosa com vermiculita tipo fino

3D - Areia Quartzosa com vermiculita tipo superfino.

3E - Areia Quartzosa com vermiculita tipo micron.

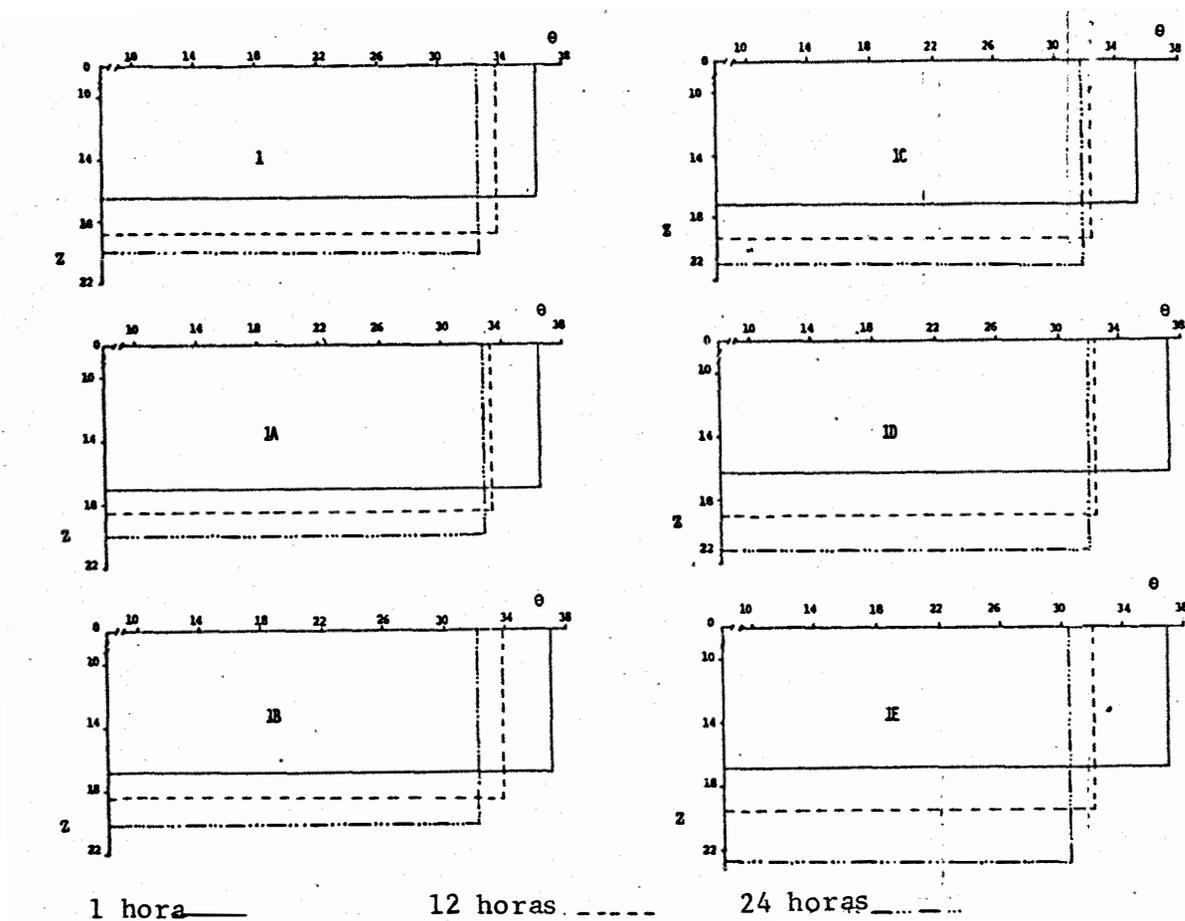


FIGURA 7 - Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ_0) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição da água na Terra Roxa Estruturada, em cada tratamento.

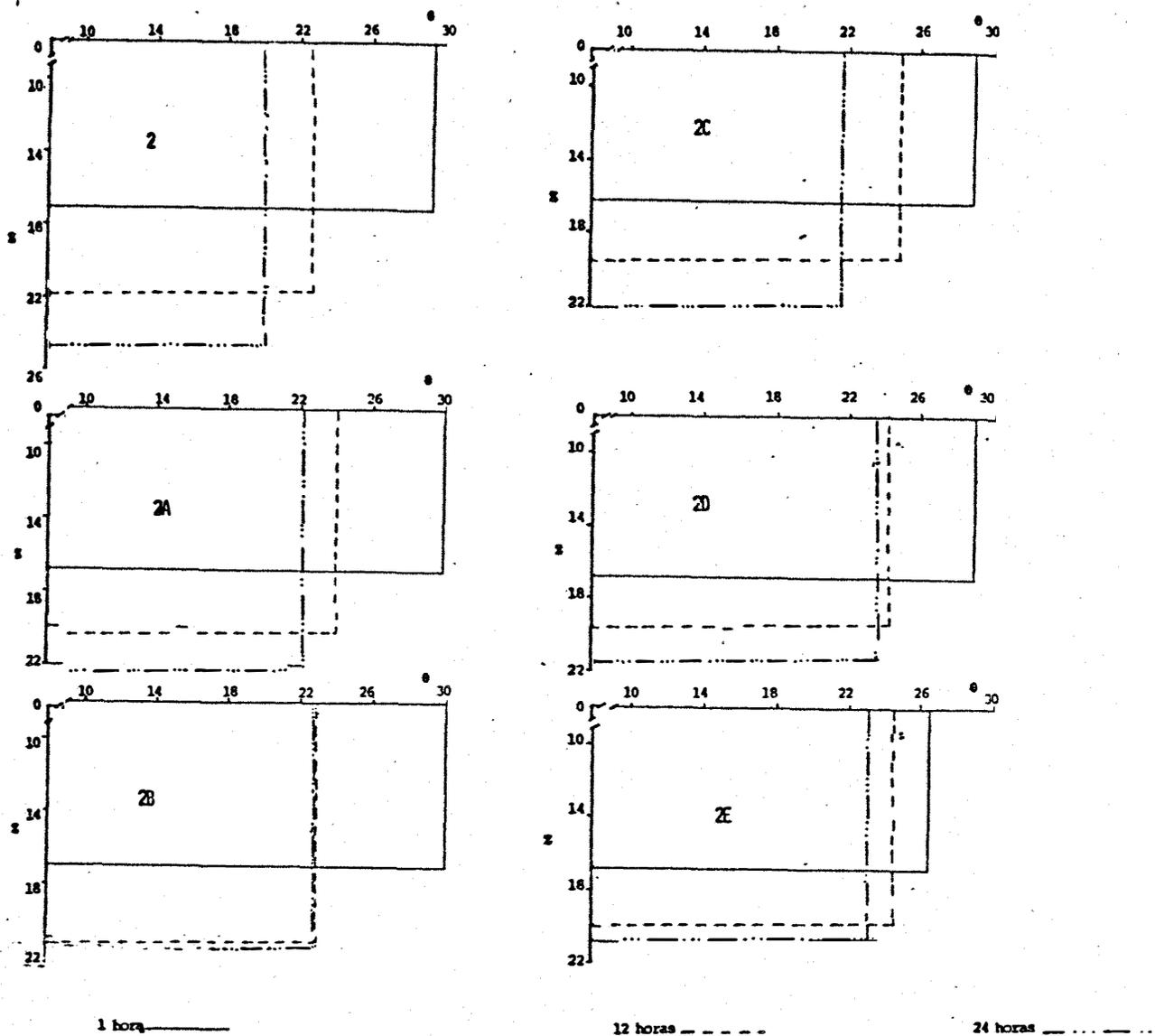


FIGURA 8 - Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição da água no Latossol Vermelho Amarelo, em cada tratamento.

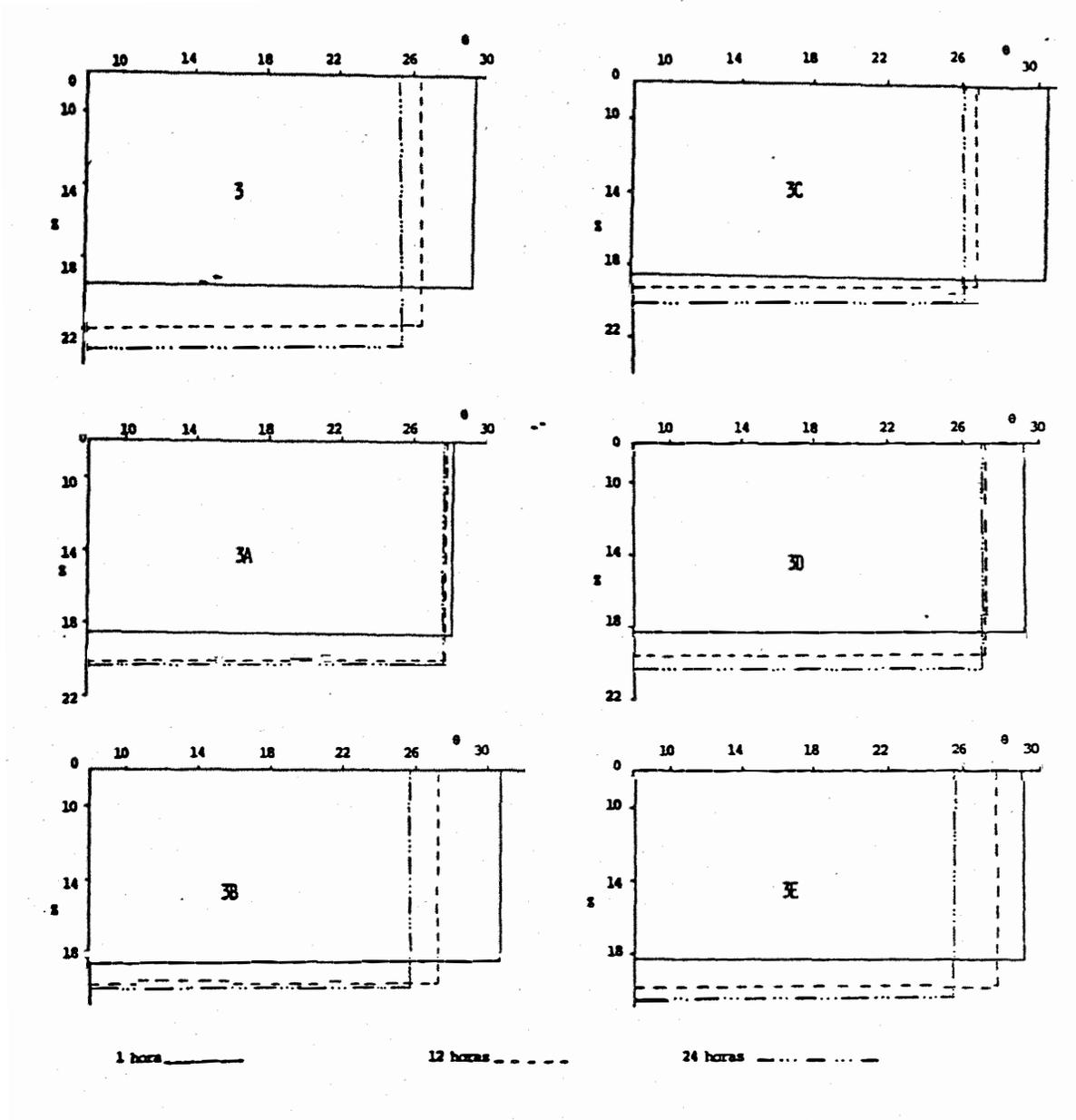


FIGURA 9 - Profundidade da frente de molhamento, em cm, e umidade (θ) média, em % volume, após 1 hora, 12 horas e 24 horas de redistribuição da água na Areia Quartzosa, em cada tratamento.

6.3.1. TERRA ROXA ESTRUTURADA

Para o solo de textura argilosa, notou-se que, para os tratamentos em que se colocou vermiculita, a frente de molhamento alcançou profundidades maiores, se comparados com o tratamento sem vermiculita. Observou-se ainda, que a vermiculita do tipo micron foi a mais eficiente, favorecendo o caminhamento da água do solo no sentido vertical.

À medida que a frente de molhamento se tornou mais profunda, a umidade (θ) média no perfil diminuiu (Tabela 19 e Figura 7), isto porque um maior volume de solo foi umedecido pela mesma quantidade de água.

6.3.2. LATOSSOL VERMELHO AMARELO

A redistribuição da água, neste tipo de solo, apresentou-se com comportamento variável dependendo do tratamento testado. A distância da frente de molhamento até a superfície de amostra de solo foi superior para o tratamento em que não se misturou vermiculita.

No início, tempo 1 hora após a infiltração, não houve diferença, na profundidade de redistribuição da água na vertical, para os tratamentos com vermiculita, sendo também, muito semelhante para o tratamento sem vermiculita. No tempo 24 horas, os tratamentos com vermiculita apresentaram diferenças entre si, sendo a vermiculita do tipo micron a menos eficiente.

ciente em redistribuir a água no perfil da amostra porosa estudada.

A vermiculita tipo micron contém granulometria muito fina, diâmetro menor que 0,5 mm, e ao misturar-se com o solo de textura média, que contém boa porcentagem de areia e, conseqüentemente, boa porosidade, provavelmente as partículas de vermiculita tenham penetrado nos poros grandes, dificultando a passagem da água, além do que, possui alta capacidade de absorve-la.

Neste tipo de solo não existiu uma relação entre a profundidade de molhamento e a umidade (θ) média do perfil molhado (Figura 8), pois o comportamento do primeiro não foi semelhante ao do segundo.

6.3.3. AREIA QUARTZOSA

Para o caso da Areia Quartzosa, também houve influência da adição de vermiculita, na profundidade de redistribuição da água infiltrada. O tratamento sem vermiculita apresentou a distância entre a frente de molhamento e a superfície do solo, com valores superiores àqueles dos tratamentos em que se misturou vermiculita e isto foi verdadeiro em todos os tempos medidos. Dos tratamentos com vermiculita o que foi menor eficiente em redistribuir a água no perfil do solo, no tempo 24 horas, foi o tipo médio, levando a crer que para tempos longos, este tipo de vermiculita para este tipo de so

lo possui capacidade de reter água mais próximo da superfície, que os demais (Tabela 21 e Figura 9).

A redistribuição da água infiltrada foi rápida até o tempo 1 hora, diminuindo sua taxa nos tempos 12 e 24 horas.

6.3.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS TRÊS SOLOS

Em todos os solos estudados, a adição de vermiculita exerceu influência sobre o comportamento da redistribuição da água no perfil vertical.

No solo argiloso, a vermiculita provocou aumento na distância entre a frente de molhamento e a superfície do solo, comparado com o solo sem vermiculita. A vermiculita tipo micron foi a que redistribuiu água mais profundamente, talvez devido à modificação da estrutura do solo argiloso, diminuindo a ação das forças adsorptivas sobre a água e aumentando a influência gravitacional.

Para o Latossol Vermelho Amarelo e Areia Quartzosa, a ação da vermiculita foi o inverso do que ocorreu no solo argiloso. Isto deve-se ao fato de que estes dois solos possuem maior quantidade de areia que o anterior e a vermiculita diminuiu, pela ação adsorptiva da água e diminuição da macroporosidade, a influência da força gravitacional. A mistura de vermiculita nestes dois solos, em práticas de irrigação, pode dificultar a penetração da água a ca

madras profundas, evitando a translocação de materiais, que é frequente em solos arenosos.

7. CONCLUSÕES

Da análise dos resultados para as condições do presente estudo, depreendem-se as seguintes conclusões:

- A mistura de vermiculita expandida ao solo, à base de 10% em volume, influencia o comportamento da retenção da água, da condutividade hidráulica saturada, da redistribuição da água e da umidade de saturação, nos três solos;

- A vermiculita tipo superfino é a mais eficiente em reter água nos solos estudados;

- Existe relação direta entre o tamanho do grânulo de vermiculita incorporada ao solo e a condutividade hidráulica saturada nos três solos, principalmente na Areia Quartzosa;

- A adição da vermiculita tipo micron faz a redistribuição da água alcançar maior profundidade no perfil vertical da Terra Roxa Estruturada (argiloso), enquanto que

nos solos tipo Latossol Vermelho Amarelo e tipo Areia Quartzosa todos os tipos de vermiculita diminuem a profundidade da frente de molhamento e com intensidade semelhante;

- A mistura de vermiculita expandida ao solo melhora suas condições hídricas, sendo mais benéfica para solos arenosos, necessitando, no entanto, maiores estudos a respeito.

8. LITERATURA CITADA

- BAENA, E.S.; FERNANDES, P.S.; COUTINHO, C.J. e GONÇALVES, J.C.
1981. Utilização da vermiculita no plantio de essências florestais. São Paulo. Mimeografado, 7 p.
- BREWER, L. 1961. Germinating seeds in vermiculite. Plant Life, Orinda, Califórnia: 143-145.
- CASTOLL, L.A. 1963. Vermiculite as a chemical carrier in agriculture. Canadian Farm Implements, Ontario. June: 24-28.
- CHAM, F.J. (Sem data) Vermiculite seeding block: An aid for direct establishment of small-seeded woody plants. The Plant Propagator : 23-25.
- CHOU DHURY, E.N. 1982. Influência da vermiculita na retenção de água e capacidade de troca de cations em Latossolo vermelho amarelo. In: VI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Belo Horizonte, p. 28.

DUNHAM, C.W. 1967. Nutrition of greenhouse crops in soils with added peat moss and vermiculite. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., Delaware, 90: 462-466.

EUCATEX. 1981. Vermiculita: O minério da produtividade agrícola. São Paulo. Mimeografado. 8 p.

GARMAN, W.L. 1952. The permeability of various grades of sand and peat and mixtures of these with soil and vermiculite. U.S. Golf Assoc. J. and Rutf. Management. 1:27-28.

GRIM, R.E. 1968. Clay mineralogy. New York, McGraw Hill, 596 p.

KRETCHMAN, D.W. e BAVERLE, W.L. 1971. A comparison of two methods of growing tomato transplants: clay pot method vs. bare-root in peatlit mix method. Research summary, Ohio Agricultural Research and Development Center. 50:1-4.

MEDINA, H.P. 1967. Classificação granulométrica do solo-classes e subclasses texturais, In: Moniz, A.C. 1972. Elementos de Pedologia. São Paulo - Editora Polígono S.A. 451 p.

MINAMI, K. 1981. Utilização da vermiculita na Floricultura e Paisagismo. São Paulo. Mimeografado. 3 p.

MONIZ, A.C. 1972. Elementos de Pedologia. São Paulo, Editora Polígono S.A. 451 p.

PAULETTO, E.A.; TURATTI, A.L.; GOMES, A.S. e ZONTA, E.P.1981. Influência de níveis de vermiculita e umidade do solo na cultura da soja (*Glycine max* L.). In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Salvador-Bahia.

REICHARDT, K. 1980. Vermiculita como condicionador do solo. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira do Solo. Campinas, 5 (3): 55-56.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; S. URQUIAGA, C. e SARAIVA da COSTA, A.C. 1982. Efeito da vermiculita no controle da deficiência hídrica em cultura de arroz. Piracicaba- SP. Mimeografado. 19 p.

SALATI, E.; REICHARDT, K. e S. URQUIAGA, C. 1980. Efeitos da adição de vermiculita na retenção e armazenamento de água por latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas-SP, 4 (3): 125-131.

SAUNDER, D.H. 1951. Value of vermiculite in Agriculture and Horticulture. Rhodesian Tobacco Journal. Rhodesia, 3(1) : 61-67.

SHARID, F. 1965. Vermiculite: the popcorn mineral. Science
chronicle, 13(21): 85-86.