

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

"CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM SULCOS FECHADOS  
NO FINAL NUM REGOSOL".

Por

MARCOS ANTONIO DA SILVA  
Engenheiro Agrícola

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

SETEMBRO - 1987

MARCOS ANTONIO DA SILVA

"CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM SULCOS FECHADOS  
NO FINAL NUM REGOSOL".

Tese apresentada à Universidade  
Federal da Paraíba, como parte das  
exigências do Curso de Mestrado em  
Engenharia Civil, para obtenção do  
Grau de Mestre em Ciências (MSc).

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS/SUB-ÁREA: IRRIGAÇÃO  
ORIENTADOR : RICARDO AUGUSTO LOPES BRITO (EMBRAPA)  
CO-ORIENTADOR : HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO (UFPb)

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

SETEMBRO - 1987

S586c Silva, Marcos Antonio da  
Caracterizacao de um sistema de irrigacao com sulcos  
fechados no final num regosol / Marcos Antonio da Silva. -  
Campina Grande, 1987.  
93 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -  
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e  
Tecnologia.

1. Irrigacao 2. Sulcos - 3. Regosol 4. Recursos Hidricos  
5. Engenharia Civil 6. Dissertacao I. Brito, Ricardo  
Augusto Lopes, Dr. II. Azevedo, Hamilton Medeiros de III.  
Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB). IV.  
Titulo

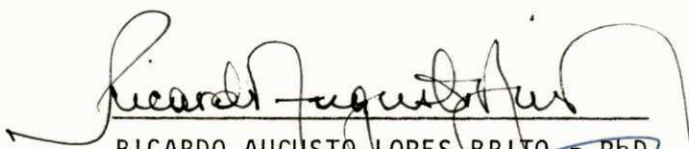
CDU 626.81/.84(043)

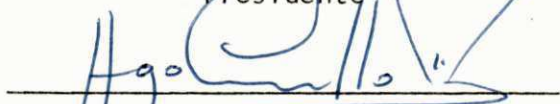
CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM SULCOS FECHADOS NO  
FINAL NUM REGOSOL


Por

MARCOS ANTONIO DA SILVA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/ 09/ 87

  
RICARDO AUGUSTO LOPES BRITO - PhD  
Presidente

  
HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA - PhD  
Examinador

  
FRANCISCO MONTE ALVERNE DE S. SAMPAIO-MSc  
Examinador

CAMPINA GRANDE - Pb

SETEMBRO-1987

DIGITALIZAÇÃO:  
SISTEMOTECA - UFCG

A meu pai ANTONIO e a minha mãe  
CECÍLIA, pelo exemplo de digni-  
dade e pelo esforço despreendi-  
do em benefício do progresso in-  
telectual e moral de seus fi-  
lhos, dedico este trabalho.

## AGRADECIMENTOS

À Companhia de Engenharia Rural da Bahia - CERB, pela oportunidade oferecida para a conclusão do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola.

Ao Dr. Ricardo Augusto Lopes Brito e ao Prof. Hamilton Medeiros de Azevedo, pela atenciosa, eficiente e constante orientação durante a elaboração deste trabalho.

Aos professores Francisco Monte Alverne de Sales Sampaio e José Dantas Neto, pelo apoio durante o Curso e pelas valiosas sugestões apresentadas por ocasião da realização desta pesquisa.

Ao Instituto Agrônomo José Augusto Trindade - IAJAT - nas pessoas de José Antunes de Oliveira e Vital Pedro da Silva Paz.

Ao Programa de Desenvolvimento Científico Tecnológico para o Nordeste (PDCT/NE) financiado pelo CNPq e BID. Tal programa apoia o trabalho de Pesquisa "Parametrização do Sistema de Irrigação por Sulco Fechado no Final e o Método combinado "Xique-Xique", pelo qual essa Tese se constitui num subproduto do trabalho final.

Ao Dr. Washington Luis de Carvalho e Silva pela atenção e valiosas sugestões para elaboração deste trabalho.

Aos Srs. Edilson Guedes da Costa, Francisco Assis Filho e Joaquim Arsênio da Silva, pela colaboração e apoio durante a fase de coleta de dados no campo.

A Joana D'arc Freire de Medeiros, Paulo José de Carvalho e Silva e Celso Ogassawara pelas valiosas contribuições e incentivo.

A Jaime Mâncio Barboza Neto e Demóstenes Cardoso Taveira Neto (DEAg/UFPb) pelos excelentes trabalhos de datilografia e desenho.

E enfim, a todos os professores, colegas do Curso de Pós-Graduação, amigos e pessoas que, de uma ou de outra maneira, colaboraram para a efetivação deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		PÁGINA
1	Concepção teórica de um perfil longitudinal de sulco fechado após irrigação .....	7
2	Esquema experimental .....	30
3	Valores de comprimento de sulco para irrigação com tubo janelado, em função da vazão da janela, infiltração básica do solo, perímetro molhado do sulco igual a 0,20 m e perda por percolação igual a 10% .....	33
4	Seção média do sulco .....	34
5	Área de infiltração e volume armazenado na superfície do sulco fechado no final com declividade de 0,1% e seção trapezoidal com altura máxima de água no final do sulco de 15 cm .....	38
6	Distribuição da água em sulco fechado no final após a irrigação .....	40
7	Distribuição dos perfis ao longo do sulco e locais de coleta de amostras .....	43



FIGURAS	PÁGINA
8	Curvas características de umidade do solo para as profundidades de 0-25; 25-50; 50-75 e 75-100 cm ..... 52
9,10,11 12 e 13	Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais, desde o eixo vertical no centro do sulco, após aplicação da lâmina de água de 32 mm para 25 cm de profundidade, para os perfis A, B, C, D e E, respectivamente ..... 56 a 58
14,15 , 16,17 e 18	Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais, desde o eixo vertical no centro do sulco, após aplicação da lâmina de água de 60 mm para 50cm de profundidade, para os perfis A, B, C, D e E , respectivamente ..... 58 a 60
19,20 , 21,22 e 23	Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais, desde o eixo vertical no centro do sulco, após aplicação da lâmina de água de 62 mm para 75cm de profundidade, para os perfis A, B, C, D e E , respectivamente ..... 61 a 63
24,25 , 26,27 e 28	Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais, desde o eixo vertical no centro do sulco, após aplicação da lâmina de água de 74 mm para 100 cm

## FIGURAS

## PÁGINA

	de profundidade, para os perfis A, B, C, D e E, respectivamente .....	63 a 65
29	Distribuição do conteúdo de água ao longo dos sulcos, após irrigação, afetadas por diferentes lâminas de aplicação de água .....	68

## LISTA DAS TABELAS

TABELAS		PÁGINA
1	Distribuição do tamanho das partículas e classificação textural do solo com média e desvio padrão das percentagens de areia, silte e argila .....	49
2	Densidade global, capacidade de campo e ponto de murcha permanente do solo, com média e desvio padrão, por profundidade .....	51
3	Umidade inicial do solo, em base de solo seco, por profundidade, para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 .....	54
4,5,6,7, 8 e 9	Exemplos de cálculo para determinação do volume de água infiltrado, por perfil, para o bulbo efetivo e frente de umedecimento .....	72 a 76
10	Volumes totais de água infiltrada, em litros, por perfil, por trecho de sulco e por tratamento, com base na profundidade de solo molhado arbitrado .....	77

## TABELAS

## PÁGINA

11	Volumes totais de água infiltrada, em litros , por perfil, por trecho de sulco e por tratamen to, com base na profundidade de solo calculada .	77
12	Eficiências de aplicação, com base nas profun- didades de solo arbitrada e calculada .....	78
13	Perdas por percolação com base nas profundida- des arbitrada e calculada .....	79
14	Lâminas infiltradas e uniformidade de distri - buição, por perfil e por tratamento .....	80

## LISTA DOS QUADROS

QUADRO		PÁGINA
1	Características climáticas do município de Souza-Pb .....	27
2	Resumo dos parâmetros utilizados .....	37
3	Largura molhada do bulbo por perfil, em m, para cada tratamento .....	66
4	Profundidade máxima atingida pelo bulbo efetivo, em m, por tratamento .....	67

## LISTA DE SÍMBOLOS

- a - Constante de infiltração dependente do tipo de solo.
- A - Área média molhada adotada.
- A<sub>i</sub> - Área de infiltração superficial do sulco.
- A<sub>sq</sub> - Área do solo molhado correspondente a quadrícula.
- b - Constante de infiltração dependente do tipo de solo.
- C - Constante de infiltração dependente do tipo de solo.
- CC - Capacidade de campo com base em peso de solo seco.
- C<sub>máx</sub> - Capacidade máxima de armazenamento d'água no sulco.
- D - Distância entre pontos.
- d<sub>g</sub> - Densidade global.
- E<sub>a</sub> - Eficiência de aplicação.
- E<sub>ac</sub> - Eficiência de acumulação.
- E<sub>ar</sub> - Eficiência de armazenamento.
- E<sub>c</sub> - Eficiência de condução.
- E<sub>d</sub> - Eficiência de distribuição.
- E<sub>i</sub> - Eficiência de irrigação.
- E<sub>To</sub> - Quantidade de água que poderia ser evapotranspirada pelas plantas sem irrigação.
- E<sub>Ti</sub> - Quantidade de água evapotranspirada pelas plantas na irrigação.
- EU - Eficiência do uso da água.
- I - Infiltração acumulada.

- K - Constante que representa a velocidade de infiltração quando  $T = 1$ .
- Kh - Condutividade hidráulica.
- KPa - Unidade de pressão do Sistema Internacional de Medida.
- L - Comprimento do sulco.
- Lf - Lâmina infiltrada no final do sulco.
- Li - Lâmina infiltrada no início do sulco.
- Lm - Lâmina média infiltrada ao longo do sulco.
- Ln - Lâmina de água necessária para elevar a umidade inicial no solo a capacidade de campo.
- Lt - Comprimento do trecho no qual está inserido a quadrícula.
- n - Constante dependente do tipo de solo.
- Pe - Perda por escoamento superficial.
- Pm - Perímetro molhado do sulco.
- Pp - Perda por percolação.
- Pr - Profundidade explorada pelo sistema radicular da cultura.
- Q - Volume de água que flui por unidade de superfície transversal de solo e por unidade de tempo.
- q - Vazão do sulco.
- qmín - Vazão mínima de entrada no sulco.
- qmáx - Vazão máxima não erosiva do sulco.
- T - Tempo de infiltração.
- t - Tempo necessário para aplicar o volume correspondente a capacidade de armazenamento do sulco.
- Ti - Tempo de irrigação.
- UA - Umidade atual do solo.

- Ud - Uniformidade de distribuição.
- Ui - Umidade inicial da quadrícula.
- Uq - Umidade média da quadrícula, com base em peso seco.
- Va - Volume de água aplicado no sulco.
- VIB - Velocidade de infiltração básica.
- Vi - Volume infiltrado no sulco.
- Viq - Volume de água infiltrado na quadrícula.
- Vp - Volume perdido por percolação.
- Vs - Volume armazenado na superfície do sulco.
- Vmo - Volume de massa que poderia ser produzido sem irrigação.
- Vmi - Volume de massa produzido com irrigação.
- $\Delta H$  - Diferença de potencial hidráulico entre dois pontos.
- $\theta$  - Umidade do solo.
- $\partial \theta$  - Variação do conteúdo volumétrico de água.
- $\partial t$  - Variação do tempo.
- $\psi$  - Tensão matricial.
- $\nabla$  - Operador diferencial vetorial.



## RESUMO

Um experimento foi realizado com o objetivo de determinar, analisar e representar os parâmetros do método de irrigação por sulcos fechados no final, utilizando a metodologia de dimensionamento proposta por AZEVEDO et alii (1982), em solo Regosol na localidade denominada Prensa, no município de Souza - Pb.

O experimento foi conduzido em quatro baterias de sulcos, três delas com três repetições e uma com duas repetições. Os tratamentos aplicados constaram de quatro volumes (660, 2100, 2310 e 3500 l) correspondentes às profundidades de 25, 50, 75 e 100 cm de solo, respectivamente. Os parâmetros medidos em campo foram: larguras e profundidades atingidas pelo bulbo efetivo e frente de umedecimento. Os parâmetros de eficiência e uniformidade calculados a partir dos dados de campo foram: eficiência de aplicação ( $E_a$ ), uniformidade de distribuição ( $U_d$ ) e perdas por percolação ( $P_p$ ).

A análise dos resultados demonstrou que a eficiência de aplicação cresceu com o volume aplicado e as perdas por percolação diminuíram, apresentando valores médios iguais a 72,96 e

27,03%, respectivamente. A avaliação dos parâmetros utilizados, indica que o perímetro molhado estimado pelos autores da metodologia proposta, não deve ser utilizado no dimensionamento do sistema, como valor representativo para qualquer comprimento de sulco, e sugere que se utilize o perímetro molhado médio, obtido em função da área de infiltração e do comprimento do sulco.

## ABSTRACT

An experiment was carried out with the objective of determining, analyzing and representing the parameters of the method of irrigation by closed furrows in the end, using the methodology of dimension proposed by AZEVEDO et alii (1982), in Rego - sol soil in the location called Prensa, in Souza city, Paraíba.

The experiment was conducted in four furrow sets, three of them with three repetitions and one of them with two repetitions. The treatments applied were composed by four volumes (660, 2100, 2310 and 3500  $\ell$ ) according to the depths of 25, 50, 75 and 100 cm of soil, respectively. The parameters measured in the field were. The widths and the depths reached by the effective bulb and wetting front. Calculated efficiency and uniformity parameters were the following: application efficiency ( $E_a$ ), distribution uniformity ( $U_d$ ) and percolation losses ( $P_p$ ).

The results shown that application efficiency grew according to the applied volume and the percolation losses decreased, presenting medium values to 72,96 percent and 27,03 percent, respectively. The estimation of the utilized parameters in the methodology, shown that the estimated wetted perimeter by

the witters, should not be used in the system dimention, as a representative value for any dimention of the furrow, and suggest the use of the medium wetted perimeter, obtained in function of the infiltration area and the furrow length.

## ÍNDICE

## CAPÍTULO I

1 - INTRODUÇÃO .....	1
----------------------	---

## CAPÍTULO II

2 - REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 - IRRIGAÇÃO POR SULCOS .....	4
2.1.1 - Características da Irrigação por Sulcos Fechados no Final .....	5
2.2 - MOVIMENTO DA ÁGUA NO SOLO .....	8
2.2.1 - Infiltração da Água no Solo .....	10
2.2.1.1 - Equações que Descrevem a Infiltração .....	12
2.2.1.2 - Redistribuição Interna.	13
2.2.1.3 - Determinação da Infiltração Básica na Irriga- ção Superficial .....	14
2.3 - CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DOS SULCOS .....	16
2.4 - EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO .....	17
2.4.1 - Eficiência de Irrigação por Sulcos.	20
2.4.2 - Perdas por Percolação Profunda ....	22
2.4.3 - Uniformidade de Distribuição .....	24

## CAPÍTULO III

3	-	MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
3.1	-	LOCALIZAÇÃO DO TRABALHO .....	26
3.2	-	CARACTERÍSTICAS DO SOLO .....	27
3.3	-	DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	29
3.4	-	PARÂMETROS DE IRRIGAÇÃO .....	31
3.4.1	-	Vazão .....	31
3.4.2	-	Comprimento do Sulco .....	32
3.4.3	-	Forma e Seção dos Sulcos .....	33
3.4.4	-	Volumes de Irrigação .....	35
3.4.5	-	Tempo de Irrigação .....	36
3.4.6	-	Capacidade de Armazenamento do Sul- co .....	37
3.5	-	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	39
3.5.1	-	Determinação da Umidade Inicial do Solo .....	39
3.5.2	-	Irrigação .....	41
3.5.3	-	Coleta de Amostras .....	41
3.6	-	CRITÉRIOS PARA ANÁLISE .....	42
3.6.1	-	Distribuição da Água no Solo .....	42
3.6.2	-	Volume de Água Infiltrado .....	44
3.6.3	-	Eficiência de Aplicação .....	45
3.6.4	-	Perdas por Percolação .....	46
3.6.5	-	Uniformidade de Distribuição .....	46

## CAPÍTULO IV

4	-	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
---	---	------------------------------	----

4.1	-	CARACTERÍSTICAS DO SOLO .....	48
4.1.1	-	Distribuição das Partículas .....	48
4.1.2	-	Características Físico-Hídricas ...	50
4.1.3	-	Curva de Retenção de Umidade .....	50
4.1.4	-	Velocidade de Infiltração .....	50
4.2	-	UMIDADE INICIAL DO SOLO .....	54
4.3	-	DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO .....	55
4.4	-	VOLUME DE ÁGUA INFILTRADO .....	71
4.5	-	EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO .....	71
4.6	-	PERDAS POR PERCOLAÇÃO .....	79
4.7	-	UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO .....	80
4.8	-	AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA .....	81
CAPÍTULO V			
5	-	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	83
5.1	-	CONCLUSÕES .....	83
5.2	-	RECOMENDAÇÕES .....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....			85
ANEXO .....			90

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

A Região Nordeste do Brasil possui uma área aproximada de 1.640.000 Km<sup>2</sup> e abrange nove estados, registrando-se climas que vão desde o super-úmido ao semi-árido, este último predominante em 52% de sua área. A escassez das chuvas e a má distribuição no tempo e no espaço geográfico da região, tem-se constituído no principal obstáculo à estabilização da produção de alimentos, causando grandes danos a economia regional. A pluviosidade média anual no semi-árido situa-se num patamar inferior a 800 mm, com 70 a 80% das chuvas concentradas em 3 a 4 meses do ano, sendo que em alguns anos, mais de 70% das precipitações ocorrem num único mês (COSTA, 1981).

A irrigação constitui uma das alternativas fundamentais, a curto e médio prazo, que possibilita o uso racional dos recursos hídricos, incorporando-os ao processo produtivo da região, contribuindo para o desenvolvimento integrado, em geral, e em particular do setor agrícola.

Dentre os principais sistemas de irrigação utilizados, o de irrigação por sulcos clássicos (abertos no final) é o mais usado e difundido no Nordeste Brasileiro. Embora o método se adapte a diversos tipos de solos e culturas, tem-se constatado baixas eficiências de aplicação d'água nos projetos de irrigação que utilizam este método, notadamente devido ao manejo



inadequado do sistema e a aplicação excessiva de grande volumes de água, o que eleva as perdas por percolação profunda e por escoamento superficial no final dos sulcos; perdas de nutrientes por lixiviação para as camadas abaixo da zona radicular das culturas; elevação do lençol freático, criando problemas potenciais de salinização dos solos, principalmente devido à intensa evaporação (BERNARDO, 1982).

O sistema de irrigação utilizando sulcos fechados no final, sem saída de água, é uma variação do método tradicional, no qual o manejo da irrigação consiste em se aplicar uma determinada lâmina de água suficiente para umedecer o solo na profundidade desejada OLITTA (1982). Sua principal característica é a inexistência de perdas de água por escoamento superficial no final do sulco, perda esta responsável, em grande parte, pela baixa eficiência de aplicação, quando se utiliza o método de sulcos tradicionais.

A irrigação por sulcos fechados no final constitui uma alternativa de uso do sistema de irrigação por sulcos, em pequenas áreas, utilizando-se sulcos curtos, retos ou em contorno, abastecidos por canais parcelares ou tubo janelado.

O presente trabalho tem como objetivo, a determinação, análise e representação de dados de pesquisa visando a caracterização do método de irrigação por sulcos fechados no final, utilizando a metodologia de dimensionamento proposta por AZEVEDO et alii (1982), a qual permite definir de maneira simplificada, os dados básicos, a elaboração de projeto e o manejo da irrigação em pequenas áreas.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DE LITERATURA

SILVA & DUARTE (1980) apresentam o conceito clássico de irrigação: "trata-se do fornecimento artificial de água ao solo, em quantidades essenciais, visando proporcionar umidade adequada ao desenvolvimento normal das plantas nele cultivadas, a fim de suprir a falta, a insuficiência, ou a má distribuição das precipitações pluviométricas".

A irrigação é uma prática agrícola quase tão antiga quanto a humanidade. Na região do Oriente Médio, berço das civilizações mais antigas, devido a escassez de chuvas, as explorações agrícolas só foram possíveis graças à irrigação, e nas Américas do Norte e Sul as culturas Maias, Azteca e Inca desenvolveram, vastas regiões por meio da irrigação, VILLEGAS (1984).

Segundo a FAO (1982) do total de 1,5 bilhões de hectares cultivados a nível mundial, pouco menos de 212 milhões estão dotados de infra-estrutura para irrigação. A maior área irrigada corresponde à Ásia, seguindo-se em ordem de importância a América do Norte, a União Soviética e a Europa.

No âmbito da América Latina, o México possui a maior área irrigada, com 5,1 milhões de hectares irrigados, representando cerca de 22% da sua superfície agrícola total. Argentina, Chile, Peru e Brasil irrigam acima de um milhão de hectares cada, destacando-se proporcionalmente o Peru que irriga 35% de

sua área agricultável total (MEREIA, 1978).

O Brasil irriga aproximadamente 1,1 milhão de hectares, o que representa 2% de sua área cultivada (DAKER, 1984).

## 2.1 - IRRIGAÇÃO POR SULCOS

Segundo BERNARDO (1982), o método consiste na condução da água em pequenos canais ou sulcos, localizados paralelos às fileiras das plantas, durante o tempo necessário para que a água aplicada, infiltrada ao longo do sulco, seja suficiente para umedecer o solo na profundidade do sistema radicular da cultura.

O sistema de irrigação por sulcos constitui o processo de aplicação de água mais difundido e utilizado em todo o mundo. Adapta-se a quase todo tipo de cultura e a todos os tipos de solo com boa capacidade de infiltração e baixa erodibilidade (OLITTA, 1982).

LOPEZ (1973), classifica o sistema em sulcos com saída de água e sulcos sem saída de água. Os sulcos com saída de água (abertos no final) para adaptação às condições particulares de solo, topografia, cultura e manejo da irrigação podem ser subdivididos em: sulcos retilíneos, sulcos em contorno, sulcos com retenção de água, sulcos clássicos e corrugações.

Os sulcos sem saída de água, são subdivididos por LOPEZ (1973) em:

a - Sulcos com Barreiras: neste método quando a água atin

ge o final do sulco e o nível de água se eleva rápido no sulco fechado, um novo fechamento (obstáculo de terra) é feito, de modo que o desnível entre os dois obstáculos seja entre 5 e 10 cm. Rodriguez (1968), citado por GRASSI (1975). Da mesma maneira prossegue-se com o trecho imediatamente superior até as proximidades do canal parcelar.

b - Canteiros e Serpentinhas: os canteiros são caracterizados pela presença de pequenos sulcos ligados em um dos seus extremos ou nos dois simultaneamente. As serpentinhas, são sulcos pequenos ligados pelos extremos alternadamente, onde a água circula em zigue-zague.

c - Fechado no Final: a água aplicada ao sulco, quando atinge seu final, é armazenada, com o objetivo de compensar a diferença de água infiltrada entre o início e final do sulco, devido o tempo gasto no avanço da água.

#### 2.1.1 - Características da Irrigação por Sulcos Fechados no Final

Trata-se de uma variação dos sistemas tradicionais de irrigação por sulco. Consiste em sulcos largos, sem declividade, ou com declividade muito pequena, e fechados, nas duas extremidades. Neste tipo de sistema não existe perdas de água por escoamento no final do sulco, de modo que os critérios para projetar o sistema tendem a reduzir ao mínimo as perdas por percolação e a obter a máxima uniformidade possível na espessura da lâmina aplicada ao longo dos sulcos (GRASSI, 1975).

LOPEZ (1973) apresenta uma comparação entre a infiltração em sulcos abertos e fechados no final. (Figura 01).

A Curva 1, representa a água infiltrada ao longo do sulco, caso este tivesse aberto no final; a Curva 2 representa a quantidade de água armazenada que infiltrou no final do sulco fechado; e a Curva 3, é a somatória das Curvas 1 e 2, a partir do início da Curva 2, representando o perfil da água infiltrada no sulco quando se utilizam sulcos fechados.

Segundo LOPEZ (1973), nos sulcos fechados no final, o déficit de água verifica-se no terço médio do sulco e não no terço final como acontece nos sulcos tradicionais. Todavia, de acordo com o referido autor, pode-se conseguir eliminar o déficit de água usando-se comprimento de sulco adequado, em função da lâmina a aplicar e da velocidade de infiltração do solo.

Quando se aplica consideráveis lâminas d'água, onde a capacidade de armazenamento dos sulcos é pequena, a velocidade de infiltração do solo é lenta, deve-se reduzir a vazão, para evitar transbordamento nos sulcos, o que acarreta tempos de irrigação maiores (GRASSI, 1975).

Segundo GRASSI (1975), quando se emprega sulcos com grande capacidade de armazenamento, em geral, o tempo de irrigação para uma determinada lâmina depende principalmente da capacidade de armazenamento do sulco, pouco dependendo da velocidade de infiltração do solo. Acrescenta ainda que, geralmente são utilizadas altas vazões, podendo-se utilizar vazões constantes ou vazões variáveis, iniciando-se com a máxima não erosiva e re

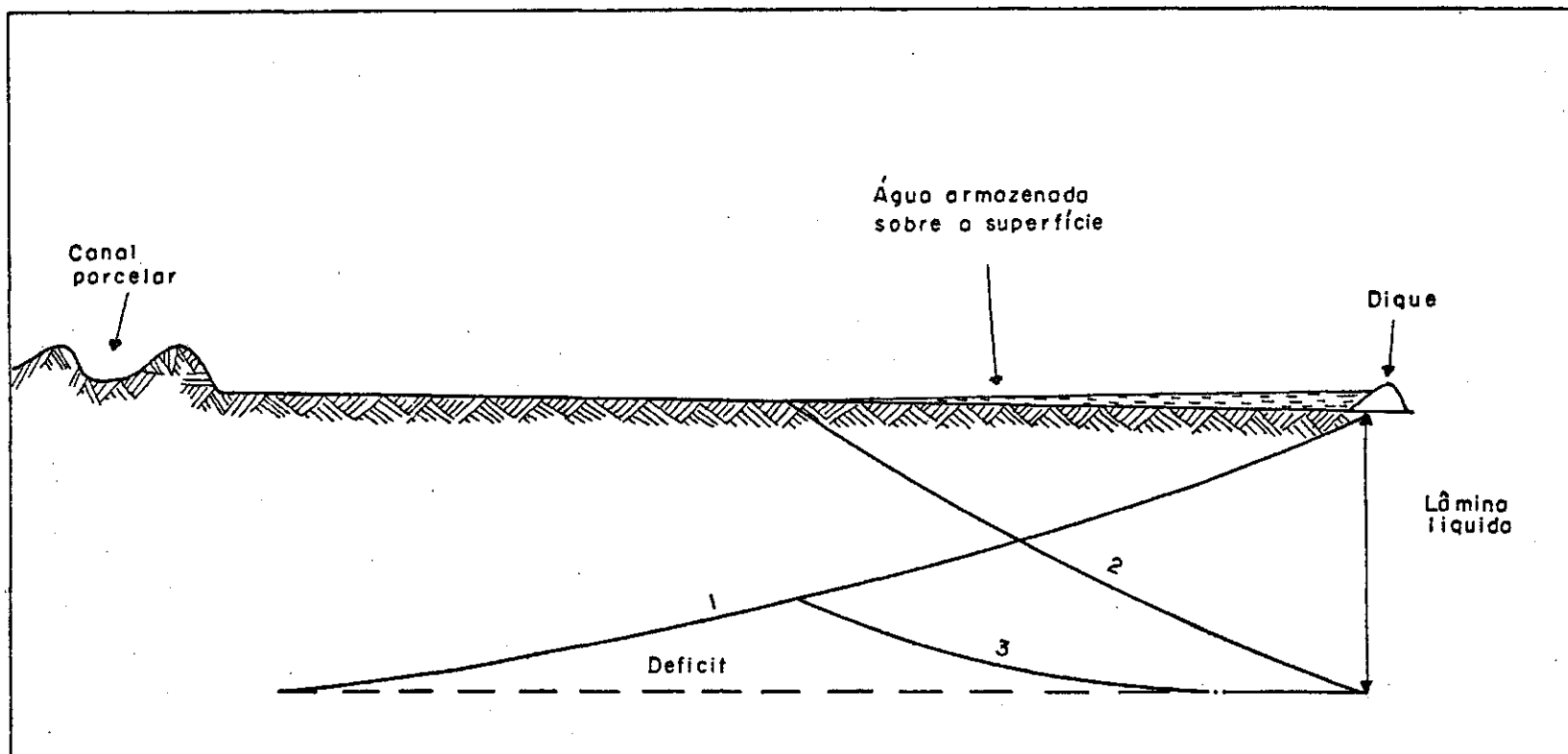


FIG. 1 - Concepção teórica de um perfil longitudinal de sulco fechado após irrigação.

duzindo a vazão até completar o volume bruto de irrigação.

Diferenças micro-topográficas na nivelção dos sulcos podem afetar a uniformidade de distribuição devido as diferentes oportunidades de infiltração. Para diminuir este efeito, deve-se utilizar sulcos de comprimento reduzido (GRASSI, 1975).

## 2.2 - MOVIMENTO DA ÁGUA NO SOLO

A maioria dos processos que envolvem movimento de água, em condições de campo, ocorrem quando o solo está em condição não saturada, o que torna mais complicado descrevê-lo quantitativamente, devido às constantes mudanças no conteúdo de água durante o processo (MILLAR, 1971).

O movimento de água no solo foi descrito por Henry Darcy em 1856. Segundo Darcy, a água no estado líquido move-se sempre que existirem diferenças de potencial hidráulicos nos diferentes pontos do sistema. Este movimento dá-se sempre no sentido, do decréscimo do potencial, ou seja, a água sempre se move do maior para o menor potencial (REICHARDT, 1985). A equação de Darcy foi desenvolvida para movimento de água em meios porosos, sendo definida pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{Kh\Delta H}{D}$$

Sendo:

Q = Volume de água que flui por unidade de superfície transversal de solo e por unidade de tempo.

$K_h$  = Condutividade hidráulica.

$\Delta H$  = Diferença de potencial hidráulico entre os dois pontos em que se estuda o fluxo.

$D$  = Distância entre os pontos.

Richards (1931), citado por HILLEL (1980), alegou que a lei de Darcy pode ser estendida ao estado insaturado, assumindo que a condutividade hidráulica ( $K_h$ ) pode ser considerada como uma função do potencial matricial ( $\psi$ ) ou do teor de umidade ( $\theta$ ). Apesar de suas limitações, é a equação que melhor descreve o fluxo de água no solo (REICHARDT, 1985).

A Lei de Darcy descreve suficientemente o escoamento onde o fluxo d'água é constante no tempo e no espaço. No caso de escoamento instável ou transitório, onde o fluxo varia no tempo e no espaço, torna-se necessário, além da Lei de Darcy, utilizar-se a Lei de Conservação da Massa, expressa pela equação da continuidade, pois a água em qualquer meio se rege pela mesma (HILLEL, 1970).

A equação da continuidade pode ser expressa da seguinte forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\Delta Q$$

Sendo:

$\frac{\partial \theta}{\partial t}$  = Variação do conteúdo volumétrico de água.

$\Delta$  = Variação do tempo.

$\Delta$  = Operador diferencial vetorial.



$Q$  = Volume de água que flui por unidade de superfície transversal de solo e por unidade de tempo.

O sinal negativo se deve ao fato que o operador diferencial é positivo e o vetor velocidade ( $Q$ ) é negativo.

Substituindo a Lei de Darcy na equação da continuidade obtêm-se a Equação Geral do Fluxo Tridimensional. Esta equação constitui o ponto de partida para todos os estudos de movimento de água nos solos não saturados (MILLAR, 1971). É apresentada da seguinte forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \frac{Kh\Delta H}{D}$$

### 2.2.1 - Infiltração D'água no Solo

REICHARDT (1985) define infiltração como o processo pelo qual a água penetra no solo. O conhecimento das características de infiltração é indispensável ao dimensionamento, manejo e avaliação de sistemas de irrigação.

A velocidade de infiltração d'água num solo é fator muito importante na irrigação, pois ela determina o tempo em que se deve manter a água na superfície do solo ou o tempo de irrigação, de modo que se aplique a quantidade de água desejada (BERNARDO, 1982). Ela geralmente é expressa em altura de água por unidade de tempo, na unidade de cm/h.

Mompó (1983), citado por MEDEIROS (1987), cita alguns dos fatores que afetam a velocidade de infiltração, quais sejam:

- . Tempo de infiltração: quanto menor a velocidade de infiltração, maior o tempo.
- . Umidade inicial do solo: quanto menor a umidade inicial do solo, maior a velocidade de infiltração inicial.
- . Condutividade hidráulica: maior a condutividade, maior a velocidade de infiltração.
- . Condições superficiais do solo: superfícies compactadas limitam a velocidade de infiltração.
- . Presença de estrato de diferentes texturas: estratos arenosos e argilosos podem ser obstáculos para a infiltração.

A velocidade de infiltração nos solos diminui com o aumento do tempo. No início, ela é relativamente alta e a medida que a água penetra através de fendas ou rachaduras, canais biológicos e poros, vai diminuindo gradativamente, até atingir um valor quase constante, característico do tipo de solo, denominado velocidade de infiltração básica (VIB).

A velocidade de infiltração básica (VIB) de um solo é muito importante na seleção dos métodos de irrigação possíveis de serem utilizados naquele solo. A VIB determinará a intensidade de precipitação máxima que será aplicada na irrigação por aspersão (BERNARDO, 1982).

### 2.2.1.1 - Equações que Descrevem a Infiltração

Várias equações, algumas totalmente empíricas e outras baseadas teoricamente, foram desenvolvidas para relacionar a velocidade de infiltração e a infiltração acumulada, em função do tempo.

HOLZAPFEL et al (1984) apresentam algumas equações utilizadas para representar a infiltração, quais sejam:

- .  $I = nT^a$  (Kostiakov)
- .  $I = nT^a + b T$  (Kostiakov - Lewis)
- .  $I = nT^{0,5} + c T$  (Philip)

Onde:

$I$  = Infiltração acumulada

$T$  = Tempo de infiltração

$n$  = Constante dependente do solo

$a, b, c$  = Constantes dependentes do solo, variando entre 0 e 1.

Destas, a mais simples e utilizada na prática é a de Kostiakov (1932) citado por SKAGGS et al (1980). Derivando - se esta equação, obtêm-se a velocidade de infiltração instantânea:

$$. VI = anT^{a-1}$$

fazendo  $an = K$  e  $a-1 = b$ , tem-se que:  $VI = KT^b$

Sendo:

$VI$  = Velocidade de infiltração

$T$  = Tempo de infiltração.

$K$  = Constante que representa a velocidade.

$b$  = Expoente, adimensional, sempre negativo, com valores que variam entre 0 e 1.

Integrando a equação , entre os limites  $T = 0$  e  $T = T$  , encontra-se a infiltração acumulada:

$$I = \int_0^T V I dt = \int_0^T K T^b dt = \frac{K T^{b+1}}{b+1} \quad \text{ou} \quad I = n T^a$$

Onde:

$$\frac{K}{b+1} = \frac{an}{a} = n \quad \text{e} \quad b+1 = a$$

#### 2.2.1.2 - Redistribuição Interna

A água no solo move-se a uma taxa regida pela condutividade hidráulica do solo e em resposta aos gradientes de potencial. O movimento de água no solo é chamado de redistribuição. Este movimento é muito importante, pois a velocidade e a duração do mesmo determinam a capacidade efetiva de armazenamento do solo, propriedade importante na economia de água para as plantas. (REICHARDT, 1985).

Num solo saturado, a condutividade hidráulica é máxima , e conseqüentemente, a taxa de infiltração e movimento para baixo se iguala à taxa aplicada na superfície até o máximo determinado pela condutividade do solo considerado. O mesmo se aplica

ao movimento lateral na irrigação por sulcos. (WINTER, 1974)

Num solo não saturado, a condutividade é regida pela condição de umidade do solo. Teoricamente, o movimento de água para baixo continua a uma taxa muito lenta e indefinida, mas os principais movimentos em solos não saturados ocorrem principalmente em resposta a gradientes de umidade e a água move-se de zonas úmidas para zonas mais secas (WINTER, 1974).

HILLEL (1970) alega que o processo de redistribuição de - cresce com o tempo, por dois motivos:

- 1 - Os gradientes de potencial existentes entre a zona úmida e a zona seca diminuem, na medida em que a umidade da primeira diminui e a da segunda aumenta;
- 2 - Enquanto a zona úmida sofre drenagem e sua umidade de cresce, sua condutividade hidráulica diminui proporcionalmente. Devido a redução simultânea do gradiente e da condutividade hidráulica, o fluxo decresce rapidamente.

#### 2.2.1.3 - Determinação da Infiltração Básica na Irrigação Superficial

SCALOPPI (1984), postula que as características de infiltração em sistemas de irrigação superficial, podem ser obtidas através de dois métodos: ausência e presença do fluxo superficial.

No primeiro método, pode-se incluir os métodos do cilín -

dro-infiltrômetro simples (RICHARDS, 1954), ou duplo (BOUWER , 1961), sulco-infiltrômetro (BONDURANT, 1957) e sulco-infiltrômetro "by pass" (SHULL, 1961). Os métodos desenvolvidos sob condições de fluxo superficial tentam reproduzir as condições nas quais a irrigação se processa. Neste caso, estão incluídos os métodos de vários autores Criddle et al (1956); Bouwer (1957) ; Finkel & Nir (1960); Christiansen et al (1966); Gilley (1968) e Singh & Chauhan (1973), todos citados e discutidos por SCALOPPI (1984).

BERNARDO (1982) apresenta metodologia para determinação da velocidade de infiltração básica, de acordo com o sistema de irrigação a ser utilizado.

AZEVEDO et al (1982) recomendam o uso de cilindros infiltrômetros para a obtenção da VIB, em irrigação por sulcos fechados, devido o método ser de simples execução e bastante difundido entre os agricultores.

Segundo os autores, a velocidade de infiltração básica é utilizada, levando-se em consideração que, na irrigação por sulcos fechados, os volumes de reposição serão aplicados no solo com elevados níveis de umidade, possibilitando que a camada superficial do solo atinja rapidamente a saturação, submetendo o processo da infiltração ao regime de fluxo saturado. Acrescentam ainda que, como através deste método, a infiltração ocorre apenas no sentido vertical, espera-se que exista uma compensação da infiltração lateral com a área inclinada do sulco.

### 2.3 - CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DOS SULCOS

A água se infiltra no sulco através do perímetro molhado do mesmo. O perímetro molhado é função da forma e tamanho do sulco. Assim, quando se deseja aumentar a infiltração em solos pesados, deve-se usar sulcos com base larga e pouco profunda, pois desta forma o avanço da água torna-se lento, aumentando a superfície de contato da água com o solo (LOPEZ, 1973).

O formato mais comum dos sulcos é o tipo em V, com 15 a 20 cm de profundidade e 25 a 30 cm de largura na parte superior. A irrigação inicial em terreno solto modifica a seção do sulco, devido a erosão e sedimentação, até que atinja um perfil de equilíbrio, tendendo a ser parabólico em solos de textura média e grossa, e de forma retangular ou trapezoidal, em solos de textura fina (OLITTA, 1978).

Granados (1971), citado por OLITTA (1978), fez uma comparação entre o perímetro molhado de sulcos em V e U, com as perdas por percolação, através da relação:

$$\% \text{ perdas} = \frac{\text{perímetro molhado no início} - \text{perímetro molhado no final}}{\text{perímetro molhado no início} + \text{perímetro molhado no final}} \times 100$$

O mesmo concluiu que as perdas por percolação podem alcançar valores muito altos no caso de sulcos em V e de comprimento muito elevado.

No caso de sulcos fechados no final, em que a água permanece armazenada por determinado tempo, as características geomé

tricas dos mesmos exercem grande importância, pois a lâmina a ser aplicada depende do volume de água que o sulco pode receber, ou seja, da capacidade de armazenamento do sulco (LOPEZ, 1973).

A influência da vazão na capacidade de infiltração dos sulcos tem sido comprovada em diversas experiências. Collins & Campbell (1967), citados por GRASSI (1975), encontraram uma relação linear entre a infiltração acumulada e a vazão em um solo franco-argilo-limoso.

Holmen (1964), citado por GRASSI (1975), mostrou que a velocidade de infiltração duplicou-se em solos com 0,5% de declive, após o aumento na vazão aplicada de 0,37 l/s para 0,88 l/s.

#### 2.4 - EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO

Segundo SCALOPPI (1984), a eficiência de um determinado processo é uma medida das perdas que ocorrem na execução do mesmo e que parece haver uma relação direta entre os níveis de eficiência e os custos, de maneira que a obtenção de altos níveis de eficiência nem sempre constitui a melhor alternativa econômica.

No caso específico da irrigação, a eficiência é composta de várias eficiências diferentes, relacionadas com a condução de água, aplicação, distribuição, etc, todas contribuindo para uma eficiência total do sistema. Por esse motivo, Jensen (1967), citado por BRITO & OLIVEIRA (1980), sugere que todas as vezes que se mencione eficiência, a mesma deve ser de-



finida apropriadamente.

Bos & Nugteren (1974), citados por BURMAN et al (1980) , definem eficiência de irrigação como sendo o produto das eficiências de acumulação, de condução e de aplicação, ou seja:

$$E_i = E_{ac} \times E_c \times E_a$$

Sendo:

$E_i$  = Eficiência de irrigação, em %

$E_{ac}$  = Eficiência de acumulação, em %

$E_c$  = Eficiência de condução, em %

$E_a$  = Eficiência de aplicação, em %

A eficiência de acumulação é a relação em percentagem, do volume de água utilizado do reservatório para irrigação e o volume de água disponível neste reservatório para irrigação.

Eficiência de condução é a relação em percentagem, da quantidade de água aplicada na área a ser irrigada e a quantidade de água retirada e transferida do reservatório.

Eficiência de aplicação é definida como a relação, em percentagem, entre o volume d'água utilizado pela planta e o volume d'água aplicado na mesma área.

Gurovich (1979), citado por MEDEIROS (1987), considerando que apenas a eficiência de aplicação era insuficiente para avaliar o resultado de uma irrigação, propôs o conceito de eficiência do uso de água, para analisar o uso de água a nível de parcela, o qual é resultado do produto da eficiência de aplicação por outras duas eficiências: a de armazenamento e a de distri -

buição, conforme a expressão:

$$EU = E_a \times E_{ar} \times E_d$$

Em que:

EU = Eficiência do uso de água

E<sub>a</sub> = Eficiência de aplicação

E<sub>ar</sub> = Eficiência de armazenamento

E<sub>d</sub> = Eficiência de distribuição

A eficiência de armazenamento é definida como a relação entre a água armazenada no perfil do solo para efeito de irrigação, e a água necessária para elevar a umidade deste mesmo perfil de seu valor inicial ao nível de capacidade de campo.

A eficiência de distribuição é a relação entre a profundidade média atingida pela água no perfil do solo após a irrigação, e o desvio da média de um número específico de amostra. A uniformidade de distribuição será discutida no item 2.4.3 mais detalhadamente.

Bos (1980), citado por BURMAN et al (1980), definiu a eficiência do uso de água, em função do incremento na produção das culturas, relativo ao incremento no consumo de água pelas mesmas, quando irrigadas, pela expressão da forma:

$$EU = \frac{V_{mi} - V_{mo}}{ET_i - ET_o}$$

Onde:

EU = Eficiência do uso de água

$V_{mi}$  = Volume de massa produzido com irrigação

$V_{mo}$  = Volume de massa que poderia ser produzido sem irrigação

$ET_i$  = Quantidade de água evapotranspirada pelas plantas na irrigação

$ET_o$  = Quantidade de água que poderia ser evapotranspirada pela mesma planta sem irrigação

Conforme a equação acima a eficiência do uso de água foi definida como adimensional, mas na prática é mais conveniente, expressá-la em volume de massa produzido (Kg), por unidade de volume de água ( $m^3$ ).

#### 2.4.1 - Eficiência de Irrigação por Sulcos

WILLARDSON & BISHOP (1967) consideram que a água aplicada na irrigação por sulcos pode ser assim distribuída: escorrer no final do sulco, percolar abaixo da zona radicular, ficar armazenada na zona radicular e evaporar-se durante a irrigação. As perdas por evaporação são desprezíveis. Portanto, a eficiência de aplicação pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$E_a = \frac{V_a - (P_e + P_p)}{V_a}$$

Onde:

$E_a$  = Eficiência de aplicação

$V_a$  = Volume d'água aplicado no sulco

Pe = Perdas por escoamento superficial

Pp = Perdas por percolação profunda

Além do escoamento no final do sulco e percolação profunda, outros fatores influenciam, de um modo ou de outro, na eficiência de aplicação em irrigação por sulcos, quais sejam: características de infiltração do solo; velocidade de avanço da água no sulco; comprimento, forma e declividade do sulco; e vazão de entrada no sulco.

Merriam (1977), citado por BRITO & OLIVEIRA (1980), sugere que, muito embora alguns destes fatores sejam vistos como características do tipo de solo, eles podem ser melhorados através de modificações no comprimento do sulco, vazão aplicada, espaçamento e outros.

Houk (1965), citado por GRASSI (1968), após estudar um grande número de projetos, concluiu que a eficiência de aplicação, para culturas comuns, variava entre 20 e 50% e para culturas especiais e frutíferas, oscilava entre 35 e 70%.

NOGUEIRA (1976), analisando a eficiência de aplicação de água na irrigação por sulcos, nos perímetros irrigados Engenheiro Arcoverde, São Gonçalo e Sumé, localizados no Estado da Paraíba, concluiu que as eficiências médias de aplicação nestes perímetros foram de 40,25; 51,10 e 54,96%, respectivamente.

LEAL (1979), avaliando os efeitos de vazão e declividade no Projeto Bebedouro, em Petrolina, constatou ser a eficiência de aplicação média igual a 33% para vazões de 0,5; 1,0; 1,4 e 1,8 l/s e declividades de 0,5 e 1,0%.

PINTO (1980), utilizando vazão contínua de 0,44 l/s em sulcos com declividade igual a 0,47% obteve uma eficiência de aplicação igual a 56% e quando utilizou uma vazão inicial igual a 0,82 l/s, com redução simulada igual a 0,38 l/s, para a mesma declividade, obteve uma eficiência de aplicação igual a 57%.

AUGUSTO et al (1985) estudaram a eficiência de aplicação, e distribuição de água na irrigação por sulcos em declive, no perímetro irrigado de Morada Nova - CE, utilizando vazões de 0,753; 0,764; 1,30/0,77; 1,37/0,75; 1,337 e 1,330 l/s, para uma declividade do sulco de 0,64% e obtiveram as eficiências de aplicação iguais a 27,74; 27,34; 22,49; 21,49; 15,62 e 15,70% , respectivamente.

No caso de sulcos fechados no final, o objetivo é eliminar totalmente as perdas por escoamento superficial (LOPEZ , 1973). Portanto, a eficiência de aplicação em irrigação por sulcos fechados no final pode ser avaliada em função das perdas por percolação profunda.

#### 2.4.2 - Perdas por Percolação Profunda

BERNARDO (1982) define perdas por percolação como a estimativa da porcentagem do total de água aplicada na irrigação , que é considerada perdida por percolação. O seu valor máximo aceitável depende das condições locais de cada projeto de irrigação.

A primeira análise matemática de perdas por percolação para sulcos clássicos foi descrito por Criddle (1956) citado por

BERNARDO (1982), pela qual encontraram que o tempo de avanço ( $T_x$ ) é igual a 1/4 do tempo de irrigação ( $T_i$ ) para um comprimento do sulco  $X$ , sendo  $T_i$  o tempo necessário para aplicar a lâmina de água desejada no final do sulco.

BISHOP (1962) desenvolveu a seguinte equação para determinar as perdas por percolação em irrigação por sulcos:

$$P_p = \frac{(R + 1)^{n+1} - R^{n+1}}{(R + 1)^{n+1} + R^{n+1}} \times 100$$

Onde:

$P_p$  = Perdas por percolação, em %

$R$  = Relação entre o tempo de irrigação ( $T_i$ ) e o tempo necessário para a água atingir o final do sulco (tempo de avanço,  $T_a$ ), ou seja,  $R = T_i/T_a$

$n$  = Expoente de  $T_i$ , característico do tipo de solo, obtido na equação de infiltração acumulada.

BERNARDO (1982) apresentou a seguinte expressão para o cálculo das perdas por percolação:

$$P_p = \frac{V_p}{V_{in}} \times 100$$

Onde:

$P_p$  = Perdas por percolação em %

$V_p$  = Volume perdido por percolação

$V_{in}$  = Volume total infiltrado no sulco na profundidade desejada.

### 2.4.3 - Uniformidade de Distribuição

O termo eficiência de aplicação indica a porcentagem de água aplicada que pode ser benéficamente usada pela cultura ; ele é inadequado para análise global de uma irrigação, pois o mesmo não indica a uniformidade real de irrigação. Além da eficiência de aplicação, deve-se levar em consideração a uniformidade de distribuição da água no solo, pois em alguns casos, mesmo com elevada eficiência de aplicação, obtêm-se baixa uniformidade de distribuição, o que pode afetar significativamente a produção e a produtividade das culturas irrigadas (AUGUSTO et al, 1985).

A uniformidade de distribuição pode ser definida para o caso da irrigação por sulcos abertos, pela seguinte expressão:

$$U_d = \frac{L_f}{\frac{(L_i \times L_f)}{2}} \times 100$$

Onde:

Ed = Eficiência de distribuição, %

Lf = Lâmina infiltrada no final do sulco, mm

Li = Lâmina infiltrada no início do sulco, mm

Segundo BERNARDO (1982), sob condições corretas de manejo da irrigação por sulcos, o valor da eficiência de distribuição, normalmente, será maior que 70%, exceto nos solos muito permeáveis.

Criddle (1956), citado por SCALOPPI (1984) definiu unifor

midade de distribuição, ou ainda eficiência padrão do USDA, como sendo a relação entre a quantidade de água infiltrada na quarta parte menos irrigada da área ( $V_{1/4}$ ) e a quantidade de água infiltrada em toda a área ( $V$ ).

Valores reduzidos de  $U_d$  indicam que ocorrerão perdas excessivas por percolação profunda, caso a quantidade de água requerida seja aplicada em toda área.



## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - LOCALIZAÇÃO DO TRABALHO

As atividades de campo do presente trabalho, foram realizadas na localidade denominada Sítio Prensa, de propriedade do Sr. João Arsênio dos Santos, localizado no município de Souza - Pb, distante 300 Km de Campina Grande.

O município geograficamente está localizado a  $6^{\circ}45'18''$ , de latitude sul,  $38^{\circ}13'45''$  de longitude oeste de Greenwich e a 200 m de altitude acima do nível do mar. Segundo W. Koeppen, a classificação climática, é do tipo BSw<sup>h</sup>g, quente com chuvas de verão - outono, período seco com duração de 7 a 8 meses e a vegetação é caatinga hiperxerófila. A temperatura média anual é de  $26,4^{\circ}\text{C}$ , sendo os meses mais frios julho e agosto e os mais quentes, novembro e dezembro.

A precipitação média anual é de 732 mm e a umidade relativa média é de 64%, (UFPb, 1984).

As características climatológicas do município de Souza, constam no Quadro nº 01 a seguir.

A escolha do local para realização do experimento se deu em função da infra-estrutura de um projeto instalado na referida propriedade pela UFPb, através do Sub-Programa Geração e

Adaptação de Tecnologia - GAT (Convênio BID/CNPq/PDCT).

QUADRO 01 - Características Climáticas do Município de Souza-Pb

DESCRIÇÃO	U N D	M E S E S												MÉDIO
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
Temperatura	C	27,3	26,4	26,0	26,0	25,8	25,1	25,3	24,1	26,7	27,4	27,4	27,6	26,4
Temperatura Máxima	C	34,0	32,5	31,6	31,5	31,4	31,0	31,7	33,0	34,2	34,8	34,9	34,5	32,9
Temperatura Mínima	C	22,3	22,1	22,0	21,8	21,6	20,5	20,0	20,0	21,2	21,8	22,1	22,6	21,5
Precipita - ção Pluvio- métrica	mm	78	138	205	149	66	27	12	2	2	5	16	32	732
Umidade Re- lativa	%	64	70	71	72	68	66	63	58	57	56	60	64	64
Evapotrans- piração Po- tencial	mm	154	130	134	129	132	109	121	132	132	135	148	156	-

FONTE: Departamento de Ciências Atmosféricas da UFPB.

### 3.2 - CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Os estudos morfológicos do perfil do solo, foram efetuados numa trincheira aberta, próxima a área do experimento, segundo as Normas do Manual de Método de Trabalho de Campo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação/EMBRAPA.

Foram retiradas amostras de solo na área do experimento a fim de se conhecer as características ffsido-hídricas do solo. A análise granulométrica do perfil do solo até a profundidade de

100 cm, em intervalos de 20 cm, foi obtida através do método do hidrômetro de Bouyoucos, sugerido por (EMBRAPA, 1979).

A capacidade de campo, tomada a uma tensão de 33 KPa\* , foi determinada em laboratório para amostras de solo coletadas a cada 25 cm até 100 cm de profundidade, segundo Richards (1954), citado por EMBRAPA (1979). Utilizou-se a média de três amostras da capacidade de campo, obtidas pelos técnicos da UFPb/GAT quando da implantação do projeto de irrigação na propriedade. Posteriormente, na análise dos resultados, utilizou-se a média de cinco dados da capacidade de campo composta pelos três dados citados anteriormente, mais um dado obtido através da média de 9 repetições e outro dado oriundo da média de 12 repetições, ambos coletados nas proximidades da área do experimento.

O ponto de murcha permanente foi também obtido pelo método de RICHARDS (1954) (membrana de pressão), após submeter o solo a uma pressão positiva de 1500 KPa. Posteriormente, foram obtidas curvas características de umidade para cada profundidade, a partir de amostras coletadas em três pontos aleatórios da área do experimento, a cada 25 cm, até a profundidade de 100 cm, de acordo com o método descrito por RICHARDS (1954).

A densidade global do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, de Umland (1949), citado por EMBRAPA (1979) .

A velocidade de infiltração básica da água no solo foi obtida da média de quatro pontos aleatórios na área do experimen-

---

\*KPa  $\cong 10^{-2}$  atm.

to. Os testes foram realizados com cilindros-infiltrômetro duplos, segundo a metodologia descrita por BERNARDO (1982).

### 3.3 - DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os testes foram realizados numa área com declividade de 0,56%, sem vegetação, preparada para ser irrigada, com aproximadamente 1200 m<sup>2</sup>. Em parte desta área foram abertos 12 sulcos, com 35 m de comprimento cada, espaçados a cada 2 m. Os sulcos foram feitos com o uso de enxadas e sacho e com o auxílio de um gabarito de madeira na forma trapezoidal, para aferição da seção. A declividade utilizada foi de 0,1%, sendo determinada com o uso do nível de mangueira. Um esquema do experimento é mostrado na Figura 02.

A condução da água deu-se através de tubos de PVC rígido com 75 mm de diâmetro, sendo que parte da tubulação de condução (adutora) e a tubulação de distribuição de água continham janelas de vazões reguláveis, espaçadas a cada metro. A aplicação de água aos sulcos foi feita através destas janelas. Foram aplicados volumes de irrigação de 660 l; 2100 l; 2310 l e 3500 l, denominados de tratamento, 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Para cada tratamento, utilizou-se três repetições, com exceção do tratamento 4, devido ao grande número de amostras que seriam coletadas, onde foram utilizados dois sulcos. Devido à vazão total fornecida pelo conjunto motobomba instalado ser maior que a utilizada nos três sulcos, optou-se pelo uso de cinco janelas funcionando simultaneamente, uma para cada um dos três sulcos

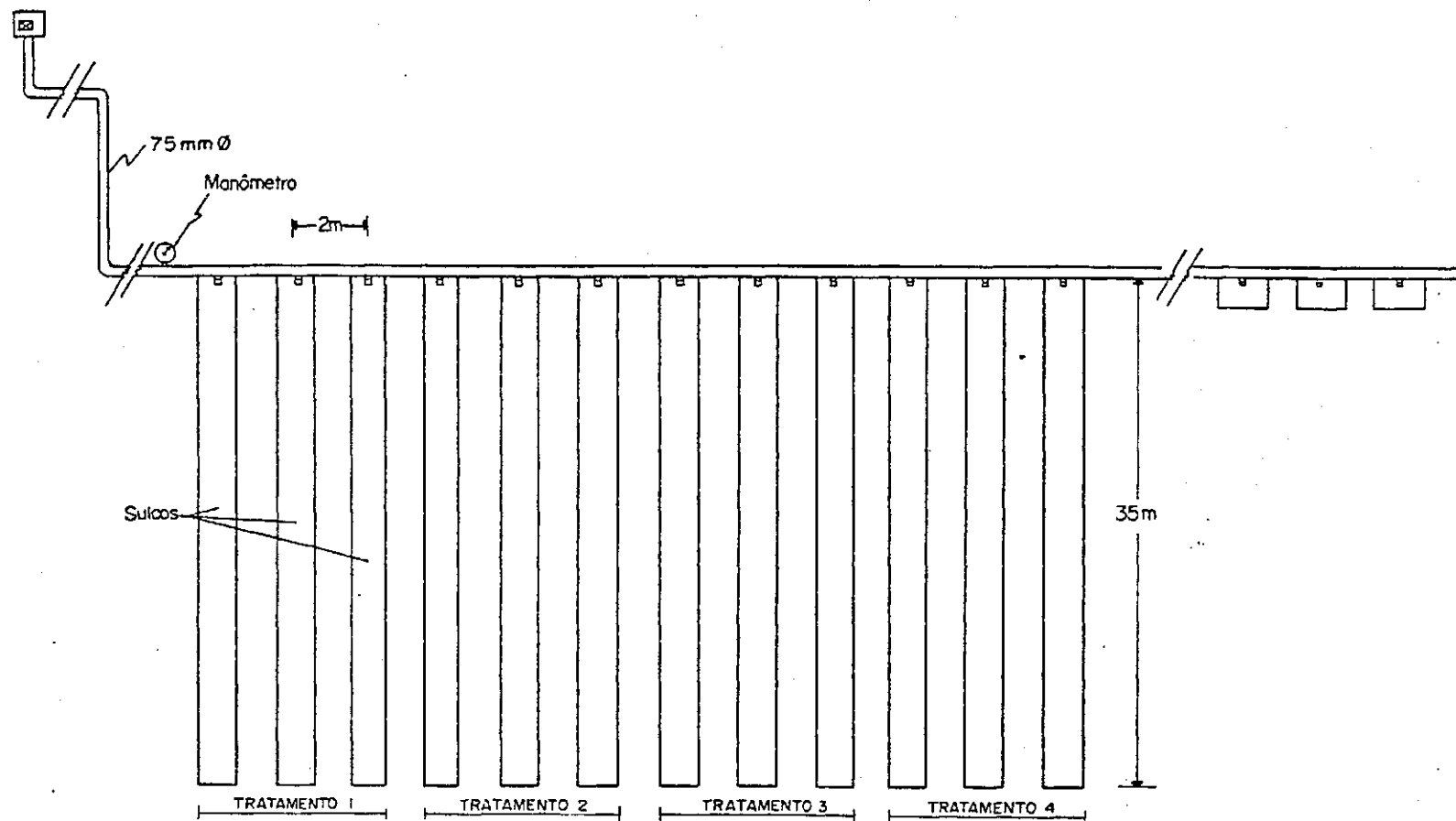


FIG. 2 - Esquema experimental.

de cada tratamento e duas distribuindo a água excedente em local afastado da área do experimento.

As vazões foram aferidas através de baldes de 20 l, colocados em pequenas trincheiras e com o uso de cronômetro de precisão, sempre relacionando-se com a pressão existente, aferida por um manômetro instalado na tubulação, no início da área do experimento e com o número de voltas (abertura) das janelas.

### 3.4 - PARÂMETROS DE IRRIGAÇÃO

#### 3.4.1 - Vazão

A vazão de entrada nos sulcos varia entre um mínimo e um máximo:

$$q_{\min} \leq q \leq q_{\max}$$

Sendo:

$q_{\min}$  = Vazão mínima de entrada no sulco

$q$  = Vazão de entrada no sulco

$q_{\max}$  = Vazão máxima não erosiva

A vazão mínima de entrada é função da perda por percolação, admitida ao longo do sulco. Pode ser determinada através da Equação proposta por AZEVEDO et alii (1982), da forma:

$$q_{\min} = \frac{VIB \times Ai}{36 \times Pp} \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

$q_{\min}$  = Vazão mínima de entrada no sulco (l/s)

VIB = Velocidade de infiltração básica d'água no solo  
(mm/h)

Ai = Área de infiltração superficial do sulco (m<sup>2</sup>)

Pp = Perda por percolação admitida ao longo do sulco (%)

Foi calculada uma vazão mínima de entrada no sulco, dez vezes superior à velocidade de infiltração básica de água no solo, para uma Pp estimada de 10%, conforme sugerido por AZEVEDO et alii (1982).

A vazão máxima não erosiva, sempre que possível, deve ser calculada pela Equação de GARDNER, segundo BERNARDO (1982), que é dada por:

$$q_{\text{máx}} = \frac{C}{S^a} \quad \text{Eq. 02}$$

Onde:

q<sub>máx</sub> = Vazão máxima não erosiva

S = Declividade do sulco, em %

C e a = São coeficientes em função do tipo de solo

### 3.4.2 - Comprimento do Sulco

O comprimento do sulco foi determinado utilizando - se a Equação proposta por AZEVEDO et alii (1982), da seguinte forma:

$$L = \frac{P_p \times q \times 36}{VIB \times P_m} \quad \text{Eq. 03}$$

Onde:

L = Comprimento do sulco (m)

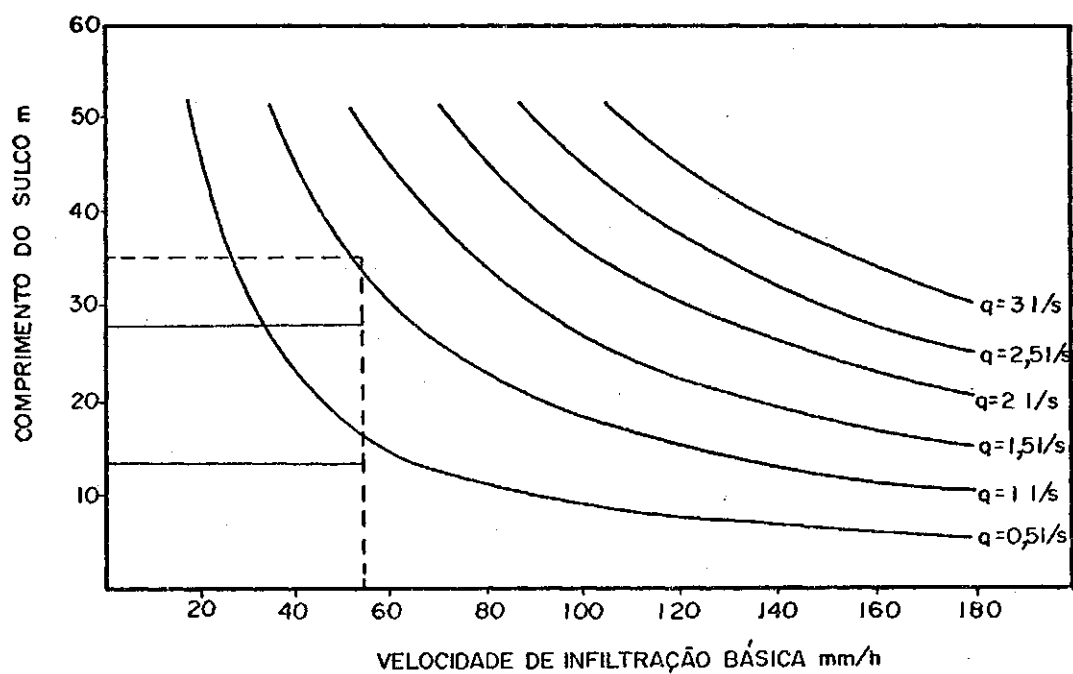


FIG. 3 - Valores de comprimento de sulco para irrigação com tubo janelado em função da vazão da janela, infiltração básica do solo, perímetro molhado do sulco ( $P_m$ ) igual a 0,2m e perda por percolação igual a 10%, AZEVEDO(1985).



$q$  = Vazão de entrada no sulco (l/s)

VIB = Velocidade de infiltração básica d'água no solo  
(mm/h)

$P_m$  = Perímetro molhado do sulco (m)

Foi estabelecido um comprimento de sulco igual a 35 m , considerado curto, mas adequado às pequenas áreas.

A Figura 03 apresenta valores de comprimento de sulco, em função da vazão de entrada no sulco, da velocidade de infiltração básica de água no solo, da perda por percolação admitida ao longo do sulco, em 10% e do perímetro molhado do sulco. adotado como 0,20 m.

O valor do perímetro molhado adotado, 0,20 m foi proposto por AZEVEDO et alii (1982).

### 3.4.3 - Forma e Seção dos Sulcos

Os sulcos foram confeccionados na forma trapezoidal, possuindo as seguintes dimensões médias antes da irrigação:

.  $h = 21$  cm;  $b = 12,8$  cm e  $B = 40$  cm. Ver Figura 04

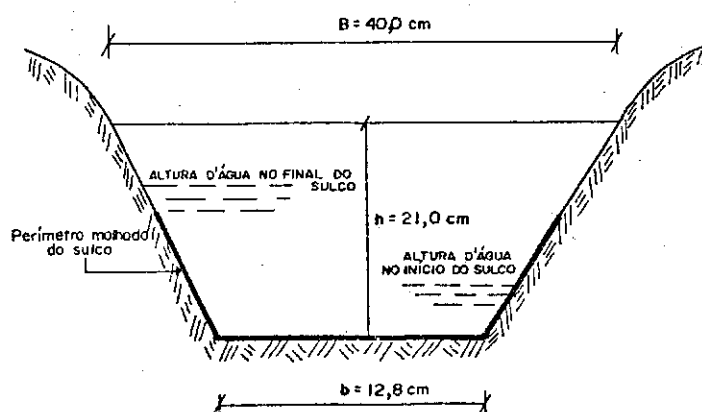


FIG. 4 -Seção média do sulco.

### 3.4.4 - Volumes de Irrigação

A lâmina de água necessária ao sistema radicular pode ser determinada através da Equação 04, segundo SILVA & DUARTE (1980), da forma:

$$Ln = \frac{(Cc - UA)}{100} \times dg \times Pr \quad \text{Eq. 04}$$

Onde:

Ln = Lâmina de água necessária para elevar a umidade do solo a capacidade de campo (mm)

Cc = Capacidade de campo com base em peso de solo seco (%)

UA = Teor de água atual do solo (%)

dg = Densidade global ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )

Pr = Profundidade explorada pelo sistema radicular da cultura (mm)

O volume de água a ser aplicado foi calculado pela seguinte expressão:

$$Va = Ln \times A \quad \text{Eq. 05}$$

Onde:

Va = Volume de água a ser aplicado (ℓ)

Ln = Lâmina de água necessária para elevar o teor de água do solo a capacidade de campo (mm)

A = Área média molhada adotada ( $\text{m}^2$ )

Foram aplicados volumes de irrigação de 660; 2100; 2310 e 3500 ℓ, para profundidade de 25, 50, 75 e 100 cm, respectiva

mente.

### 3.4.5 - Tempo de Irrigação

O tempo de irrigação foi calculado pela seguinte expressão:

$$Ti = \frac{Va}{60 q} \quad \text{Eq. 06}$$

Sendo:

Ti = Tempo de irrigação (min)

Va = Volume a ser aplicado (ℓ)

q = Vazão de entrada no sulco (ℓ/s)

Como os volumes aplicados correspondiam a irrigação inicial, portanto maiores volumes, para evitar transbordamentos da água nos sulcos, a aplicação dos volumes de 2100 e 2310 ℓ foi efetuada em duas vezes e o volume de 3500 ℓ foi aplicado em três vezes, de acordo com a capacidade máxima de armazenamento do sulco (Cmáx), calculada pela seguinte equação:

$$Cmáx = 60 t \times q \quad \text{Eq. 07}$$

Sendo:

Cmáx = Capacidade máxima de armazenamento d'água do sulco (ℓ)

q = Vazão de aplicação no sulco (ℓ/s)

t = Tempo necessário para aplicar o volume correspondente à capacidade de armazenamento do sulco (min)

O valor de  $t$  é calculado pela seguinte expressão:

$$t = \frac{V_s}{3600q - A_i VIB} \quad \text{Eq. 08}$$

Onde:

$V_s$  = Volume armazenado na superfície de sulco (ℓ)

Figura 05

$q$  = Vazão do sulco (ℓ/s)

$A_i$  = Área de infiltração média do sulco, correspondente ao perímetro molhado médio (m<sup>2</sup>) Figura 05

$VIB$  = Velocidade de infiltração básica de água no solo (mm/h)

O Quadro nº 02 a seguir apresenta um resumo dos parâmetros utilizados.

QUADRO 02 - Resumo dos Parâmetros Utilizados

VOLUME APLICADO (ℓ)	RELAÇÃO $V_a/C_{m\acute{a}x}$	PROF. DE SOLO CORRESPONDENTE ( cm )	LARGURA MÉDIA MOLHADA ADOPTADA ( m )	LÂMINA CORRESPONDENTE ( mm. )	TEMPO DE IRRIGAÇÃO (min)
600	0,526	25	0,60	32	10
2100	1,674	50	1,00	60	32
2310	1,842	75	1,06	62	35
3500	2,791	100	1,35	74	53

#### 3.4.6 - Capacidade de Armazenamento do Sulco

O volume correspondente a capacidade de armazenamento da água no sulco é obtido pela soma do volume infiltrado no sulco

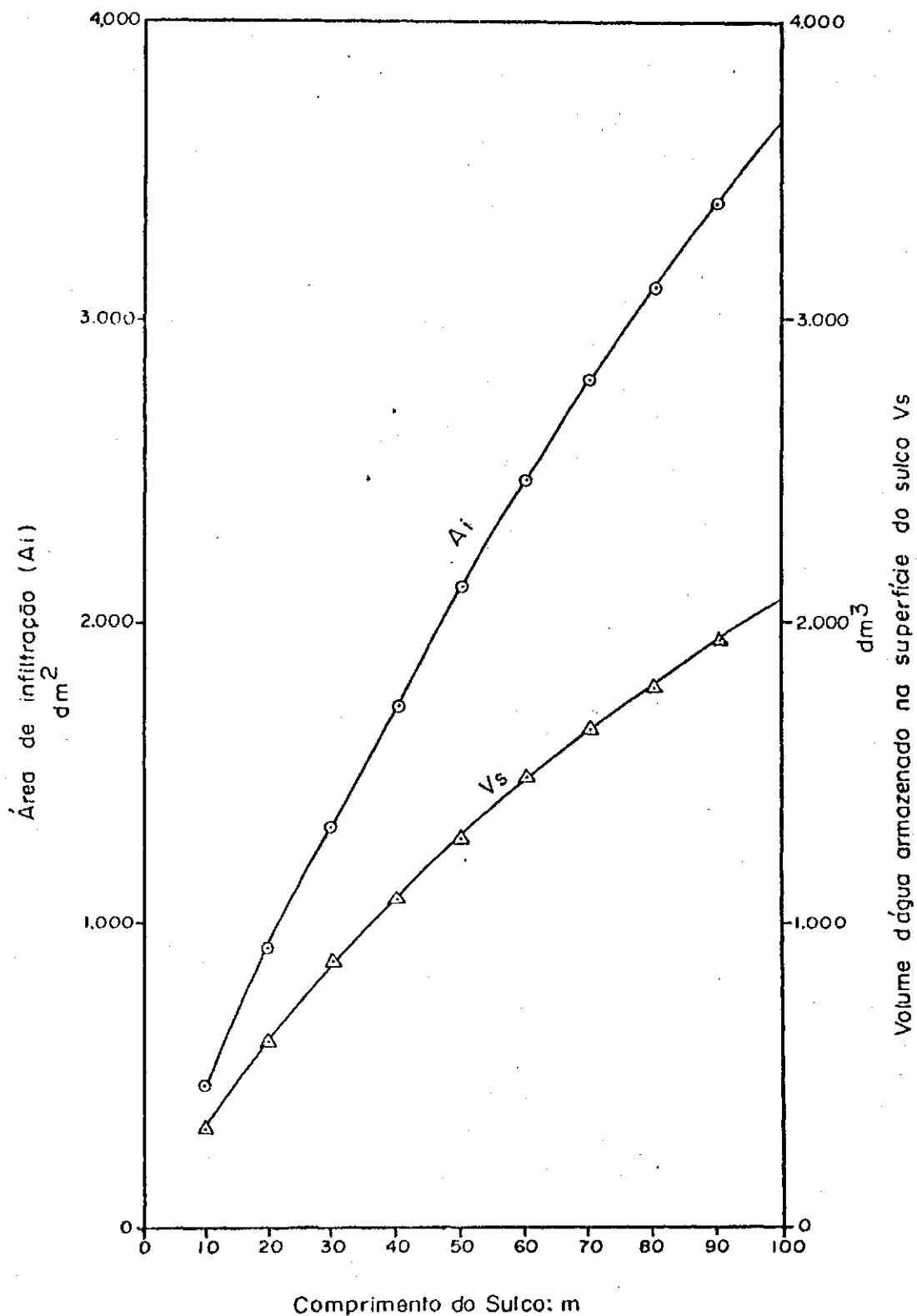


FIG. 5 - Área de infiltração e volume armazenado na superfície do sulco fechado no final com declividade de 0,1% e seção trapezoidal com altura máxima de água no final do sulco de 15 cm. (Dimensões da seção do sulco: base menor 12,8 cm; base maior 39,5 e altura de 21,4 cm) AZEVEDO (1985).

(Vi) e do volume armazenado na superfície do sulco (Vs), no tempo t, conforme Figura 06.

O volume infiltrado num determinado tempo no sulco é dado pela seguinte expressão:

$$Vi = Ai \times VIB \times t \quad \text{Eq. 09}$$

Onde:

Vi = Volume infiltrado no sulco

Ai = Área de infiltração média superficial do sulco

VIB = Velocidade de infiltração básica d'água no solo

A área de infiltração média superficial do sulco foi concebida como sendo o produto do perímetro molhado médio, obtido de várias seções transversais, pelo comprimento do sulco.

O volume armazenado na superfície do sulco é obtido multiplicando-se a área de infiltração máxima do sulco (em função do perímetro molhado) pelo comprimento do sulco.

### 3.5 - CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Foram aplicados inicialmente os volumes correspondentes aos tratamentos 1 e 2. Os volumes correspondentes aos tratamentos 3 e 4 foram aplicados 10 dias após os dois primeiros, devido as precipitações que ocorreram na área do experimento. Para aplicação dos volumes de irrigação, adotou-se a seguinte sequência:

#### 3.5.1 - Determinação da Umidade Inicial do solo

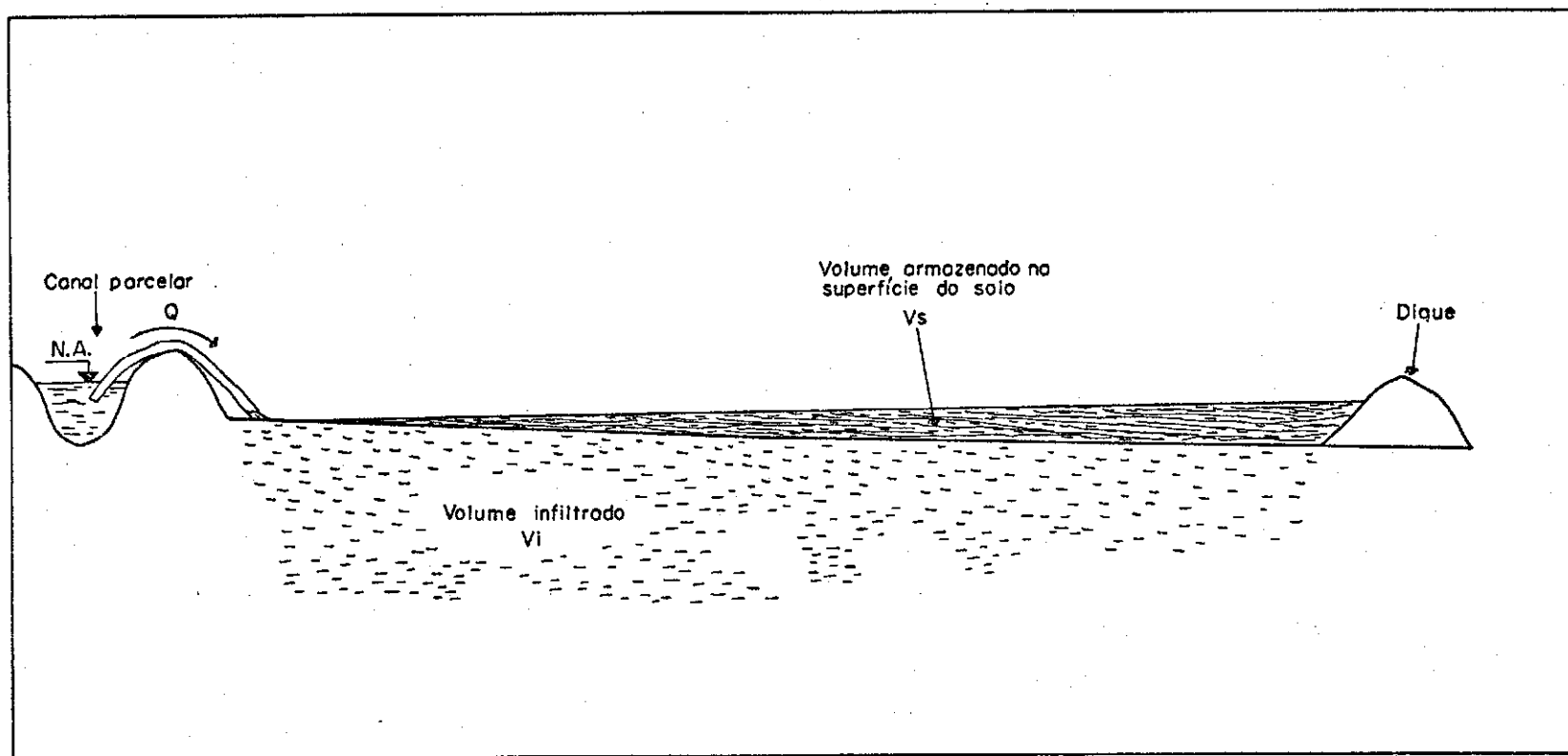


FIG. 6 - Distribuição da água em sulco fechado no final após a irrigação.

Para determinação da umidade inicial do solo, antes de cada irrigação, foram coletadas amostras de solo, através de traço, tipo holandês, em cinco locais diferentes próximos aos pontos onde posteriormente seriam obtidas as umidades após a irrigação. As amostras foram obtidas na superfície e a cada 25 cm, até as profundidades de 50, 75, 100 e 125 cm, para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Foi usado o método gravimétrico.

A umidade inicial do solo foi considerada como sendo a média das dez amostras coletadas, para duas profundidades correspondentes. Após a retirada das amostras, a unidade experimental era coberta com plástico para evitar a evaporação, até o momento da irrigação.

### 3.5.2 - Irrigação

As irrigações foram efetuadas sempre pela manhã. Antes de cada irrigação, a vazão era aferida através dos baldes de volume conhecido e cronômetro de precisão e relacionada com a pressão existente no manômetro instalado no início da área do experimento, a qual era de aproximadamente 3,0 m.c.a. Retirava-se o plástico da área e aplicava-se o volume desejado. Após a infiltração deste, cobria-se a área novamente durante 24 horas, até a coleta das amostras.

### 3.5.3 - Coleta de Amostras

As amostras foram coletadas em cinco perfis definidos ao



longo do sulco, seguindo o seguinte critério:

- . Perfil A = 2% do comprimento do sulco
- . Perfil B = 25% do comprimento do sulco
- . Perfil C = 50% do comprimento do sulco
- . Perfil D = 75% do comprimento do sulco
- . Perfil E = 98% do comprimento do sulco

Para cada volume aplicado, foram coletadas amostras a cada 25 cm, até 25 cm abaixo da profundidade limite de cada tratamento no centro do sulco. E a 25, 50 e 75 cm de distância com relação ao centro do sulco, para os lados esquerdo e direito. Figura 07.

A umidade das amostras coletadas após irrigação foram determinadas pelo método gravimétrico.

### 3.6 - CRITÉRIOS PARA ANÁLISE

A partir dos dados de umidade obtidos nos testes de campo, analisou-se os seguintes parâmetros: distribuição da água no solo; volume de água infiltrado; eficiência de aplicação, uniformidade de distribuição e perdas por percolação.

#### 3.6.1 - Distribuição da Água no Solo

Traçou-se os limites do bulbo efetivo e da frente de umedecimento para cada perfil A, B, C, D e E, mostrados nas Figuras de 09 a 28, para caracterizar a distribuição de água no solo. Considerou-se como bulbo efetivo os limites do volume de so

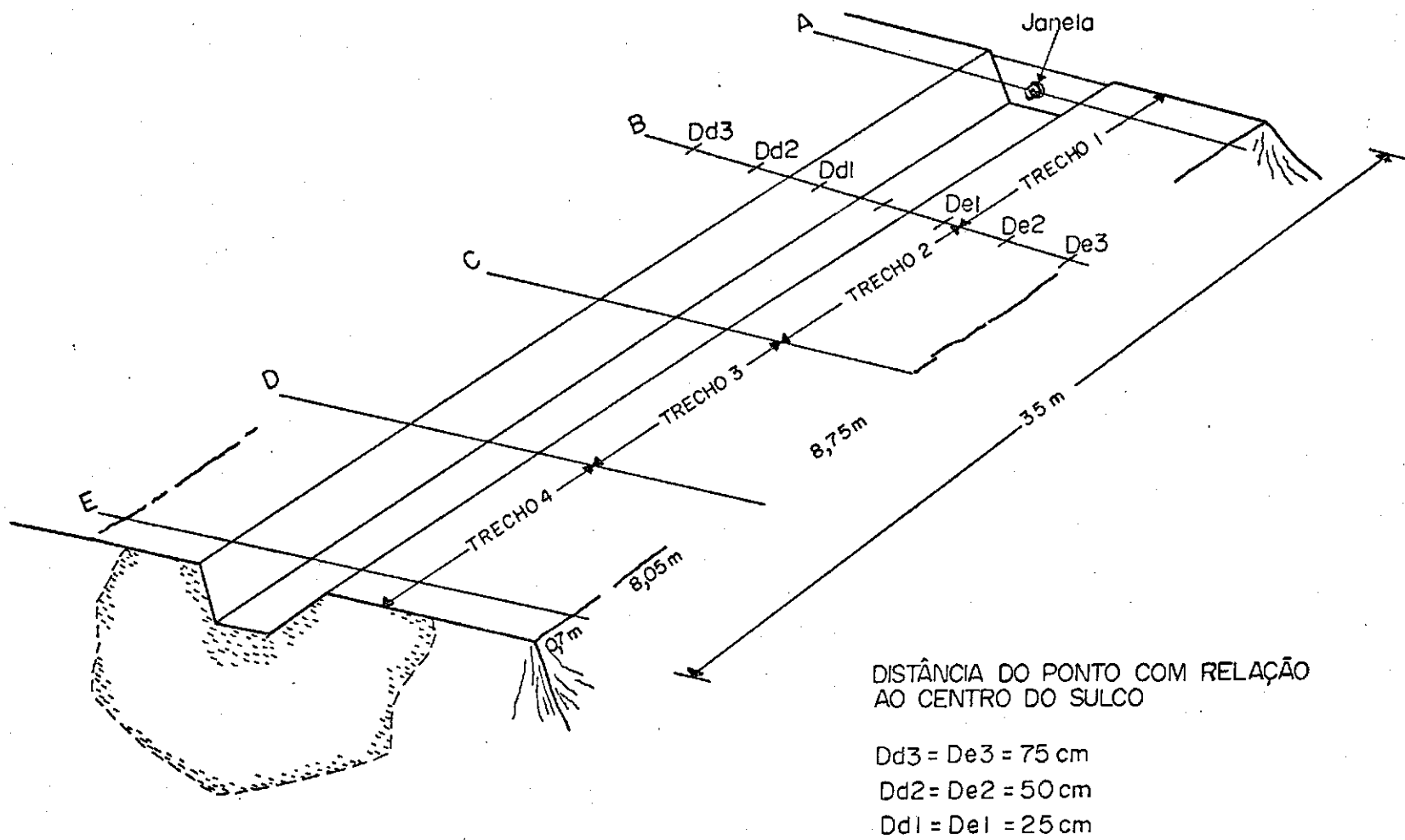


FIG. 7 - Distribuição dos perfis ao longo do sulco, e locais de coleta de amostras.

lo com umidade a nível de capacidade de campo, e como frente de umedecimento os limites do volume de solo atingidos pela água durante a irrigação, definidos com referência a umidade inicial (SAMPAIO, 1976). Quando a umidade obtida atingiu valores maiores que a umidade inicial, a 75 cm de distância do centro do sulco, para qualquer um dos lados ou os dois, definiu-se como frente de umedecimento estimada.

As linhas de contorno, tanto do bulbo efetivo como da frente de umedecimento, foram definidas por interpolação, considerando a variação da umidade no solo, nos sentidos horizontal e vertical, como linear.

### 3.6.2 - Volume de Água Infiltrado

Para o cálculo do volume d'água infiltrado no solo após a irrigação, dividiu-se a área do solo estudado em quadrículas de 25 cm de profundidade por 25 cm de largura. O conteúdo de umidade médio representativo da quadrícula, foi obtido de quatro amostras de solo.

O volume de água acumulado no sulco foi calculado por trecho. O trecho 1 representa o comprimento do início do sulco até o Perfil B; o Trecho 2; do Perfil B ao C; o Trecho 3, do Perfil C ao Perfil D e o Trecho 4, do Perfil D ao final do sulco.

O volume de água acumulado em cada quadrícula, por trecho, foi calculado pela seguinte Equação:

$$V_{iq} = (U_q - U_i) \times A_{sq} \times d_g \times L_t$$

Eq. 10

Onde:

$V_{iq}$  = Volume de água infiltrado na quadrícula ( $cm^3$ )

$U_q$  = Umidade média da quadrícula, com base em peso seco (%)

$U_i$  = Umidade inicial da quadrícula, com base em peso seco (%)

$A_{sq}$  = Área do solo molhado correspondente a quadrícula ( $cm^2$ )

$d_g$  = Densidade global do solo na profundidade correspondente a quadrícula considerada ( $g/cm^3$ )

$L_t$  = Comprimento do trecho no qual está inserido a quadrícula ( $cm^2$ )

Somando-se os volumes infiltrados por quadrícula, obteve-se o volume infiltrado por perfil. Somando-se os volumes dos Perfis A e B e dividindo-se por dois, obteve-se o volume médio infiltrado no Trecho 1. Somou-se os volumes médios infiltrados nos quatro trechos e obteve-se o volume de água infiltrado no solo.

Nas quadrículas onde passava o limite do contorno do bulbo e frente de umedecimento, o volume de solo molhado foi obtido planimetrando-se a área e usando-se o mesmo procedimento utilizado nas quadrículas.

### 3.6.3 - Eficiência de Aplicação

A eficiência de aplicação do sistema de irrigação foi de-

finida pela Equação:

$$Ea = \frac{V_{in}}{V_a} \times 100 \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

$Ea$  = Eficiência de aplicação (%)

$V_{in}$  = Volume de água infiltrado e armazenado na profundidade desejada

$V_a$  = Volume de água aplicado

#### 3.6.4 - Perdas por Percolação

As perdas por percolação foram obtidas de forma indireta. Assumindo-se que não ocorreram perdas por evaporação, pois a área experimental estava coberta, obviamente todas as perdas ocorreram abaixo da profundidade estudada. Assim, pode-se avaliar as perdas por percolação em função da eficiência de aplicação.

#### 3.6.5 - Uniformidade de Distribuição

Quando se utiliza sulcos com saída d'água no final, observa-se que a menor lâmina infiltrada ocorre no final do sulco e a uniformidade de distribuição é definida pela seguinte Equação:

$$Ud = \frac{L_f}{(L_i + L_f)} \times 100 \quad \text{Eq. 12}$$

Sendo:

Ud = Uniformidade de distribuição (%)

Lf = Lâmina infiltrada no final do sulco (mm)

Li = Lâmina infiltrada no início do sulco (mm)

Quando se utiliza sulcos fechados no final, a menor lâmina infiltrada não ocorre no final do sulco. Assim, optou-se por calcular a uniformidade de distribuição da seguinte forma:

$$Ud = \frac{L_{min}}{L_m} \quad \text{Eq. 13}$$

Onde:

Lmin = Lâmina mínima infiltrada ao longo do sulco

Lm = Lâmina média infiltrada ao longo do sulco

A lâmina infiltrada em cada perfil foi obtida dividindo-se a área molhada de solo pela largura média da frente de umedecimento do perfil. A lâmina infiltrada média por tratamento, foi representada pela média aritmética das lâminas infiltradas nos Perfis A, B, C, D e E.

A largura média da frente de umedecimento foi determinada medindo-se a largura do bulbo molhado a cada 10 cm de profundidade, até a profundidade correspondente à lâmina aplicada.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 - CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Estudos pedológicos realizados no local, constataram que o solo da área é um Regosol Eutrófico com Fragipan, fase caatinga hiperxerófila relevo plano, apresentando quatro camadas pedológicas diferenciadas denominadas Ap, C1, C2 e C3. De acordo com estes estudos, o solo apresenta-se pouco permeável a partir de 22 cm de profundidade. A descrição do perfil encontra-se no ANEXO

##### 4.1.1 - Distribuição das Partículas

As percentagens de areia, silte e argila, e a classificação textural do solo estudado, por profundidade, são encontrados na Tabela 01. Conforme esta Tabela, observa-se que o solo estudado apresenta, em todos os pontos e profundidade, a mesma classificação textural, ou seja, franco-arenoso. Os valores médios da porcentagem de areia diminuem com a profundidade, os de silte aumentam com a profundidade, enquanto que os valores de argila aumentam até a profundidade de 75 cm e decrescem em seguida.

TABELA 01: Distribuição do Tamanho das Partículas e Classificação Textural do Solo com Média e Desvio Padrão das Percentagens de Areia, Silte e Argila.

PROFUNDIDADE DO SOLO (cm)	DISTRIBUIÇÃO DAS PARTÍCULAS			CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	AREIA	SILTE	ARGILA	
	%	%	%	
0-25	71,14	24,33	4,53	franco arenoso
	68,03	24,38	7,59	franco arenoso
	73,25	22,23	4,52	franco arenoso
MÉDIA	70,80	23,65	5,55	franco arenoso
DESVIO	2,62	1,21	1,76	- - - - -
25-50	68,94	22,42	8,64	franco arenoso
	66,98	28,47	4,55	franco arenoso
	65,02	28,41	6,57	franco arenoso
MÉDIA	66,98	26,43	6,59	franco arenoso
DESVIO	1,96	3,47	2,04	- - - - -
50-75	66,97	26,44	6,59	franco arenoso
	69,03	24,39	6,58	franco arenoso
	62,98	28,42	8,60	franco arenoso
MÉDIA	66,32	26,42	7,25	franco arenoso
DESVIO	3,07	2,01	1,16	- - - - -
75-100	67,85	27,24	4,91	franco arenoso
	53,66	43,46	2,88	franco arenoso
	53,30	43,80	2,90	franco arenoso
MÉDIA	58,27	38,17	3,56	franco arenoso
DESVIO	8,29	9,46	1,16	- - - - -



#### 4.1.2 - Características Físico-Hídricas

A Tabela 02 apresenta os valores de densidade global, capacidade de campo e ponto de murcha permanente do solo. A densidade global decresce até a profundidade de 75 cm e não se altera até a profundidade de 100 cm. Os valores de capacidade de campo e ponto de murcha permanente crescem com a profundidade, notadamente devido ao aumento de partículas finas (argila + silte) e diminuição de partículas grossas (areia).

#### 4.1.3 - Curva de Retenção de Umidade

As curvas de retenção de umidade do solo para as profundidades estudadas, são apresentadas na Figura 08. As curvas são semelhantes entre si, pois têm a mesma inclinação, diferenciando-se apenas na grandeza da umidade. A umidade no início varia sensivelmente com pequenas variações de tensão da umidade da água no solo. Todavia, a partir da tensão de 300 KPa, a umidade permanece praticamente constante até 1500 KPa.

Para uma determinada tensão, a umidade cresce entre as profundidades de 0 - 25 para 25 - 50, diminui ligeiramente na de 50 - 75 cm e aumenta na de 75-100 cm. Os valores médios de conteúdo de água do solo, para cada tensão e para cada profundidade, são mostrados na Tabela 01 do Anexo

#### 4.1.4 - Velocidade de Infiltração

A equação de infiltração acumulada em função do tempo, ob

TABELA 02: Densidade Global, Capacidade de Campo e Ponto de Murcha Permanente do Solo, com Média e Desvio Padrão por Profundidade.

PROFUNDIDADE DO SOLO (cm)	DENSIDADE GLOBAL (g/ cm <sup>3</sup> )	CAPACIDADE DE CAMPO %*	PONTO DE MURCHA %*
0-25	1,36	11,57	6,50
	1,56	11,35	5,67
	1,58	9,12	4,77
	-	10,85	-
	-	12,42	-
MÉDIA	1,50	11,06	5,64
DESVIO	0,12	1,22	0,86
25-50	1,38	12,30	6,86
	1,40	11,49	6,51
	1,49	13,11	5,95
	-	12,45	-
	-	11,38	-
MÉDIA	1,42	12,14	6,44
DESVIO	0,05	0,71	0,45
50-75	1,33	14,17	6,57
	1,36	13,48	6,18
	1,41	12,57	6,60
	-	11,81	-
	-	12,63	-
MÉDIA	1,37	12,92	6,45
DESVIO	0,04	0,91	0,23
75-100	1,35	13,69	7,33
	1,39	15,66	8,17
MÉDIA	1,37	14,67	7,75
DESVIO	0,02	1,39	0,59

\* Umidade em % de peso seco

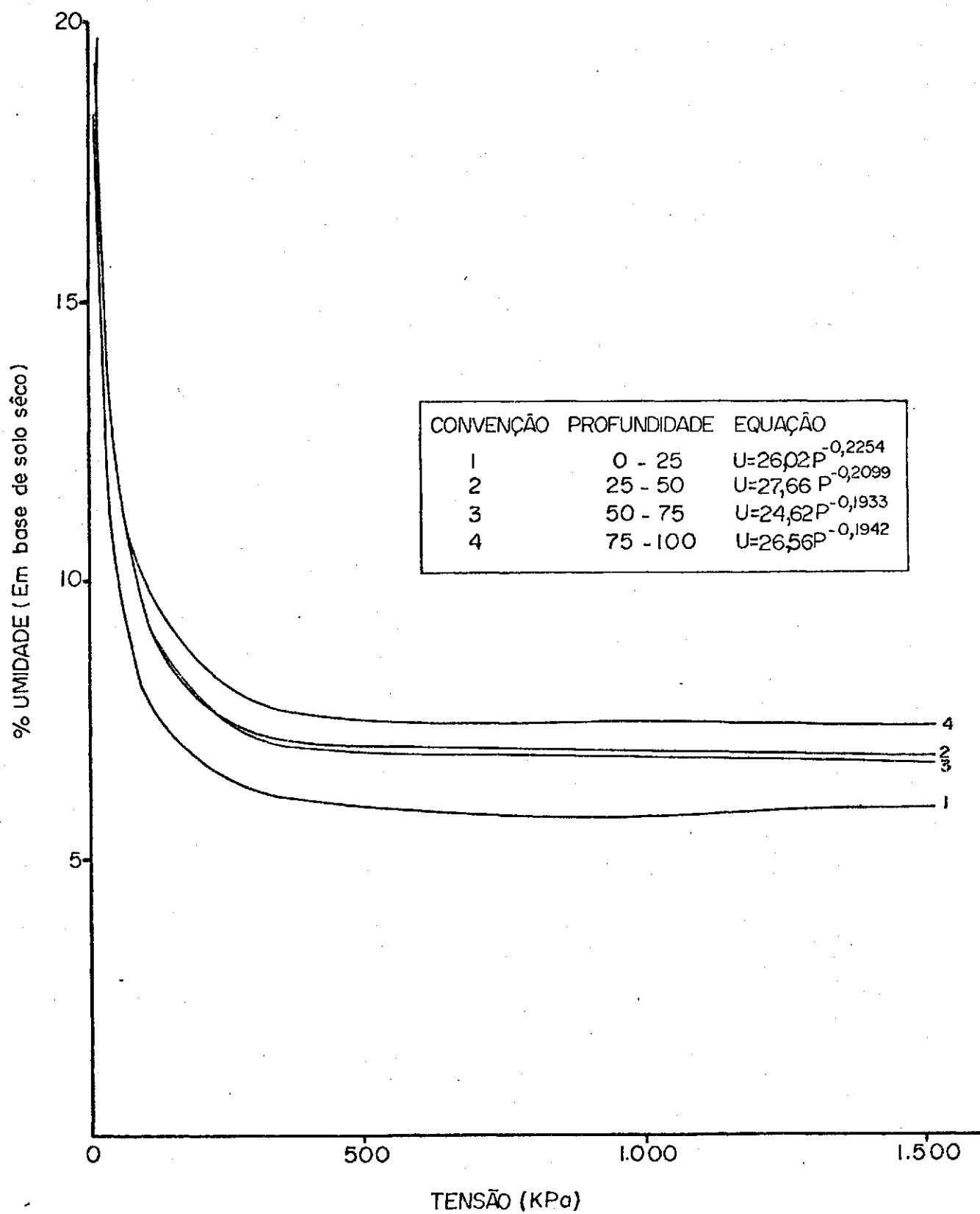


FIG. 8 - Curvas características de umidade do solo para as profundidades de 0 - 25, 25 - 50, 50 - 75 e 75 - 100 cm.

tida através de regressão linear, com dados de quatro repetições, é a seguinte:

$$I = 1,64 T^{0,46} \quad \text{Eq. 14}$$

Sendo:

I = Infiltração acumulada (cm)

T = Tempo acumulado (min)

Derivando-se a Equação 14, obtêm-se a velocidade de infiltração, da forma:

$$VI = 38,58 T^{-0,54} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

VI = Velocidade de infiltração (cm/h)

A Figura 01 do Anexo mostra o gráfico da velocidade de infiltração e infiltração acumulada em função do tempo. A velocidade de infiltração básica (VIB), média de quatro repetições, é 5,70 cm/h.

#### 4.2 - UMIDADE INICIAL DO SOLO

A umidade do solo antes da irrigação, por profundidade e para cada tratamento, é mostrada na Tabela 03. Para os volumes aplicados de 660 e 2100  $\ell$ , os valores superficiais da umidade inicial apresentam-se muito abaixo do ponto de murcha, aproximando-se deste com o aumento da profundidade. Para os volumes, de 2310 e 3500  $\ell$ , os valores superficiais foram muito próximos

TABELA 03: Umidade Inicial do Solo, em base de peso seco, por profundidade para os tratamentos 1, 2, 3 e 4.

TRATAMENTO	REPETIÇÃO	PROFUNDIDADE ( cm )				
		5	25	50	75	100
1	I	1,14	4,56	5,38	-	-
	II	0,75	2,69	4,07	-	-
	III	-	2,31	3,54	-	-
	IV	1,12	3,89	6,22	-	-
	V	0,74	4,45	5,63	-	-
	MÉDIA	0,94	3,58	4,96	-	-
2	I	0,41	1,78	4,39	4,55	-
	II	0,54	3,32	5,95	6,88	-
	III	0,34	2,76	3,78	5,27	-
	IV	0,43	3,77	4,63	8,85	-
	V	0,42	2,66	5,65	5,75	-
	MÉDIA	0,42	2,86	4,88	6,26	-
3	I	7,02	4,43	4,32	6,19	8,82
	II	7,69	5,20	4,22	5,35	6,83
	III	6,82	5,21	6,06	5,34	7,15
	IV	8,05	6,47	8,41	13,05	16,54
	V	6,51	4,70	4,83	5,91	8,22
	MÉDIA	7,22	5,22	5,56	7,16	9,52
4	I	5,10	4,93	5,97	9,40	17,18
	II	1,28	5,60	4,90	5,07	7,29
	III	2,78	7,55	6,76	7,91	15,42
	IV	3,58	4,87	4,14	6,52	8,90
	V	5,01	4,26	8,76	11,77	9,75
	MÉDIA	3,55	5,44	6,10	8,14	11,70

do ponto de murcha e chegaram a superá-lo a partir de 75 cm de profundidade.

Observou-se variações na umidade entre pontos, numa mesma profundidade e entre tratamentos. As variações ocorridas na umidade inicial entre os dois primeiros tratamentos e os dois últimos, foi devido as precipitações que caíram após a determinação do teor de água nos tratamentos 1 e 2.

#### 4.3 - DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

As Figuras 09 a 13, 14 a 18, 19 a 23 e 24 a 28 mostram os limites do bulbo efetivo, e da frente de umedecimento para os perfis A, B, C, D e E dos tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Nestas Figuras a abscissa representa a distância horizontal para os lados esquerdo e direito, com relação ao centro do sulco e a ordenada representa a profundidade do solo.

O Quadro 03, apresenta a largura de solo molhado máxima e média, do bulbo efetivo e da frente de umedecimento, por perfil, para cada tratamento. O Quadro 04 apresenta a profundidade máxima atingida pelo bulbo efetivo para cada perfil, por tratamento.

A Figura 29, mostra a distribuição de umidade ao longo dos sulcos, por tratamento, após a aplicação da água.

Analisando-se as Figuras e os Quadros citados acima, pode-se fazer as seguintes observações:

a - Formou-se duas frentes de umidade, denominadas bulbo

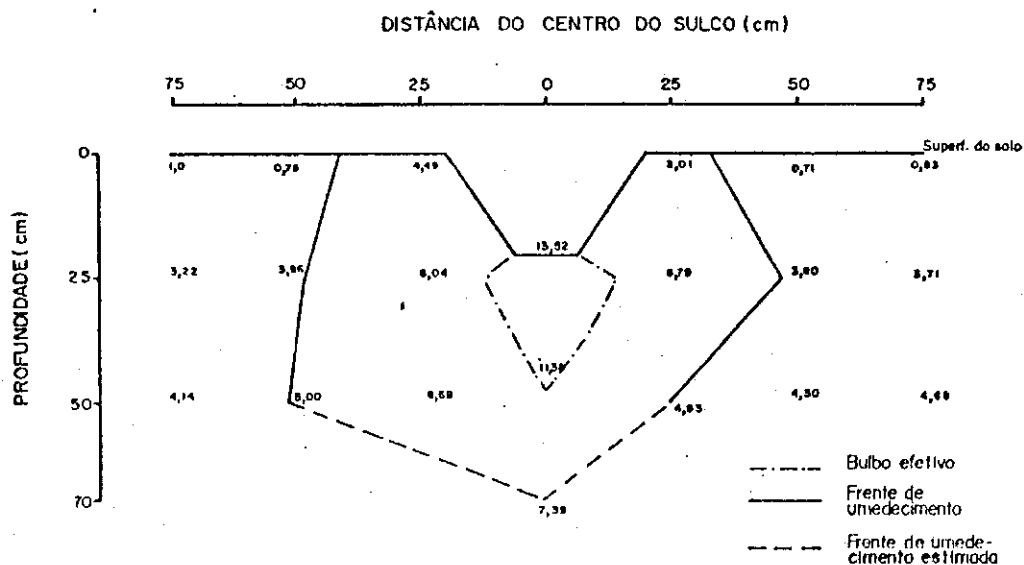


FIG. 9 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 32mm para 25cm de profundidade. Perfil A, média de tres repetições.

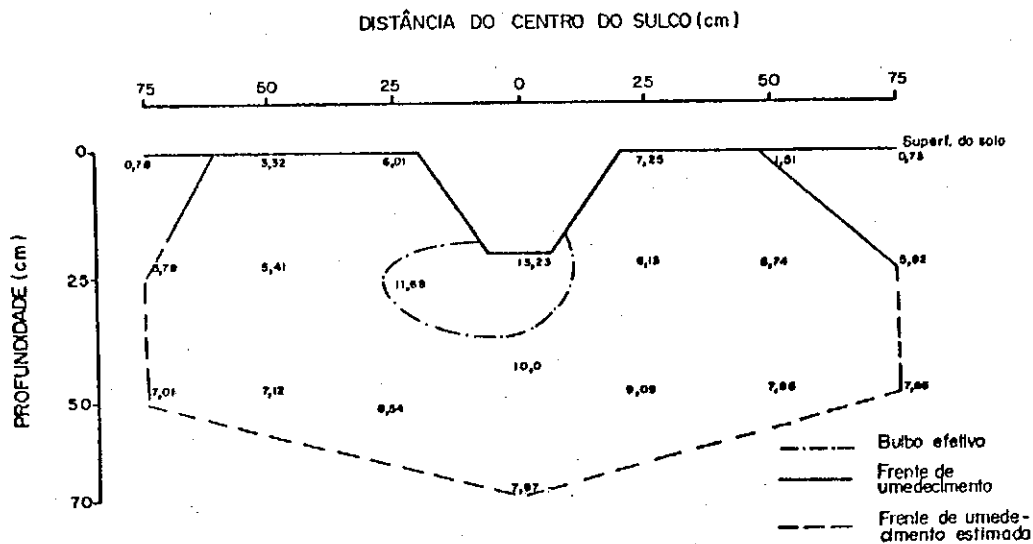


FIG. 10 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 32mm para 25cm de profundidade. Perfil B, média de tres repetições.

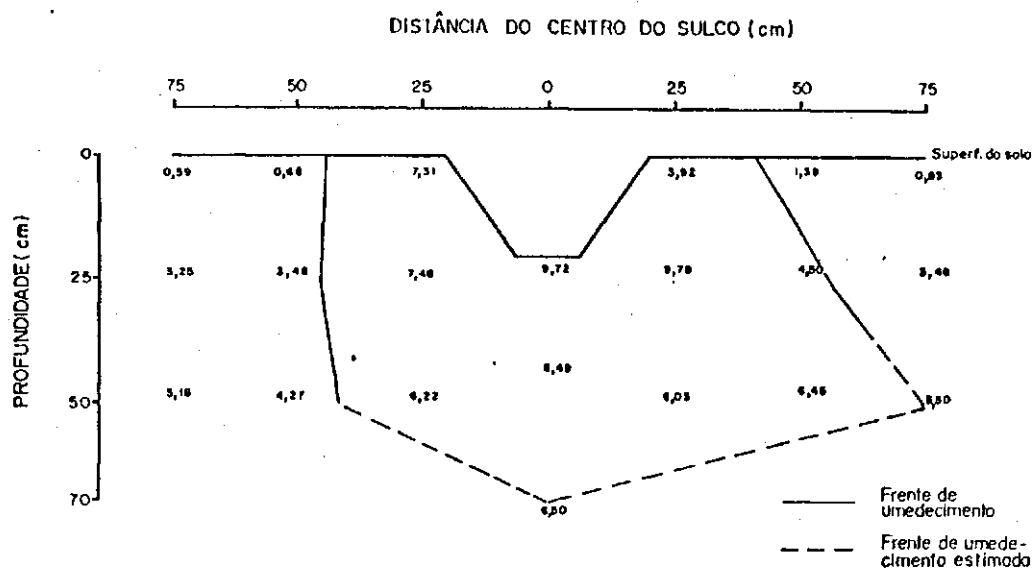


FIG. 11 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 32 mm para 25 cm de profundidade. Perfil C, média de três repetições.

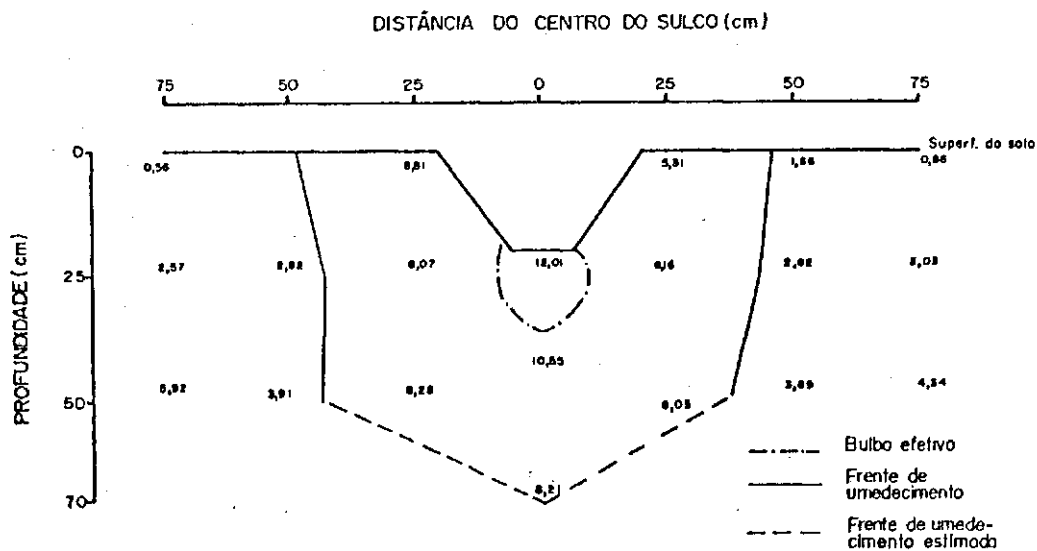


FIG. 12 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 32 mm para 25 cm de profundidade. Perfil D, média de três repetições.



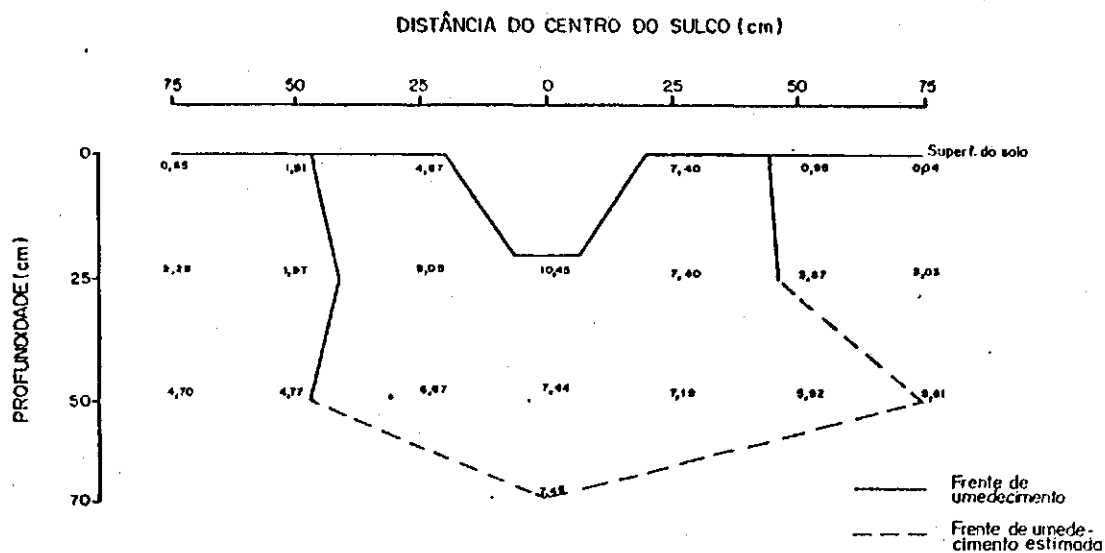


FIG. 13- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 32 mm para 25 cm de profundidade. Perfil E, média de tres repetições.

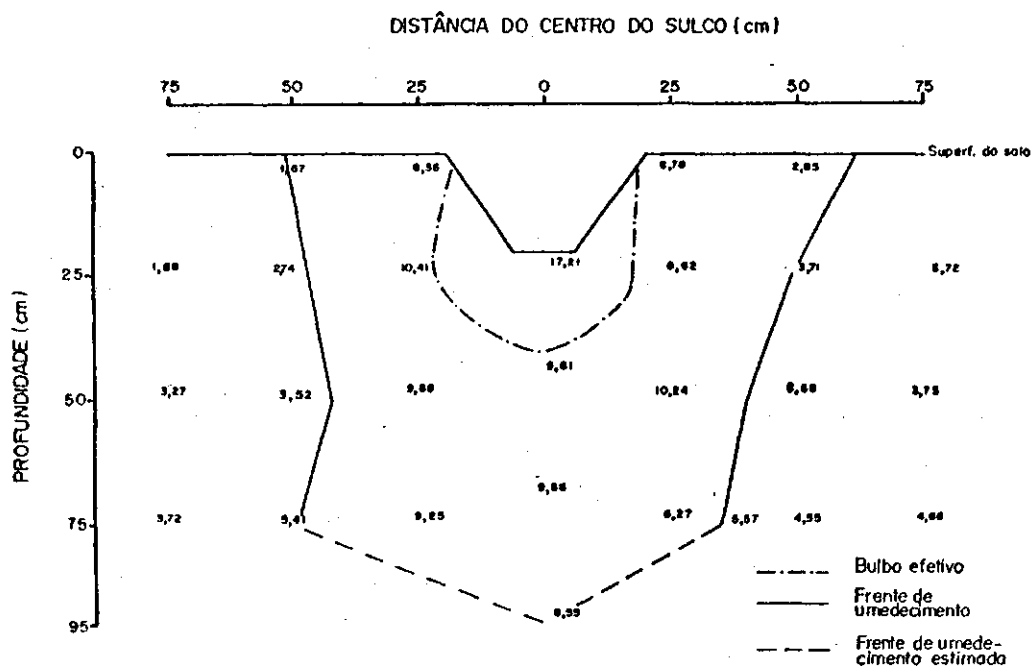


FIG. 14- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 60 mm para 50 cm de profundidade. Perfil A, média de tres repetições.

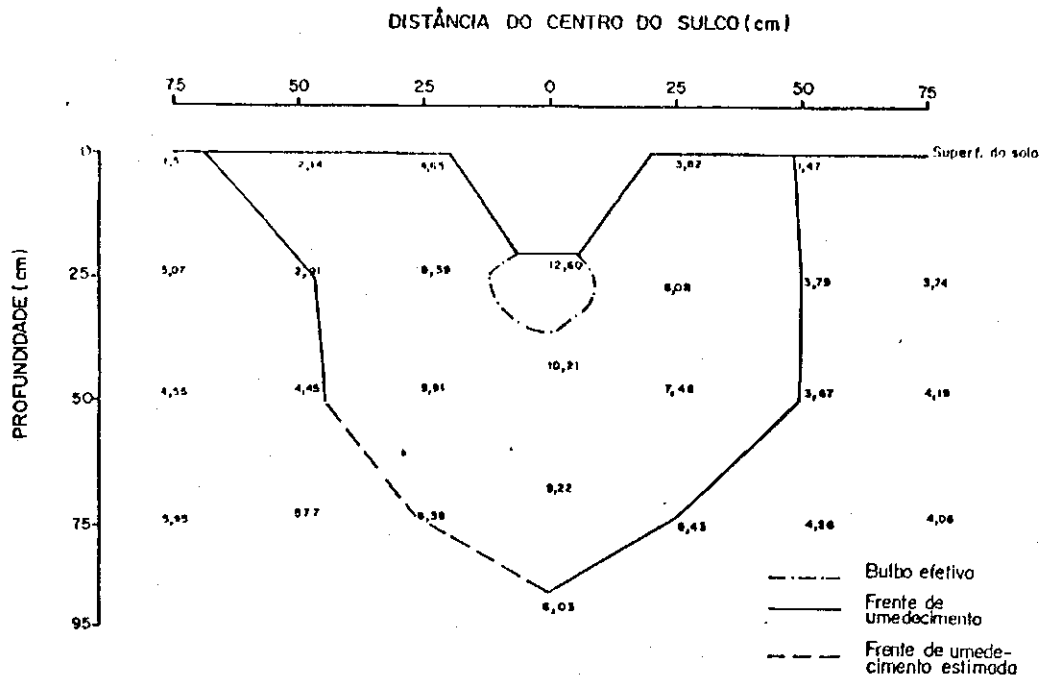


FIG. 15- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 60mm para 50cm de profundidade. Perfil B, média de tres repetições.

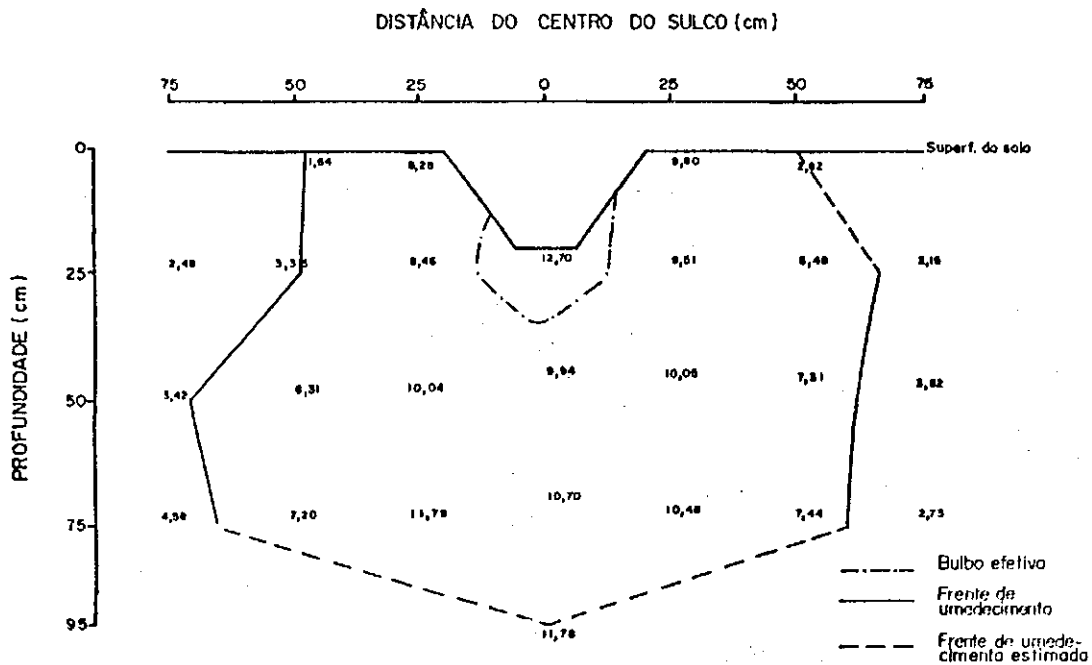


FIG. 16- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 60 mm para 50 cm de profundidade. Perfil C, média de tres repetições.

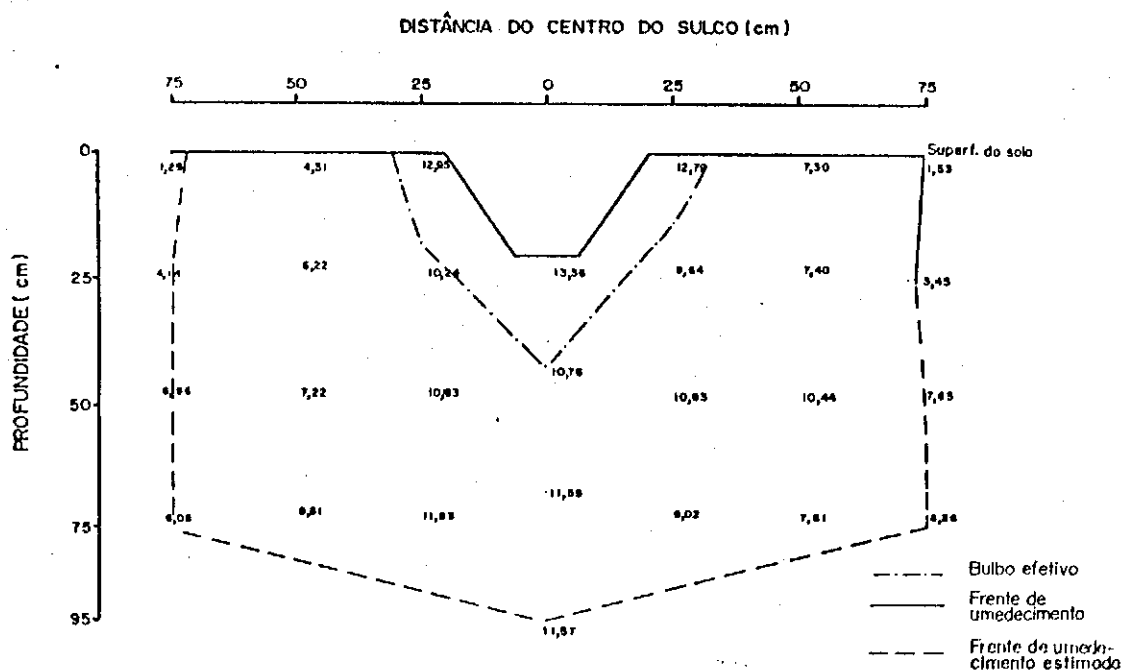


FIG. 17- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 60mm para 50cm de profundidade. Perfil D, média de tres repetições.

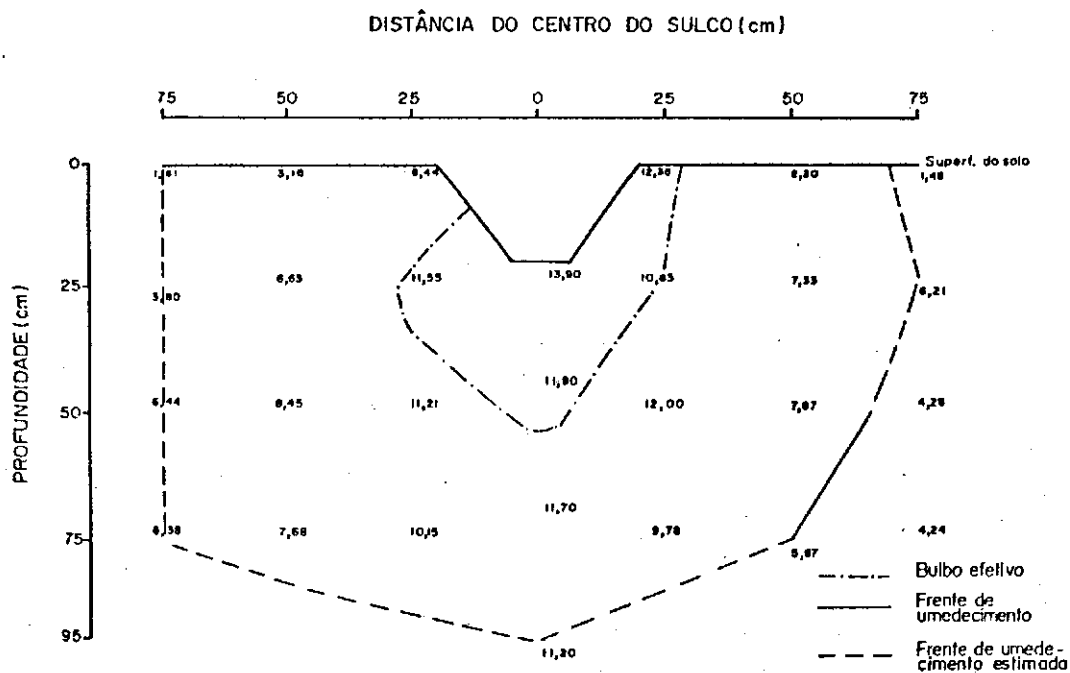


FIG. 18- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 60mm para 50cm de profundidade. Perfil E, média de tres repetições.

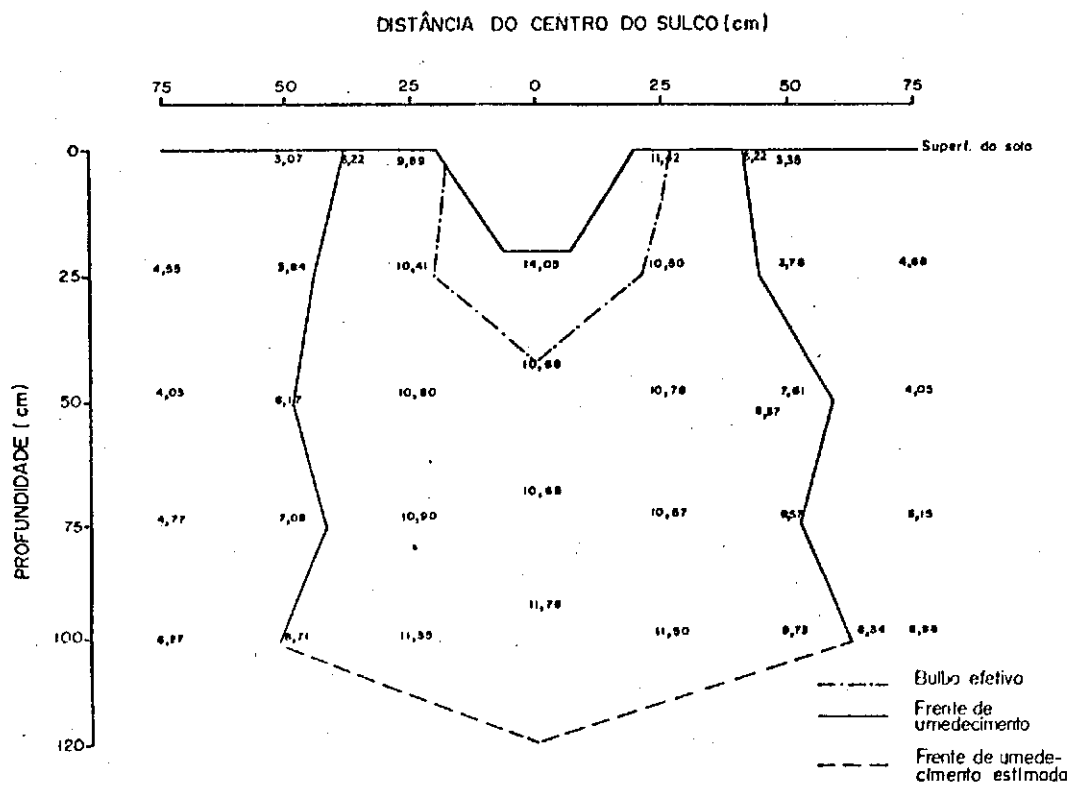


FIG. 19 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 62mm para 75cm de profundidade. Perfil A, média de tres repetições.

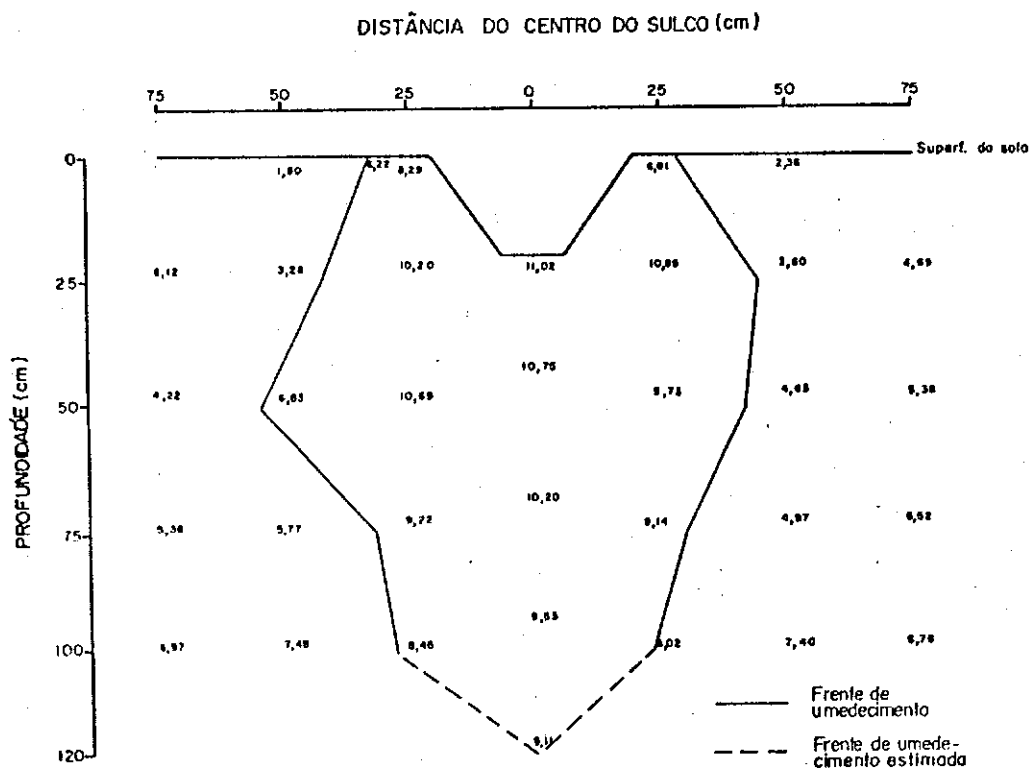


FIG. 20 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 62mm para 75cm de profundidade. Perfil B, média de tres repetições.

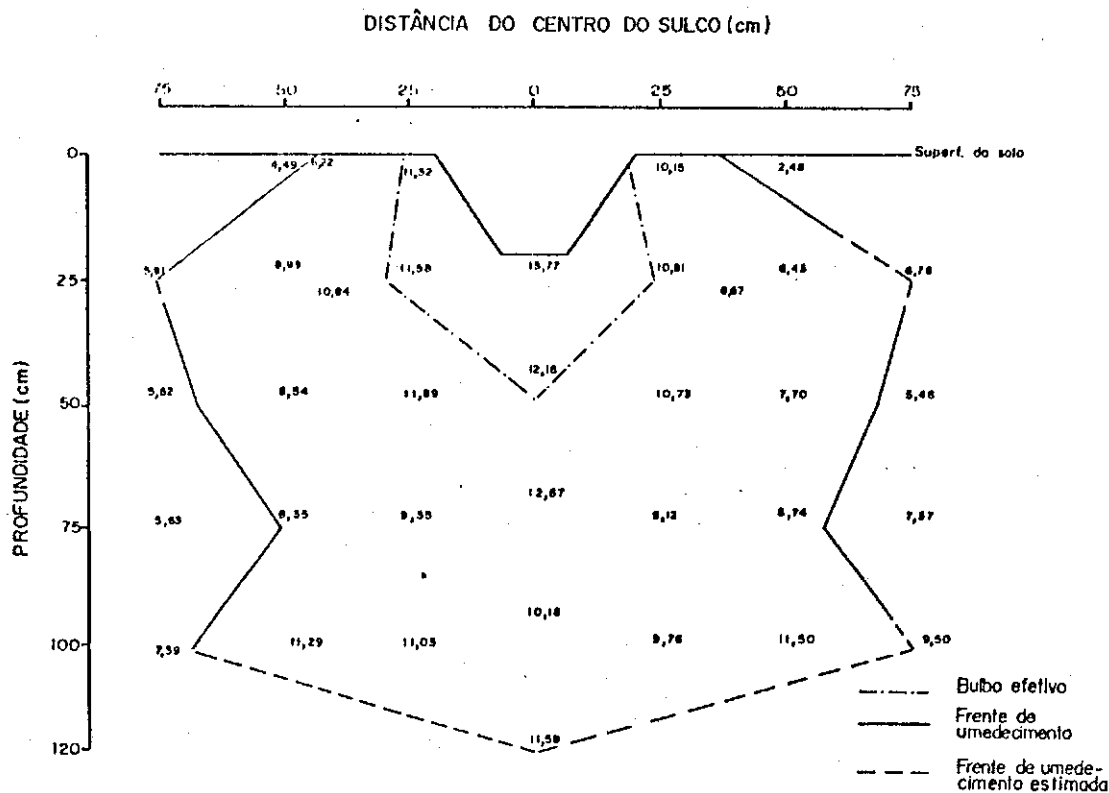


FIG. 21 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 62 mm para 75 cm de profundidade. Perfil C, média de tres repetições.

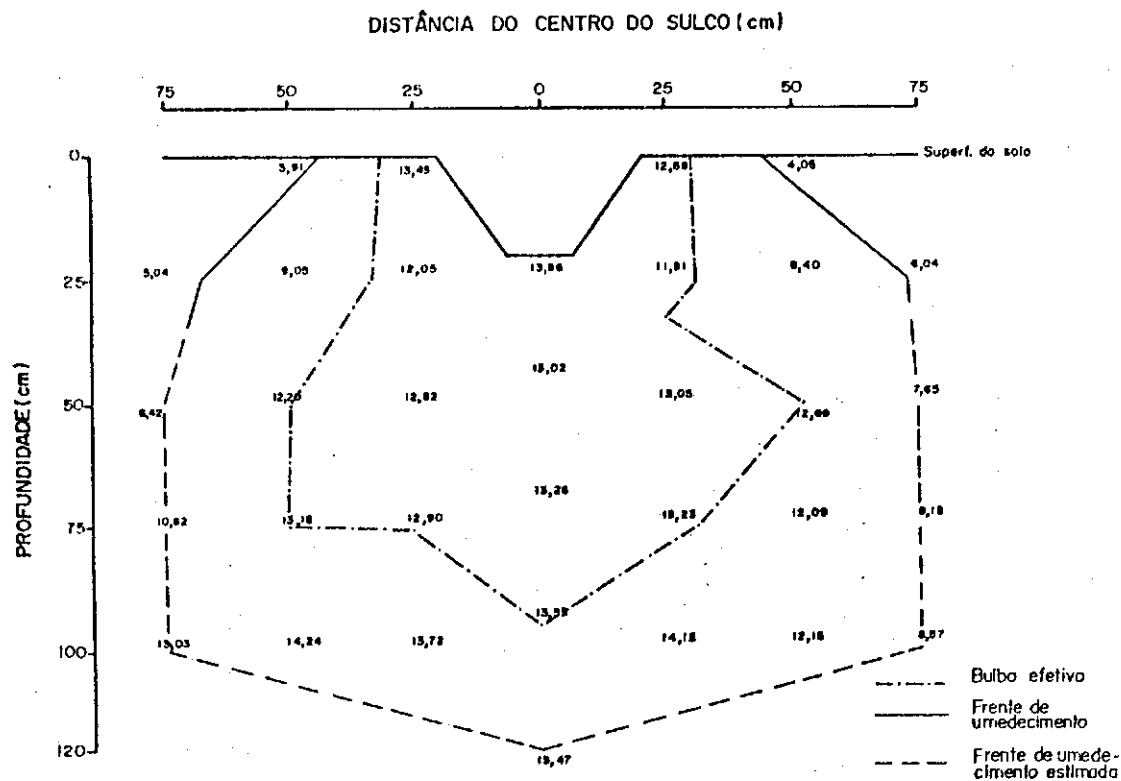


FIG. 22 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 62 mm para 75 cm de profundidade. Perfil D, média de tres repetições.

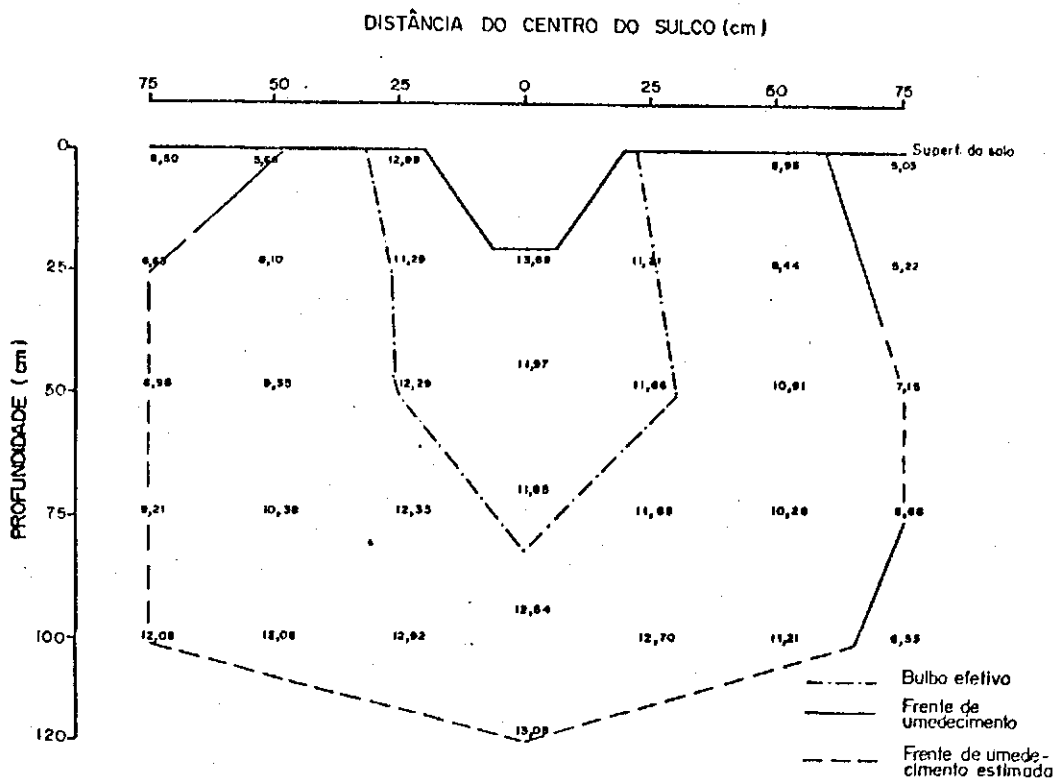


FIG. 23 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 62 mm para 75 cm de profundidade. Perfil E, média de tres repetições.

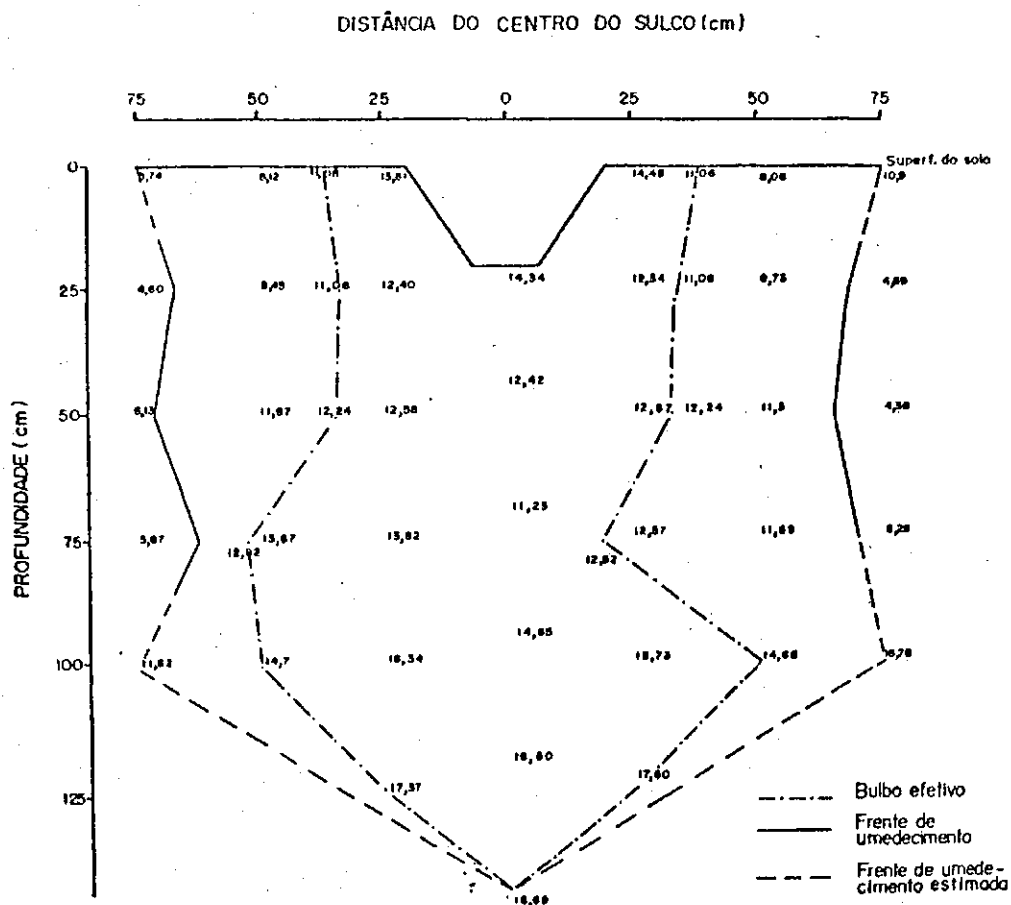


FIG. 24 - Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 74 mm para 100 cm de profundidade. Perfil A, média de tres repetições.

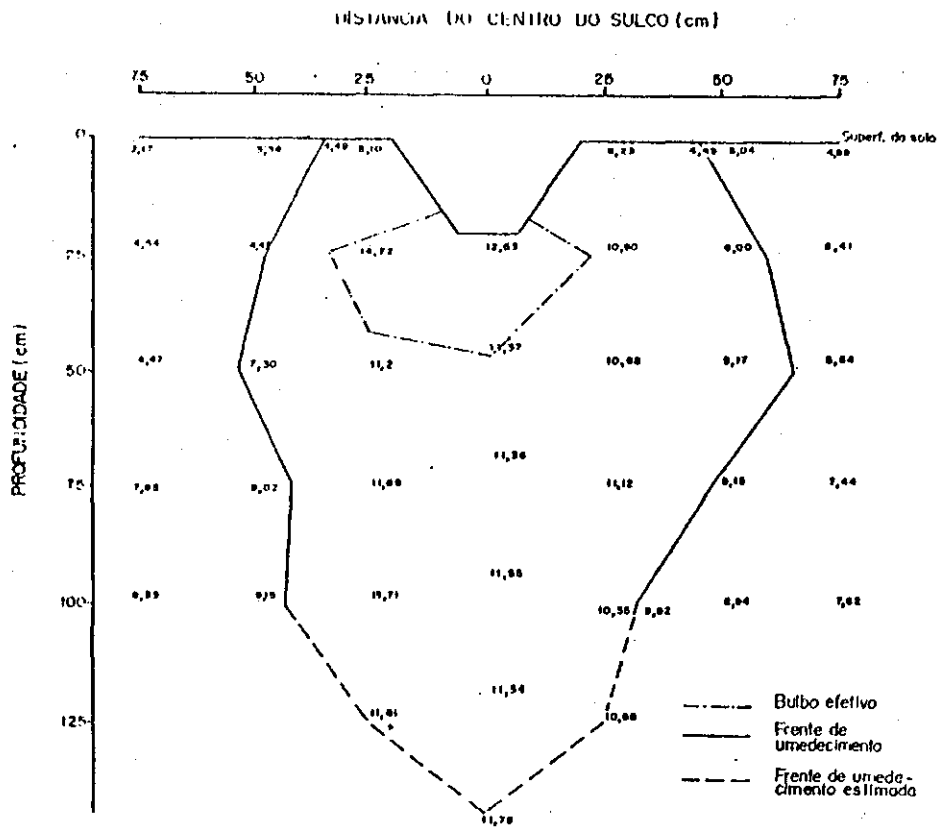


FIG. 25- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 74mm para 100cm de profundidade. Perfil B, média de tres repetições.

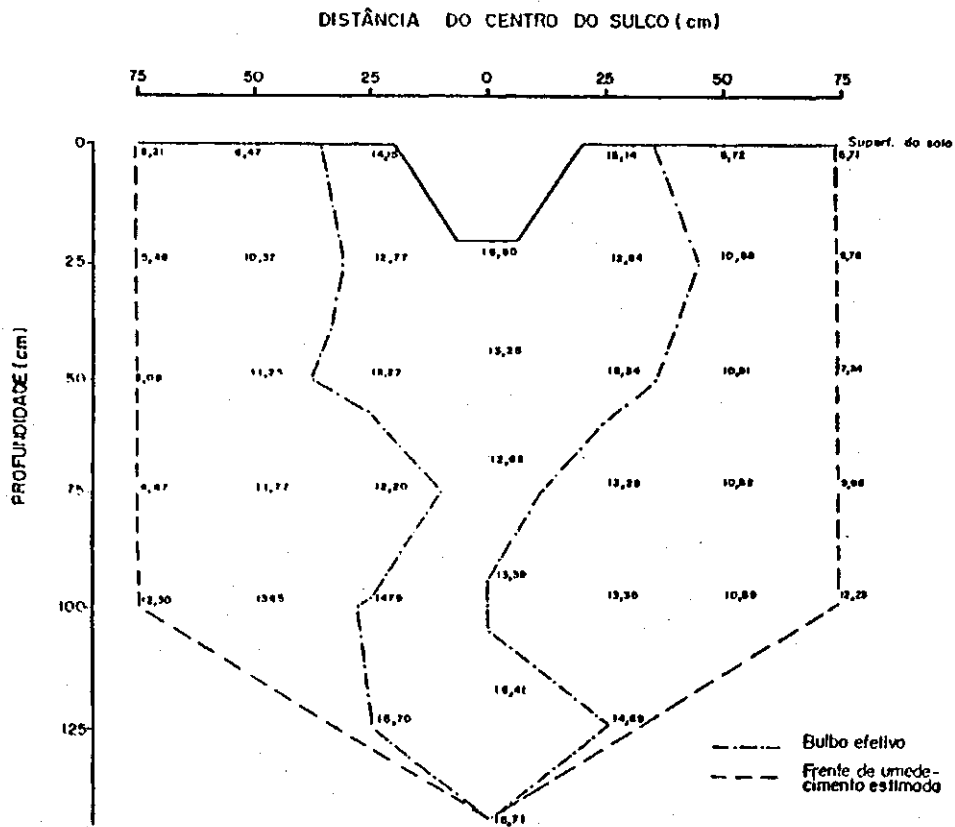


FIG. 26- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 74mm para 100 cm de profundidade. Perfil C, média de tres repetições.

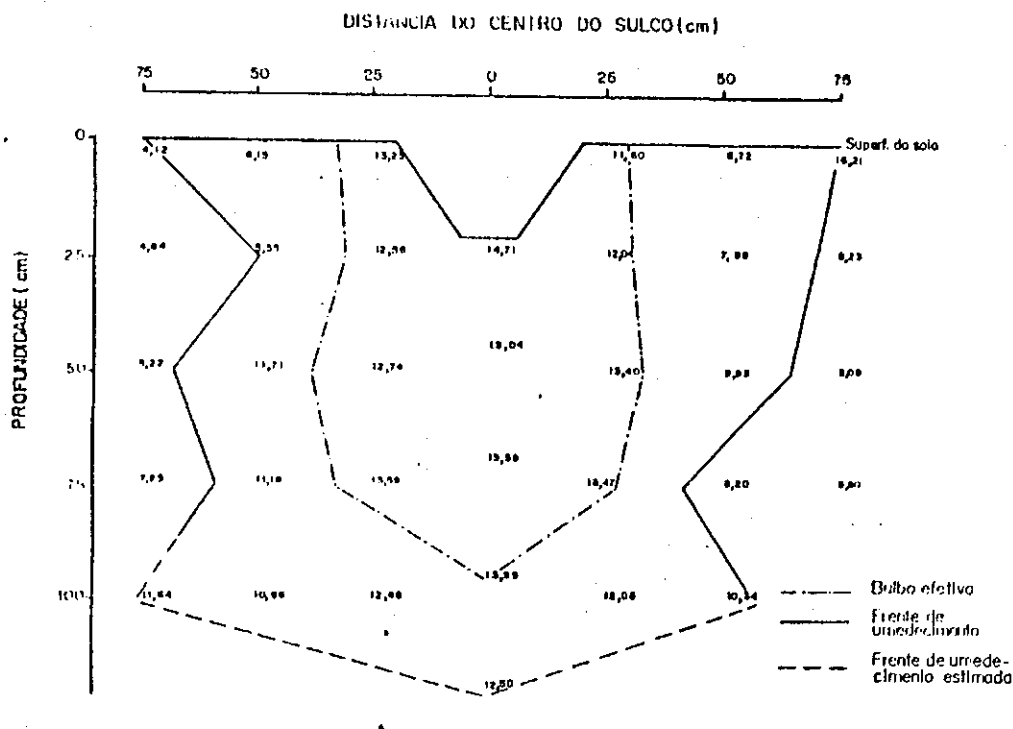


FIG. 27- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 74mm para 100 cm de profundidade. Perfil D, média de tres repetições.

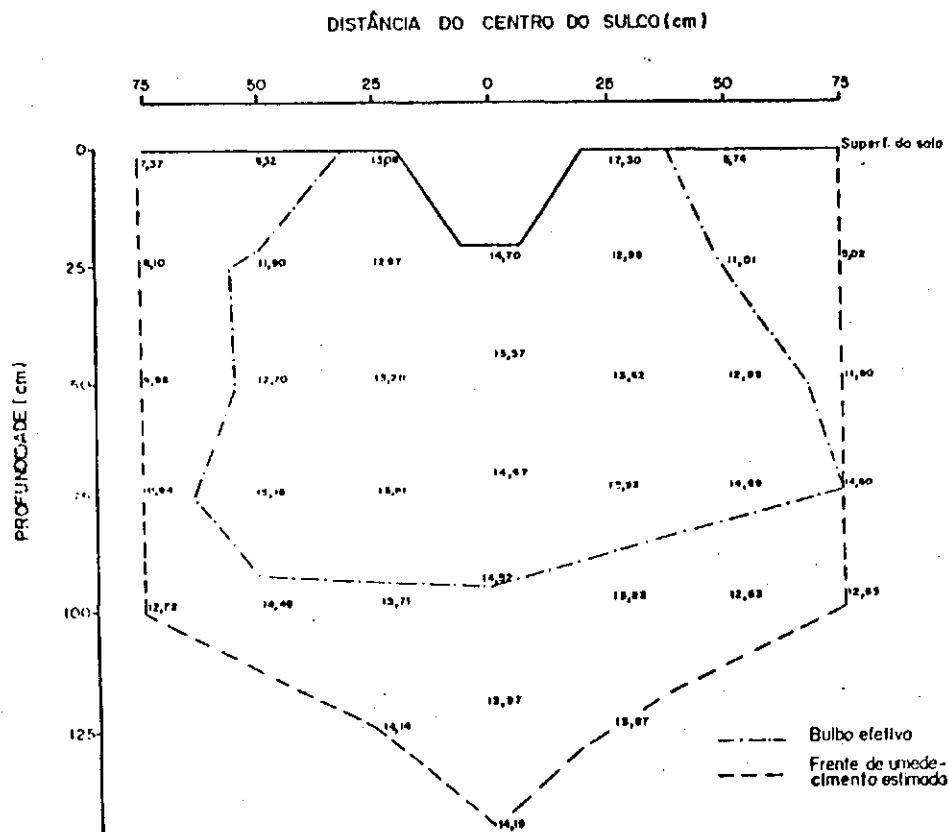


FIG. 28- Distribuição da umidade do solo a diferentes profundidades e distâncias horizontais desde o eixo vertical no centro do sulco após aplicação da lâmina de água de 74mm para 100cm de profundidade. Perfil E, média de tres repetições.



QUADRO 03: Largura Molhada do Bulbo, em m por perfil, para cada tratamento.

TRATAMENTO	PERFIL	FRENTE DE UMEDECIMENTO		BULBO EFETIVO	
		MÁXIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MÉDIA
1	A	0,96	0,72	0,26	0,16
	B	1,50	1,29	0,38	0,21
	C	1,17	0,95	-	-
	D	0,87	0,74	0,38	0,10
	E	1,23	0,85	-	-
MÉDIA		1,14	0,91	0,20	0,10
DESVIO		-	0,23	0,19	0,09
2	A	0,96	0,65	0,20	0,10
	B	0,96	0,78	0,21	0,05
	C	1,25	1,10	0,26	0,06
	D	1,50	1,46	0,43	0,21
	E	1,50	1,35	0,51	0,21
MÉDIA		1,23	1,06	0,36	0,14
DESVIO		-	0,35	0,12	0,07
3	A	1,08	0,87	0,42	0,13
	B	0,97	0,70	-	-
	C	1,50	1,26	0,54	0,18
	D	1,50	1,34	1,02	0,77
	E	1,50	1,44	0,55	0,39
MÉDIA		1,31	1,12	0,50	0,29
DESVIO		-	0,31	0,36	0,30
4	A	1,50	1,36	1,00	0,73
	B	1,18	0,86	0,56	0,17
	C	1,50	1,50	0,74	0,64
	D	1,32	1,28	0,71	0,50
	E	1,50	1,50	1,33	0,94
MÉDIA		1,40	1,30	0,30	0,59
DESVIO		-	-	0,30	0,28

QUADRO 04: Profundidade Máxima Atingida pelo Bulbo Efetivo, em m, por tratamento.

TRATAMENTO PERFIL PROFUNDIDADE			TRATAMENTO PERFIL PROFUNDIDADE		
1	A	0,27	2	A	0,21
	B	0,17		B	0,16
	C	-		C	0,15
	D	0,17		D	0,22
	E	-		E	0,34
MÉDIA		0,12			0,21
DESVIO		0,11			0,07
3	A	0,22	4	A	1,25
	B	-		B	1,25
	C	0,29		C	0,27
	D	0,75		D	0,75
	E	0,61		E	0,75
MÉDIA		0,37			0,85
DESVIO		0,30			0,41

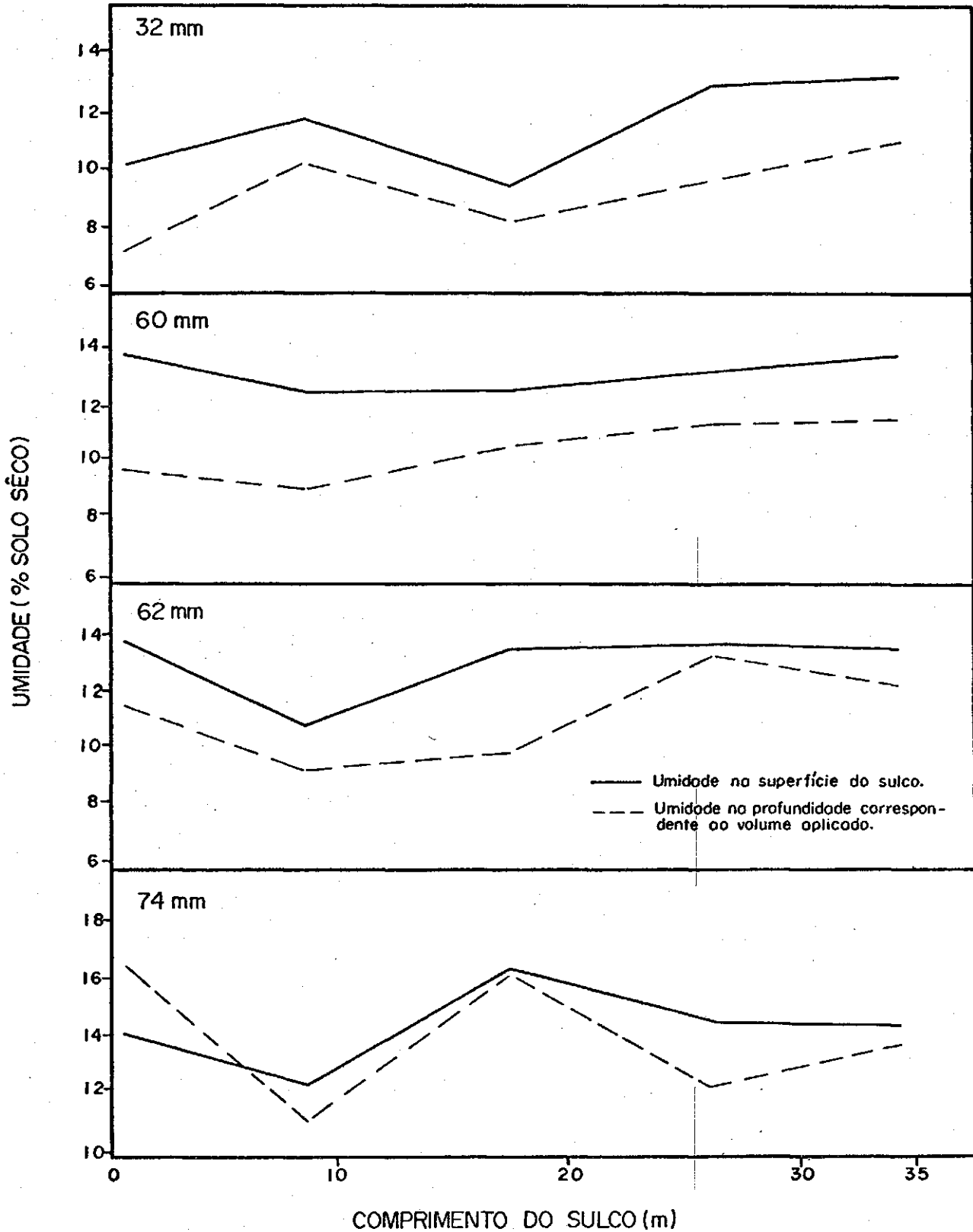


FIG. 29- Distribuição do conteúdo de água ao longo dos sulcos (0,1% de declividade) após irrigação, afetadas por diferentes lâminas de aplicação de água (32, 60, 62, e 74 mm, respectivamente).

efetivo e frente de umedecimento. Em princípio, esperava-se uma elevação de umidade do solo a nível de capacidade de campo, até as profundidades de 25, 50, 75 e 100 cm, mas o solo estudado apresenta um adensamento, a partir de 22 cm, com poros muito pequenos que dificultou o movimento da água, impedindo que o bulbo descesse.

b - O bulbo efetivo atinge a profundidade desejada no tratamento 1 apenas no Perfil A. No tratamento 2, o bulbo efetivo não alcança a profundidade desejada em nenhum perfil. A profundidade desejada para o tratamento 3, foi atingida somente no Perfil D, enquanto que para o tratamento 4 foi alcançada nos Perfis A, B, C, D e E. As profundidades médias alcançadas, pelo bulbo efetivo foram 12, 21, 37 e 85 cm, com valores máximos de 27, 34, 75 e 125 cm para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

A quantidade de água infiltrada ao longo do sulco foi maior nos terços inicial e final em todos os tratamentos, fato este previsto, de acordo com LOPEZ (1973). No entanto, o bulbo efetivo só atingiu a profundidade desejada em quase todos os Perfis, no tratamento 4. Provavelmente isto ocorreu devido ao maior volume aplicado, pois quanto maior a umidade do solo, maior a condutividade hidráulica e conseqüentemente, maior a velocidade de infiltração.

c - Como era esperado, a profundidade máxima do bulbo efetivo ocorreu sempre no centro do sulco. As larguras médias do bulbo efetivo foram de 10, 14, 29 e 59 cm, apresentando valores

máximos médios de 20, 36, 50 e 86 cm, para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

d - A frente de umedecimento ultrapassa a profundidade de de sejada em todos os Perfis, de todos os tratamentos. As larguras médias molhadas, da frente de umedecimento, foram de 91, 106, 112 e acima de 130 cm, com valores máximos superiores a 114, 123, 131 e 140 cm para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Em alguns Perfis, a largura da frente de umedecimento ul trapassa a distância máxima dos pontos onde as amostras foram coletadas, que é de 150 cm, resultando em valores medidos, infe riores aos valores reais. A largura média medida, da frente de umedecimento, atinge a largura molhada adotada, utilizada para o cálculo do volume de água aplicado, em todos os tratamentos sendo que no tratamento 1 a largura média medida foi 34% superior a adotada.

e - O bulbo efetivo e a frente de umedecimento têm a mesma configuração, embora apresentem uma distância considerável entre seus limites, havendo uma maior proximidade entre os mesmos no tratamento 4.

O processo de redistribuição ocorre na medida em que os gradientes de potencial existentes entre a zona úmida e a zona seca diminuem. Os altos valores de umidade observados nas camadas próximas a superfície do sulco, indicam que talvez o tempo utilizado para a redistribuição tenha sido insuficiente, ou seja, para um tempo de redistribuição maior, provavelmente haveria uma maior proximidade entre o bulbo efetivo e a frente de

umedecimento.

f - Ao longo do sulco, as umidades obtidas na sua superfície foram superiores às umidades obtidas na profundidade correspondente ao volume aplicado, para os tratamentos 1, 2 e 3. O tratamento 4 apresentou, no início do sulco e a profundidade de 100 cm, umidade superior da superfície. Provavelmente isso foi devido a umidade residual existente, oriunda da precipitação, ou a maior compactação das camadas inferiores do Perfil estudado.

#### 4.4 - VOLUME DE ÁGUA INFILTRADO

As Tabelas 04, 05, 06, 07, 08 e 09 mostram exemplos de cálculo para determinação do volume de água infiltrado, para o bulbo efetivo e frente de umedecimento.

A Tabela 10 apresenta os volumes totais de água infiltrada, por trecho de sulco e por tratamento, com base na profundidade de solo molhado arbitrada. Em função da largura do solo molhado medido, calculou-se a profundidade de solo em que se elevaria a umidade à capacidade de campo, através do volume aplicado. Os volumes totais de água infiltrada, por trecho de sulco e por tratamento, com base na profundidade de solo calculada, encontra-se na Tabela 11.

#### 4.5 - EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO

A eficiência de aplicação estimada teoricamente pela metodologia foi de 90%, devido a ter-se admitido uma perda por per-

TABELA 04: CÁLCULO DO VOLUME DE ÁGUA INFILTRADO PARA O BULBO EFETIVO APÓS APLICAÇÃO DO TRATAMENTO 1.

PERFIL	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	% UMIDADE		ÁREA DE ÁGUA (cm <sup>2</sup> )*	COMP <sup>1</sup> (cm)	dg (g/cm <sup>3</sup> )	VI DE ÁGUA (cm <sup>3</sup> )
		MÉDIA	INICIAL				
A	403	11,77	2,26	38,3253	875	1,5	50.301,95
B	541	11,75	2,26	51,3409	875	1,5	57.384,93
C	NÃO	-	-	-	-	-	-
D	256	11,53	2,26	23,7312	875	1,5	31.147,20
E	NÃO	-	-	-	-	-	-

TABELA 05: CÁLCULO DO VOLUME DE ÁGUA INFILTRADO PARA O BULBO EFETIVO APÓS APLICAÇÃO DO TRATAMENTO 2.

PERFIL	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	% UMIDADE		ÁREA DE ÁGUA (cm <sup>2</sup> )	COMP <sup>1</sup> (cm)	dg (g/cm <sup>3</sup> )	VI DE ÁGUA (cm <sup>3</sup> )
		MÉDIA	INICIAL				
A	866	13,81	1,64	105,3922	875	1,5	138.327,26
B	260	12,60	1,64	28,4960	875	1,5	37.401,00
C	326	12,70	1,64	36,0556	875	1,5	47.322,98
D	1030	13,00	1,64	117,0080	875	1,5	153.573,00
E	1036	12,10	1,64	108,3656	875	1,5	142.229,85

<sup>1</sup> Comprimento do trecho

\* Indica a quantidade de água contida na área molhada de solo.

TABELA 06: CALCULO DO VOLUME DE ÁGUA INFILTRADO PARA A FRENTE DE UMEDECIMENTO APÓS APLICAÇÃO DO TRATAMENTO 1.

PERFIL A

ÁREA <sup>1</sup> (cm <sup>2</sup> )	% UMIDADE		ÁREA DE ÁGUA (cm <sup>2</sup> ) *	COMP <sup>2</sup> (m)	dg (g/cm <sup>3</sup> )	VI DE ÁGUA (cm <sup>3</sup> )
	MEDIA	INICIAL				
415	4,42	2,26	8,9784	875	1,50	11.784,55
488	4,86	2,26	12,6880	875	1,50	16.653,00
388	5,07	2,26	10,9028	875	1,50	14.309,925
307	7,86	2,26	17,1920	875	1,50	22.564,50
162	10,16	2,26	12,7980	875	1,50	16.797,375
146	10,41	2,26	11,8990	875	1,50	15.617,438
1906	-	-	744,5819	875	1,50	97.726,38

PERFIL B

ÁREA <sup>1</sup> (cm <sup>2</sup> )	% UMIDADE		ÁREA DE ÁGUA (cm <sup>2</sup> )	COMP <sup>2</sup> (cm)	dg (g/cm <sup>3</sup> )	VI DE ÁGUA (cm <sup>3</sup> )
	MEDIA	INICIAL				
444	4,19	2,26	8,5692	875	1,50	11.247,075
621	6,45	2,26	26,0199	875	1,50	34.151,119
356	4,64	2,26	8,4728	875	1,50	11.120,55
538	5,84	2,26	19,2604	875	1,50	25.279,275
310	8,81	2,26	20,3050	875	1,50	26.650,313
200	8,53	2,26	12,5400	875	1,50	16.458,75
220	9,73	2,26	16,4340	875	1,50	21.569,625
2689	-	-	111,6013	875	-	146.476,71

<sup>1</sup> Área da quadrícula

<sup>2</sup> Comprimento do trecho

\* Indica a quantidade de água contida na área molhada de solo.



TABELA 07: CÁLCULO DO VOLUME DE AGUA INFILTRADO PARA A FRENTE DE UMEDECIMENTO, APOS APLICACÃO DO TRATAMENTO 2.

PERFIL A

AREA <sup>1</sup> (cm <sup>2</sup> )	% UMIDADE		AREA DE AGUA (cm <sup>2</sup> )*	COMP <sup>2</sup> (cm)	dg (g/cm <sup>3</sup> )	VI DE AGUA (cm <sup>3</sup> )
	MEDIA	INICIAL				
594	6,07	1,64	26,3142	875	1,50	34.537,388
163	2,66	1,64	1,6626	875	1,50	2.182,162
600	5,94	1,64	25,8000	875	1,50	33.862,50
173	9,48	1,64	13,5632	875	1,50	17.801,70
113	9,94	1,64	9,3790	875	1,50	12.309,938
99	9,97	1,64	8,2467	875	1,50	10.823,794
488	7,41	3,87	17,2752	875	1,42	21.464,436
375	9,55	3,87	21,3000	875	1,42	26.465,250
375	10,02	3,87	23,0625	875	1,42	28.655,156
494	7,02	3,87	15,5610	875	1,42	19.334,543
250	9,97	3,87	15,2500	875	1,42	18.948,125
250	9,84	3,87	14,9250	875	1,42	18.544,313
3974	-	-	230,7462	875	-	244.929,30

<sup>1</sup> Área da quadrícula

<sup>2</sup> Comprimento do trecho

\* Indica a quantidade de água contida na área molhada de solo.

TABELA 08: CÁLCULO DO VOLUME DE ÁGUA INFILTRADO PARA A FRENTE DE UMEDECIMENTO APÓS APLICAÇÃO DO TRATAMENTO 3.

ÁREA <sup>1</sup> (cm <sup>2</sup> )	% UMIDADE		ÁREA DE ÁGUA (cm <sup>2</sup> )*	COMP <sup>2</sup> (cm)	dg (g/cm <sup>3</sup> )	VI DE ÁGUA (cm <sup>3</sup> )
	MÉDIA	INICIAL				
469	7,08	6,22	4,0334	875	1,50	5.293,837
556	8,59	6,22	13,1772	875	1,50	17.295,075
475	8,76	5,39	16,0075	875	1,42	19.889,319
188	6,70	5,39	2,4628	875	1,42	3.060,029
446	10,65	5,39	23,4596	875	1,42	29.148,553
450	10,56	5,39	13,6950	875	1,42	17.016,038
250	10,71	5,39	13,3000	875	1,42	16.525,250
250	10,65	5,39	13,1500	875	1,42	16.338,875
138	7,51	6,36	1,5870	875	1,37	1.902,416
625	9,38	6,36	18,8750	875	1,37	22.626,406
375	10,67	6,36	16,1625	875	1,37	19.374,797
375	10,72	6,36	16,3500	875	1,37	19.599,563
512	9,05	6,36	13,7728	875	1,37	16.510,144
250	11,00	6,36	11,6000	875	1,37	13.905,50
250	11,11	6,36	11,8750	875	1,37	14.235,156
5.609	-	-	241,9094	875	-	232.720,96

<sup>1</sup> Área da quadrícula

<sup>2</sup> Comprimento do trecho

\* Indica a quantidade de água contida na área molhada de solo.

TABELA 09: CÁLCULO DO VOLUME DE ÁGUA INFILTRADA PARA A FRENTE DE UMEDECIMENTO APÓS APLICAÇÃO DO TRATAMENTO 4.

PERFIL A

AREA <sup>1</sup> (cm <sup>2</sup> )	% UMIDADE		AREA DE ÁGUA (cm <sup>2</sup> )*	COMP <sup>2</sup> (cm)	dg (g/cm <sup>3</sup> )	VI DE ÁGUA (cm <sup>3</sup> )
	NEDIA	INICIAL				
544	8,36	4,49	21,0528	875	1,50	27.631,80
344	9,72	4,49	17,9912	875	1,50	23.613,45
375	9,67	4,49	19,4250	875	1,50	25.495,313
412	7,02	4,49	10,4236	875	1,50	13.680,975
419	8,28	5,77	10,3074	875	1,42	12.806,945
413	10,83	5,77	20,8978	875	1,42	25.965,517
480	8,25	5,77	11,9040	875	1,42	14.790,72
406	10,85	5,77	20,6248	875	1,42	25.626,314
438	10,00	7,12	12,6144	875	1,37	15.121,512
600	12,10	7,12	29,8800	875	1,37	35.818,650
167	12,27	7,12	8,6005	875	1,37	10.309,849
310	10,40	7,12	10,1680	875	1,37	12.188,890
438	12,29	9,92	10,3806	875	1,37	12.443,744
562	14,01	9,92	22,9858	875	1,37	27.554,228
388	12,91	9,92	11,6012	875	1,37	13.906,939
6.296	-	-	208,9726	875	-	296.954,84

<sup>1</sup> Área da quadrícula

<sup>2</sup> Comprimento do trecho

\* Indica a quantidade de água contida na área molhada de solo.

TABELA 10: Volumes Totais da Água Infiltrada, em Litros, por Perfil, por Trecho de Sulco e por Tratamento na Profundidade Arbitrada.

PERFIL	TRECHO DO SULCO	TRATAMENTO			
		1	2	3	4
(A+B)/2	1	175,9	337,0	262,3	670,1
(B+C)/2	2	174,6	336,1	332,9	711,0
(C+D)/2	3	150,6	448,6	577,2	819,1
(D+E)/2	4	151,4	498,6	627,2	873,3
T O T A L	-	652,5	1.620,3	1.799,6	3.073,5

TABELA 11: Volumes Totais da Água Infiltrada, em Litros, por Perfil, por Trecho de Sulco e por tratamento na Profundidade Calculada.

PERFIL	TRECHO DO SULCO	TRATAMENTO			
		1	2	3	4
(A+B)/2	1	129,4	299,3	236,6	670,1
(B+C)/2	2	116,7	279,7	246,5	711,0
(C+D)/2	3	93,8	394,8	507,4	819,1
(D+E)/2	4	95,5	459,3	623,0	873,3
T O T A L	-	435,4	1.433,1	1.613,5	3.073,5

colação, ao longo dos sulcos, de 10%. Foram calculadas duas eficiências de aplicação, uma com base na profundidade de solo arbitrada (Eae) e outra com base na profundidade calculada (Eac). Estes dados são mostrados na Tabela 12.

TABELA 12: Eficiências de Aplicação com Base nas Profundidades de Solo Arbitrada e Calculada.

TRATAMENTO	PROFUNDIDADE DE SOLO ARBITRADA (cm)	PROFUNDIDADE DE SOLO CALCULADA (cm)	Eae <sup>1</sup> (%)	Eac <sup>2</sup> (%)
1	25	16	98,86	65,96
2	50	44	77,15	68,24
3	75	71	77,90	69,84
4	100	100	87,81	87,81
MÉDIA	-	-	85,43	72,96

<sup>1</sup> Eficiência de aplicação calculada com base no volume de água armazenado no solo na profundidade arbitrada dividido pelo volume aplicado.

<sup>2</sup> Eficiência de aplicação calculada com base no volume de água armazenado no solo na profundidade calculada dividido pelo volume aplicado.

A Tabela 12 mostra que a eficiência de aplicação estimada aumenta com a profundidade, a partir do tratamento 2, com uma média de 85,43%. O tratamento 1 apresenta maior eficiência de aplicação, ao contrário do que se esperava, todavia este alto valor deve-se ao fato de ter-se considerado uma profundidade ar

bitrada do solo de 25 cm maior que a profundidade calculada que foi de 16 cm.

A eficiência de aplicação medida naturalmente cresceu com a lâmina aplicada. Seu valor médio igual a 72,96% sugere uma irrigação satisfatória, apesar de representar um valor 18,93% , menor que o teoricamente calculado. O valor médio encontrado supera a eficiência de aplicação em sulcos clássicos, obtida em estudos efetuados por NOGUEIRA (1976); LEAL (1979); PINTO (1980) e AUGUSTO et al (1985), cujos valores oscilaram entre 15,70% e 57%.

#### 4.6 - PERDAS POR PERCOLAÇÃO

As perdas por percolação determinadas na profundidade arbitrada (Ppe) e calculada (Ppc) são mostradas na Tabela 13.

TABELA 13: Perdas por Percolação com Base nas Profundidades Arbitrada (Ppe) e Calculada (Ppc).

TRATAMENTO	Ppe (%)	Ppc (%)
1	1,14	34,04
2	22,85	31,76
3	22,10	30,16
4	12,19	12,19
MÉDIA	14,57	27,03

A análise desta Tabela, mostra que a perda por percolação estimada diminui com o volume aplicado. A perda por percolação

medida, naturalmente decresce com a lâmina aplicada e apresenta um valor médio igual a 27,03%, equivalendo 2,7 vezes a perda por percolação estimada teoricamente.

#### 4.7 - UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO

As lâminas infiltradas por Perfil e por tratamento determinadas a partir do volume infiltrado na profundidade calculada, com suas respectivas uniformidades de distribuição, encontram-se na Tabela 14.

TABELA 14: Lâminas Infiltradas (mm) e Uniformidade de Distribuição, por Perfil e por Tratamento.

PERFIL	TRATAMENTO			
	1	2	3	4
A	11	42	27	48
B	9	25	22	46
C	6	22	19	49
D	11	25	42	44
E	8	25	30	55
Ud(%)	66,66	79,13	67,85	90,90
$\bar{U}_d$ (%)	76,13			

A uniformidade de distribuição apresenta menor valor no tratamento 1, aumenta no tratamento 2, decresce no tratamento 3 com relação ao tratamento 2 e apresenta maior valor no trata-

mento 4. Seu valor médio igual a 76,13% indica uma condição satisfatória de manejo, segundo (BERNARDO, 1982).

#### 4.8 - AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA

O cálculo teórico do comprimento do sulco foi efetuado segundo a Equação 03. Nesta Equação, os parâmetros vazão e comprimento foram determinados em função da velocidade de infiltração básica medida, da perda por percolação admitida e do perímetro molhado estimado.

O volume de água aplicado correspondeu ao volume requerido para a irrigação inicial. Na primeira irrigação, principalmente no seu início, a velocidade de infiltração ocorre a uma taxa muito superior a velocidade de infiltração básico do solo. Nestas condições, a vazão adotada é inferior a 10 vezes a velocidade de infiltração, proporcionando uma perda por percolação superior aos 10%, admitido na metodologia.

A perda por percolação calculada representa o volume de água infiltrada abaixo da profundidade desejada, com relação ao volume total aplicado. O volume infiltrado na profundidade desejada foi calculado tendo por base as linhas limites da frente de umedecimento. A determinação destes limites deu-se através de interpolação linear, o que pode ter ocasionado erros no volume infiltrado na profundidade desejada e conseqüentemente, na perda por percolação.

Considerando os valores da VIB e  $q$  determinados e a perda por percolação obtida com base nas profundidades calculadas, de



acordo com a Equação 03, obtém-se o valor do perímetro molhado igual a 0,53 m, que equivale a 2,65 vezes o valor do perímetro molhado adotado (0,20 m).

A Figura 05 apresenta valores teóricos de área média de infiltração e volume armazenado na superfície do sulco, em função do seu comprimento e de sua seção. Para o comprimento do sulco utilizado (35 m) e a área média de infiltração correspondente (16,0 m<sup>2</sup>), obtêm-se um perímetro molhado médio igual a 0,45 m, que equivale a 85% do perímetro molhado calculado.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 5.1 - CONCLUSÕES

Nas condições em que os testes foram conduzidos, os resultados do trabalho propiciaram concluir o que se segue:

- . O avanço da umidade no solo, após irrigação, formou duas frentes, uma chamada de bulbo efetivo e outra de frente de umedecimento.
- . A profundidade média do bulbo efetivo foi de 12, 21, 37 e 85 cm, nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.
- . A largura molhada média da frente de umedecimento foi de 91, 106, 112 e 130 cm, nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.
- . A eficiência de aplicação média e a uniformidade de distribuição média para os tratamentos, foram iguais a 72,96% e 76,13%, respectivamente.
- . A perda por percolação média obtida foi de 27,03% o que corresponde a 2,7 vezes a perda por percolação admitida teoricamente.
- . O perímetro molhado adotado em 0,20 m não deve ser empregado como valor representativo da seção para qualquer comprimento do sulco, e sim, o perímetro molhado

médio de acordo com a área de infiltração e o comprimento do sulco, na elaboração de projetos, segundo a metodologia proposta.

## 5.2 - RECOMENDAÇÕES

Objetivando obter-se mais informações sobre a metodologia de dimensionamento proposta e sobre o sistema de irrigação por sulcos fechados no final, recomenda-se:

- . Conduzir estudos similares para os volumes de reposição em Regosol e diferentes tipos de solo.
- . Após a aplicação dos volumes, medir a altura de água no início, meio e final do sulco, para determinação do perímetro molhado.
- . Considerando que existem poucos trabalhos desenvolvidos sobre o assunto, sugere-se um estudo mais detalhado sobre os princípios teóricos propostos por AZEVEDO et alii (1982).
- . Determinar a umidade do solo em intervalos de profundidade os menores possíveis, para diminuir o erro de interpolação, preferencialmente com o uso de sonda de neutrons.
- . Utilizar outros períodos de redistribuição, inclusive a cima de 24 horas, para determinação da umidade do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTO, S. G.; SOUZA, F. & COSTA, J. O. Eficiência e uniformidade de distribuição de água na irrigação por sulcos em declive. Revista Engenharia Agrícola da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Botucatu, 1985. Vol. 9. 48 p.

AZEVEDO, H. M. Características de infiltração em sulcos abertos e fechados. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1975, 56 p (Tese de Mestrado).

\_\_\_\_\_. Sequência para elaboração e cálculo do projeto de irrigação por sulco fechado com uso de tubo janelado. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1985, 30 p.  
(Apostila)

AZEVEDO, H. M.; SAMPAIO, F. M. A. S. & AZEVEDO, N. C. Metodologia para dimensionamento de sulco fechado no final. In: XII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Ilhéus, 1982.

BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 2ª Ed. Viçosa, UFV, Imprensa Univ. 1982, 463 p.

- BISHOP, A. A. Relation of intake rate to length of run is surface irrigation. Transactions of American Society of Civil Engineers. 1962. Paper 3344, V. 127, part 3.
- BRITO, R. A. L. & OLIVEIRA, C. A. V. Análise estatística de alguns parâmetros quanto aos seus efeitos sobre a eficiência de aplicação em irrigação por sulcos. In: V Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. ANAIS. Vol. 3. São Paulo, 1980. p 445-456.
- BURMAN, R. D.; NIXON, P. R.; WRIGHT, J. L. & PRUITT, W. O. Water requirements. In: "Design and operation of farm irrigation systems". (Jensen, M. E., ed). ASAE, Michigan, 1981. Chap 6, 220-221.
- COSTA, J. M. A política de recursos hídricos do Nordeste e a irrigação. In: Irrigação e Tecnologia Moderna. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, nº 7, Brasília, 1981, 45 p.
- DAKER, A. A água na agricultura: irrigação e drenagem. 6ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1984, 3ª Vol. 453 p.
- EMBRAPA, SNLCS. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.
- FAO. Anuário FAO de producción. Roma, FAO, 1982, pp 45-56.
- GRASSI, C. J. Métodos de riego. Petrolina, CIDIAT, 1975, 270 p. (mimeografado).

- \_\_\_\_\_. Estimacion de los usos consecutivos de agua e requerimiento de riego con fines de formulacion y diseños de proyectos. Merida, CIDIAT. 1968.
- HILLEL, D. Solo e água: fenômenos e princípios básicos. Porto Alegre, UFRGS, 1970.
- HOLZAPFEL, E. A.; MARIÑO, M. A. & MORALES, J. C. Comparison and selection of furrow irrigation models. In: Agricultural water management. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 1984, 9:20 p.
- LEAL, M. V. P. Determinação da eficiência de irrigação a nível de parcela, no projeto de irrigação Bebedouro-Petrolina, Pernambuco. Viçosa, Universidade Federal da Viçosa, 1979, 94 p. (Tese de Mestrado).
- LOPEZ, J. E. Riego por surcos. Petrolina, CIDIAT, 1973, 46 p. (mimeografado).
- MEDEIROS, J. D. F. Distribuição de água do microaspersor ED<sub>2</sub> em solo com barreira impermeável no perfil. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1987, 131 p. (Tese de Mestrado).
- MEREA, A. El IICA y el riego por goteo, em América Latina. IICA San José, Costa Rica, Abril 1978, 56 p.

- MILLAR, A. A. Movimiento de agua en el suelo. In: Terminologia usada en la Relacion Suelo-Agua-Planta. SUDENE-GEIDA/OEA - IICA, Petrolina, 1971, 9 p.
- NOGUEIRA, F. C. Determinação da eficiência de aplicação de água em sulcos nos perímetros irrigados no Estado da Paraíba. Campina Grande, 1976, 79 p (Tese de Mestrado).
- OLITTA, A. F. L. Os métodos de irrigação. 1ª Ed. São Paulo, Nobel S/A, 1978, 267 p.
- PINTO, D. S. Efeito da vazão e da declividade sobre as perdas de água e sobre a eficiência de aplicação na irrigação por sulco. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1980, 73 p. (Tese de Mestrado).
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-água-atmosfera. 4ª Ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985.
- RICHARDS, L. A. Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos. Washington, USDA, 1954. 172 p (Manual de Agricultura, 60).
- SAMPAIO, F. M. A. S. Distribuição da água em solos irrigados por gotejamento. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1976, 45 p (Tese de Mestrado).
- SCALOPPI, E. J. A method for evaluating infiltration parameters in surface irrigation. In: Congress on Irrigation and

Drainage 12, Fort Collins, Colorado, 1984.

\_\_\_\_\_. Eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão. In: Irrigação e Tecnologia Moderna. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. Nº 16, Brasília, 1984.

SILVA, A. T. & DUARTE, E. F. Irrigação: fundamentos e métodos. UFRRJ, Instituto de Tecnologia, 1980, 179 p.

SKAGGS, R. W.; MILLER, D. E. & BROOKS, R. H. Soil Water. In: Design and operation of farm irrigation systems. (Jensen, M. E., ed). ASAE, Michigan, 1981, Chap 4, Part II, 116.

UFPB. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1984.

VILLEGAS, J. M. Agricultura, irrigação e planejamento: uma visão global. Brasília, MINTER/IICA, 1984.

WILLARDSON, L. S. & BISHOP, A. A. Analysis of surface irrigation application efficiency. In: Journal of the irrigation and drainage. ASCE, June, 1967, pp 21 - 36.

WINTER, E. J. Water, soil and the plant. London, The Macmillan Press, 1974, 170 p.



**A N E X O**

## ANÁLISE MORFOLÓGICA DO SOLO

DATA: 22/11/85

CLASSIFICAÇÃO: REGOSOL EUTRÓFICO COM FRAGIPAN FASE CAATINGA HIPER-  
XERÓFILA RELEVO PLANO.

LOCALIZAÇÃO: SOUZA-PB, PROPRIEDADE PRENSA, EM ÁREA IRRIGADA.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Trincheira aberta em área plana (0-3%) a  
350m da casa sede.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA:

MATERIAL ORIGINÁRIO: Saprolito de granito (?)

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano a ondulado

DRENAGEM: Moderadamente drenado

EROSÃO: Laminar ligeira

VEGETAÇÃO REGIONAL: Caatinga hiperxerófila

PEDREGOSIDADE/ROCHOSIDADE: Ausente

A<sub>p</sub> - 0-22cm; \_\_\_\_\_ (10 YR 3/5, U); franco are-  
noso, maciça não coerente; muitos poros pequenos a mē-  
dios; macio, muito friável, não plástico e não pegajo-  
so; transição abrupta e plana.

C<sub>1</sub> - 22-72cm; \_\_\_\_\_ (10 YR 5/5, U); franco are-  
noso; maciça muito coerente, muitos poros pequenos ;  
extremamente duro, friável, não plástico e não pegajo-  
so; transição clara e plana.

C<sub>2</sub> - 72-106cm; \_\_\_\_\_ (10 YR 5/6, U); mosqueado  
pequeno difuso \_\_\_\_\_ (7,5 YR 4/6, U) ;  
muitos poros pequenos; extremamente duro, friável ,  
não plástico e não pegajoso; transição clara e plana.

C<sub>3x</sub> - 106-120cm+; \_\_\_\_\_ (10 YR 6/4m U); mosqueado  
pequeno difuso \_\_\_\_\_ (7,5 YR 4/6, U); a-  
reia franca; maciça muito coerente; poros comuns pe-  
quenos; extremamente duro, muito firme, não plásti-  
co e não pegajoso.

RAÍZES: Poucas finas no A<sub>p</sub>; raras finas no C<sub>1</sub>.

TABELA 01: Conteúdo de Água do Solo versus Potencial Matricial

POTENCIAL MATRICIAL (KPa)	PROFUNDIDADE DO SOLO ( cm )			
	0-25	25-50	50-75	75-100
	UMIDADE DO SOLO ( % PESO SECO )			
-10	18,17	19,06	17,51	19,44
-33	11,84	13,70	12,90	13,26
-50	10,36	11,93	11,47	12,03
-100	8,04	9,33	9,27	9,89
-300	6,22	7,22	7,09	7,72
-500	5,99	7,02	6,85	7,44
-1000	5,89	6,98	6,78	7,40
-1500	5,80	6,85	6,73	7,36

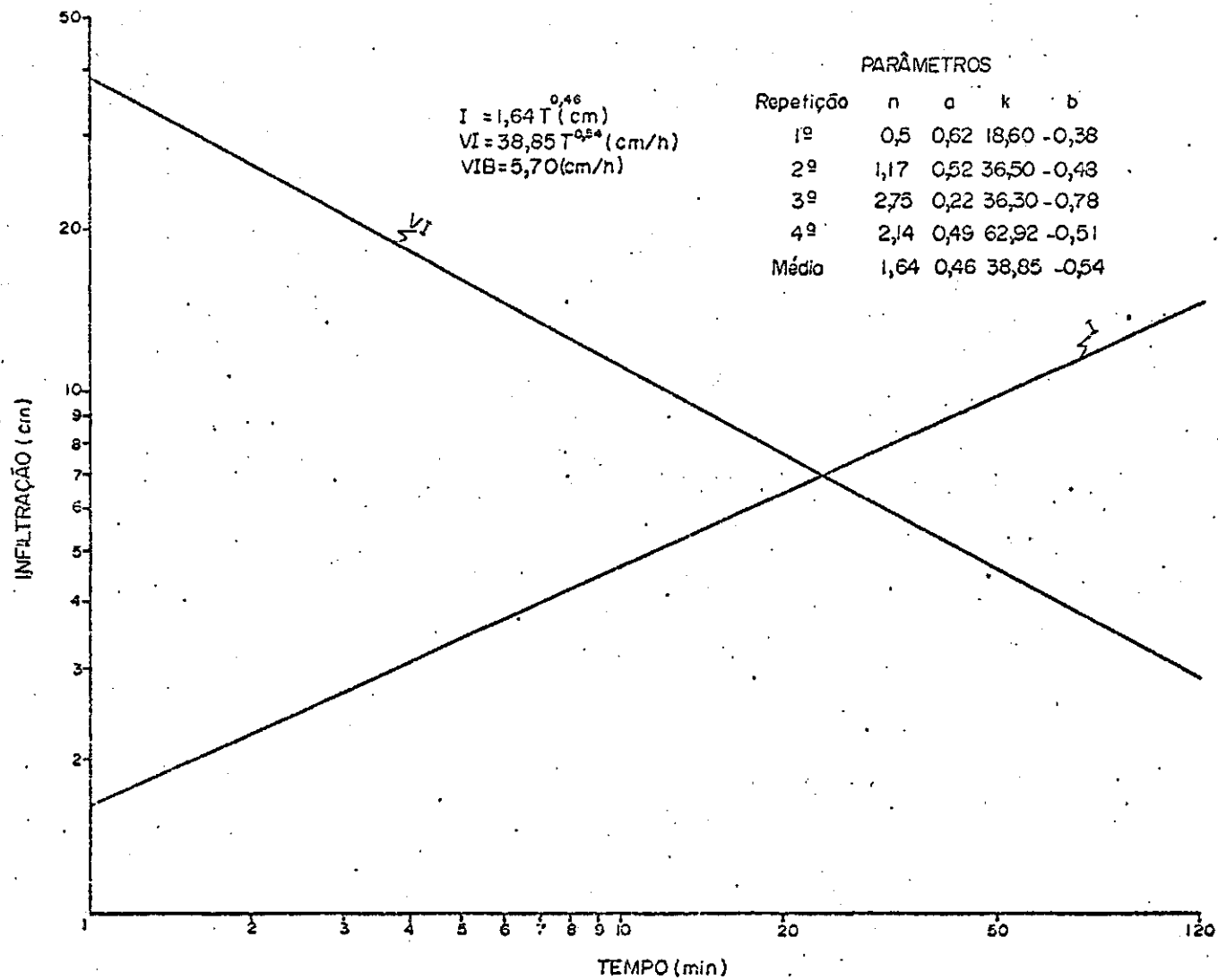


FIG. 1 - Curvas de infiltração acumulada e instantânea da profundidade de solo (média de 4 repetições).