

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

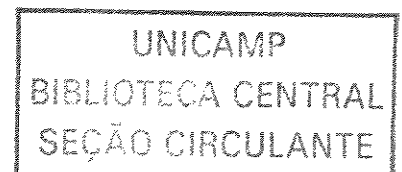
**PARÂMETROS DE PROJETO DE SULCOS LARGOS DE  
INFILTRAÇÃO**

**Rogério Teixeira da Silva**

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

**Campinas  
2002**

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**PARÂMETROS DE PROJETO DE SULCOS LARGOS DE  
INFILTRAÇÃO**

**Rogério Teixeira da Silva**

**Orientador : Dirceu Brasil Vieira**

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese.	
Prof. Dr.	<u>Dirceu Brasil Vieira</u>
Matrícula:	<u>3843-1</u>

**Campinas  
2002**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si38

P

Silva, Rogério Teixeira da  
~~Determinação de~~ parâmetros de projeto de sulcos  
largos de infiltração / Rogério Teixeira da Silva. --  
Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Dirceu Brasil Vieira.  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Águas residuais de irrigação. 2. Águas residuais no  
solo. 3. Resíduos – Eliminação no solo. 4. Resíduos  
industriais. 5. Irrigação por sulcos. I. Vieira, Dirceu  
Brasil. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade  
de Engenharia Civil. III. Título.

Avista que esta é a versão definitiva  
da documentação.

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr.  
Márcio

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**PARÂMETROS DE PROJETO DE SULCOS LARGOS DE INFILTRAÇÃO**

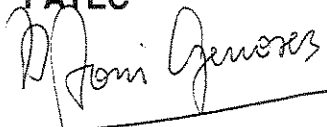
**ROGÉRIO TEIXEIRA DA SILVA**

**Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

  
**Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira**  
**Presidente e Orientador/UNICAMP**

  
**Profa. Dra. Regina Célia de Matos Pires**  
**Instituto Agrônômico de Campinas**

  
**Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles**  
**FATEC**

  
**Profa. Dra. Ana Inés Borri Genovez**  
**FEC/UNICAMP**

  
**Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior**  
**FEC/UNICAMP**

Campinas, 15 maio de 2002

02/11/2003

*Ao meu filho LUCA*

*DEDICO*

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira, pela orientação, amizade, estímulo e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Dra. Ana Inés Borri Genovez e Dr. Renato Soliani da Faculdade de Engenharia Civil / Unicamp, por suas idéias e cooperações na realização deste trabalho.

Aos diretores e funcionários das Indústrias Citrosuco Paulista S/A e Bascitrus Agroindústria S/A pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Aos funcionários do Laboratório de Hidrologia e do Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia Civil /Unicamp.

À Faculdade de Engenharia Civil pela oportunidade e ao Departamento de Recursos Hídricos pelo apoio durante o programa de Pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - (FAPESP), pelo suporte financeiro.

À minha família, e em especial à minha esposa Alessandra pela paciência e o apoio nas horas difíceis.

A Deus por ter me iluminado e proporcionado esse caminho.

# Sumário

Capa .....	
folha de rosto .....	
folha de aprovação .....	
dedicatória .....	
agradecimentos .....	
sumário .....	
Lista de figuras .....	
Lista de tabelas .....	
Lista de abreviaturas e símbolos .....	
resumo .....	
<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	
1.1 - Objetivos .....	
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	
2.1 - O aproveitamento de efluentes industriais e a técnica de disposição no solo .....	
2.2 - A irrigação com efluentes industriais .....	
2.3 - O efluente líquido industrial .....	
2.4 - Os sulcos de infiltração .....	
2.5 - O desempenho da irrigação por sulcos .....	
2.6 - Aspectos do dimensionamento dos sulcos de irrigação .....	
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	
3.1 - Determinação dos parâmetros hidráulicos .....	
3.2 - Testes de avanço e infiltração .....	
3.3 - Obtenção das equações de avanço .....	
3.4 - O detalhamento do perfil transversal dos sulcos .....	
3.5 - Esquema das vazões de abastecimento .....	
3.6 - Obtenção das equações de infiltração .....	
3.6.1 - método da “entrada-saída” .....	
3.6.2 - método do tempo de contato médio .....	
3.7 - Desenvolvimento de programa computacional .....	
3.8 - Parâmetros de dimensionamento .....	
3.9 - Levantamento topográfico .....	
3.10 - Caracterização física do solo .....	
3.11 - Classes texturais dos diferentes tipos de solo .....	
3.12 - A coleta de dados .....	
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	
4.1 - O programa “INFILTRAÇÃO” .....	
4.2 - Determinação do coeficiente de Manning .....	
4.3 - Testes de avanço e teste de infiltração .....	
4.4 - Determinação dos sulcos hidráulicamente mais corretos .....	
4.5 - Comparação das vazões de abastecimento .....	
4.6 - Comparação entre os tempos de irrigação .....	
<b>5 - CONCLUSÕES .....</b>	
ANEXO - 01 .....	
ANEXO - 02 .....	
ANEXO - 03 .....	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	
ABSTRACT .....	

## Lista de figuras

nº	TÍTULO	Pg.
01	- Curva de avanço e de recessão .....	18
02	- Disposição dos sulcos – Área-A .....	24
03	- Disposição dos sulcos – Área-C .....	24
04	- Mapa do estado de São Paulo com a localização das áreas experimentais .....	24
05	- Perfil transversal de um sulco largo de infiltração .....	25
06	- Detalhe da calha de saída – Área C .....	29
07	- Detalhe da calha de saída – Área B .....	29
08	- Detalhe da calha de saída – Área A .....	29
09	- Sensores de ultra-som em tubo PVC .....	30
10	- Base de comando e leitura de dados .....	30
11	- Abastecimento do canal e o tranquilizador .....	30
12	- Vista frontal da calha .....	30
13	- Detalhe das marcações da seção transversal .....	32
14	- Perfil transversal dos sulcos (Área-A) .....	43
15	- Perfil transversal dos sulcos (Área-B) .....	43
16	- Perfil transversal dos sulcos (Área-C) .....	43
17	- Exemplo de Curva Característica da Água no Solo (Área-B) .....	44
18	- Caderneta de campo : Área-B (primeira repetição) : sulco 1, teste 1 (slt1) .....	46
19	- Tela de apresentação do programa "INFILTRAÇÃO" .....	48
20	- Janela para a abertura dos projetos já em andamento ou dos exemplos do programa .....	48
21	- Tela para o registros dos dados de entrada (dados dos testes de campo) .....	49
22	- Obtenção da equação da infiltração e da equação do avanço .....	50
23	- Obtenção da curva de avanço .....	51
24	- Detalhamento da infiltração na fase de avanço .....	52
25	- Detalhes da área superficial do sulco submetida à frente de umedecimento na fase de avanço .....	54
26	- Detalhamento da infiltração após a fase de avanço .....	56
27	- Composição gráfica do perfil da infiltração ao longo do sulco .....	58
28	- Balanço dos volumes totais .....	59
29	- Representação gráfica do balanço de volumes e os resultados da avaliação hidráulica do sulco .....	59
30	- Demonstração sobre a linha de raciocínio utilizada pelo programa "INFILTRAÇÃO" .....	62
31	- Demonstração sobre a linha de raciocínio utilizada pelo programa "INFILTRAÇÃO" .....	62
32	- Demonstração sobre a linha de raciocínio utilizada pelo programa "INFILTRAÇÃO" .....	63



LISTA DE FIGURAS – continuação :

33	- Demonstração sobre a linha de raciocínio utilizada pelo programa "INFILTRAÇÃO" .....	63
34	- Classificação do coeficiente de rugosidade de Manning " $n_m$ " .....	65
35	- Esquema para a obtenção da equação de infiltração pelo método "entrada-saída" .....	69
36	- Esquema para a obtenção da equação de infiltração pelo método do "tempo de contato médio" .....	70
37	- Relação entre a vazão de entrada e a infiltração acumulada .....	83
38	- Relação entre a declividade e a infiltração acumulada .....	84

## Lista de tabelas

nº	TÍTULO	Pg.
01	- Valores dos coeficientes “C” e “u” .....	21
02	- Resultados do levantamento topográfico – Área-A .....	41
03	- Resultados do levantamento topográfico – Área-B .....	42
04	- Resultados do levantamento topográfico – Área-C .....	42
05	- Capacidade de retenção da água no solo (Área-B) .....	44
06	- Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning – Área-A .....	65
07	- Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning – Área-B (1ª repetição) .....	66
08	- Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning – Área-B (2ª repetição) .....	67
09	- Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning – Área-C .....	67
10	- Resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação e desempenho hidráulico – Área-A .....	71
11	- Resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação e desempenho hidráulico – Área-B (primeira repetição) .....	72
12	- Resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação e desempenho hidráulico – Área-B (segunda repetição) .....	73
13	- Resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação e desempenho hidráulico – Área-C .....	74
14	- Parâmetros do desempenho hidráulico – Área-A .....	77
15	- Parâmetros do desempenho hidráulico – Área-B (primeira repetição) .....	77
16	- Parâmetros do desempenho hidráulico – Área-B (segunda repetição) .....	78
17	- Parâmetros do desempenho hidráulico – Área-C .....	78
18	- Redução do comprimento dos sulcos após a simulação para alcançar ED ≥ 60% .....	79
19	- Testes que reúnem as melhores condições. Areia franca, Área-A, Citrosuco/Matão-SP .....	81
20	- Testes que reúnem as melhores condições. Franco argilo arenoso, Área-B, Citrosuco/Limeira-SP ..	81
21	- Valores da vazão de entrada e da infiltração acumulada .....	82
22	- Valores da declividade e da infiltração acumulada .....	83
23	- Dados de entrada para a aplicação do programa INFILTRAÇÃO – Área-A .....	85
24	- Resultados da aplicação do programa INFILTRAÇÃO – Área-A .....	85
25	- Dados de entrada para a aplicação do programa INFILTRAÇÃO – Área-B .....	86
26	- Resultados da aplicação do programa INFILTRAÇÃO – Área-B .....	86
27	- Valores de Q calculado pelas equações (4.6.6) e (2.6.1) .....	87
28	- Agrupamento dos valores de “T <sub>ap total</sub> ” e “tc <sub>Hi</sub> ” (Área-B – primeira repetição) .....	89
29	- Agrupamento dos valores de “T <sub>ap total</sub> ” e “tc <sub>Hi</sub> ” (Área-B – segunda repetição) .....	90

## Lista de abreviaturas e símbolos

A	=	coeficiente da equação de infiltração;
A	=	área da seção transversal do sulco, m <sup>2</sup> ;
A <sub>o</sub>	=	área da seção transversal inicial do sulco, m <sup>2</sup> ;
B	=	coeficiente da equação de avanço;
C	=	constante da equação de infiltração;
CC	=	capacidade de campo, %;
C <sub>s</sub>	=	coeficiente de armazenamento superficial;
CV	=	coeficiente de variação, %;
D <sub>g</sub>	=	densidade global das partículas do solo, g/cm <sup>3</sup> ;
E <sub>i</sub>	=	eficiência da irrigação, %;
ETR	=	evapotranspiração real da cultura, mm/dia;
E <sub>a</sub>	=	eficiência de aplicação, %;
E <sub>a-sim</sub>	=	eficiência de aplicação simulada, %;
ED	=	eficiência de distribuição, %;
ED-sim	=	eficiência de distribuição simulada, %;
F	=	velocidade de infiltração instantânea (capacidade de infiltração), cm/h;
F	=	lâmina de infiltração, mm;
F <sub>av</sub>	=	lâmina média infiltrada no final da fase de avanço, mm;
F <sub>inf (fa)</sub>	=	lâmina infiltrada na fase de avanço, mm;
F <sub>inf (pfa)</sub>	=	lâmina infiltrada após a fase de avanço, mm;
F <sub>ret (pfa)</sub>	=	lâmina retida após a fase de avanço, mm;
F <sub>rest</sub>	=	lâmina média que resta infiltrar, mm;
H	=	altura do nível d'água, m;
H <sub>i</sub>	=	lâmina hídrica líquida de irrigação, mm;
H <sub>b</sub>	=	lâmina hídrica bruta de irrigação, mm;
I	=	declividade do sulco, ‰;
L	=	comprimento do sulco, m;
L <sub>sim</sub>	=	comprimento simulado do sulco, m;
N	=	coeficiente da equação de infiltração;
n <sub>m</sub>	=	coeficiente de rugosidade da equação de Manning;
PH	=	potencial hidrogeniônico;
P <sub>m</sub>	=	perímetro molhado, m;
PM	=	ponto de murcha permanente, %;
Q ou Q <sub>e</sub>	=	vazão de abastecimento dos sulcos (vazão de entrada); m <sup>3</sup> /h;

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS – continuação :

Qs	=	vazão de saída dos sulcos (vazão de entrada); m <sup>3</sup> /h;
R	=	coeficiente da equação do avanço;
R	=	reserva de água no solo, %;
Rh	=	raio hidráulico;
S	=	espaçamento entre sulcos, m;
SAR	=	Sodium Adsorption Ratio;
T	=	tempo de infiltração, min;
Ta	=	tempo de avanço, min;
Ta <sub>x</sub>	=	tempo de avanço até uma certa distância "x"; min;
Tap	=	tempo de aplicação restante, min;
Tap total	=	tempo total de aplicação, min;
Tc	=	tempo de contato médio, min;
Tc f	=	tempo de contato médio final, min;
tc Hi	=	tempo de contato médio correspondente à infiltração da lâmina "Hi", min;
Tt	=	tempo total de infiltração, min;
UA	=	umidade atual, %
UC	=	umidade crítica, %;
V	=	velocidade do escoamento, m/s;
V <sub>F</sub>	=	volume infiltrado, m <sup>3</sup> ;
V apl (fa)	=	volume aplicado na fase de avanço, m <sup>3</sup> ;
V arm (fa)	=	volume armazenado na fase de avanço, m <sup>3</sup> ;
V inf (fa)	=	volume infiltrado na fase de avanço, m <sup>3</sup> ;
V perc (fa)	=	volume percolado na fase de avanço, m <sup>3</sup> ;
V perc <sub>x</sub>	=	volume percolado na fase de avanço até uma distância "x", m <sup>3</sup> ;
V ret (fa)	=	volume retido na fase de avanço, m <sup>3</sup> ;
V ret <sub>x</sub>	=	volume retido na fase de avanço até uma distância "x", m <sup>3</sup> ;
Δt	=	intervalo de tempo entre duas medições, min;
ψc	=	potencial matricial crítico;

## **Resumo**

Teixeira da Silva, Rogério. PARÂMETROS DE PROJETO DE SULCOS LARGOS DE INFILTRAÇÃO. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. p.120. Tese de Doutorado.

Este trabalho tem como objetivos básicos, estudar o desempenho hidráulico do sistema de sulcos largos, utilizado para a disposição e o tratamento do efluente das indústrias de sucos cítricos. O efluente é gerado nas unidades de produção durante o período de processamento das frutas, tendo como destino final as estações de tratamento que utilizam as lagoas anaeróbias ou, alternativamente, o tratamento através de sua disposição na superfície do solo. Tal disposição é feita de diversas formas, como por exemplo, através dos sulcos largos de infiltração, cujos parâmetros de dimensionamento ainda são desconhecidos. O estudo do desempenho hidráulico tem como finalidade determinar os parâmetros para o dimensionamento desses sulcos, bem como comparar a equação de infiltração obtida pelo método da “entrada e saída” e pelo método do “tempo de contato médio”. No caso da aplicação do efluente industrial que não é propriamente uma irrigação, o interesse maior não é a cultura, mas sim a eliminação do efluente líquido e, portanto, busca-se aplicar lâminas maiores, desde que isso não cause risco de poluição ou contaminação da água subterrânea. Assim, há necessidade de verificar a validade desses métodos para o tipo de sulco utilizado, tanto sob o aspecto de suas características dimensionais, como da lâmina aplicada para diferentes classes texturais de solo.

**Palavras Chave** : irrigação por superfície, aplicação de efluentes, disposição no solo

## 1. Introdução

O destino final de efluentes industriais é um problema de grande importância, tanto pela natureza poluidora e corrosiva desses líquidos, como pelo grande volume produzido. As normas de proteção dos recursos hídricos proíbem seu lançamento nos cursos d'água. Dessa forma, as empresas são obrigadas a investir em sistemas de tratamento, como lagoas de estabilização ou de processo tipo anaeróbio, como por exemplo, o digestor anaeróbio de fluxo ascendente - **(FIGUEIREDO et al., 1991)** que geralmente exigem grandes investimentos para a implantação e manutenção. Em contrapartida, técnicas alternativas como aplicações de efluentes líquidos no solo podem ser utilizadas **(AZAD, 1976)**.

O exemplo da vinhaça produzida nas destilarias de álcool de cana-de-açúcar, hoje normalmente aplicados na lavoura canavieira, atesta as possibilidades da utilização de sistemas de irrigação como técnica alternativa para o tratamento de efluentes industriais líquidos. Tal aplicação vem proporcionando grandes benefícios à lavoura canavieira dadas as suas qualidades fertilizantes, notadamente o teor de potássio e matéria orgânica, além da própria água, constituindo-se numa verdadeira fertirrigação **(PLANALSUCAR, 1979)**, **(LORENZETTI & FREITAS, 1979)**.

O efluente da indústria de sucos cítricos, mesmo não apresentando o mesmo valor de fertilização que a vinhaça sob o ponto de vista agrícola, tem boas qualidades e problemas semelhantes para seu destino final. Seu emprego na cultura de citros confronta-se com uma grande preocupação fitossanitária de agrônomos e citricultores no que diz respeito ao risco da transmissão de doenças causadas por fungos e bactérias, entre estas, o cancro cítrico. Tais efluentes além de conter as águas provenientes dos processos industriais, agregam também as águas de lavagem das frutas que chegam à indústria. **(FIGUEIREDO et al., 1991)** relatam resultados de experiência sobre tratamento de efluente da indústria de sucos da Citrosuco Paulista

S/A, em Matão/SP, utilizando o sistema de irrigação por aspersão em área cultivada com grama “Pensacola”, mostrando bons resultados.

As áreas gramadas exigem manutenção e cortes freqüentes, o que representa gastos sem retorno. Por este motivo, idealizou-se utilizar a cultura do eucalipto irrigada pelo sistema de sulcos de infiltração. O eucalipto além de consumir grande quantidade de água tem importante valor econômico e, portanto, seu emprego é mais vantajoso que a grama.

A utilização do eucaliptal associada aos sulcos de infiltração vem sendo praticada por algumas empresas. Os sulcos são bastante largos, cerca de 1,5 a 3,0 metros de largura, o que propicia um grande perímetro molhado. Todavia, os critérios para o dimensionamento deste sistema bem como o seu desempenho, são praticamente desconhecidos. Posicionam-se entre os sulcos comuns e as faixas de infiltração, que por sua vez possuem metodologias de uso consagradas com parâmetros de dimensionamento muito bem definidos.

## **1.1. Objetivo**

O presente trabalho teve por objetivos avaliar o desempenho hidráulico do sistema de sulcos largos utilizados no tratamento do efluente da indústria de sucos cítricos, comparar a equação de infiltração obtida pelo método de entrada e saída e pelo método do avanço da água, bem como desenvolver programa computacional para projeto e avaliação de irrigação por sulcos.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. O aproveitamento de efluentes industriais e a técnica de disposição no solo**

Segundo (BHAMIDIMARRI, 1991) durante os últimos 20 anos a concepção de uma tecnologia apropriada tem sido crescentemente introduzida em vários setores da indústria, tanto nos países desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento. Entretanto, tendo em vista a diversidade dos processos industriais para os quais estes conceitos são usados, ainda tem ocorrido muitas práticas não coerentes e que portanto não podem ser aceitas mundialmente. Levando em consideração os objetivos e características, a apropriada tecnologia pode ser definida como: "aquela adaptada ao meio social, cultural e condições ambientais, baseada em baixo investimento, com simples organização e operação, e ainda dentro dos princípios de conservação dos recursos ambientais".

(THOMA et al, 1993) descrevem que mudanças na legislação governamental sobre o manejo da qualidade da água fez surgir uma reavaliação da técnica da disposição de águas residuárias no solo. Entretanto, regulamentos mais estritos necessitam do desenvolvimento de um plano multi-disciplinar para assegurar que a disposição de águas residuárias no solo sejam funcionais e ambientalmente sustentáveis durante um longo tempo. A principal preocupação são os impactos causados no solo pelo descontrole da descarga de nutrientes, sal e outros contaminantes, ao longo do tempo. Comentam que tanto na Europa quanto na América, a técnica da disposição de efluente no solo para o seu tratamento tem uma longa história. Na Austrália, há registros que demonstram que em 1893 esta técnica já era usualmente aplicada, o que talvez tenha se tornado uma alternativa atrativa pelo fato das condições climáticas da Austrália favorecerem o bom desempenho do método, por exemplo, proporcionando boas condições para uma alta evapotranspiração. Além disso, a escassez dos recursos hídricos neste continente



incentivou a formação do conceito da reciclagem das águas residuárias provenientes das indústrias, o que também foi sustentado por órgãos governamentais.

(SCHRALE et al., 1993) comentam sobre o grande problema existente no sul da Austrália no que diz respeito ao destino final das águas recuperadas provenientes dos resíduos líquidos industriais e urbanos. Defendem a viabilidade econômica da técnica de disposição no solo afirmando que esta alternativa pode reduzir significativamente a degradação marinha e ainda fazer surgir grandes áreas de cultivo com a utilização destas águas recuperadas via irrigação. Citam, portanto, que com a construção de uma tubulação de 12 km seria possível desviar a água da planície costeira do norte da cidade de Adelaide para uma área com potencial para a irrigação de horticultura de 3.500 ha, e ainda, com a construção de uma outra tubulação de 18 km mais ao norte, poderia disponibilizar água recuperada para irrigar uma área de 4000 ha para a produção de madeira.

(HAANDEL & CATUNDA, 1994) descrevem que a indústria de álcool no Brasil é responsável pela geração de aproximadamente 480.000 m<sup>3</sup>/ano do subproduto vinhaça originária do processo de fermentação do suco da cana-de-açúcar para a produção de álcool, conseqüentemente, o destino final deste grande volume torna-se uma relevante questão ambiental.

(THOMA et al., 1993) pesquisando métodos para o desenvolvimento da disposição de efluentes líquidos no solo, citam um estudo que descreve o planejamento e o projeto de um sistema de disposição no solo que utiliza o efluente originado a partir de um processo químico industrial para irrigar uma plantação de eucalipto na parte ocidental da metrópole de Melbourn na Austrália. O eucalipto selecionado não somente proporcionou uma alta evapotranspiração como também conseguiu se desenvolver satisfatoriamente nas condições de solo desfavoráveis das planícies basálticas localizadas na região oeste de Melbourn, onde estão concentradas algumas indústrias. Os dados de evaporação conseguidas por tanques classe-A do centro meteorológico de Laverton serviram de base para tal estudo. Outras informações importantes como os dados de precipitação, características da cultura, a estrutura e a salinidade do solo e as características da água da irrigação, também foram estudadas visando a identificação das limitações hidráulicas.

(ABDULRAZZAK & KHAN, 1990) comentam que a cidade industrial de Medinat Al-Jubail Alsinaiya localiza-se no Golfo Árabe na parte oriental da Arábia Saudita. Trata-se de uma região árida com disponibilidade de recursos hídricos muito limitada, o que vem a ser agravado

pela pouca água subterrânea existente e o alto custo da dessalinização da água do mar. Por estes motivos o governo da Arábia Saudita tem se mobilizado para utilizar toda a água residuária tratada como fonte de água para a irrigação, (FAROOQ & AL-LAYLA, 1987).

(MOHAMMAD & NAKHLA, 1995) comentam que diferentes métodos tem sido aplicados em diversas partes do mundo para administrar o uso do efluente para a irrigação. Isto reflete na dificuldade e precisão de se avaliar o risco da irrigação com o uso da água residuária tratada. Concluem finalmente que a prática do reuso de águas residuárias através de irrigações de jardins em Medinat Al-Jubail Alsinaiya na Arábia Saudita é bem estabelecida e tem um grande sucesso. O efluente tratado tem reduzido efetivamente a poluição do meio ambiente como também os custos para o paisagismo desta região, pois promovem uma preciosa fonte de suprimento de água para os campos ajardinados irrigados por aspersão.

## **2.2. A irrigação com efluentes industriais**

De acordo com (BHAMIDIMARRI, 1991) a irrigação com águas residuárias envolve uma descarga controlada do efluente via aspersão ou sulcos, o que por sua vez, promove a reciclagem de nutrientes e a facilidade de sua disposição. Esta descarga pode ser utilizada em pastagens visando apenas a eliminação do efluente, ou então, em culturas com valor comercial, com o objetivo de eliminar o efluente e favorecer o crescimento das plantas. Sua aplicação também é atrativa quanto ao aspecto de custos desde que tal efluente tenha potencial fertilizante, isto é, seja rico por exemplo em nitrogênio, fósforo e potássio, como é o caso dos efluentes oriundos das indústrias de processamento de carne existentes na Nova Zelândia. A este respeito (THOMA et al., 1993) descrevem que a irrigação com água residuária tratada parece ser pouco diferente da irrigação convencional (com água “limpa”). De fato alguém poderia argumentar que os nutrientes e matéria orgânica contidos no efluente poderiam tornar esta irrigação uma alternativa inteligente na qual seria reduzido ou até mesmo eliminado o custo de fertilizantes melhorando o solo por um longo período.

(KIDDER, s/d) comenta que no Brasil, particularmente no Estado de São Paulo, a aplicação de vinhaça na lavoura de cana-de-açúcar é técnica rotineira na maioria das usinas de açúcar e álcool. (ANDRADE, 1996) afirma que as primeiras aplicações de vinhaça no campo

datam de 1918. Atualmente a fertirrigação da cana-de-açúcar com vinhaça utilizando principalmente o sistema de aspersão é empregado nas destilarias de álcool, notadamente devido sua riqueza em potássio, o que economicamente viabiliza sua utilização.

(GELLMAN & BLOSSER, 1959) citam que haviam nos Estados Unidos mais de 100 instalações de irrigação por aspersão e de sulcos de infiltração usando efluentes gerados em fabricas de papel. Os melhores resultados eram obtidos quando o solo era recoberto com pastagens, ainda que houvessem dificuldades para a sua manutenção.

(VIEIRA, 1983), estudando a aplicação de vinhaça na dosagem 1:6 aplicada por aspersão em cultura de cana-de-açúcar em solo do tipo latossolo roxo, concluiu que sua aplicação de acordo com a capacidade de retenção de água do solo na profundidade de irrigação da cultura, não causa alterações químicas que possam fornecer indícios de poluição da solução do solo no perfil até 2,0 metros de profundidade.

Conforme descrevem (POUND & CRITES, 1973), importantes fatores foram responsáveis pelo aumento do interesse pelo uso dessa técnica, onde o principal agente propulsor foi a intensificação dos esforços para se reduzir a carga de poluentes lançados diretamente nos mananciais d'água de todo o país. A disposição no solo é uma medida que pode eliminar a descarga de efluentes em mananciais e ainda promover uma alternativa econômica diante dos métodos convencionais de tratamento de águas residuárias. Além disso, a disposição no solo evita os problemas ocorridos nos tratamentos convencionais provocados pelos efluentes oriundos das indústrias com operação sazonal.

A aplicação de efluentes no solo tem sido mais amplamente explorada pelas indústrias alimentícias, indústrias de sucos concentrados de fruta, papel e laticínios. Ocorreram duas razões primordiais para que estas indústrias explorassem a técnica de disposição no solo, ou seja: a) a localização do processo de operação em áreas rurais com fácil acesso ao uso da terra, e, b) a constituição de seus efluentes, que geralmente não são tóxicos e facilmente biodegradáveis. Neste contexto, estes autores publicaram um trabalho apresentando conhecimentos e técnicas de aplicação do tratamento de efluentes industriais e urbanos. Neste estudo foram discutidos os três métodos mais importantes para a aplicação dos efluentes no solo, ou seja, via aspersão, por inundação ou por sulcos. Comentam que, de uma forma geral, o método de disposição no solo por aspersão é aquele cuja técnica apresenta a maior confiabilidade e melhores resultados no que diz respeito à reciclagem (renovação) do efluente líquido, tempo de utilização mais prolongado e

elevada minimização dos efeitos ambientais adversos. (POUND & CRITES, 1973) afirmam ainda que a renovação do efluente ocorre geralmente depois da passagem do mesmo através de uma camada (perfil) de solo de aproximadamente 60 cm a 120 cm de profundidade a partir da superfície do solo. Segundo a Norma L10-101 (CETESB, 1988) o tratamento destes resíduos se dá em uma camada reativa no solo com 50 centímetros de espessura a partir da superfície, acrescida de uma zona de polimento com 100 centímetros. O monitoramento para determinar a remoção do efluente geralmente não é praticado, porém, onde isto é feito, a remoção encontrada pode chegar até 99% para DBO e sólidos suspensos. Dependendo do tipo de solo e da vegetação que o recobre, a remoção de nitrogênio e fósforo podem atingir valores bem satisfatórios. (METCALF & EDDY, 1979) também citam os principais métodos de tratamento de efluentes no solo (escoamento superficial, infiltração-rápida e irrigação), onde os microrganismos, agentes da biodegradação do efluente, podem atuar com grande eficiência.

(CARDOSO, 1992) descreve que o tratamento ocorre graças à biodiversidade microbiana existente nesse grande reservatório que é o solo, sendo que o número e a diversidade de microrganismos no solo são extremamente variáveis e dependem das condições ambientais predominantes. Neste sentido, (CUNHA et al., 1991) comentam que no processo de tratamento no solo, várias condições são importantes para se ter um bom desempenho. É fundamental evitar a biodegradação anaeróbia, por ser um processo mais lento e incompleto, mudando o potencial redox do solo e favorecendo a lixiviação dos constituintes perigosos. A presença de oxigênio evita a produção de compostos indesejáveis, tais como: sulfeto de hidrogênio, aminas e mercaptanas que causam problemas de odor.

A matriz do solo representa uma zona de tratamento onde muitas interações e processos físicos, químicos e biológicos contribuem para a renovação da água residuária aplicada no solo. Os mecanismos de renovação incluem os processos de oxidação, adsorção, precipitação, filtração e troca de íons. O tratamento no solo envolve alguns parâmetros, como por exemplo, os sólidos suspensos, a matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, metais pesados, boro, outros sólidos dissolvidos, bactérias e vírus. A biodegradação orgânica medida pela DBO pode ser quase totalmente removida pela matriz do solo.

O mecanismo de filtração separa os sólidos suspensos orgânicos (voláteis) da água residuária conforme esta se infiltra no solo, e a oxidação bacteriológica degradam as outras partículas do material. A grande remoção ocorre num perfil de 0,13 a 0,15 metros do solo,

(McGAUHEY & KRONE, 1967), e a maior filtração ocorre nos primeiros centímetros perto da superfície do solo, (THOMAS et al., 1966). Os sólidos suspensos biodegradados e não biodegradados são removidos inicialmente por adsorção realizado pelo material de solo composto por argila e húmus, e subseqüentemente ocorrem as degradações orgânicas. O processo de degradação ocorre lentamente em função da resistência dos componentes como pesticidas, celulose, detergentes e fenois. A presença de altas concentrações de fenois e outros componentes similares podem ser tóxicos aos microorganismos, (McCART & KING, 1966).

### 2.3. O efluente líquido industrial

No que diz respeito às características dos efluentes, (POUND & CRITES, 1973) afirmam que a DBO, DQO, sólidos suspensos, sólidos totais, nitrogênio, pH, temperatura, cor, metais pesados e SAR < 8, podem ser destacadas como sendo as mais importantes. Segundo (DIBBE & BARTHA, 1979), a faixa ideal de pH para que ocorra uma boa biodegradação no solo é de 6,5 a 7,5; sendo esta parcialmente inibida com o decréscimo destes valores. O pH dos efluentes industriais é extremamente variado. Isto é especialmente verdadeiro para as indústrias de conservas que incluem água de lavagem contendo detergentes. Águas contendo um pH entre 6,5 e 9,5 são geralmente adequados para aplicação em muitas culturas e solos (BLOSSER & OWENS, 1964).

(POUND & CRITES, 1973) mencionam também que a cor da maioria dos efluentes industriais está associada com o grau da degradação da matéria orgânica e com a efetividade da remoção do efluente durante sua percolação através das camadas do solo. Entretanto, algumas águas residuárias, por exemplo, resíduos líquidos de sulfito (na indústria de papel) contém cores associadas com componentes inertes como a lignina, que são transmitidos ao solo alterando sua cor natural.

(CARRARO, 1995) conduzindo pesquisa no campo experimental da Citrosuco Paulista S/A (unidade de Limeira) aplicou o processo de tratamento de efluente bruto da indústria cítrica no solo através de sulcos largos de infiltração, irrigando eucalipto da espécie Grandis. Foi utilizado para isso uma área de 2,0 ha onde foi analisado o método de tratamento no solo e foram monitoradas água retirada de sondas de ponta porosa, coletores de drenagem livre e poços de

observação, comparando os resultados com uma área não irrigada. Foram feitas análises de solo da área nas profundidades de 0 a 25, de 25 a 50, de 50 a 75, e de 75 a 100 cm., com a finalidade de se detectar alguma influência do resíduo líquido nas características químicas do solo, comparando-o com uma área não irrigada. O autor conclui que o método de tratamento de efluente líquido no solo, através de sulcos largos de infiltração, mostrou-se ter um efeito tampão sobre o pH da água aplicada, manteve-se durante todo o experimento uma grande capacidade de remoção da matéria orgânica (com médias de até 94%), cor, turbidez e sólidos suspensos do efluente bruto. O sistema de sulcos largos de infiltração mostrou-se ser bem flexível, eficiente e um dos mais indicados para o uso como tratamento de efluentes líquidos, principalmente por não haver contato direto do efluente bruto com a vegetação.

Um dos entraves mais comuns para o tratamento dos resíduos, principalmente industrial, é o seu custo de construção, manutenção e/ou operação. Com isso é necessário o desenvolvimento de técnicas alternativas, mais econômicas, para tratamento de efluentes líquidos. Essas alternativas, porém, devem ter eficiência comparável aos sistemas hoje existentes e que atendam às normas legislativas. Uma das alternativas que tem apresentado um grande potencial é o tratamento do efluente líquido no solo. Hoje já são muitas as indústrias que estão optando por esse processo de tratamento.

Durante o processamento do suco concentrado de laranja e seus subprodutos originam-se vários tipos de efluentes :

- Água de Lavagem das Frutas, a qual é extraída do suco durante sua concentração e é reaproveitada para a lavagem das frutas;
- Água Amarela, que origina-se da lavagem dos diversos equipamentos do processo produtivo, como por exemplo Extratoras (onde ocorre o esmagamento das frutas); “Finisher” (onde é feita a retirada da polpa do suco); Centrifugas (onde é retirado o restante dos sólidos contidos nos sucos); Evaporadores (onde o suco é concentrado); Água de lavagem de piso; e, “Blender” (onde é feita uma mistura de sucos para adequação do produto de acordo com as exigências do mercado);
- Água Preta, origina-se da lavagem dos gases quentes, usado na secagem do bagaço da laranja, antes de serem lançados para a atmosfera; e,
- Água dos Sanitários e Restaurantes.

Nas indústrias de suco concentrado de laranja, todas essas águas residuárias após misturadas e gradeadas, são enviadas à Estação de Tratamento de Efluentes da empresa. Esta estação geralmente é composta por lagoas anaeróbias de estabilização, lagoas de lodo ativado (com aeradores superficiais), tanques de decantação e lagoas de maturação.

(FIGUEIREDO et al., 1991), pesquisaram o tratamento de efluente líquido cítrico pelo processo de irrigação por aspersão. Os efluentes da indústria, água amarela e água preta, foram aplicadas em duas áreas onde havia uma vegetação constituída por Pensacola, grama Batatais e Brachiaria. Este experimento foi conduzido na indústria Citrosuco Paulista S/A, localizada no município de Matão, em São Paulo – uma das maiores indústrias do gênero no mundo. Neste trabalho, a opção pelo processo de tratamento se deu a partir de uma busca de possíveis soluções alternativas para tratar parte do efluente líquido, uma vez que a indústria já possuía uma estação de tratamento para a maior parte do volume líquido gerado. A escolha pelo processo de irrigação por aspersão ocorreu pelo fato da indústria ter área disponível, o sistema ser de baixo custo e de fácil operação. Através de coletores retiraram-se amostras de efluente até uma profundidade de 2,0 metros durante a safra 1990/1991 cujas análises e resultados obtidos em laboratório, indicaram uma considerável diminuição na DQO, a neutralização do pH dos efluentes brutos, e uma grande remoção de sólidos, especialmente suspensos. Além disso ocorreu uma diminuição dos valores de condutividade da água no solo, e a alcalinidade apresentou uma remoção na ordem de 70%.

#### **2.4. Os sulcos de infiltração**

Os sistemas de irrigação de superfície englobam aqueles que a água de irrigação é distribuída sobre a superfície do terreno, penetrando no solo por infiltração. A irrigação por superfície pode ser feita pelos sulcos de infiltração, inundação e faixas de infiltração VIEIRA (1989). Nas instalações para aplicação do efluente da indústria de suco cítrico emprega-se sulcos bastante largos. Os sulcos normalmente empregados em irrigação têm cerca de 20 a 30 cm de largura e forma triangular, já os empregados no tratamento tem cerca 2,5m de largura e forma trapezoidal ou semicircular, com declividade aproximadamente de 1‰ (um pôr mil). Segundo a literatura, as faixas de infiltração ou “border irrigation” podem ter largura de 6 até 60 metros,

declividade transversal nula e declividade longitudinal superior a 0,1% e inferior a 3%, (BERNARDO, 1982). Segundo (KIDDER, s/d) o sistema empregado em tratamento de efluentes industriais tem dimensões de 9 a 18 metros de largura, declividade entre 0,1% e 1,0%, comprimento de 90 a 400 metros, mantendo declividade nula no início.

(RAMOS et al., 1989) estudando a aplicação de resíduos urbanos em cultura de uva na Espanha, ao utilizar o sistema de faixas de infiltração observaram que em 5 anos de pesquisa, a cultura apresentou melhoria na produção de uva para mesa e na qualidade do produto, embora em certos casos ocorresse aumento do teor de cloro no solo e nas folhas das plantas.

O serviço de Conservação de Solo dos Estados Unidos publicou um manual detalhado sobre o sistema de irrigação em faixas, no qual são citados diversos parâmetros de projeto. Cita por exemplo uma tabela sobre a largura das faixas em função da declividade, a qual pode variar de 6 a 60 metros, para declividades de 0 até 6%. Quanto ao seu comprimento, afirma que é função da vazão de entrada, dimensões do próprio campo a ser irrigado, características do solo, da cultura, etc. O projeto do sistema de faixas depende do conhecimento das características de infiltração do solo, que em geral obedece a expressão:

$$F = a \cdot T^n + c \quad (2.4.1)$$

onde:

- F = lâmina infiltrada, mm;
- T = tempo de infiltração, min;
- a = parâmetro de infiltração acumulada;
- n = expoente do tempo; e,
- c = constante.

O coeficiente de rugosidade ( $n_m$ ) de Manning também é fundamental no dimensionamento da faixa de infiltração (SCS, 1974), pois ele expressa o efeito bloqueador ao movimento da água de diferentes condições hidráulicas. Entre elas, a própria natureza da cultura, pois é plantada na superfície onde o líquido se movimenta. No caso dos sistemas de aplicação de efluentes líquidos no solo, na realidade o que se utiliza é um misto agricultura irrigada e as faixa de infiltração, pois, são sulcos relativamente largos e portanto com características hidráulicas diferentes, além de não se cultivar nada no terreno onde o líquido escoar, como é o caso das faixas



de infiltração. Também estes sulcos largos não são tão largos quanto as dimensões usuais em faixas de infiltração.

No caso de sulcos de infiltração o dimensionamento hidráulico também é função da lâmina infiltrada no solo, para tanto utiliza-se os chamados teste de avanço e infiltração para obter a curva de avanço da água no sulco e a equação de infiltração (BERNARDO, 1982). No caso da infiltração a equação é obtida pelo método de entrada e saída de vazão no sulco como citam vários autores (OLITTA, 1977), (BERNARDO, 1982) e (VIEIRA, 1989), etc. Todavia, (CAMACHO et al., 1994) citam que é possível determinar a equação de infiltração apenas com o teste de avanço, de uma forma rápida e fácil, com a medição de poucos dados de campo. Neste caso, a metodologia tem a vantagem de determinar a equação de infiltração já no momento que o líquido atinge o final do sulco, portanto não despreza a água infiltrada até que isso aconteça, como ocorre no método da entrada e saída. A metodologia proposta pelos autores basicamente fundamenta-se na semelhança hidrodinâmica, que oferece um notável potencial para a generalização de dados de irrigação de superfície obtidos por simulação ou experimentalmente, (LUANA & LOSADA, 1994).

De acordo com o que é descrito por (OLITTA, 1977), o método de irrigação por sulcos constitui, sem dúvida, no processo de aplicação de água mais conhecido e mais usado em todo mundo, inclusive é um dos poucos métodos que é tradição de irrigação no Brasil. Entretanto, (VIEIRA, 1989) comenta que a falta de interesse comercial nos sistemas de irrigação superficial prejudica a sua divulgação. A irrigação superficial bem projetada e manejada proporciona excelentes resultados, que devem ser ponderados pelo agricultor - daí a importância do projetista de irrigação não ser vinculado à empresa que comercializa equipamentos. Em contrapartida, (ANDRADE, 1994) afirma que a crise energética atual tem provocado um novo interesse para esses métodos. Os Estados Unidos da América do Norte tem procurado a melhoria da irrigação superficial, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento de modelos matemáticos para a sua simulação, quanto nas técnicas de automação desses métodos.

(OLITTA, 1977) cita que a irrigação por sulcos presta-se para praticamente todas as culturas e adapta-se aos mais variados tipos de solos. A irrigação por sulcos é realizada fazendo correr a água em pequenos canais ou sulcos situados lateralmente às linhas de plantio durante o tempo necessário para que a água se infiltre pelo fundo e pelos lados do sulcos, de modo a umedecer o solo compreendido pelo sistema radicular da cultura.

Como aspectos positivos da irrigação por sulcos, (VIEIRA, 1989) descreve os seguintes itens :

- a) menor custo de implantação e operação;
- b) fácil adaptação a diferentes condições de solo e culturas;
- c) simplicidade operacional;
- d) baixo consumo de energia;
- e) não molha a parte aérea das plantas, evitando interferências no tratamento fitossanitário; e,
- f) permite a utilização de água com sólidos em suspensão, como efluentes orgânicos ricos em nutrientes.

Cita ainda este autor as limitações da irrigação por sulcos, ou seja:

- a) exigem terrenos pouco inclinados e com superfície regular (quando isso não ocorre naturalmente há necessidade de sistematização);
- b) são inadequados para solos muito arenosos, com alta capacidade de infiltração;
- c) pequena eficiência de irrigação, o que promove maior gasto e uso menos racional da água;
- d) praticamente é impossível sua implantação em cultura perene já implantada;
- e) limitações em solos salinos e quando a água tem teores elevados de sais.

Segundo (MERRIAM & KELLER, 1978) algumas limitações e considerações importantes dos sulcos de irrigação são :

- a) a irrigação por sulcos é aplicável para culturas de plantio em linha e pode ser adaptada para culturas de plantio em espaçamento compacto sobre os canteiros;
- b) sua adaptação é muito abrangente, pois apenas não é recomendável para solos com taxas de infiltração muito lentas ou então muito altas;
- c) o fluxo deve ser tal que não provoque erosão, porém grande o bastante para alcançar o final do sulco numa fração de tempo requerido para abastecer a zona radicular assegurando uma infiltração uniforme (razão do avanço entre 1:4 e 1:1);
- d) o nivelamento deve ser feito para eliminar pontos baixos os quais podem empoçar água. Os declives geralmente são pequenos, 0,1% a 0,3% onde bem construídos, e não deve exceder 2% a 3%. Em topografia acentuada pode-se usar sulcos em contorno. Sulcos com

declividades uniformes são geralmente preferíveis para alcançar alta uniformidade de distribuição;

e) o espaçamento dos sulcos e forma (em vê, parabólico, largo ) pode ser variado para permitir grande variação no tempo de irrigação. Eles devem ser tais que a infiltração lateral da água irrigue adequadamente a zona radicular das plantas; e,

f) o solo ao longo de todo o sulco deve ser uniforme.

## 2.5. O desempenho da irrigação por sulcos

A eficiência da irrigação por sulcos é a relação entre a água aplicada e a retida na profundidade efetiva da zona radicular da planta e que, posteriormente, será usada por esta. Disto decorre que o desempenho da irrigação é diretamente influenciado pela vazão a ser aplicada nos sulcos, como também pelo seu comprimento, forma, declive, rugosidade das paredes laterais e do fundo, etc. (BARRETO, 1971) afirma que no caso específico de irrigação pelo sistema de sulcos, a experiência tem demonstrado que a eficiência varia entre 50 e 60%, dependendo dos cuidados observados na elaboração do projeto e na execução dos trabalhos. Por outro lado, (VIEIRA, 1989) afirma que nas instalações encontradas no meio rural tal eficiência raramente ultrapassa 50%.

Segundo (BISHOP et al, 1967) as características hidráulicas do sulco de irrigação modificam-se com o tempo e com o umedecimento do solo durante as irrigações. A relação infiltração-tempo não é constante para as sucessivas irrigações e as características hidráulicas do sulco também modificam-se com o crescimento das plantas, o que pode ser comprovado por (OLITTA, 1970) ao estudar a infiltração da água em sulcos. Este autor acompanhou, mediante amostragens, o desenvolvimento mensal do sistema radicular de algumas culturas e também realizou testes de infiltração periódicos (aproximadamente uma vez por mês) durante a fase de crescimento das culturas, até ser atingido a época de florescimento.

A variabilidade das características de infiltração do solo é um dos fatores limitantes para a prática da irrigação por sulcos. A incorporação de matéria orgânica ou resíduos culturais ao solo

bem como as práticas culturais alteram as condições físicas do solo e, conseqüentemente, a razão de infiltração, conforme afirmam (REZENDE et al., 1988).

(SCALOPPI, 1986) afirma que o bom desempenho da irrigação por sulcos está na dependência da duração da infiltração. Como a distribuição da água ao longo da parcela não é perfeita, pode ocorrer que ao final do tempo de infiltração existam áreas deficientes em água, o que reduz a eficiência de armazenamento - tal etapa deve ser estendida até que a qualidade da irrigação seja satisfatória. Salienta ainda que enquanto a uniformidade de distribuição e a eficiência de armazenamento aumentam com o tempo de duração da fase de reposição, a Eficiência de Aplicação ( $E_a$ ) vai se reduzindo. Isto ocorre devido à verificação de escoamento superficial no final da parcela e às eventuais perdas por percolação profunda nos locais onde o tempo de infiltração excede o tempo necessário para infiltrar a lâmina requerida.

Conforme o que é descrito por (REZENDE et al., 1988), nos sistemas de irrigação por superfície a uniformidade de distribuição de água depende do comportamento do escoamento superficial, como também da variabilidade espacial das características de infiltração observadas na área irrigada. As principais variáveis hidráulicas em sulcos são a vazão, o comprimento e a geometria dos sulcos, o gradiente e a uniformidade de declive, as características de infiltração, e o coeficiente de rugosidade hidráulica superficial. Estas variáveis, em conjunto, determinam o comportamento do escoamento superficial, cuja previsão é fundamental para o dimensionamento criterioso de sistemas de irrigação por superfície. Deve-se destacar, entretanto, que estas variáveis sejam determinadas em condições semelhantes àquelas em que ocorrem as irrigações, e qualquer critério adotado no dimensionamento deve ter como objetivo o melhor desempenho do sistema. Estes autores finalmente concluem que a adoção de práticas de manejo nas irrigações podem corrigir eventuais problemas de dimensionamento, afirmando ainda que determinadas práticas de manejo podem proporcionar resultados de desempenho pouco expressivos.

Dentre as alternativas de manejo de sulcos de irrigação destaca-se a citada por (SCALOPPI, 1986), ou seja, para reduzir a perda por deflúvio superficial, deve-se adotar a redução da vazão após a água atingir o final do sulco. Entretanto a prática de redução de vazão exige um dimensionamento mais rigoroso para definir o nível de redução, bem como a maior utilização de mão-de-obra. Entretanto, (SOARES et al., 1981) afirmam que a deficiência de mão-de-obra qualificada para o manejo da irrigação é um dos fatores responsáveis pela baixa

eficiência de irrigação por sulcos, citando, por exemplo, a irrigação praticada no nordeste brasileiro.

(OLITTA, 1977) afirma que a eficiência de irrigação dependerá principalmente do movimento lateral da água nos sulcos. A extensão do movimento lateral da água é especialmente importante na germinação das sementes. O umedecimento do solo entre os sulcos é desejável, e, em certos casos, somente conseguido através de aplicações de excessivas lâminas de irrigação. O movimento da água no solo é igualmente importante ao considerarmos condições de salinidade, movimento de fertilizantes, herbicidas, etc.

Nos sistemas de irrigação implantados na base de improvisações são comuns as produções irregulares, mais devido às imperfeições na distribuição de água do que pela variação da fertilidade do solo, (BARRETO, 1971). Nesse contexto, conforme descreve (BERNARDO, 1982), para que a irrigação por sulcos possa proporcionar boa eficiência de irrigação é necessário que o terreno seja sistematizado, pois a irrigação por superfície exige terreno sobre o qual a água possa fluir sem causar erosão.

## **2.6. Aspectos do dimensionamento dos sulcos de irrigação**

A simplicidade da irrigação por sulcos contrasta com o estudo de seu escoamento hidráulico, que é complexo e se assemelha ao movimento de água em um canal de terra aberto à pressão atmosférica com o leito inicialmente seco e permeável. Em cada seção do sulco a vazão é variável com o tempo, ainda que no início seja fornecida uma vazão constante. Estas características definem um regime não permanente, gradualmente variado sobre um meio poroso (o solo). O processo típico de uma irrigação por sulcos compõe das fases de avanço, infiltração e recesso, as quais em conjunto, permitem a análise do desempenho do sistema. A fase de avanço em sulcos é de mais difícil previsão, devido à natureza do escoamento e geometria do fluxo: a forma do sulco muda continuamente devido a erosão e deposição de partículas do solo provocadas pelo movimento da água, (ANDRADE, 1994).

(OLITTA, 1977) ressalta que existem na literatura diferentes enfoques e teorias para determinar o avanço da água no sulco de irrigação. Explica que pelo fato de existir a influência de um grande número de fatores, a determinação da curva de avanço deve ser feita através de

uma medição no próprio local. O procedimento para realizar este teste no campo é bastante simples, consistindo basicamente em se anotar o tempo acumulado em minutos, para que a lâmina de água no sulco atinja distâncias progressivas marcadas com estacas, a intervalos predeterminados (5, 10 ou 20 metros).

Quando a água é colocada na cabeceira do sulco, parte se infiltra no solo e o restante caminha na superfície, conforme a declividade do sulco. Estes processos, infiltração e escoamento superficial, continuam em conjunto com a exposição de novas áreas do solo à lâmina d'água, enquanto as partes iniciais permanecem cobertas pela água. Os dados do avanço da água são anotados durante esta primeira fase de irrigação, e desde que as condições o permitam, os dados da recessão também são anotados, seguindo de modo inverso o processo inicial, se os dados forem representados em um gráfico (**Figura-01**), teremos o que se denomina curva de avanço e curva de recessão da água no sulco. A distância vertical entre as duas curvas nos dará o tempo efetivo que a lâmina de água permaneceu sobre o solo em um determinado ponto do sulco, havendo então a infiltração de determinada lâmina de água.

Na irrigação por sulcos, quando a entrada de água é desligada, o volume de água existente na superfície do solo é muito pequeno, ocorrendo que a curva da recessão é muito difícil de ser determinada, e praticamente se considera horizontal, como se toda a água desaparecesse por igual ao longo do comprimento do sulco. Considerando as propriedades de infiltração do solo uniformes em todo o campo, a condição ideal para uma perfeita aplicação da água seria conseguida quando as duas curvas fossem paralelas, não importando a forma com que elas se apresentam.

(**BERNARDO, 1982**) descreve que a velocidade de avanço da água nos sulcos de irrigação é função dos seguintes fatores: vazão aplicada no sulco, capacidade de infiltração da água no solo, declividade do sulco, rugosidade e comprimento do sulco. Por este motivo, a determinação do avanço d'água no sulco deve ser feita na área em que se fará irrigação e em condições similares aos sulcos de irrigação. Normalmente, o avanço d'água nos sulcos é representado por meio de curvas de avanço ou por equações. Para se determinar a curva de avanço, deve-se escolher um sulco representativo dos sulcos do

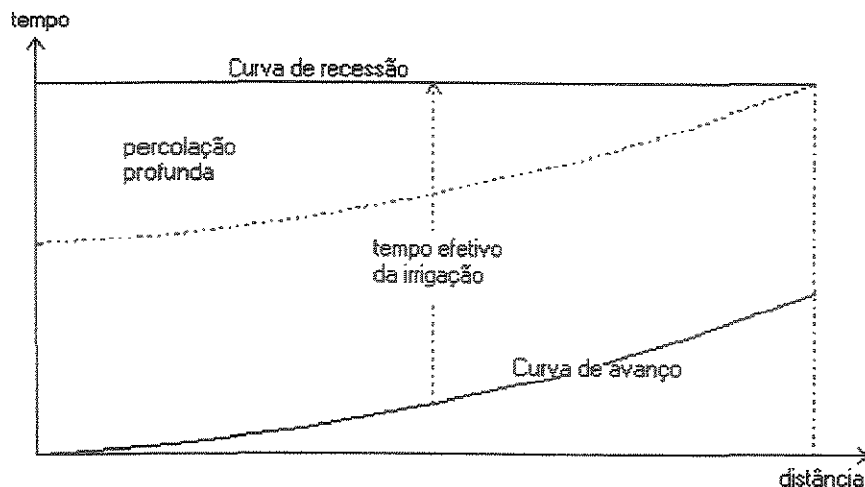


Figura-01 - Curva de avanço e de recessão

projeto de irrigação, ou, quando não existir sulcos no campo, construir um sulco com a mesma forma, tamanho e declividade dos sulcos que serão construídos no projeto, e colocar as estacas ao longo do sulco equidistantes e separadas como descrito anteriormente por (OLITTA, 1977). Explica ainda (BERNARDO, 1982) que quando se tratar de sulcos novos, antes de se medir a velocidade de avanço, devem-se fazer duas ou três irrigações, para que o sulco atinja as condições normais de forma e rugosidade.

Menção feita por (FRIZZONE, 1993) mostra que o dimensionamento da irrigação por sulcos pode ser feito por um processo de tentativas desenvolvido com ajuda de ensaios realizados em campo ou através da simulação com a utilização de modelos matemáticos, com o objetivo de se conseguir os melhores índices de desempenho do sistema ainda na fase de projeto, em função de uma combinação adequada dos parâmetros envolvidos. Normalmente os testes de campo geram resultados mais representativos, porém por outro lado constituem uma tarefa complexa e demorada. Assim os modelos matemáticos constituem recursos preciosos, capazes de levar em conta várias alternativas de projeto a um custo e tempo reduzidos.

Vários modelos matemáticos tem sido desenvolvidos para descrever e analisar a irrigação superficial, variando em complexidade desde simples modelos algébricos, baseados no princípio de conservação da massa, até modelos hidrodinâmicos, os quais consistem na solução das equações de Saint-Venant para fluxo de água em canais sob regime não permanente e variado. Também são usados modelos baseados na hipótese de que a aceleração da água pode ser considerada nula, ao qual denominam zero-inércia (SOUZA, 1981).

De acordo com (SCALOPPI, 1983) o principal problema associado ao dimensionamento da irrigação por sulcos consiste na previsão das taxas de avanço e recesso da água na superfície do solo. Estes processos, em conjunto, determinam o tempo de oportunidade para a infiltração nas diferentes partes da parcela e conseqüentemente os níveis de eficiência de aplicação e de armazenamento e a uniformidade de distribuição de água para uma determinada combinação de parâmetros hidráulicos e de solo. (TABUADA, 1989) comenta que o escoamento no meio poroso (infiltração) possui maior complexidade e tem sido quantificado por fórmulas empíricas, que não fornecem nenhuma informação quanto à frente de umedecimento no espaço e no tempo. A melhor maneira de se estimar a infiltração é a partir dos dados de avanço, medindo-se a seção transversal de escoamento e o volume de água escoado no final do sulco, bem como a vazão aplicada no início da parcela.

Conforme (BERNARDO, 1982) o teste de avanço da água no sulco permitirá determinar o seu comprimento mais conveniente. Explica ainda que a determinação do comprimento é um dos fatores de maior importância em um projeto de irrigação. A quantidade de mão-de-obra exigida, o custo da irrigação, a perda de áreas de cultivo com canais e drenos e a dificuldade de mecanização aumentam com o decréscimo do comprimento do sulco. Em contrapartida, as perdas d'água por percolação profunda aumentam com o acréscimo do comprimento, e a uniformidade de aplicação de água, em geral, decresce com o acréscimo do comprimento do sulco. A possibilidade de acúmulo de grandes vazões, por causa das chuvas que poderão causar erosão na parte final do sulco, aumenta com o acréscimo do comprimento do sulco. Os principais fatores que devem ser considerados na determinação do comprimento dos sulcos são a forma e o tamanho da área a ser irrigada, o tipo de solo, a declividade do sulco, a vazão a ser usada e a cultura a ser irrigada.

Para determinar o comprimento do sulco, pelos métodos convencionais, Criddle e Marsh citados por (BERNARDO, 1982) sugerem testes de campo com várias vazões, em sulcos com diferentes comprimentos na área do projeto, sob diferentes declividades. A avaliação da curva de avanço e da lâmina média aplicada, nos diversos testes, darão informações que permitirão determinar qual o comprimento, para cada declividade e vazão, que proporcionará uma irrigação mais adequada e eficiente. (VIEIRA, 1997) explica que na prática, existem dois métodos muito usados para a determinação do comprimento do sulco. O primeiro é o método de Criddle, onde o comprimento do sulco deve ser tal que o tempo para a frente de avanço chegar ao final do sulco



seja igual a 1/4 do tempo necessário para aplicar a lâmina de irrigação. O segundo é o método de Marr, que consiste em determinar a curva da água no sulco, com o tempo de avanço na abscissa e o comprimento na ordenada. O comprimento do sulco será indicado pelo ponto em que a curva de avanço muda de declividade. Salienta ainda que é muito importante, independente do método usado, que o comprimento do sulco seja igual ou submúltiplo do comprimento da área a ser irrigada.

No que se refere à declividade dos sulcos (VIEIRA, 1989) explica que num projeto este parâmetro deve ser tal que não gere velocidade excessiva da água de irrigação, evitando erosão. Por outro lado, a declividade não deve ser muito pequena, para não causar excessivas perdas de água por percolação profunda. Em geral a declividade dos sulcos oscila entre 0,1% e 1,5%, sendo maior nos solos mais argilosos, que são menos suscetíveis à erosão. Outro fator que deve ser considerado ao se fixar a declividade do sulco é a erosão ocasionada pelas águas das chuvas, o que ocorre em regiões onde a irrigação é suplementar. Este autor expõe ainda que a vazão a ser aplicada num sulco é função da declividade adotada. Em geral estabelece-se uma vazão inicial que é fornecida ao sulco até que a frente de umedecimento atinja seu final, e uma vazão final que seja suficiente para manter o sulco cheio de água ao longo de seu comprimento, sem sobras no seu final. O ideal é que a água atinja mais rapidamente o final do sulco e, assim, a vazão inicial deve ser tal que não trasborde e não cause erosão.

(OLITTA, 1977) explica que para o dimensionamento de sulcos os parâmetros mais importantes são: vazão, declividade, largura, altura do nível d'água e comprimento, sempre tendo em conta que o coeficiente de rugosidade interfere diretamente na velocidade do líquido. A vazão que um sulco pode conduzir depende da seção de escoamento e suas características hidráulicas, levando em conta a velocidade avanço determinada pela declividade do sulco e a possibilidade ocorrência de erosão.

(BERNARDO, 1982) cita a fórmula devida a Gardner :

$$Q = \frac{C}{I^n} \quad (2.6.1)$$

onde :

Q = vazão inicial, em l/s

I = declividade do sulco, em %

C, u = coeficientes que dependem da textura do solo

Os valores dos coeficientes acima demonstrados podem ser observados na **Tabela-01**.

**Tabela-01** – valores dos coeficientes “C” e “u”.

Textura do solo	C	u
Muito fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,550
Média	0,613	0,733
Grossa	0,644	0,704
Muito Grossa	0,665	0,548

Os países desenvolvidos que detém o poder econômico, ao mesmo tempo em que concentram tecnologias de ponta, centros de pesquisa, laboratórios com pessoal altamente qualificado e centros financeiros, forçam, através de suas políticas internacionais, a transferência das indústrias que devem ser afastadas de seus interesses econômicos e sociais para os países periféricos ou países em desenvolvimento. São indústrias que necessitam de grande quantidade de matéria prima, mão de obra predominantemente pouco especializada ou grandes estruturas, como metalúrgicas, indústrias de automóveis, fábricas de papel e celulose, siderúrgicas, indústrias de alimentos, etc.

Nesse contexto, o destino dos efluentes industriais revela-se como um grande problema mundial, principalmente para os países que assumem de forma acelerada e desordenadamente a implantação de indústrias com grandes potenciais de degradações antrópicas e que dificultam planejamentos de desenvolvimento sustentável. Assim, torna-se evidente a importância de estudos científicos que contribuam para o conhecimento de nossa realidade ambiental e que envolvam dados coletados em campo, como é o caso do presente trabalho.

### **3. Material e métodos**

É importante frisar que procurou-se evitar redundância na apresentação de algumas informações. Por exemplo, para a Área-A e Área-C não foi demonstrado o detalhamento da caracterização física do solo e da capacidade de retenção da água no solo, caderneta de campo, esquemas para a obtenção das equações de infiltração, bem como outros dados constantes dos anexos. O procedimento adotado ocorreu pelo simples fato de tais informações terem sido obtidas de forma análoga às informações da Área-B, esta apresentada de forma integral.

#### **3.1. Determinação dos parâmetros hidráulicos**

Esta pesquisa fundamenta-se nos trabalhos de campo realizados em três indústrias de sucos cítricos, que utilizam o sistema de sulcos largos de infiltração para a disposição do efluente líquido gerado durante o processamento das frutas. Nas áreas onde ocorre a disposição verifica-se a cultura do eucalipto como eliminador de umidade, onde as plantas estão dispostas paralelamente em fileiras entre um sulco e outro – **Figuras-02 e 03**. Apesar dessas indústrias utilizarem o mesmo sistema de eliminação, existem algumas peculiaridades que distinguem os projetos implantados nestas áreas, como por exemplo, tipo de solo; perfil transversal, comprimento, declividade longitudinal, espaçamento entre sulcos, etc.

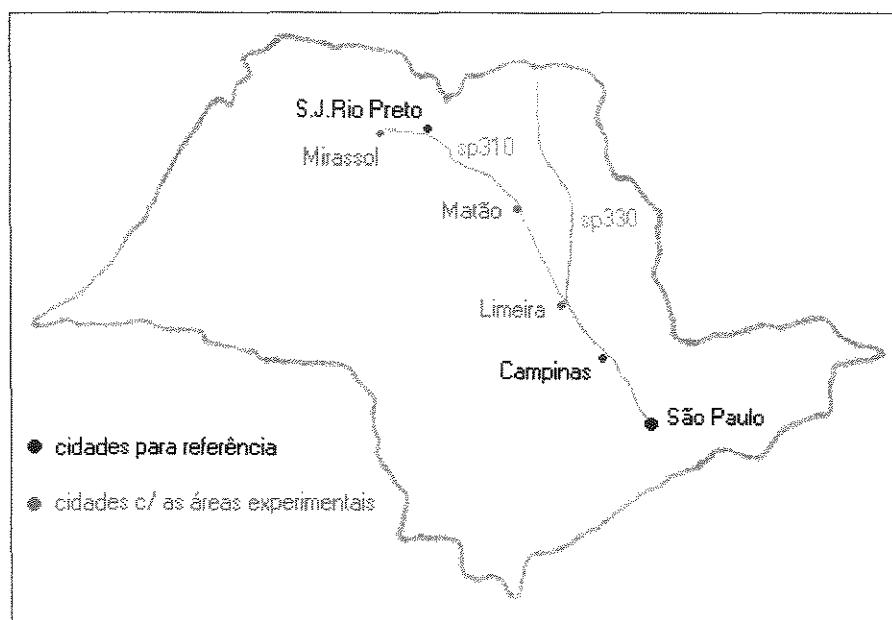
Os sulcos empregados na aplicação de efluente líquido da indústria de sucos cítricos tem formato trapezoidal ou semicircular e vazão de abastecimento que pode atingir até aproximadamente 50 m<sup>3</sup>/h. Normalmente são largos com cerca de 2 a 3 metros de largura, 100 a 150 metros de comprimento e declividade de aproximadamente 1‰ (um pôr mil).

As três indústrias estão localizadas no interior do estado de São Paulo: Área A – Empresa Citrosuco Paulista S/A (unidade de Matão/SP), Área B – Empresa Citrosuco Paulista S/A (unidade de Limeira/SP), e Área C – Empresa Bascitrus Agroindústria S/A (unidade de Mirassol/SP), como podem ser identificadas na **Figura-04**.

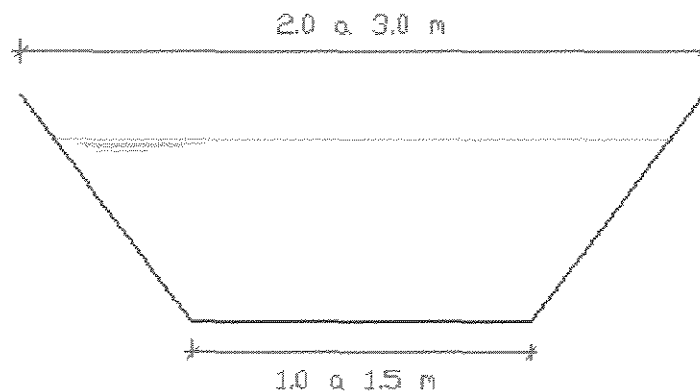


**Figura-02**  
Disposição dos sulcos – Área-A

**Figura-03**  
Disposição dos sulcos – Área-C



**Figura – 04** – Mapa do estado de São Paulo com a localização das áreas experimentais



**Figura - 05** : Perfil transversal de um sulco largo de infiltração

Em cada área experimental foram estudados sulcos largos com comprimento de no mínimo 100 metros e dimensões parecidas com as que estão na **Figura-05**.

Como base dos estudos, buscou-se a determinação dos parâmetros hidráulicos dos sulcos que estavam relacionados com o melhor desempenho, ou seja, que permitiram a escolha do sulco hidráulicamente mais correto - o que foi possível graças à aplicação de um programa computacional denominado “INFILTRAÇÃO” desenvolvido para processar as situações hidráulicas de sistemas de irrigação por sulcos de infiltração.

O desenvolvimento do programa “INFILTRAÇÃO” para esse projeto de pesquisa ocorreu devido ao grande número de testes conduzidos em campo e pela dificuldade de se processar os dados registrados. Como colocado adiante, foram feitos 82 testes de avanço e 82 testes de infiltração e, portanto, diante de todas as informações registradas nas cadernetas de campo, foi desenvolvido tal aplicativo em linguagem de programação DELPHI, cujo desenvolvimento consta no **item 3.7 - Desenvolvimento do programa computacional**.

Os parâmetros hidráulicos relacionados com este estudo foram :

- a) Declividade do fundo do sulco (I), em ‰;
- b) Comprimento do sulco (L), em m;
- c) Área molhada (A), em m<sup>2</sup>;
- d) Perímetro Molhado (Pm), em m;
- e) Raio Hidráulico (Rh), em m;
- f) Altura do nível d'água (h), em m;

- g) Velocidade da água (V), em m/s;
- h) Vazão de entrada do efluente (Q), em m<sup>3</sup>/h;
- i) Capacidade de infiltração (f), em mm/h; e,
- j) Coeficiente “n<sub>m</sub>” de Manning.

A declividade do fundo do sulco (I) e também o seu comprimento (L) foram determinados mediante levantamento topográfico. Em cada área experimental procurou-se detalhar um número suficiente de sulcos para que, dentre eles, pudessem ser escolhidos os que apresentassem comprimento de aproximadamente 100 metros e declividades próximas de 0,5‰; 1,0‰ e 1,5‰. Para cada área foram escolhidos um total de 9 sulcos que, evidentemente, possuíam essas características.

Em cada área experimental escolheu-se três pontos para a retirada de amostras de solo, de forma que representassem a área onde se encontram os sulcos largos de infiltração. Em cada ponto, mediante a utilização de um trado foram coletadas 4 amostras deformadas nas profundidades de 0,00m a 0,25m; 0,25m a 0,50m; 0,50m a 0,75m e 0,75m a 1,00m, e, com a utilização de um amostrador de Uhland foram coletas 4 amostras indeformadas nestas mesmas profundidades. As amostras de solo foram conduzidas ao Laboratório de Hidrologia da Faculdade de Engenharia Civil /UNICAMP a partir das quais pôde-se determinar os valores de Densidade Global (Dg), Densidade Real (Dr), Curva Característica da Água do Solo e Análise Granulométrica. Por essas curvas finalmente foram obtidos os dados de caracterização física dos solos, como: a Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murchamento (PM), Umidade Crítica (UC), Altura de Água Disponível (AD), Reserva de água no Solo (R) e também os valores da Lâmina Hídrica Líquida (Hi) e da Lâmina Hídrica Bruta de Irrigação (Hb). Para tanto, de acordo com o que é apresentado por (VIEIRA, 1989), utilizou-se a seguinte formulação :

$$H = \frac{CC - PM}{10} * Dg * h \quad (3.1.1)$$

onde :

H = Altura de água disponível, em mm;

CC = Umidade do solo na capacidade de campo em relação ao peso seco (ps), em %;

PM = Umidade do solo no ponto de murchamento em relação ao peso seco, em %;

Dg =Densidade global do solo, em g/cm<sup>3</sup>; e,

h =Profundidade efetiva do sistema radicular, em cm.

$$H_i = \frac{CC - UC}{10} * D_g * h \quad (3.1.2)$$

onde:

H<sub>i</sub> = lâmina hídrica líquida de irrigação, em mm; e,

UC = umidade crítica do solo, em % em relação ao peso seco.

O valor da Umidade Crítica para o eucalipto foi obtido na Curva Característica do Solo correspondendo ao seu potencial matricial crítico ( $\psi_c$ ).

A Reserva de Água no Solo foi calculada pela seguinte expressão :

$$R = H - H_i \quad (3.1.3)$$

onde:

R = reserva de água no solo, em mm.

Para efeito de cálculo da Lâmina Hídrica Bruta de irrigação, foi adotada uma eficiência de irrigação igual a 60%, conforme cita (VIEIRA, 1989) ao descrever sobre este parâmetro, ou seja:

$$H_b = \frac{H_i}{E_i} \cdot 100 \quad (3.1.4)$$

onde :

H<sub>b</sub> = lâmina hídrica bruta de irrigação, em mm; e,

E<sub>i</sub> = eficiência da irrigação, em %

Preparando os sulcos para serem submetidos aos testes de campo, preliminarmente, através de estacas cravadas de 10 em 10 metros ao longo de cada sulco, foram definidos os pontos que demarcaram suas seções de medição, ou seja, onde foram tomados os parâmetros básicos para o detalhamento dos sulcos.



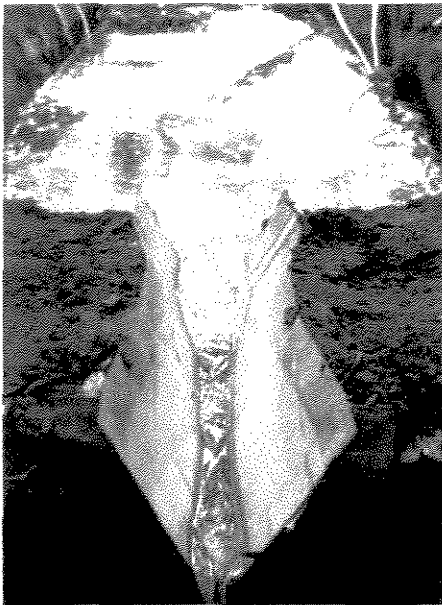
### 3.2. Testes de avanço e infiltração

De acordo com metodologia citada por (OLLITA, 1977) e também por (BERNARDO, 1982) foram efetuados os testes de avanço e os testes de infiltração, perfazendo um total de 82 testes de avanço e 82 testes de infiltração. No entanto, é importante ressaltar que na Área C – Bascitrus Agroindústria S/A em Mirassol/SP, ocorreram muitos imprevistos no tocante aos trabalhos de campo. Com o término da primeira repetição de coleta de dados, foi tomada uma decisão por parte da diretoria dessa indústria que, de fato, tornou perdido todo o trabalho já concluído para aquele ano, isto é, todos os testes de avanço e de infiltração da primeira repetição. Ocorreu que toda a cultura do eucalipto ali existente foi removida, acarretando em modificações drásticas nas características originais dos sulcos e na impossibilidade do prosseguimento dos trabalhos. Diante disso, o que restou foi escolher uma nova área experimental para que, com o início da safra do próximo ano, pudessem ser reiniciados os trabalhos de campo. No entanto, a nova área escolhida não esteve desprovida de imprevistos. Muitos problemas foram surgindo, como por exemplo, problemas com o recalque do efluente para o abastecimento dos sulcos, rompimentos constantes na adutora, etc, o que prejudicou a coleta de dados de forma generalizada.

Na realização dos testes de “entrada-saída” conforme citado por (BERNARDO, 1982), a vazão de entrada ( $Q$ ) foi determinada por medição direta, isto é, cronometrando-se o tempo necessário para que um tambor de volume conhecido (200 litros) fosse preenchido com o efluente. Nesse sentido, regulando-se a vazão de entrada por meio de um registro, em cada sulco foram feitas três cronometragens para se obter a vazão desejada, ou seja, o valor médio das três medições.

A determinação da vazão de saída ( $Q_s$ ) foi feita com calhas WSC tipo-B instalada aproximadamente a 80 metros do ponto de abastecimento, como mostram as Figuras 06, 07 e 08. Tais calhas foram calibradas previamente e, para tanto, utilizou-se de um circuito hidráulico construído no Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos da FEC/Unicamp. O circuito hidráulico compunha-se da seguinte forma : uma tubulação de PVC por onde a água, por bombeamento, passava e abastecia um canal de alvenaria de aproximadamente 10 metros que foi construído para essa finalidade. Na tubulação de PVC foi instalado um medidor de vazão ultrassônico modelo PT868 da marca Panametrics (Figura-09) para registrar a vazão que passava pelo

mesmo. Por sua vez, no início do canal de alvenaria foi montado um tranquilizador (**Figura-11**) e mais adiante instaladas as calhas WSC (**Figura-12**) adequadamente niveladas, de forma que, com o auxílio de um registro (**Figura-11**), os valores de vazão apresentados no aparelho (**Figura-10**) pudessem ser relacionados com as cargas lidas em cada uma das calhas.



**Figura-06**  
Detalhe da calha de saída – Área C

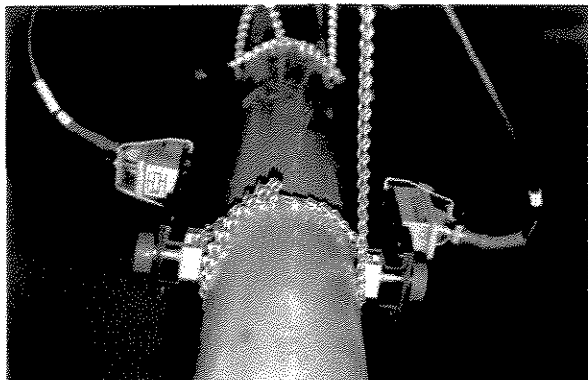


**Figura-07**  
Detalhe da calha de saída – Área B

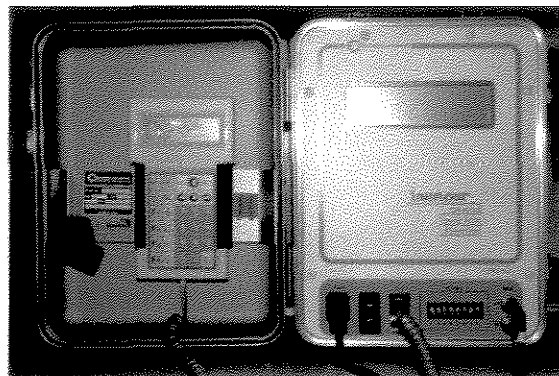


**Figura-08**  
Detalhe da calha de saída – Área A

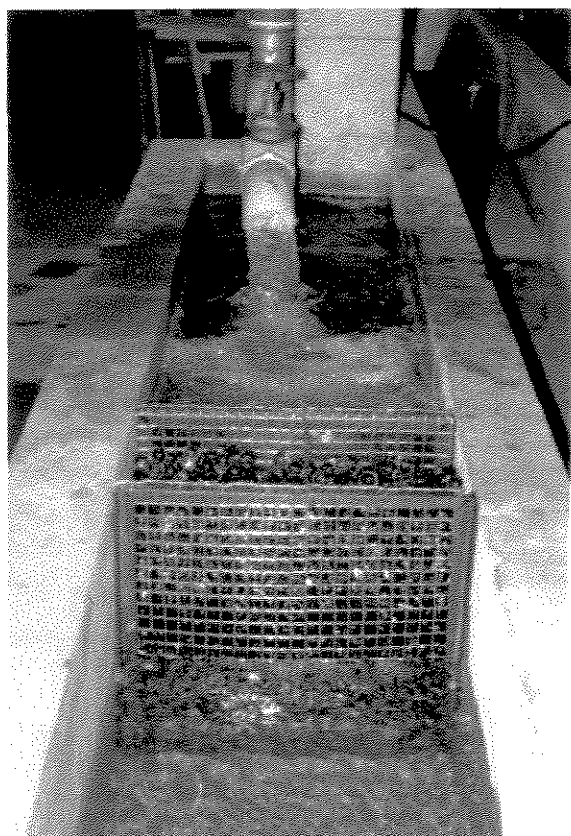
Assim, para cada giro de abertura de  $360^\circ$  no registro (inicialmente fechado), anotou-se o incremento de carga correspondente na calha, cujos pares de valores (vazão e carga) permitiram a elaboração de uma curva de calibração para cada uma das quatro calhas instaladas. No **ANEXO-01** consta a curva de calibração de uma das calhas.



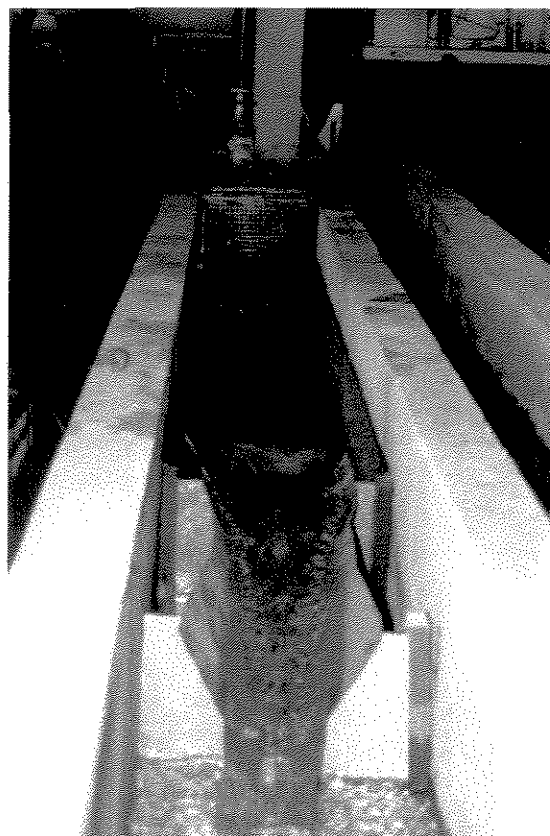
**Figura-09** – Sensores de ultra-som no PVC



**Figura-10** – Base de comando e leitura de dados



**Figura-11**  
Abastecimento do canal e o tranqüilizador



**Figura-12**  
Vista frontal da calha

### 3.3. Obtenção das equações de avanço

A partir da primeira estaca, colocada a 10 metros do início do sulco, mediu-se os tempos de chegada da frente de umedecimento em cada estaca subsequente até o final do sulco, o que foi feito com a utilização de um cronômetro. Com estes dados, foram plotadas as curvas de avanço como também obtidas, por regressão linear, as equações correspondentes.

Segundo (OLLITA, 1977) e (BERNARDO, 1982) existem vários tipos de equações para descrever o tempo de avanço da água em sulcos, como :

$$T_a = b \cdot L^r \quad \text{equação potencial} \quad (3.3.1)$$

$$T_a = b(e^{rL} - 1) \quad \text{equação exponencial} \quad (3.3.2)$$

$$T_a = b \cdot L + r \cdot L^2 \quad \text{equação quadrática} \quad (3.3.3)$$

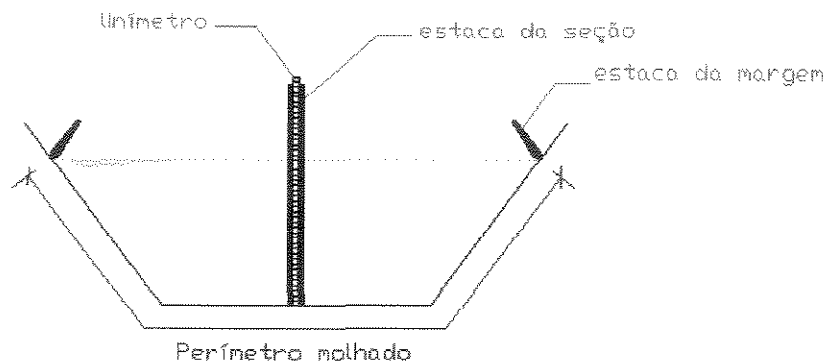
onde:

- T<sub>a</sub> = tempo de avanço, min;
- L = distância de avanço, m;
- b, r = coeficientes; e,
- e = base do logaritmo neperiano.

### 3.4. O detalhamento do perfil transversal dos sulcos

Com o objetivo de delimitar a altura da lâmina d'água, em cada seção transversal foram cravadas pequenas estacas em ambas as margens do sulco, o que possibilitou a medição dos perímetros molhados (P<sub>m</sub>) através de uma trena. Tal procedimento foi realizado ao término da fase de avanço e repetido no momento do corte da aplicação.

Em cada estaca foi instalado uma régua linimétrica, referenciado topograficamente com a cota do fundo do sulco. Então, com o propósito de se obter a declividade da linha d'água durante o teste, através destes linímetros mediu-se o nível de água (h) em cada sulco, cujo perfil resultante pôde ser comparado com o perfil do terreno. A **Figura-13** ilustra alguns detalhes.



**Figura-13** – Detalhes das marcações da seção transversal

Pela aplicação da equação (3.4.1), para cada sulco determinou-se o valor do raio hidráulico ( $R_h$ ) das seções de cada ponto de medição.

$$R_h = \frac{A}{P_m} \quad (3.4.1)$$

onde:

$R_h$  = Raio hidráulico, em m;

$P_m$  = Perímetro molhado, em m; e,

$A$  = Área da seção transversal, em  $m^2$ .

### 3.5. Esquema das vazões de abastecimento

A área da seção transversal, por sua vez, foi calculada com o auxílio do software AutoCAD - R14, a partir dos valores medidos durante o teste, como largura da base do sulco, a altura e largura da seção superficial livre – conforme pode ser observado nos desenhos do ANEXO-02. Em cada sulco (de cada área experimental) foram aplicadas as vazões de aproximadamente  $15m^3/h$ ,  $30m^3/h$  e  $45m^3/h$  pois, devido ao grande volume do efluente industrial gerado durante o processamento das frutas, verifica-se que, na prática, as aplicações do efluente ocorrem exatamente em torno de tais valores.

### 3.6. Obtenção das equações de infiltração

#### 3.6.1. Método da “entrada-saída”

Segundo (BERNARDO, 1982) o teste de infiltração tem por objetivo determinar a equação de infiltração, o que pode ser feito pelo método da “entrada-saída”. No momento em que a frente de umedecimento atinge o final do sulco inicia-se o teste de infiltração, onde, em função de um procedimento de cronometragem, é registrada a carga hidráulica na calha de saída para intervalos máximos de 10 minutos. Isto se repete até o momento em que três leituras consecutivas (da carga na calha), no mínimo, sejam praticamente constantes. Os valores de carga hidráulica nas calhas são transformadas em vazões utilizando-se as curvas de calibração (o ANEXO-01 apresenta a curva de calibração de uma das calhas utilizadas). Assim, a lâmina d’água infiltrada pode ser obtida pela equação:

$$F = \frac{(Q - Q_s) \cdot 60 \cdot \Delta t}{A} \quad (3.6.1.1)$$

onde:

- F = lâmina infiltrada no sulco, em mm;
- Q = vazão de entrada no sulco, em l/s;
- Q<sub>s</sub> = vazão de saída no final do sulco, em l/s;
- Δt = Intervalo de tempo entre duas medições, em min (max. de 10 min.); e,
- A = Área molhada do sulco, em m<sup>2</sup>.

Afirma o autor que a infiltração acumulada d’água no solo pode ser descrita por vários tipos de equações, sendo a do tipo potencial uma das mais usadas:

$$F = a \cdot T^n \quad (3.6.1.2)$$

onde:

- F = Infiltração acumulada;
- a = Constante que depende do solo;
- T = Tempo de infiltração; e,

$n$  = Constante que depende do solo, variando entre 0 e 1.

Comenta também, que este tipo de equação descreve bem a infiltração do solo para períodos curtos (períodos estes comuns na aplicação de lâminas d'água médias e pequenas), e que possui limitações para períodos longos, pois neste caso, pela equação, a velocidade de infiltração tende para zero à medida que o tempo de infiltração aumenta em demasia. Porém, na realidade, à medida que o tempo aumenta a velocidade de infiltração tende para VIB (velocidade de infiltração básica) – que é um valor praticamente constante e diferente de zero.

Ao ser aplicado os logaritmos nos dois lados da equação (3.6.1.2), obtêm-se :

$$\log F = \log a + n \log T \quad (3.6.1.3)$$

... ou seja, a equação de uma linha reta do tipo  $Y=A+B.X$ .

A determinação dos coeficientes e expoentes das equações de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração pode ser feita calculando-se os logaritmos de todos os valores de “F” e “T” e, posteriormente, procedendo-se à aplicação do método da regressão linear para os referidos pontos.

### 3.6.2. Método do tempo de contato médio

Segundo (CAMACHO et al., 1994), a partir dos dados de campo pode-se obter, de uma forma rápida e fácil, os parâmetros da equação de Kostiaikov. O autor teve como objetivo relacionar a infiltração com a velocidade de avanço baseando-se no princípio da continuidade ou balanço de volume.

A equação de balanço de volume nos relaciona o volume que entra, com o volume infiltrado e com o volume armazenado da seguinte forma:

$$Q \cdot Ta - Cs \cdot Ao \cdot L = \int_0^L f_F(Ta - Ta_x) dx \quad (3.6.2.1)$$

onde:

- Q = Vazão de entrada (m<sup>3</sup>/min).  
 Ta = tempo de avanço (min).  
 Cs = coeficiente de armazenamento superficial.  
 Ao = área do sulco que corresponde à vazão de entrada, (m<sup>2</sup>).  
 L = comprimento do sulco (m).  
 Tax = tempo de avanço até uma certa distância x (min).  
 f<sub>F</sub>(Ta - Ta<sub>x</sub>) = função da infiltração acumulada (m).

Estes autores afirmam que a resolução de  $\int_0^L f_F(Ta - Ta_x) dx$  torna-se complicada em função da equação de infiltração a ser utilizada e também pela curva de avanço empregada que pode ser do tipo potencial ou a do Serviço de Conservação dos Solos (SCS) dos EUA (SMERDON, 1988). Utilizando-se a equação de Kostiakov e a curva de avanço do tipo potencial, o método de solução exige uma integração numérica (BLAIR, 1988) (CHRISTIANSEN, 1966). O método proposto, mais simples e que não exige integração é uma simplificação do utilizado por (DETAR, 1990), modificado no que se refere ao armazenamento superficial. O método está baseado na consideração de tempos de contato médios.

Partindo da equação de Kostiakov :

$$F_i = a tc_i^n \quad (3.6.2.2)$$

onde:

- F<sub>i</sub> = infiltração acumulada para o ponto i (m).  
 tci = (Ta - Tax) = tempo de contato para esse ponto (min).  
 a, n = parâmetros empíricos.

A equação (3.6.2.2) é uma função que descreve adequadamente a infiltração desde que o tempo de contato não seja excessivamente elevado (PHILIP, 1957).



Expressando a equação (3.6.2.1) da seguinte forma:

$$Q \cdot Ta - Cs \cdot Ao \cdot L = V_F \quad (3.6.2.3)$$

onde:  $V_F$  é o volume de água infiltrada ( $m^3$ ) e dividindo ambos os termos da equação (3.6.2.3) pelo produto de  $L$  (comprimento do sulco) e  $S$  (espaçamento entre sulcos) resulta em:

$$\frac{V_F}{S \cdot L} = \frac{Q \cdot Ta}{S \cdot L} - \frac{Cs \cdot Ao \cdot L}{S \cdot L} \quad (3.6.2.4)$$

onde:  $F = \frac{V_F}{S \cdot L}$  é a infiltração média acumulada, e o segundo termo da equação (3.6.2.4) pode ser calculada com os dados de campo.

O termo  $\frac{Cs \cdot Ao}{S}$  pode ser determinado da seguinte forma:  
 $Cs$  varia entre 0.7 e 0.8 (WALKER, 1987).

Da equação de Manning isola-se  $Ao$  :

$$Ao = C_1 \left( \frac{Q \cdot n_m}{60 \sqrt{I}} \right)^{C_2} \quad (3.6.2.5)$$

onde:

$I$  = declividade do sulco, m/m;

$n_m$  = coeficiente de rugosidade de Manning (0,02 para solos irrigados previamente; 0,04 para solos recém cultivados e 0,15 para solos com muita vegetação).

Partindo-se de uma curva de avanço do tipo potencial tem-se :

$$Ta_i = b \cdot x^r \quad (3.6.2.6)$$

onde “b” e “r” são parâmetros empíricos.

Agora, o tempo de contato no ponto “i” pode ser expresso da forma:

$$tc_i = Ta - Ta_i \quad (3.6.2.7)$$

O tempo de contato médio define-se como:

$$tc = \frac{1}{L} \int_0^L tc_i \, dx \quad (3.6.2.8)$$

Substituindo (3.6.2.7) e (3.6.2.6) em (3.6.2.8) e sabendo que  $Ta = b \cdot L^r$ , então:

$$tc = \frac{1}{L} \int_0^L (bL^r - bx^r) \, dx \quad (3.6.2.9)$$

Integrando a equação anterior e lembrando que  $Ta = b \cdot L^r$ , chega-se a:

$$tc = \left( \frac{r}{r+1} \right) \cdot Ta \quad (3.6.2.10)$$

O volume de água infiltrado no sulco é :

$$V_F = S \int_0^L F_i \cdot dx = S \cdot L \cdot F \quad (3.6.2.11)$$

A infiltração média acumulada (F) é aquela obtida na equação (3.6.2.2) ao usar o tempo de contato médio (tc) :

$$F = a \cdot tc^n \quad (3.6.2.12)$$

Logo a equação (3.6.2.11) passa a ser:

$$V_F = S \cdot L \cdot a \cdot tc^n \quad (3.6.2.13)$$

Substituindo as equações (3.6.2.9) e (3.6.2.10) em (3.6.2.13) resulta em :

$$V_F = S \cdot L^{r+1} \cdot a \left( \frac{r}{r+1} \right)^n \cdot b^n \quad (3.6.2.14)$$

(DeTAR, 1990) citado por (CAMACHO et al, 1994), comprovou que o erro que se produz ao determinar o volume infiltrado considerando este método com o que se produz pela integração da equação (3.6.2.11) é 3% maior, motivo pelo qual considerou um tempo de contato médio de :

$$tc = 0,94 \cdot \left( \frac{r}{r+1} \right) \cdot Ta \quad (3.6.2.15)$$

Representando de forma gráfica log F contra log tc pode-se obter a curva de infiltração de Kostiakov, resultando para este caso:

$$F = a \cdot tc^n \quad (3.6.2.16)$$

O autor finalmente concluiu que os cálculos necessários para determinar os coeficientes da equação de Kostiakov são muitos simples e fáceis. Com este método, pela sua simplicidade, não é necessário recorrer à integração numérica, ou seja, com poucos dados medidos em campo necessários para qualquer outra avaliação, é possível encontrar os parâmetros da equação de infiltração.

Para este trabalho de pesquisa não foi necessário estimar a área da seção transversal do sulco (A) e também o perímetro molhado (Pm) conforme proposto originalmente pela metodologia apresentada por (CAMACHO et al., 1994). O perímetro molhado (Pm) de cada seção transversal foi registrado em campo (conforme exposto no item 3.4) e, diante de tais registros, com a aplicação do programa Auto-CAD R14 foram determinadas as áreas das seções transversais (A) correspondentes.

Dividindo-se a área (A) pelo perímetro molhado (Pm) tem-se o raio hidráulico (Rh), permitindo que a equação de Manning (3.6.2.5) mostrada anteriormente possa ser escrita em seu formato original :

$$Q = \frac{A \cdot \sqrt{I} \cdot Rh^{2/3}}{n_m} \quad (3.6.2.17)$$

Então, igualando (3.6.2.5) e (3.6.2.17) obtêm-se :

$$A_o = C_1 \left( \frac{Q \cdot n_m}{60 \sqrt{I}} \right)^{C_2} = \frac{Q \cdot n_m}{\sqrt{I} \cdot Rh^{2/3}} \quad (3.6.2.18)$$

### 3.7. Desenvolvimento de programa computacional

Como citado anteriormente, devido ao grande número de testes de campo conduzidos nesta pesquisa, surgiu a necessidade de se criar um programa computacional que pudesse garantir o processamento dos dados registrados. Neste sentido, foi desenvolvido um aplicativo em linguagem DELPHI, denominado "INFILTRAÇÃO" com a finalidade de avaliar o desempenho hidráulico dos sulcos de infiltração. Outro ponto importante é que por meio de simulações o programa poderá encontrar, para um determinado sulco, o comprimento (L) máximo que corresponda a uma Eficiência de Distribuição (ED) previamente estabelecida.

O programa admite como entrada de dados a vazão de abastecimento (Q), o espaçamento entre sulcos (S), a declividade longitudinal média do sulco (I) e o valor da lâmina hídrica líquida de irrigação (Hi). Ainda na "tela" de entrada de dados deverá ser fornecidas as leituras do teste de avanço, bem como o valor do perímetro molhado médio (Pm) e a área da seção transversal média (A) dos sulcos.

### 3.8. Parâmetros de dimensionamento

O manejo do sistema de tratamento de efluentes no solo por sulcos largos nas indústrias de sucos cítricos estudadas, é baseado na altura de água retida no perfil do solo até a profundidade efetiva das raízes do eucalipto. No entanto muitos parâmetros hidráulicos referentes aos sulcos largos utilizados para a disposição desse efluente são praticamente desconhecidos, como por exemplo a vazão de abastecimento mais adequada (que na prática pode ultrapassar 50 m<sup>3</sup>/h), a declividade, o comprimento mais conveniente dos sulcos e características peculiares do escoamento como o coeficiente de rugosidade de Manning, que interfere diretamente na velocidade do líquido.

Nesse sentido, diante dos dados coletado em campo, inicialmente utilizou-se do programa “INFILTRAÇÃO” para se determinar o coeficiente de Manning dos sulcos largos e compará-lo com os valores publicados nos compêndios de hidráulica que, por sua vez, trazem valores do coeficiente de Manning para diversas situações em canais que geometricamente se assemelham aos sulcos aqui apresentados.

Numa segunda etapa, foram determinadas as equações de infiltração de acordo com os métodos apresentados e, com a utilização do programa “INFILTRAÇÃO”, avaliou-se ao final da experimentação a situação hidráulica desses sulcos. Posteriormente foram otimizados por meio de simulações, revelando a influência do comprimento dos sulcos na Eficiência de Aplicação (Ea) e na Eficiência de Distribuição (ED). Por meio de tabelas, foram apresentados para cada solo os resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação, lâmina infiltrada e o desempenho hidráulico de cada sulco.

A aplicação desse programa computacional permitiu, que de um total de 82 testes, fossem destacados aqueles com eficiência de no mínimo 60%. Nesse sentido, foram identificados os fatores causadores do mau desempenho hidráulico de diversos sulcos testados para os diferentes tipos de solo, ocasião esta onde pôde-se verificar a variação ocorrida no que se refere ao tempo de avanço, área da seção transversal, raio hidráulico e umidade de tais sulcos no momento da realização dos respectivos testes de avanço e de infiltração. Após essa análise preliminar e com o objetivo de se chegar ao sulco hidráulicamente mais eficiente, foram calculados os valores médios dos parâmetros relativos àqueles sulcos que se destacaram por apresentarem os melhores desempenhos.

Na seqüência, passou-se ao estudo dos parâmetros vazão de entrada e declividade dos sulcos largos. Para tanto, a exemplo da equação (2.6.1) – pg. 20, buscou-se estabelecer uma relação matemática entre tais parâmetros. Os resultados provenientes da equação gerada por essa relação matemática foram comparados estatisticamente com os resultados provenientes da equação (2.6.1) no sentido de se verificar a validade dessa equação (devida a Gardner – citada por (BERNARDO, 1982)) especificamente para o caso dos sulcos largos de infiltração. Diante dessas análises, definiu-se os sulcos hidráulicamente mais eficientes que, finalmente, foram submetidos ao programa “INFILTRAÇÃO” para a confirmação final de um bom desempenho hidráulico.

Como parte dos objetivos desse trabalho, seguiu-se ao estudo das equações de infiltração, ou seja, uma comparação estatística entre os resultados obtidos a partir da metodologia do “tempo de contado médio” descrita por (CAMACHO et al., 1994) e os resultados obtidos a partir do método da “entrada-saída” citado por (OLITTA, 1977), (BERNARDO, 1982) e (VIEIRA, 1989).

### 3.9. Levantamento topográfico

Concluídos os trabalhos de levantamento topográfico e construídas as respectivas plantas topográficas, em cada área experimental foram escolhidos 9 sulcos de infiltração. Porém, conforme mencionado anteriormente, na Área-C ocorreram muitos imprevistos e por isso apenas 4 sulcos foram submetidos aos testes de campo nessa área experimental. Os resultados constam nas Tabelas 02, 03 e 04.

**Tabela-02** – Resultados do levantamento topográfico – Área-A, Areia Franca, Matão, SP

SULCO	Comprimento (L) (m)	declividade (I) (‰)
01	98,2	1,40
02	105,5	1,40
03	106,0	0,40
04	106,1	0,60
05	106,0	1,10
06	106,0	1,10
07	106,0	0,80
08	108,0	0,60
09	112,0	1,30

Tabela-03 – Resultados do levantamento topográfico – Área-B, Franco Argilo Arenoso, Limeira, SP

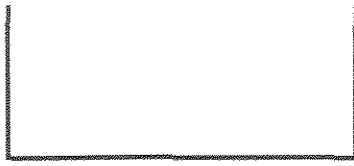
SULCO	Comprimento (L) (m)	declividade (I) (‰)
01	146,0	1,90
02	147,0	0,45
03	147,0	0,60
04	140,0	1,50
05	141,0	1,95
06	142,0	1,15
07	142,0	1,40
08	142,0	1,75
09	143,0	1,80

Tabela-04 – Resultados do levantamento topográfico – Área-C, Franco Argilo Arenoso, Mirassol, SP

SULCO	comprimento (L) (m)	declividade (I) (‰)
02	150,0	1.04
04	150,0	1.13
05	150,0	1.81
06	150,0	1.59

Observando-se essas tabelas, nota-se que os sulcos da Área-B e Área-C são mais longos do que os da Área-A além de apresentarem alguns valores de declividade mais acentuados (maiores que 1,5 ‰).

Comparando os perfis transversais dos sulcos de infiltração, observou-se uma grande diferença. Os sulcos da Área-A são mais estreitos, mais fundos e com formato retangular, os da Área-B são bem mais largos, mais rasos e com um formato mais arredondado e os da Área-C também são rasos, estreitos e apresentam formato trapezoidal (**Figuras 14, 15 e 16**). Obs: Tais figuras buscam mostrar apenas a forma do perfil transversal dos sulcos de cada área experimental e, portanto, a proporcionalidade entre as mesmas devem ser desconsideradas.



**Figura – 14**  
Perfil transversal dos sulcos (Área-A)  
Areia Franca, Matão, SP



**Figura –15**  
Perfil transversal dos sulcos (Área-B)  
Franco Argilo Arenoso, Limeira, SP



**Figura – 16**  
Perfil transversal dos sulcos (Área-C)  
Franco Argilo Arenoso, Mirassol, SP

### 3.10. Caracterização física do solo

A partir do processamento das amostras de solo em laboratório, foram determinadas as Curvas Características da Água no Solo (exemplo: **Figura-17**). Estas curvas forneceram, de acordo com o que foi explicado, os parâmetros ligados à caracterização física do solo.



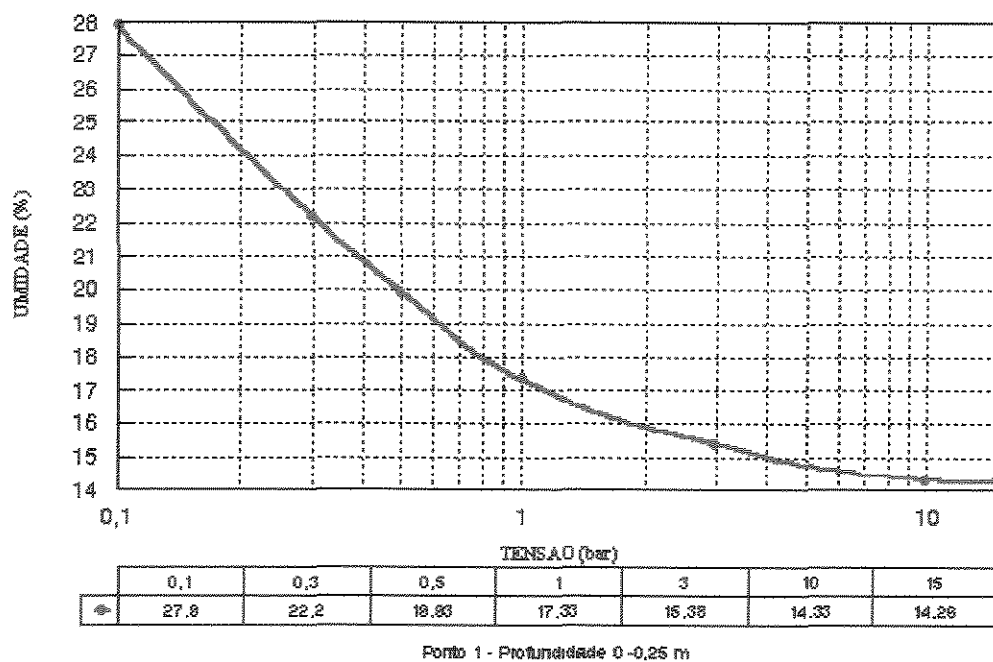


Figura - 17 – Curva Característica da Água no Solo (Área-B)

Finalmente, aplicando-se as equações (3.1.1), (3.1.2), (3.1.3) e (3.1.4) chegou-se aos resultados da Tabela-05.

Tabela-05 – Capacidade de retenção da água no solo (Área-B) Franco Argilo Arenoso, Limeira, SP

Ponto de Coleta	Prof (cm)	CC (%)	UC (%)	PM (%)	Dg (g/cm <sup>3</sup> )	h (cm)	ETR (mm/dia)	Ei (%)	H (mm)	Hi (mm)	R (mm)	Hb (mm)
Início do sulco	0-25	21,69	16,01	14,10	0,64	70	6,0	60,0	34,3	25,6	8,6	42,7
início do sulco	25-50	23,56	14,34	12,49	1,14	70	6,0	60,0	88,3	73,6	14,8	122,6
início do sulco	50-75	24,76	15,06	12,84	1,12	70	6,0	60,0	93,8	76,3	17,5	127,2
início do sulco	75-100	24,76	15,06	12,84	1,15	70	6,0	60,0	95,6	77,8	17,8	129,7
Meio do sulco	0-25	25,20	17,10	15,10	1,27	70	6,0	60,0	89,9	72,1	17,8	120,2
Meio do sulco	25-50	26,95	17,51	14,59	1,20	70	6,0	60,0	103,6	79,1	24,5	131,8
Meio do sulco	50-75	29,89	17,60	14,71	1,32	70	6,0	60,0	139,8	113,2	26,6	188,7
Meio do sulco	75-100	28,86	17,51	15,04	1,05	70	6,0	60,0	101,2	83,1	18,1	138,5
Final do sulco	0-25	25,17	16,84	14,66	1,22	70	6,0	60,0	89,7	71,1	18,6	118,4
Final do sulco	25-50	25,78	17,76	14,76	1,08	70	6,0	60,0	83,2	60,5	22,6	100,9
Final do sulco	50-75	29,18	18,25	14,97	1,06	70	6,0	60,0	105,6	81,3	24,4	135,4
Final do sulco	75-100	30,12	18,81	15,30	1,02	70	6,0	60,0	105,9	80,8	25,1	134,7
Média												74,54

onde:

- CC = Capacidade de campo, % ;
- UC = Umidade crítica, % ;
- PM = Ponto de murcha permanente, % ;
- Dg = Densidade global, g/cm<sup>3</sup> (calculado a partir das amostras de solo em laboratório);
- H = Profundidade de irrigação, cm ;
- ETR = Evapotranspiração real (do eucalipto), mm/dia;
- Ei = Eficiência de irrigação, % ;
- H = Altura de água disponível, % ;
- Hi = Lâmina hídrica de irrigação, mm ;
- R = Reserva da água no solo, mm ; e,
- Hb = Lâmina bruta de irrigação, mm.

Pela **Tabela-05**, obteve-se o valor médio de "Hi" para a Área-B (74,54 mm), valor este utilizado posteriormente para o estudo do comportamento da infiltração. Para as outras áreas foram montadas as mesmas tabelas de forma análoga, a fim de se obter os respectivos valores médios de "Hi", isto é, 42,78 mm para a Área-A e 52,00 mm para a Área-C.

### **3.11. Classes texturais dos diferentes tipos de solo**

Para a determinação das classes texturais dos solos envolvidos nessa pesquisa, primeiramente foram retiradas amostras de solo e a partir de suas respectivas Curvas Granulométricas, determinadas em laboratório (**ANEXO-03**), procedeu-se à classificação segundo um método amplamente difundido (Classificação Textural do "Soil Survey" ) citado por (**MONIZ, 1972**). Dessa maneira foi determinado que o solo da área experimental da indústria Citrosuco (Matão/SP – Área-A) apresenta classe textural Areia Franca, assim como o solo da Área-B (indústria Citrosuco - Limeira/SP) e da Área-C (indústria Bascitrus Agroindústria - Mirassol/SP) apresentam classe textural Franco Argilo Arenoso. De acordo com o diagrama citado pelo autor todos os solos apresentam textura grossa.

### 3.12. – A coleta de dados

Para a realização dos trabalhos práticos foi criada uma caderneta de campo onde foram registradas todas as leituras referentes aos testes de avanço e aos testes de infiltração. Portanto, com o término desses testes chegou-se a um total de 82 cadernetas, cujos dados registrados serviram de base para todos os resultados mostrados a seguir. A **Figura-18** traz um exemplo da caderneta de campo utilizada.

<p><b>Área-B (primeira repetição)</b> sulco, teste 1</p> <p>a) leituras da vazão de entrada por medição direta.</p> <p>vazão de entrada (Q) = 34,4 m<sup>3</sup>/h</p> <p>b) leitura da largura da lâmina d'água (ld) e da largura do fundo do sulco (fs) - para cálculo da área (A) das seções do sulco (sec) no término do teste de avanço.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sec</th> <th>Ld (m)</th> <th>fs (m)</th> <th>A (m<sup>2</sup>)</th> <th>sec</th> <th>ld (m)</th> <th>fs (m)</th> <th>A (m<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1,37</td> <td>1,38</td> <td>0,0582</td> <td>6</td> <td>2,29</td> <td>2,31</td> <td>0,170</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1,75</td> <td>1,77</td> <td>0,1270</td> <td>7</td> <td>2,46</td> <td>2,48</td> <td>0,223</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1,99</td> <td>2,01</td> <td>0,1690</td> <td>8</td> <td>3,07</td> <td>3,10</td> <td>0,391</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2,17</td> <td>2,18</td> <td>0,1292</td> <td>9</td> <td>3,13</td> <td>3,17</td> <td>0,462</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2,34</td> <td>2,35</td> <td>0,1930</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>c) leitura na calha de saída</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo (min)</th> <th>carga (mm)</th> <th>tempo (min)</th> <th>carga (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>90</td> <td>40</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>110</td> <td>45</td> <td>151</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>119</td> <td>50</td> <td>152</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>128</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>132</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>138</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>142</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Sec	Ld (m)	fs (m)	A (m <sup>2</sup> )	sec	ld (m)	fs (m)	A (m <sup>2</sup> )	1	1,37	1,38	0,0582	6	2,29	2,31	0,170	2	1,75	1,77	0,1270	7	2,46	2,48	0,223	3	1,99	2,01	0,1690	8	3,07	3,10	0,391	4	2,17	2,18	0,1292	9	3,13	3,17	0,462	5	2,34	2,35	0,1930					Tempo (min)	carga (mm)	tempo (min)	carga (mm)	5	90	40	150	10	110	45	151	15	119	50	152	20	128			25	132			30	138			35	142			<p>d) medição da frente de umedecimento – (estacas distas em 10 metros).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distancia (m)</th> <th>tempo (min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>3,65</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>7,54</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>13,75</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>17,95</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>25,25</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>35,10</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>42,84</td> </tr> </tbody> </table> <p>e) leitura da largura da lâmina d'água (ld) e da largura do fundo do sulco (fs) - para cálculo da área (A) das seções do sulco (sec) no término o teste de infiltração.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>sec</th> <th>ld (m)</th> <th>fs (m)</th> <th>A (m<sup>2</sup>)</th> <th>sec</th> <th>ld (m)</th> <th>fs (m)</th> <th>A (m<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2,77</td> <td>2,84</td> <td>0,491</td> <td>6</td> <td>2,78</td> <td>2,81</td> <td>0,304</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2,49</td> <td>2,54</td> <td>0,371</td> <td>7</td> <td>2,89</td> <td>2,92</td> <td>0,365</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2,56</td> <td>2,61</td> <td>0,362</td> <td>8</td> <td>3,34</td> <td>3,38</td> <td>0,506</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2,63</td> <td>2,65</td> <td>0,231</td> <td>9</td> <td>3,13</td> <td>3,17</td> <td>0,462</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2,68</td> <td>2,71</td> <td>0,293</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				distancia (m)	tempo (min)	0	0,00	10	1,00	20	3,65	30	7,54	40	13,75	50	17,95	60	25,25	70	35,10	80	42,84	sec	ld (m)	fs (m)	A (m <sup>2</sup> )	sec	ld (m)	fs (m)	A (m <sup>2</sup> )	1	2,77	2,84	0,491	6	2,78	2,81	0,304	2	2,49	2,54	0,371	7	2,89	2,92	0,365	3	2,56	2,61	0,362	8	3,34	3,38	0,506	4	2,63	2,65	0,231	9	3,13	3,17	0,462	5	2,68	2,71	0,293				
Sec	Ld (m)	fs (m)	A (m <sup>2</sup> )	sec	ld (m)	fs (m)	A (m <sup>2</sup> )																																																																																																																																																				
1	1,37	1,38	0,0582	6	2,29	2,31	0,170																																																																																																																																																				
2	1,75	1,77	0,1270	7	2,46	2,48	0,223																																																																																																																																																				
3	1,99	2,01	0,1690	8	3,07	3,10	0,391																																																																																																																																																				
4	2,17	2,18	0,1292	9	3,13	3,17	0,462																																																																																																																																																				
5	2,34	2,35	0,1930																																																																																																																																																								
Tempo (min)	carga (mm)	tempo (min)	carga (mm)																																																																																																																																																								
5	90	40	150																																																																																																																																																								
10	110	45	151																																																																																																																																																								
15	119	50	152																																																																																																																																																								
20	128																																																																																																																																																										
25	132																																																																																																																																																										
30	138																																																																																																																																																										
35	142																																																																																																																																																										
distancia (m)	tempo (min)																																																																																																																																																										
0	0,00																																																																																																																																																										
10	1,00																																																																																																																																																										
20	3,65																																																																																																																																																										
30	7,54																																																																																																																																																										
40	13,75																																																																																																																																																										
50	17,95																																																																																																																																																										
60	25,25																																																																																																																																																										
70	35,10																																																																																																																																																										
80	42,84																																																																																																																																																										
sec	ld (m)	fs (m)	A (m <sup>2</sup> )	sec	ld (m)	fs (m)	A (m <sup>2</sup> )																																																																																																																																																				
1	2,77	2,84	0,491	6	2,78	2,81	0,304																																																																																																																																																				
2	2,49	2,54	0,371	7	2,89	2,92	0,365																																																																																																																																																				
3	2,56	2,61	0,362	8	3,34	3,38	0,506																																																																																																																																																				
4	2,63	2,65	0,231	9	3,13	3,17	0,462																																																																																																																																																				
5	2,68	2,71	0,293																																																																																																																																																								

**Figura-18** – Caderneta de campo : Área-B (primeira repetição) : sulco 1, teste 1 (st11).

## **4. Resultados e Discussão**

### **4.1 - O programa "INFILTRAÇÃO"**

As figuras colocadas a seguir, demonstram as "telas" que compõe o referido programa.

A tela inicial (**Figura-19**) permite a escolha de um novo projeto (a avaliação de um novo sulco), ou abrir um projeto já em andamento. A **Figura-20** mostra que pela opção "abrir projeto" um arquivo de exemplo está sendo aberto: exemplo1.dat .

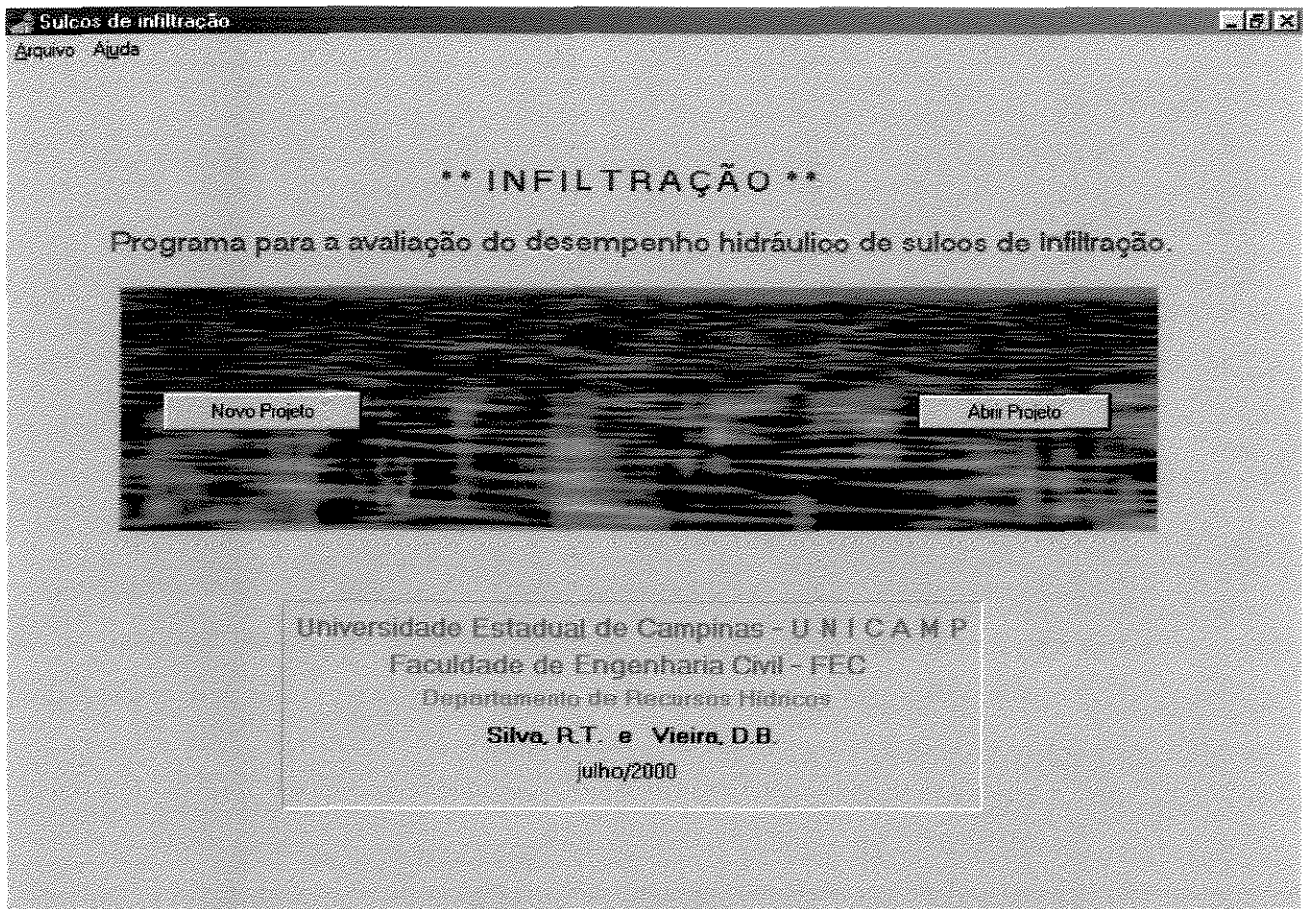


Figura-19 – Tela de apresentação do programa "INFILTRAÇÃO"

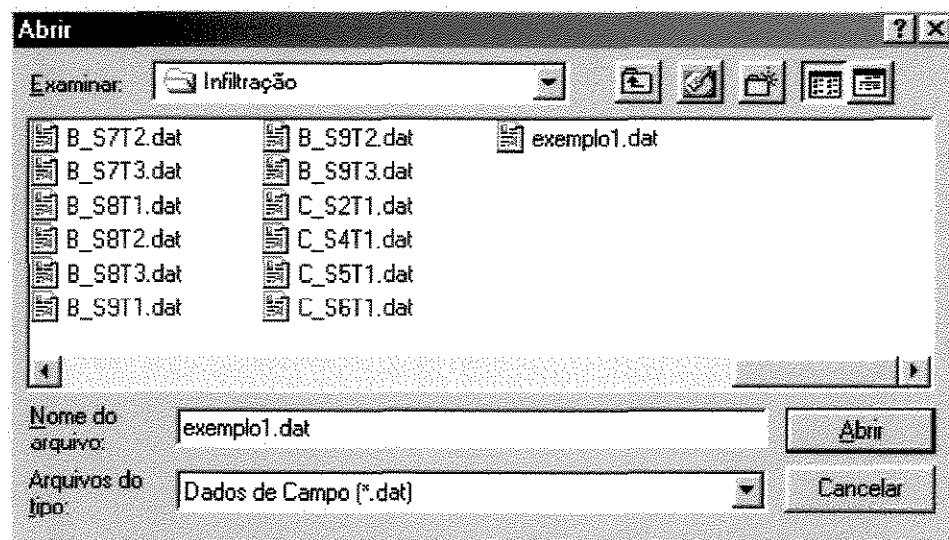
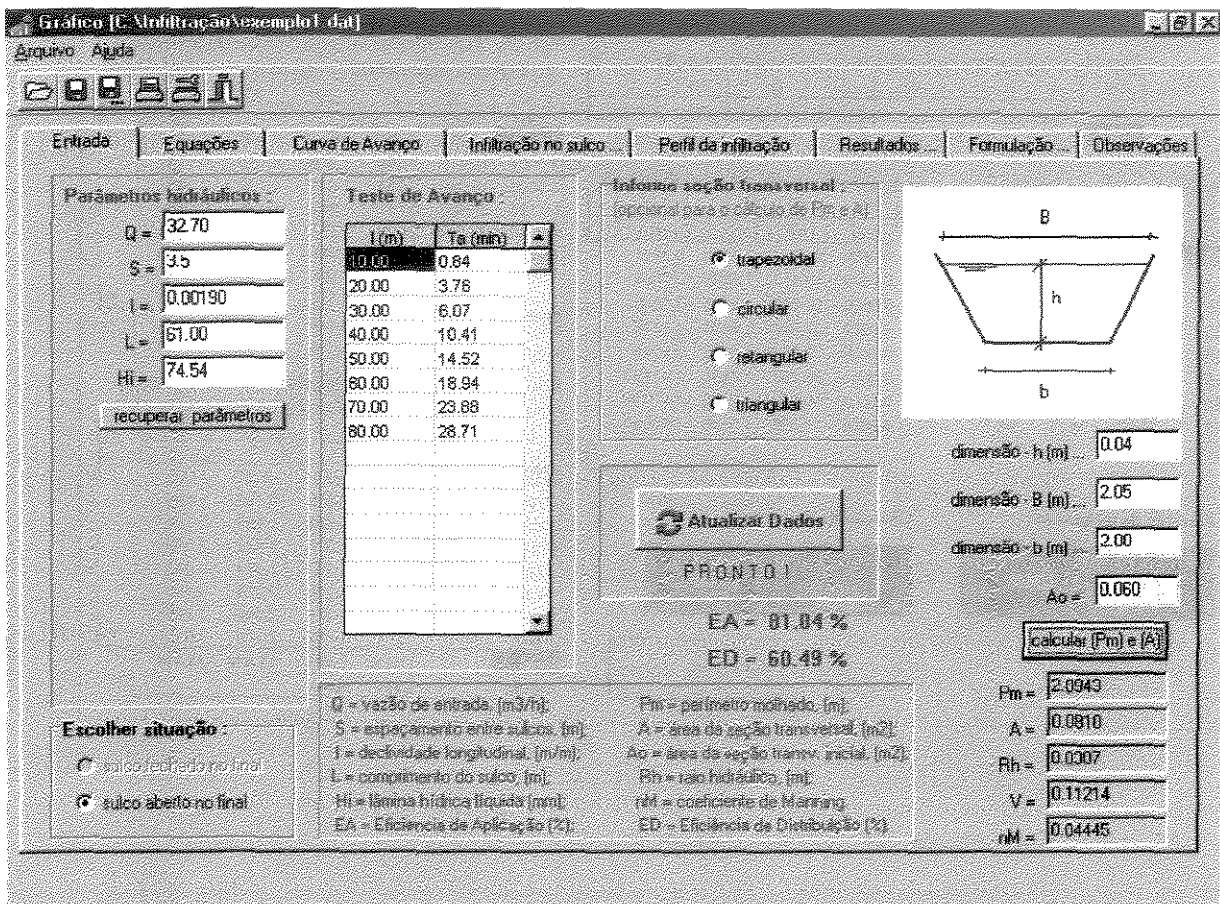


Figura-20 – Janela para a abertura dos projetos já em andamento ou dos exemplos que acompanham o programa.

A **Figura-21** mostra a tela que permite a entrada dos dados lidos durante os testes de avanço, como por exemplo a vazão de abastecimento, espaçamento entre sulcos, as dimensões da seção transversal do sulco, etc. Esta mesma tela disponibiliza alguns resultados preliminares, como o perímetro molhado, a área da seção transversal do sulco, o raio hidráulico, a velocidade do escoamento e também o coeficiente de rugosidade de Manning.



**Figura-21** - Tela para o registros dos dados de entrada (dados dos testes de campo).

Após o preenchimento de todos os campos dessa tela, através do comando “Atualizar Dados” acontecerão todos os cálculos descritos a seguir.

A **Figura-22** mostra a janela que traz quatro tabelas – Na "tabela-01" e na "tabela-02" encontram-se os parâmetros hidráulicos calculados segundo a metodologia descrita por (CAMACHO et al., 1994) – apresentada anteriormente.

Pela **Figura-22** observa-se o método da regressão linear e neste sentido a "tabela-03" traz a transformação logarítmica da infiltração e do tempo acumulado para a obtenção da equação

da infiltração, já a "tabela-04" traz a transformação logarítmica dos valores de comprimento e do tempo de avanço, para a obtenção da equação do avanço.

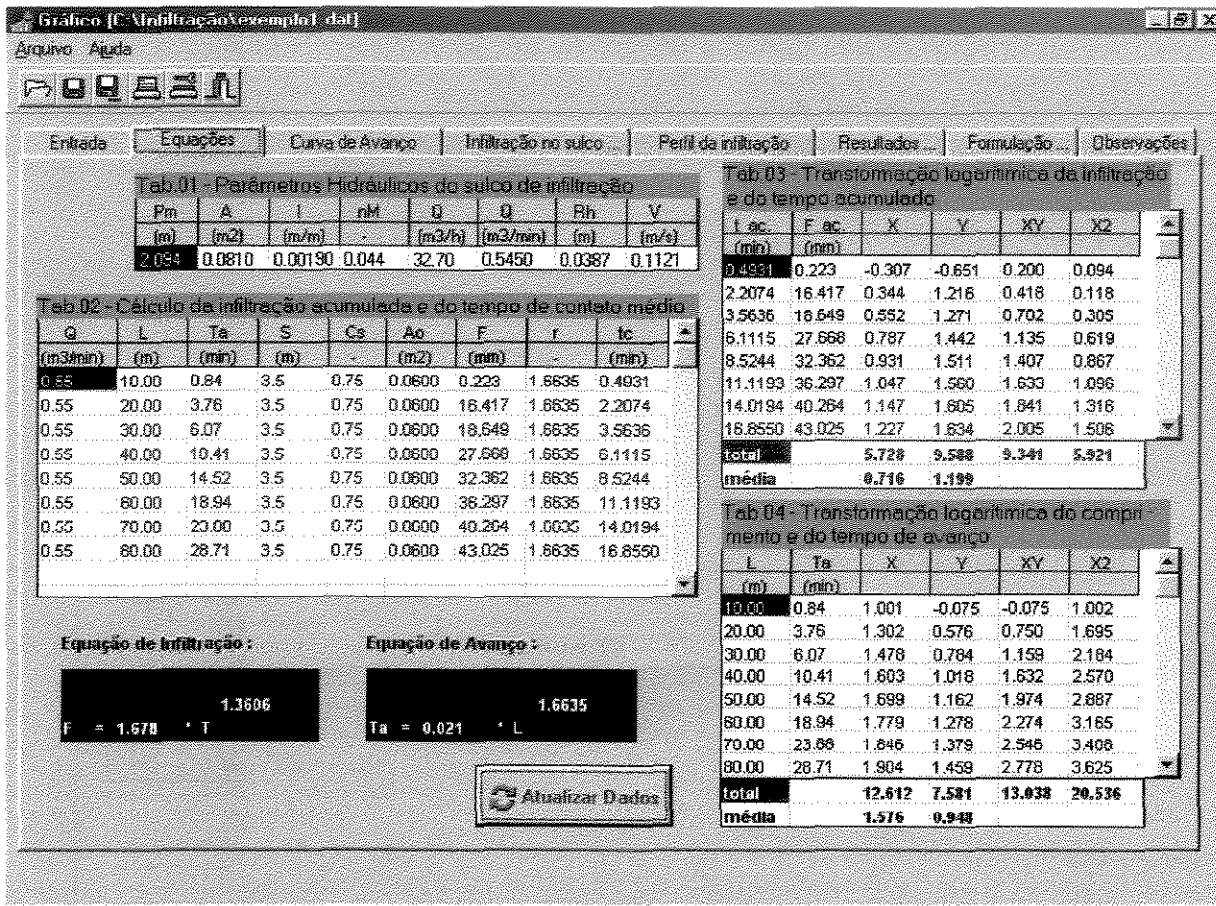


Figura-22 – Obtenção da equação da infiltração e da equação do avanço

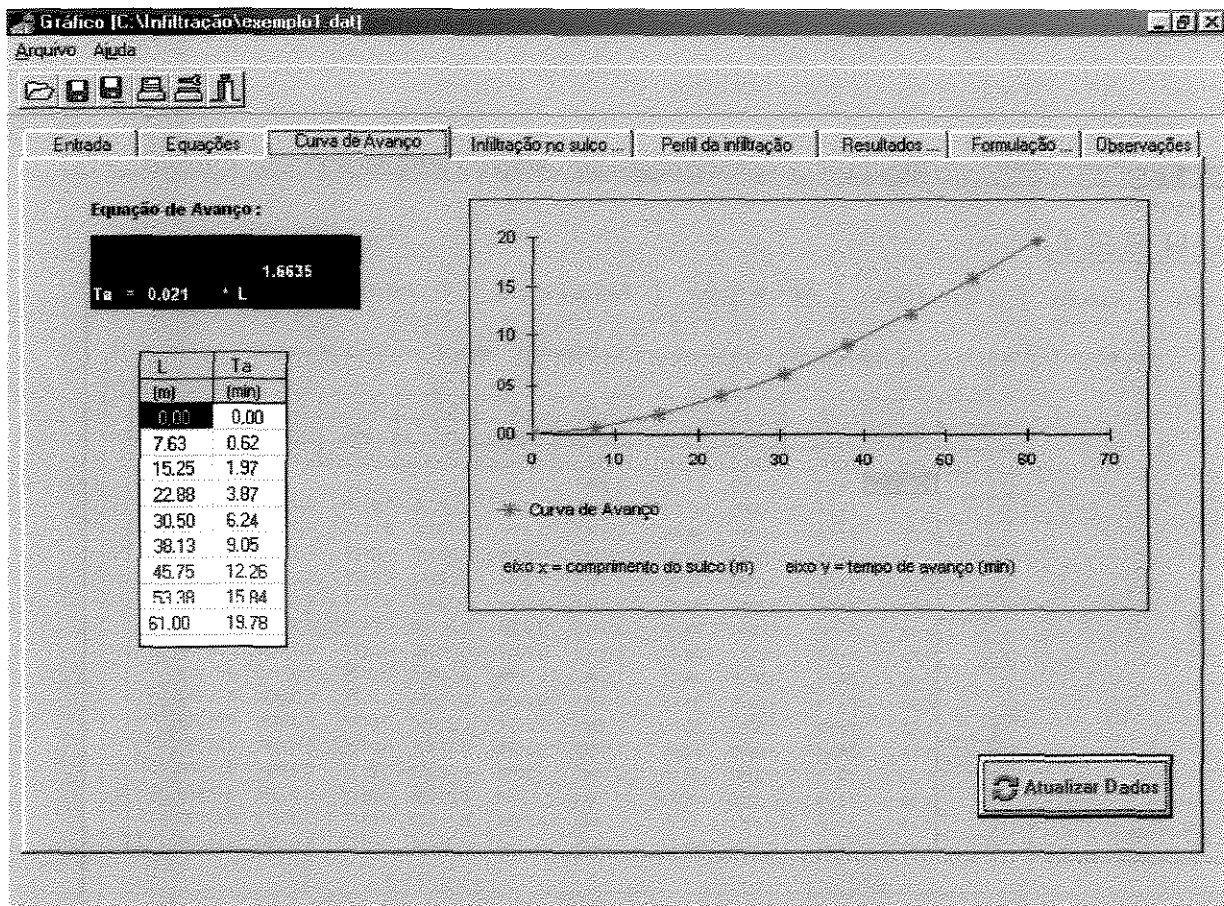


Figura-23 – Obtenção da curva de avanço

A **Figura-23** tem como finalidade mostrar a curva de avanço correspondente à equação já obtida pelo método da regressão linear.

A partir da obtenção da curva de avanço, o programa passa a detalhar o comportamento da infiltração correspondente a cada incremento de 10 cm ao longo do sulco (referente ao seu comprimento). Por exemplo: para um sulco de 100 metros de comprimento, haverá 1000 seções (de 10 cm cada) onde o programa estará calculando o  $V_{ap}(fa)$ ,  $V_{inf}(fa)$ ,  $V_{arm}(fa)$ ,  $V_{perc}(fa)$ ,  $V_{ret}(fa)$ \*. Neste exemplo, o comprimento do sulco verificado em campo é igual a 160 metros e portanto o detalhamento das 1600 seções durante a fase de avanço poderá ser observado através de uma planilha. É o que mostra a **Figura-24**.

\* onde:

$V_{ap}(fa)$  = volume aplicado na fase de avanço,  $m^3$ ;

$V_{inf}(fa)$  = volume infiltrado,  $m^3$ ;

$V_{arm}(fa)$  = volume armazenado acima da superfície do solo,  $m^3$ ;



Vperc(fa) = volume percolado, m<sup>3</sup>; e,  
 Vret(fa) = volume retido na zona radicular, m<sup>3</sup>.

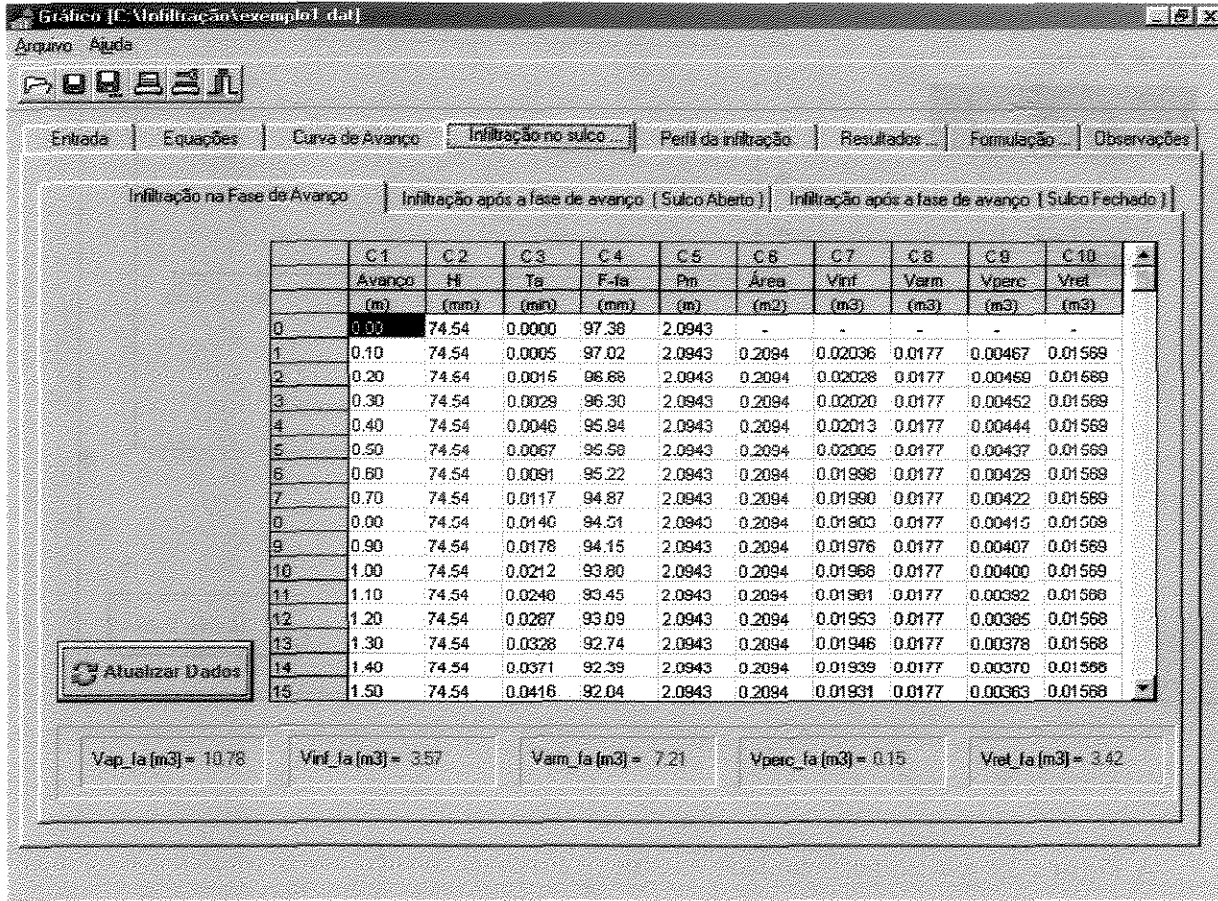


Figura -24 – Detalhamento da infiltração na fase de avanço

Para que o programa pudesse detalhar o comportamento da infiltração ao longo dos sulcos durante a fase de avanço (Figura-24), utilizou-se do seguinte raciocínio:

Sabendo-se que o avanço da água no sulco é descrito pela equação

$$T_a = b \cdot L^r \quad (4.1.1)$$

onde :

- T<sub>a</sub> = tempo de avanço final, em min;
- L = Comprimento total do sulco, em metros; e,
- “b” e “r” = Constantes que dependem da natureza do solo.

... então o tempo de avanço em cada seção “i” pode ser definido por :

$$T_{a_i} = b \cdot L_i^r \quad (4.1.1')$$

Agora, partindo da equação potencial da infiltração definida por Kostiakov  $F = a \cdot t^n$  onde :

- F = Lâmina infiltrada acumulada, em mm;  
t = tempo de irrigação, em min; e,  
“a” e “n” = Constantes que dependem da natureza do solo.

e substituindo  $F = H_i$ , obtêm-se :  $H_i = a \cdot T^n$

onde :

- $H_i$  = lâmina hídrica líquida de irrigação, em mm;  
T = tempo necessário para que “ $H_i$ ” infiltre no final do sulco; em min; e,

Esta equação também pode ser escrita da seguinte forma :

$$T = \sqrt[n]{H_i/a} \quad (4.1.2)$$

Então define-se o tempo total da irrigação ( $T_t$ ), em min, ou seja :

$$T_t = T + T_{a_i} \quad (4.1.3)$$

Retomando a equação da infiltração  $F = a \cdot t^n$  calcula-se a lâmina infiltrada acumulada para cada seção transversal “i” ao longo do sulco na fase de avanço ( $F_{fa_i}$ ), em mm, isto é :

$$F_{inf}(fa)_i = a \cdot T_{a_i}^n$$

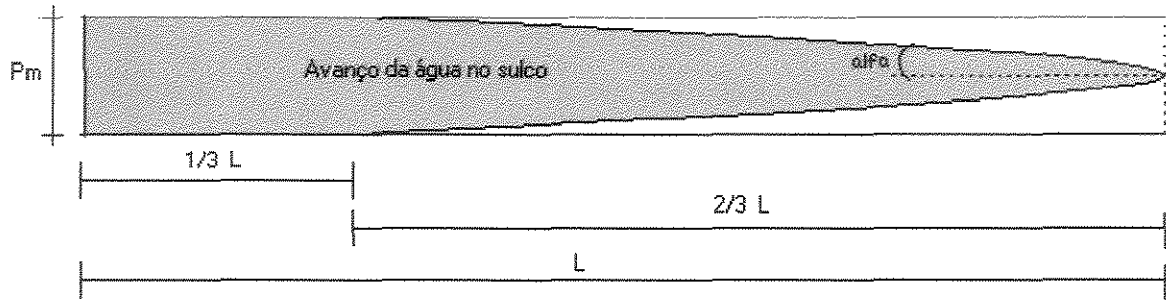
Substituindo as equações (4.1.1) e (4.1.1’), na equação acima tem-se :

$$F_{inf}(fa)_i = a \cdot (b \cdot L^r - b \cdot L_i^r)^n$$

$$F_{inf}(fa)_i = a \cdot (b^n \cdot L^{r \cdot n} - b^n \cdot L_i^{r \cdot n})$$

$$F_{inf}(fa)_i = a \cdot b^n \cdot (L - L_i)^{r \cdot n} \quad (4.1.4)$$

A partir deste ponto, isto é, conhecendo-se a equação (4.1.4), apenas falta estimar a área superficial do sulco que estará submetida à infiltração, o que por sua vez permitirá o cálculo do volume infiltrado na fase de avanço. Os detalhes da área superficial do sulco correspondente à frente de umedecimento podem ser observados na **Figura 25** :



**Figura 25** - Detalhes da área superficial do sulco submetida à frente de umedecimento durante a fase de avanço.

De acordo com observações práticas tomadas em campo, pode-se dizer que a configuração do avanço da água em sulcos largos de infiltração assemelha-se com as proporções demonstradas pela **Figura 25**. Portanto, para se calcular a área superficial total do sulco correspondente à infiltração da água durante a fase de avanço, tem-se as seguintes relações :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{P_m}{2}}{\frac{2L}{3}}, \quad (4.1.5)$$

$$\text{Se } \frac{P_m}{2} = y \quad \text{e} \quad \frac{2L}{3} = x, \quad \text{então : } \operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} \quad (4.1.6)$$

Para qualquer seção “i” do sulco com  $L_i > \frac{L}{3}$ , a relação será a mesma, isto é :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_i}{x_i} \quad \therefore \quad y_i = x_i \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (4.1.7)$$

Ainda pela **Figura-25** observa-se que :

$$\text{quando } L_i \leq \frac{L}{3} \quad \text{então } P_{m_i} = P_m ; \quad \text{senão } P_{m_i} = 2 y_i$$

Portanto conhecendo-se o  $P_m$  de cada seção transversal “i” do sulco, calculou-se as áreas superficiais correspondentes sujeitas à infiltração :

$$A_x = \frac{(Pm_i + Pm_{i+1}) \cdot x'}{2} \quad \dots \quad (4.1.8)$$

... onde  $x'$  é igual ao termo  $(L_{i+1} - L_i)$  ou seja, a distância horizontal entre uma seção transversal e outra subsequente. obs: foi adotado um valor de  $x'$  igual a **10 cm** conforme já mencionado.

O Volume aplicado no sulco durante a fase de avanço, será :

$$V_{apl}(fa) = \frac{Q \cdot Ta}{60} \quad (4.1.9)$$

Por sua vez, o volume infiltrado, em  $m^3$ , durante a fase de avanço correspondente a cada trecho  $x'$  será :

$$V_{inf}(fa)_x = A_x \cdot \left[ \frac{(Finf(fa)_i + Finf(fa)_{i+1}) / 1000}{2} \right] \quad (4.1.10)$$

Então o volume total armazenado sobre a superfície do solo (volume ainda não infiltrado), será a diferença entre o volume total aplicado no sulco subtraído do volume total infiltrado, ou seja :

$$\sum V_{arm}(fa) = V_{apl}(fa) - \sum V_{inf}(fa)_x \quad (4.1.11)$$

O volume armazenado em cada trecho  $x'$  será :

$$V_{arm}(fa)_x = A_x \cdot \left( \frac{\sum V_{arm}(fa)}{\sum A_x} \right) \quad (4.1.11')$$

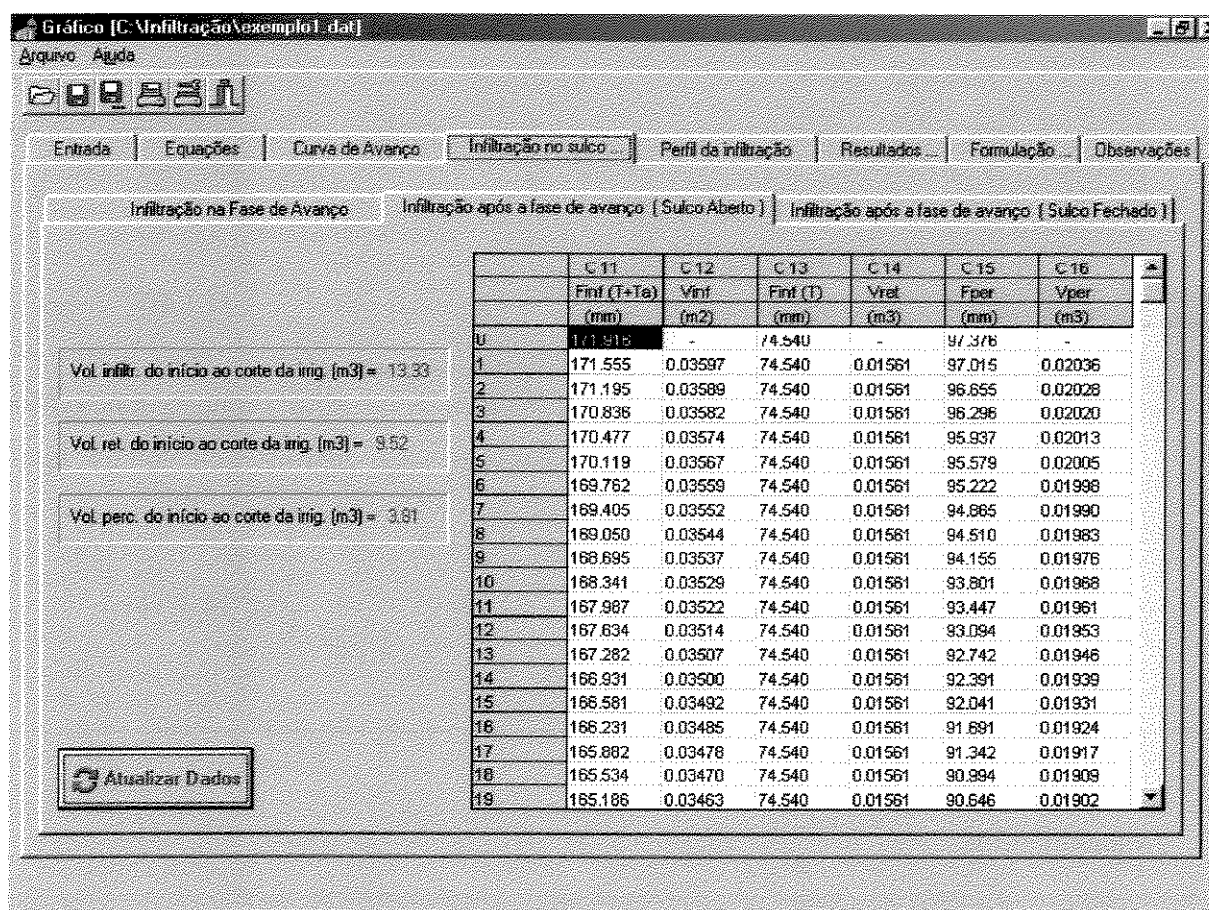
Se a lâmina infiltrada ( $Finf$ ) numa seção "i" for maior que a lâmina hídrica líquida de irrigação ( $Hi$ ) então ocorrerá percolação nesta seção já na fase de avanço :

$$V_{perc}(fa)_x = \left[ \frac{[(Finf(fa)_i - Hi) + (Finf(fa)_{i+1} - Hi)] / 1000}{2} \right] \cdot A_x \quad (4.1.12)$$

Finalmente, em cada trecho  $x'$  o volume retido na profundidade efetiva do sistema radicular da cultura na fase de avanço será :

$$V_{ret}(fa)_x = V_{inf}(fa)_x - V_{perc}(fa)_x \quad (4.1.13)$$

Após o detalhamento da fase de avanço, o programa passa a trabalhar com a infiltração ocorrida entre o término da fase de avanço até o momento do corte do abastecimento do sulco. Nesta etapa, para os mesmos incrementos de 10 cm, inicia-se a segunda fase do detalhamento da infiltração ao longo do sulco – é o que mostra a **Figura-26** :



**Figura –26** – Detalhamento da infiltração após a fase de avanço

Para que seja garantida a aplicação da lâmina hídrica líquida necessária à cultura ( $H_i$ ) no final do sulco, ocorrerá a infiltração de uma lâmina  $F_i$  maior que  $H_i$  em cada seção “i” do sulco, portanto acrescentando o valor de  $H_i$  na equação (4.1.4) – pg. 53, obtêm-se a lâmina total

acumulada  $\mathbf{Finf}_i$  em cada seção do sulco, ou seja, aquela ocorrida desde o início até o corte do abastecimento do sulco :

$$\mathbf{Finf}_i = \mathbf{Hi} + a \cdot b^n \cdot (L - L_i)^{r^n} \quad (4.1.14)$$

O volume total infiltrado no trecho  $x'$  será :

$$\mathbf{Vinf}_x = \mathbf{Pm} \cdot x' \cdot \frac{(\mathbf{Finf}_i + \mathbf{Finf}_{i+1}) / 1000}{2} \quad (4.1.15)$$

Portanto a lâmina infiltrada em cada seção “i” no período T compreendido entre o final da fase de avanço até o corte do abastecimento do sulco, será exatamente a lâmina infiltrada após fase de avanço, ou seja :

$$\mathbf{Finf}(pfa)_i = \mathbf{Finf}_i - \mathbf{Finf}(fa)_i \quad (4.1.16)$$

Se em uma determinada seção “i” a lâmina infiltrada na fase de avanço  $\mathbf{Finf}(fa)_i$  for menor que a lâmina hídrica líquida de irrigação  $\mathbf{Hi}$ , então a lâmina retida após a fase de avanço  $\mathbf{Fret}(pfa)_i$  será igual ao valor de  $\mathbf{Hi} - \mathbf{Finf}(fa)_i$ . Caso contrário  $\mathbf{Fret}(pfa)_i$  será igual a  $\mathbf{Fret}(fa)_i$ .

Assim, o volume total retido em cada trecho  $x'$  ( $\mathbf{Vret}_x$ ), será calculado da seguinte forma:

a) para  $\mathbf{Finf}(fa)_i < \mathbf{Hi}$  tem-se :

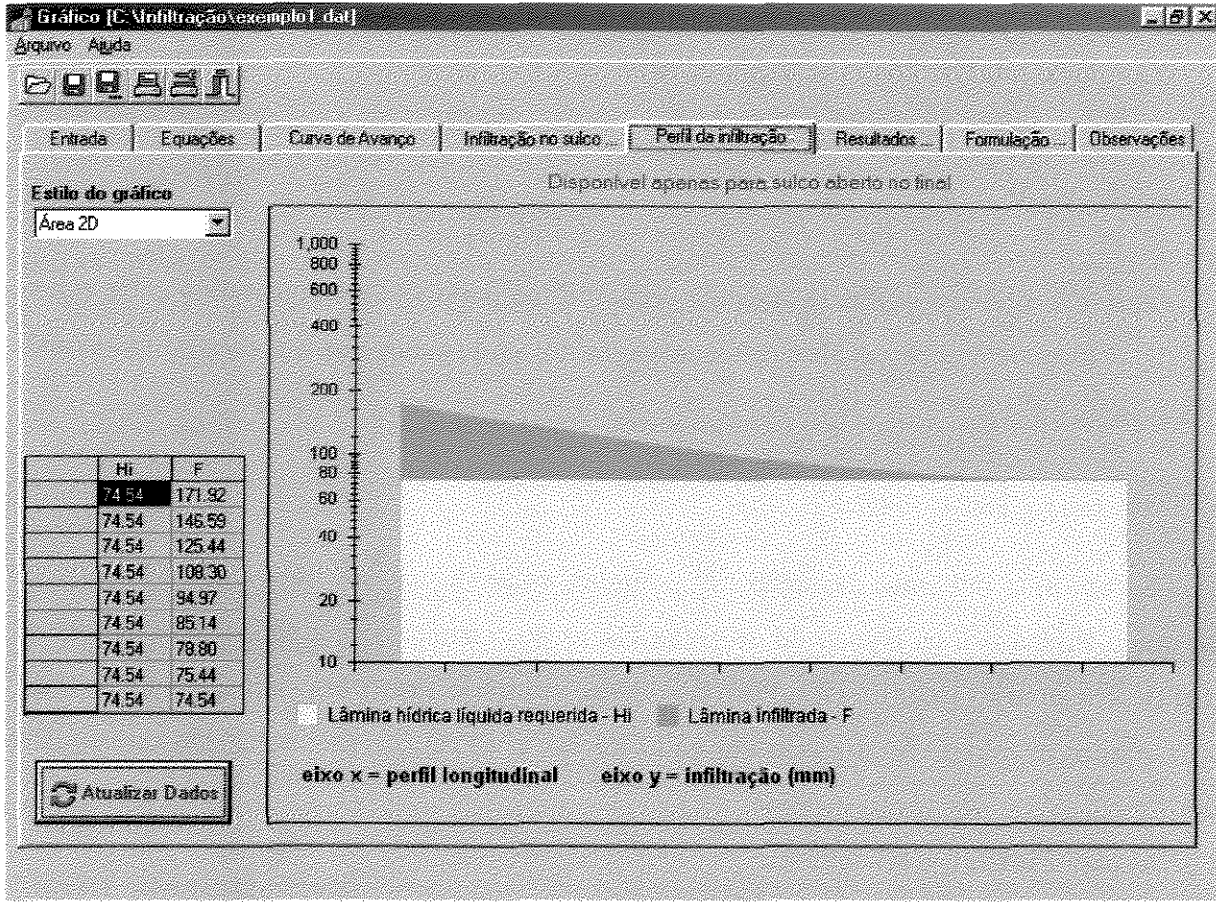
$$\mathbf{Vret}_x = \mathbf{Pm} \cdot x' \cdot \frac{[(\mathbf{Hi} - \mathbf{Finf}(fa)_i) + (\mathbf{Hi} - \mathbf{Finf}(fa)_{i+1})] / 1000}{2} \quad (4.1.17)$$

b) para  $\mathbf{Finf}(fa)_i \geq \mathbf{Hi}$  tem-se :  $\mathbf{Vret}_x = \mathbf{Vret}(fa)_x$ .

O volume total percolado ( $\mathbf{Vper}_x$ ), por sua vez, será o volume total infiltrado durante a fase de avanço, isto é :

$$\mathbf{Vper}_x = \mathbf{Vinf}(fa)_x \quad \text{ou então : } \mathbf{Vper}_x = \mathbf{Vinf}_x - \mathbf{Vret}_x \quad (4.1.18)$$

Com base nos cálculos demonstrados, é feita uma apresentação gráfica do comportamento da infiltração referente ao período compreendido entre o início e o corte do abastecimento do sulco de infiltração – é o que demonstra a **Figura-27**.



**Figura –27** – Composição gráfica do perfil da infiltração ao longo do sulco

O programa permite ainda a escolha de diversos tipos de gráfico para a visualização do comportamento da infiltração, inclusive alguns gráficos tridimensionais.

Desta forma, os resultados são mostrados através da tela representada pela **Figura-28**. Nessa tela pode-se observar os volumes aplicado, infiltrado, armazenado, retido, percolado e escoado, correspondentes a cada fase da irrigação, ou seja: a) desde o início do abastecimento do sulco até o final da fase de avanço, b) desde o término da fase de avanço até o corte do abastecimento do sulco, c) a soma do resultado das duas fases – do início ao corte do abastecimento, d) desde o corte do abastecimento até o final da irrigação – quando ocorrer a

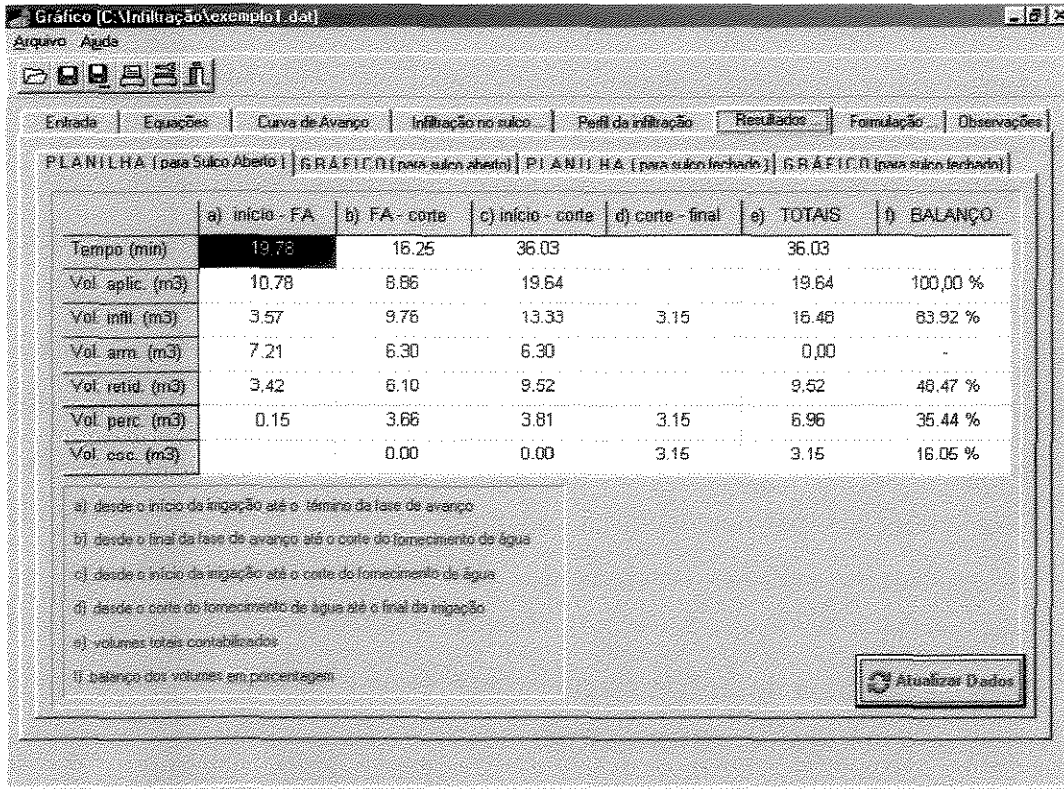


Figura –28 – Balanço dos volumes totais

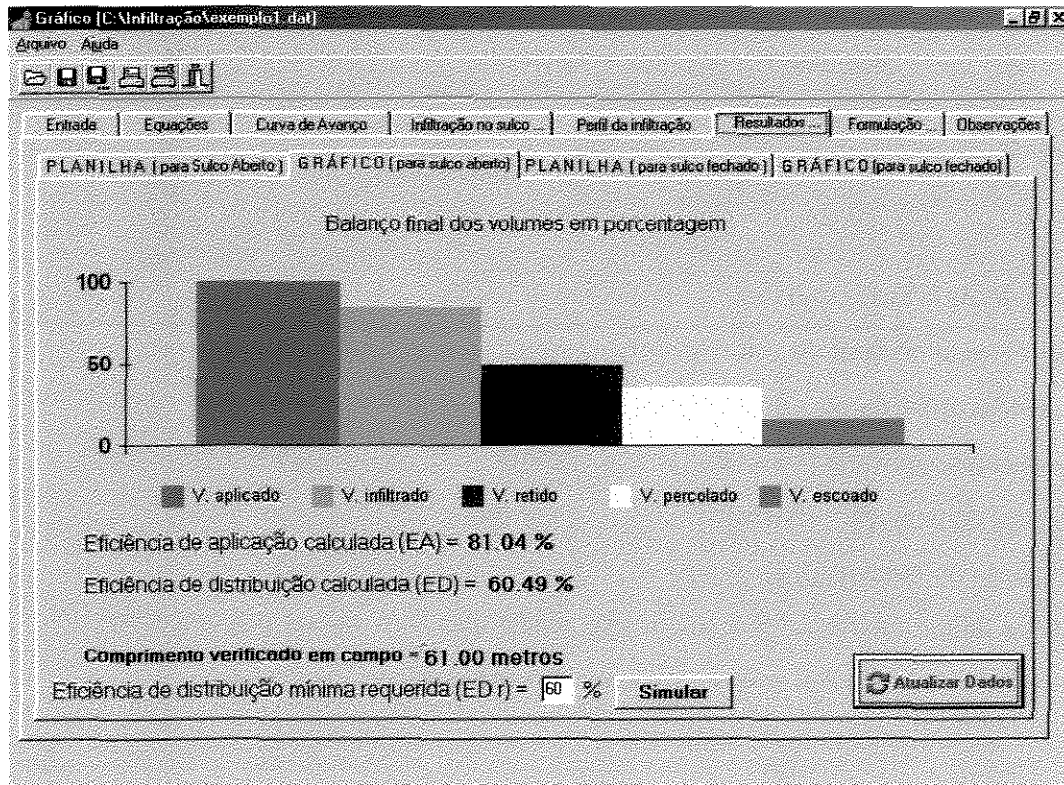


Figura –29 – Representação gráfica do balanço de volumes e os resultados da avaliação hidráulica do sulco



infiltração de todo o volume remanescente (volume armazenado) sobre a superfície do solo. Então é feito um balanço geral dos volumes (coluna f) – representado em porcentagem.

A coluna (f) da tela representada pela **Figura-28**, passa a ser demonstrada graficamente através da **Figura-29**. Por esta figura observa-se os resultados da avaliação hidráulica dos sulco, ou seja, os valores da Eficiência da Aplicação ( $E_a$ ) como também da Eficiência de Distribuição (ED), ambas em porcentagem.

Finalmente, o programa “INFILTRAÇÃO” ainda permite que seja realizada uma rotina para a busca do comprimento (L) máximo, em metros, que proporcione uma Eficiência de Distribuição previamente definida - o que pode ser conferido pelo comando “Simular” (**Figura-29**). Assim o programa encontrará, por tentativas, tal comprimento (com precisão de 1 metro) e atualizará todos os gráficos e cálculos (apresentados anteriormente) correspondentes ao comprimento simulado.

Para o cálculo da Eficiência de Aplicação, como também da Eficiência de Distribuição, o programa utiliza as equações citadas por (BERNARDO, 1982), ou seja :

$$E_a = \frac{Z_f}{Z_m} \cdot 100 \quad (4.1.19)$$

Obtendo-se o valor de  $Z_m$  com a seguinte equação :

$$Z_m = \frac{Q \cdot T_t}{L \cdot S} \cdot 3600 \quad (4.1.20)$$

onde :

$E_a$  = Eficiência de Aplicação, (%)

$Z_f$  = Lâmina infiltrada no final do sulco, (mm);

$Z_m$  = Lâmina média aplicada no sulco, (mm);

$Q$  = Vazão constante aplicada por sulco (l/s);

$T_t$  = Tempo total da irrigação, (horas);

$L$  = Comprimento do sulco (m); e,

$S$  = Largura da faixa umedecida por sulco (m), sendo que para sulcos próximos uns dos outros, esta largura é o próprio espaçamento entre sulcos.

A Eficiência de Aplicação, portanto, é a estimativa da percentagem do total de água aplicada na irrigação que é considerada útil às culturas. Já a Eficiência de Distribuição é a estimativa da uniformidade da infiltração ao longo do sulco. O valor mínimo aceitável da Eficiência de Distribuição em um projeto é de 60% (**Figura-29**), (**VIEIRA, 1989**). Sob condições corretas de manejo da irrigação por sulcos, ou seja, quando o tempo de oportunidade de irrigação no final do sulco for suficiente para infiltrar naquela extremidade a lâmina hídrica líquida de irrigação ( $H_i$ ), o valor da Eficiência ou Uniformidade de Distribuição, normalmente, será maior que 70%, exceto nos solos muito permeáveis, (**BERNARDO, 1982**).

$$ED = \frac{Z_f}{(Z_i + Z_f)/2} \cdot 100 \quad , \quad (4.1.21)$$

onde :

ED = Eficiência de Distribuição, (%)

$Z_i$  = Lâmina infiltrada no início do sulco, (mm);

$Z_f$  = Lâmina infiltrada no final do sulco, (mm);

Como a lâmina infiltrada no final do sulco ( $Z_f$ ) é igual a lâmina hídrica líquida ( $H_i$ ), então:

$$ED = \frac{H_i}{(Z_i + H_i)/2} \cdot 100 \quad (4.1.22)$$

Enfim, as **Figuras 30, 31, 32 e 33**, mostram que o programa ainda disponibiliza outras telas trazendo exatamente a linha de raciocínio acima apresentada.

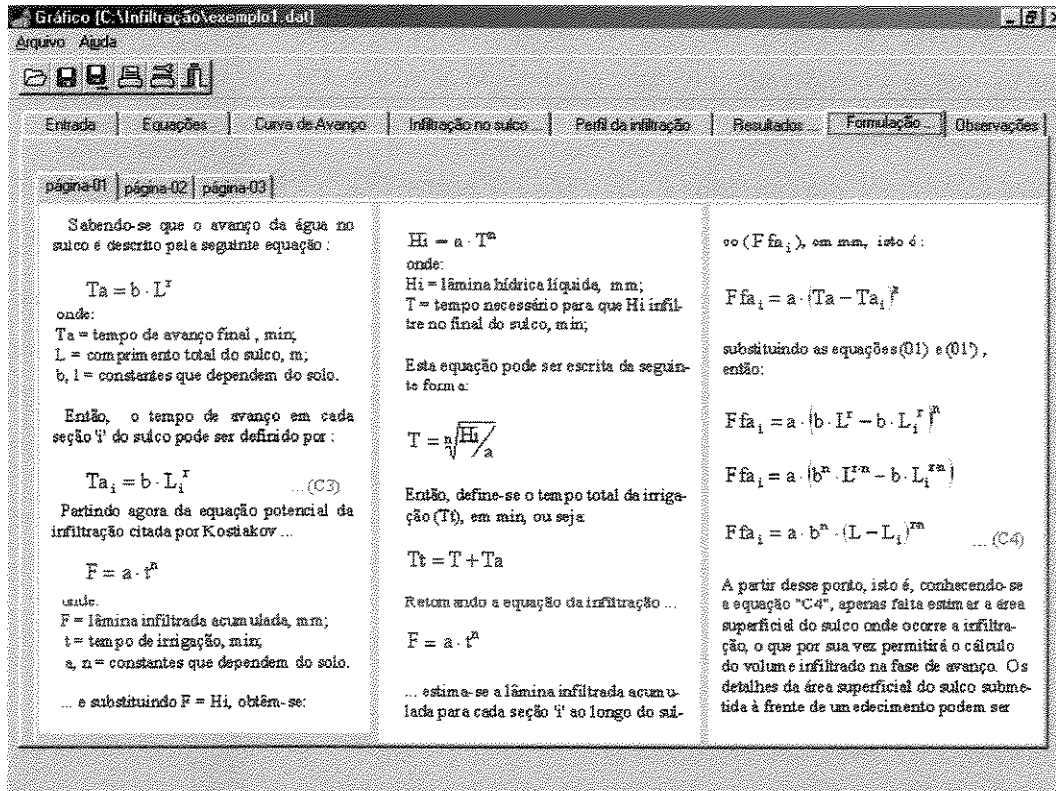


Figura -30 - Demonstração sobre a linha de raciocínio utilizada pelo programa "INFILTRAÇÃO"

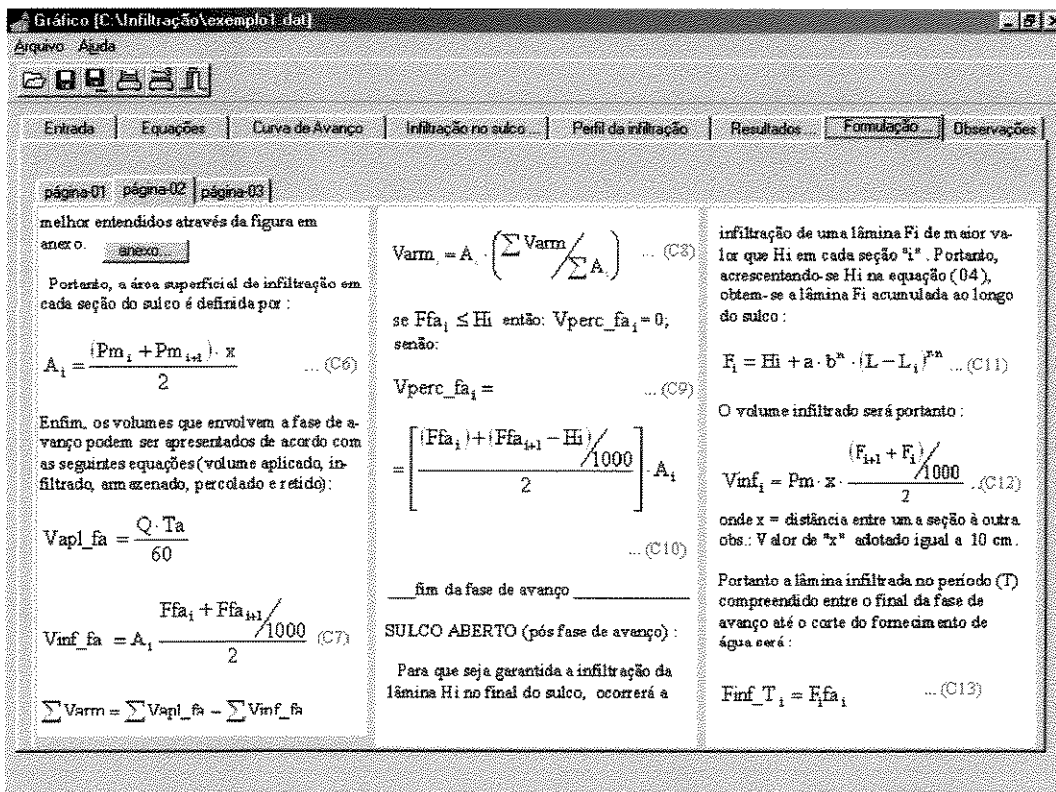


Figura -31 - Demonstração sobre a linha de raciocínio utilizada pelo programa "INFILTRAÇÃO"

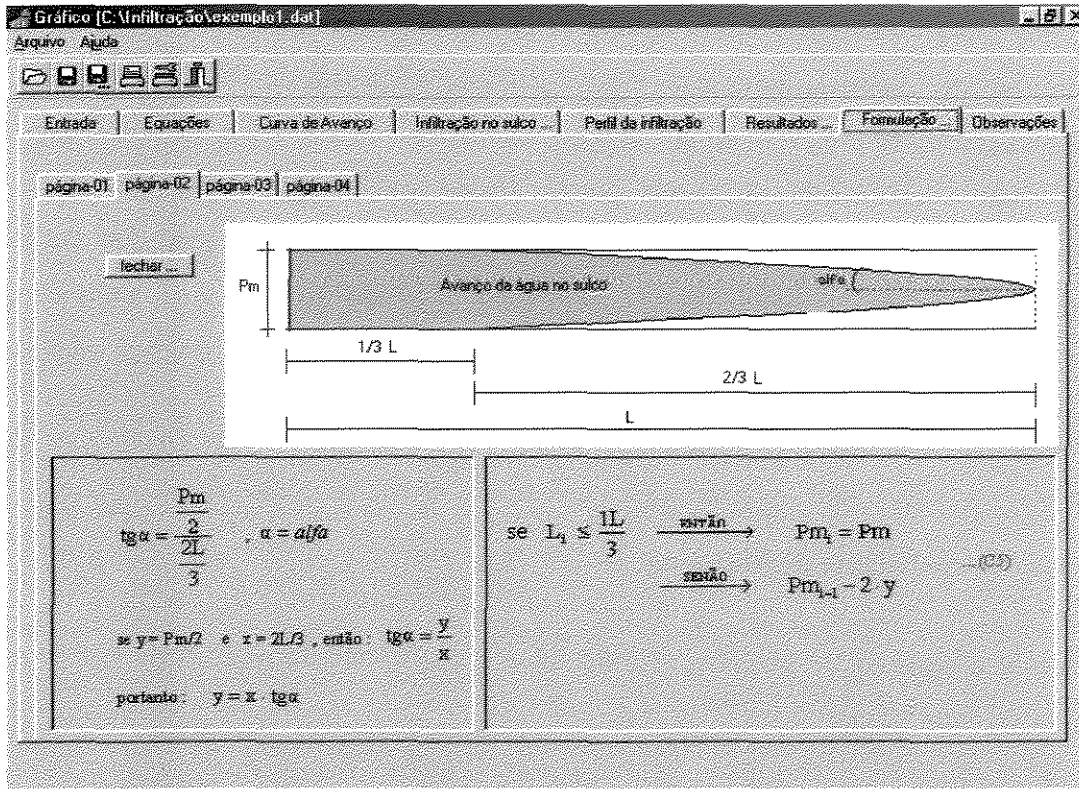


Figura -32 – Demonstração sobre a linha de raciocínio utilizada pelo programa "INFILTRAÇÃO"

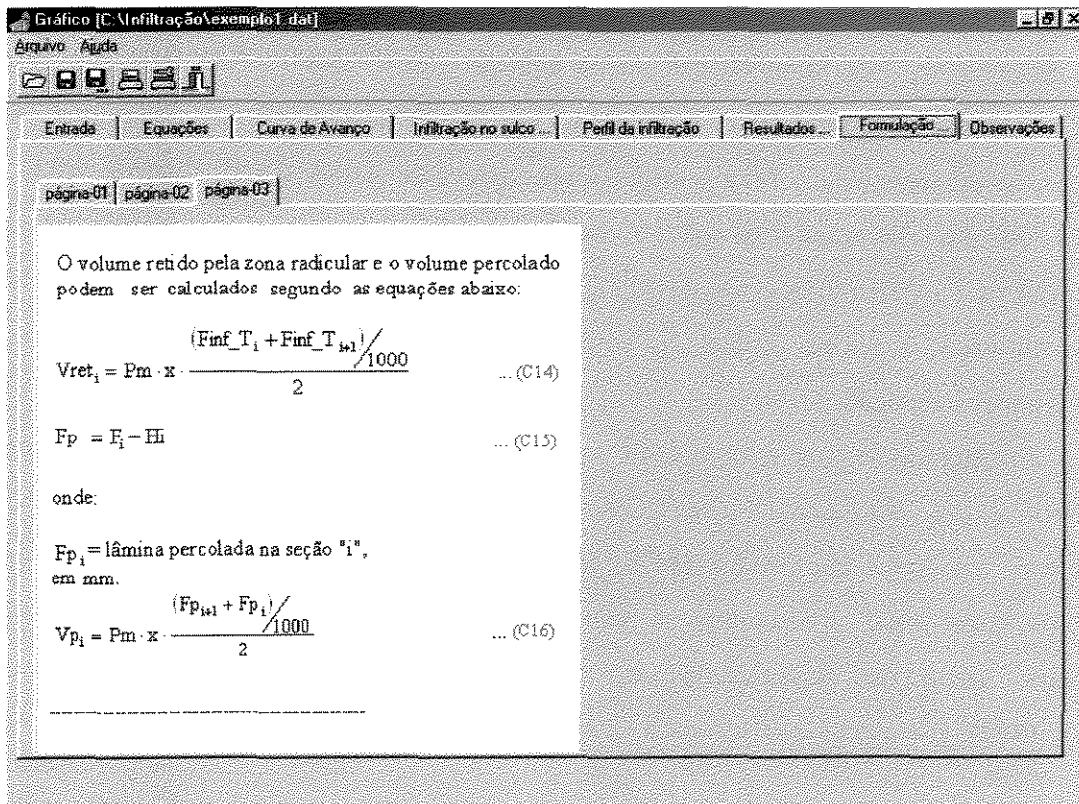


Figura-33 – "Demonstração sobre a linha de raciocínio utilizada pelo programa "INFILTRAÇÃO"

O programa "INFILTRAÇÃO" mostra-se uma grande ferramenta para a avaliação do desempenho hidráulico de sulcos de infiltração. Pelo cálculo da Eficiência de Distribuição (ED) Eficiência de Aplicação (Ea) indica a atual situação hidráulica de um sulco de infiltração, disponibilizando ainda a verificação de outras possibilidades que busquem, por simulação, melhores resultados. Assim, este aplicativo não apenas visa atender as necessidades desta pesquisa (o estudo dos sulcos largos), como também para o estudo de sulcos de infiltração "convencionais" amplamente utilizados em nossa agricultura, tanto para novos projetos quanto para aqueles já em operação.

#### 4.2. Determinação do coeficiente de Manning

Tomando-se a equação de Manning e isolando-se o coeficiente de rugosidade tem-se a equação escrita da seguinte forma:

$$n_m = \frac{A_o \cdot \sqrt{I} \cdot Rh^{2/3}}{Q} \quad (4.2.1)$$

Os coeficientes "n<sub>m</sub>" de Manning calculados pelo programa "INFILTRAÇÃO" constam nas **Tabela-08, Tabela-09, Tabela-10 e Tabela-11**. Verifica-se nessas quatro tabelas que os valores médios do coeficiente "n<sub>m</sub>" obtidos foram respectivamente **0,058; 0,085; 0,086 e 0,037**, não obstante ter ocorrido uma grande variação, ou melhor, um desvio padrão elevado em todos os casos. Tal variação provavelmente ocorreu devido às más condições de manutenção, presença de raízes ou restos culturais, o que na verdade foi confirmado por meio de observações visuais em campo durante a experimentação.

Então, comparando-se tais valores com aqueles citados nos compêndios de hidráulica (**Figura-34**), nota-se que para os sulcos estudados, ocorre, em média, uma grande resistência ao fluxo, expressando seu efeito bloqueador (**SCS, 1974**), ou seja, a situação dos sulcos largos assemelha-se aos canais que apresentam os maiores valores de "n<sub>m</sub>". Obs.: a **Figura-34** representa apenas parte da classificação do coeficiente "n<sub>m</sub>" citada por E.T. Neves, (**BERNARDO, 1982**), parte esta que agrupa apenas os valores mais elevados apresentados pelo autor.

QUADRO 5.6. Valores de  $n$ , para emprego na fórmula de Manning, citados por E.T. Neves (Continuação)

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boas	Boas	Regulares	Más
3) Com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos .....	0.035	0.040	0.045	0.050
4) Como em 3, águas baixas, declividades fracas .....	0.040	0.045	0.050	0.055
5) Como em 3, com vegetação e pedras .....	0.033	0.035	0.040	0.045
6) Como em 4, com pedras .....	0.045	0.050	0.055	0.060
7) Com margens espreiadas, pouca vegetação .....	0.050	0.060	0.070	0.080
8) Com margens espreiadas, muita vegetação .....	0.075	0.100	0.125	0.150

Figura-34 – Classificação do coeficiente de rugosidade de Manning " $n_m$ " (BERNARDO, 1982)

Tabela-06 – Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning – Areia Franca - Área-A, Matão/SP

Sulco	teste	Qe (m <sup>3</sup> /h)	Ta (min)	I (m/m)	Pm média (m)	A média (m <sup>2</sup> )	UA média (%)	Rh (m)	V (m/s)	$n_m$
1	1	36,0	48,00	0,00140	1,130	0,0855	15,54	0,0757	0,1170	0,057
1	2	27,7	50,00	0,00140	1,152	0,0960	15,17	0,0833	0,0802	0,089
1	3	17,1	72,00	0,00140	1,120	0,0808	8,96	0,0721	0,0588	0,110
2	1	27,7	52,70	0,00140	1,156	0,0979	15,06	0,0846	0,0786	0,092
2	2	32,7	20,31	0,00140	1,178	0,1083	13,88	0,0919	0,0839	0,091
2	3	18,0	61,58	0,00140	1,138	0,0893	8,27	0,0785	0,0560	0,122
3	1	25,7	73,26	0,00040	1,152	0,0960	12,93	0,0833	0,0744	0,051
3	2	36,0	25,24	0,00040	1,090	0,0665	8,41	0,0610	0,1504	0,021
3	3	21,1	25,97	0,00040	1,092	0,0675	16,35	0,0618	0,0869	0,036
4	1	25,7	74,25	0,00060	1,108	0,0751	15,17	0,0677	0,0951	0,043
4	2	40,0	33,25	0,00060	1,150	0,0950	9,37	0,0826	0,1170	0,040
4	3	40,0	24,00	0,00060	1,096	0,0694	15,71	0,0633	0,1602	0,024
5	1	27,7	45,28	0,00110	1,106	0,0741	24,55	0,0670	0,1038	0,053
5	2	36,0	40,00	0,00110	1,130	0,0855	29,34	0,0757	0,1170	0,051
5	3	15,6	65,03	0,00110	1,104	0,0732	29,79	0,0663	0,0592	0,092
6	1	30,0	70,00	0,00110	1,152	0,0960	25,71	0,0833	0,0869	0,073
6	2	40,0	33,33	0,00110	1,108	0,0751	32,07	0,0677	0,1480	0,037
6	3	16,4	32,10	0,00110	1,110	0,0760	29,48	0,0685	0,0599	0,093
7	1	36,0	66,95	0,00080	1,124	0,0827	23,07	0,0735	0,1210	0,041
7	2	40,0	43,10	0,00080	1,114	0,0779	31,28	0,0699	0,1426	0,034
7	3	30,0	24,00	0,00080	1,132	0,0865	36,37	0,0764	0,0964	0,053
8	1	24,0	48,32	0,00060	1,102	0,0722	23,85	0,0655	0,0923	0,043
8	2	40,0	42,98	0,00060	1,124	0,0827	31,09	0,0735	0,1344	0,032
9	1	27,7	23,53	0,00130	1,048	0,0466	19,30	0,0444	0,1653	0,027
9	2	37,0	20,14	0,00130	1,096	0,0694	22,60	0,0633	0,1482	0,039
9	3	17,1	21,30	0,00130	1,064	0,0542	24,02	0,0509	0,0877	0,056
Média		29,4	43,72	0,00098	1,118	0,0799	20,67	0,0712	0,1047	<b>0,058</b>
Desvio padrão		8,33	18,53	0,00036	0,029	0,0140	8,35	0,0107	0,0335	0,028

Tabela-07 – Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning – Franco Argilo Arenoso - Área-B (1ª repet.)

Limeira/SP

Sulco	teste	Qe (m3/h)	Ta (min)	I (m/m)	Pm médio (m)	A médio (m2)	UA médio (%)	Rh (m)	V (m/s)	n <sub>m</sub>
1	1	34,4	42,84	0,00190	2,310	0,2140	12,73	0,0926	0,0447	0,200
1	2	34,3	38,38	0,00190	2,350	0,2170	19,50	0,0923	0,0439	0,203
1	3	32,7	35,30	0,00190	2,340	0,2190	25,63	0,0936	0,0415	0,217
2	1	45,0	27,47	0,00045	1,920	0,1430	19,97	0,0745	0,0874	0,043
2	2	42,4	26,00	0,00045	1,900	0,1460	21,52	0,0768	0,0807	0,048
2	3	40,0	21,60	0,00045	1,880	0,1330	24,28	0,0707	0,0835	0,043
3	1	55,4	39,56	0,00060	1,880	0,1320	20,08	0,0702	0,1166	0,036
3	2	48,0	30,58	0,00060	1,940	0,1340	26,23	0,0691	0,0995	0,041
4	1	55,4	27,06	0,00150	1,690	0,1090	25,18	0,0645	0,1412	0,044
4	2	48,0	21,07	0,00150	1,660	0,0850	36,17	0,0512	0,1569	0,034
5	1	45,0	58,47	0,00195	1,860	0,1410	24,55	0,0758	0,0887	0,089
5	2	42,4	45,89	0,00195	1,690	0,1080	29,34	0,0639	0,1091	0,065
5	3	40,0	42,42	0,00195	1,820	0,1280	29,79	0,0703	0,0868	0,087
6	1	55,4	33,32	0,00115	1,780	0,1300	25,71	0,0730	0,1184	0,050
6	2	40,0	27,02	0,00115	1,970	0,1700	32,07	0,0863	0,0654	0,101
6	3	36,0	22,35	0,00115	1,940	0,1380	29,48	0,0711	0,0725	0,080
7	1	42,4	52,63	0,00140	1,910	0,1370	23,07	0,0717	0,0860	0,075
7	2	37,9	48,00	0,00140	1,890	0,1360	31,28	0,0720	0,0774	0,084
7	3	28,8	36,23	0,00140	1,920	0,1280	36,37	0,0667	0,0625	0,098
8	1	55,4	35,35	0,00175	1,710	0,1300	23,85	0,0760	0,1184	0,063
8	2	36,0	33,60	0,00175	1,680	0,1100	31,09	0,0655	0,0909	0,075
8	3	30,0	18,54	0,00175	1,660	0,1030	36,52	0,0620	0,0809	0,081
9	1	45,0	59,58	0,00180	1,800	0,1280	19,30	0,0711	0,0977	0,075
9	2	37,9	52,35	0,00180	1,750	0,1090	22,60	0,0623	0,0966	0,069
9	3	32,7	53,18	0,00180	1,850	0,1480	24,02	0,0800	0,0614	0,128
Média		41,6	37,15	0,00142	1,884	0,1390	26,01	0,0729	0,0883	<b>0,085</b>
Desvio Padrão		8,0	12,09	0,00052	0,195	0,0339	5,91	0,0100	0,0283	0,051

Tabela-08 – Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning – Franco Argilo Arenoso - Área-B (2ª repet.)  
Limeira/SP

Sulco	Teste	Qe (m3/h)	Ta (min)	I (m/m)	Pm médio (m)	A médio (m2)	UA médio (%)	Rh (m)	V (m/s)	n <sub>m</sub>
1	1	34,4	28,13	0,00190	2,176	0,1801	19,20	0,0828	0,0531	0,156
1	2	32,7	28,71	0,00190	2,178	0,1930	18,20	0,0886	0,0471	0,184
1	3	42,4	32,30	0,00190	2,359	0,2343	27,51	0,0993	0,0503	0,186
2	1	48,0	32,32	0,00045	2,025	0,1470	23,40	0,0726	0,0907	0,041
2	2	55,4	21,63	0,00045	1,941	0,2298	23,47	0,1184	0,0670	0,076
2	3	42,4	19,62	0,00045	2,044	0,1736	28,78	0,0850	0,0678	0,060
3	1	55,4	43,98	0,00060	2,082	0,1739	26,44	0,0835	0,0885	0,053
3	2	28,8	30,86	0,00060	1,899	0,1178	27,23	0,0620	0,0679	0,057
3	3	37,9	35,12	0,00060	1,793	0,1196	23,91	0,0667	0,0880	0,046
4	1	55,4	32,56	0,00150	1,730	0,1136	28,12	0,0656	0,1355	0,047
4	2	48,0	24,12	0,00150	1,824	0,1208	35,77	0,0662	0,1104	0,057
4	3	45,0	20,90	0,00150	1,898	0,1453	30,01	0,0766	0,0860	0,081
5	1	45,0	52,35	0,00195	2,007	0,1861	25,65	0,0927	0,0672	0,135
5	2	37,9	41,59	0,00195	1,634	0,0899	23,55	0,0550	0,1171	0,055
5	3	42,4	39,17	0,00195	1,951	0,1733	24,27	0,0888	0,0679	0,129
6	1	55,4	34,02	0,00115	1,894	0,1370	24,99	0,0724	0,1123	0,052
6	2	45,0	32,67	0,00115	2,049	0,2096	32,01	0,1023	0,0597	0,124
6	3	37,9	25,50	0,00115	1,990	0,1537	26,50	0,0772	0,0685	0,090
7	1	55,4	47,36	0,00140	2,018	0,1602	25,25	0,0794	0,0960	0,072
7	2	37,9	50,00	0,00140	2,021	0,1763	34,00	0,0872	0,0597	0,123
7	3	28,8	20,53	0,00140	1,828	0,1049	40,71	0,0574	0,0763	0,073
8	1	55,4	29,77	0,00175	1,574	0,0952	18,56	0,0605	0,1616	0,040
8	2	40,0	35,87	0,00175	1,783	0,1267	26,97	0,0710	0,0877	0,082
8	3	34,3	34,06	0,00175	1,784	0,1117	32,91	0,0626	0,0853	0,077
9	1	30,0	20,01	0,00180	1,677	0,1067	18,10	0,0636	0,0781	0,087
9	2	36,0	36,00	0,00180	1,559	0,0726	19,09	0,0465	0,1378	0,040
9	3	42,4	42,55	0,00180	1,860	0,1408	20,99	0,0757	0,0837	0,091
média		42,6	33,03	0,00139	1,910	0,1479	26,13	0,0763	0,0856	<b>0,086</b>
Desvio Padrão		8,7	9,17	0,00053	0,188	0,0422	5,61	0,0160	0,0281	0,042

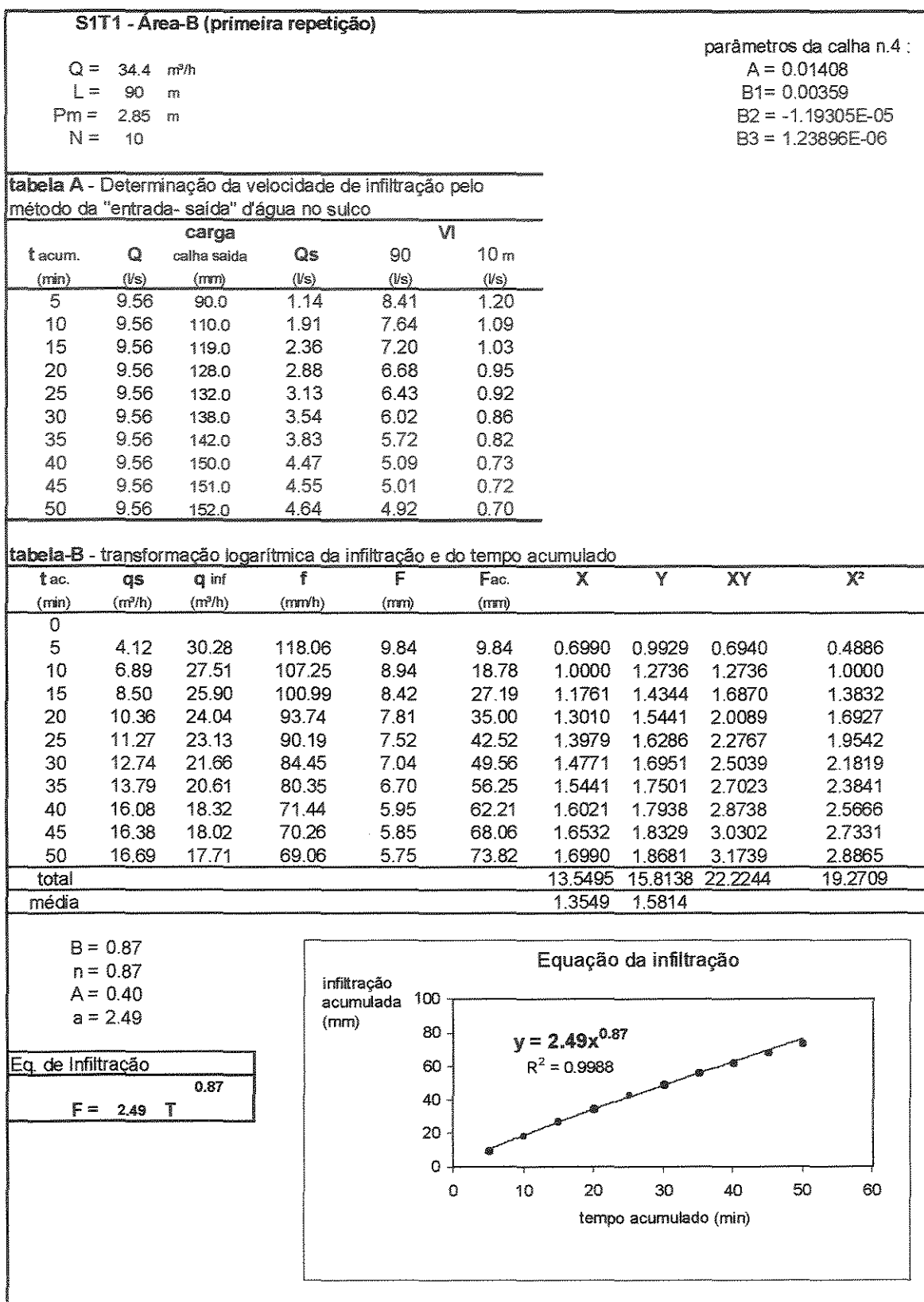
Tabela-09 – Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning – Franco Argilo Arenoso - Área-C.  
Mirassol/SP

Sulco	teste	Qe (m3/h)	Ta (min)	I (m/m)	Pm médio (m)	A médio (m2)	UA médio (%)	Rh (m)	V (m/s)	n <sub>m</sub>
2	1	36,0	107,47	0,00104	0,880	0,0395		0,0449	0,2532	0,016
4	1	45,0	69,65	0,00113	0,930	0,0441		0,0474	0,2834	0,016
5	1	8,7	80,17	0,00181	0,710	0,0239		0,0337	0,1011	0,044
6	1	8,7	83,47	0,00159	0,860	0,0364		0,0423	0,0664	0,073
média		24,6	85,19	0,00139	0,845	0,0360		0,0421	0,1760	<b>0,037</b>
Desvio Padrão		18,7	15,98	0,00034	0,095	0,0086		0,0059	0,1082	0,027

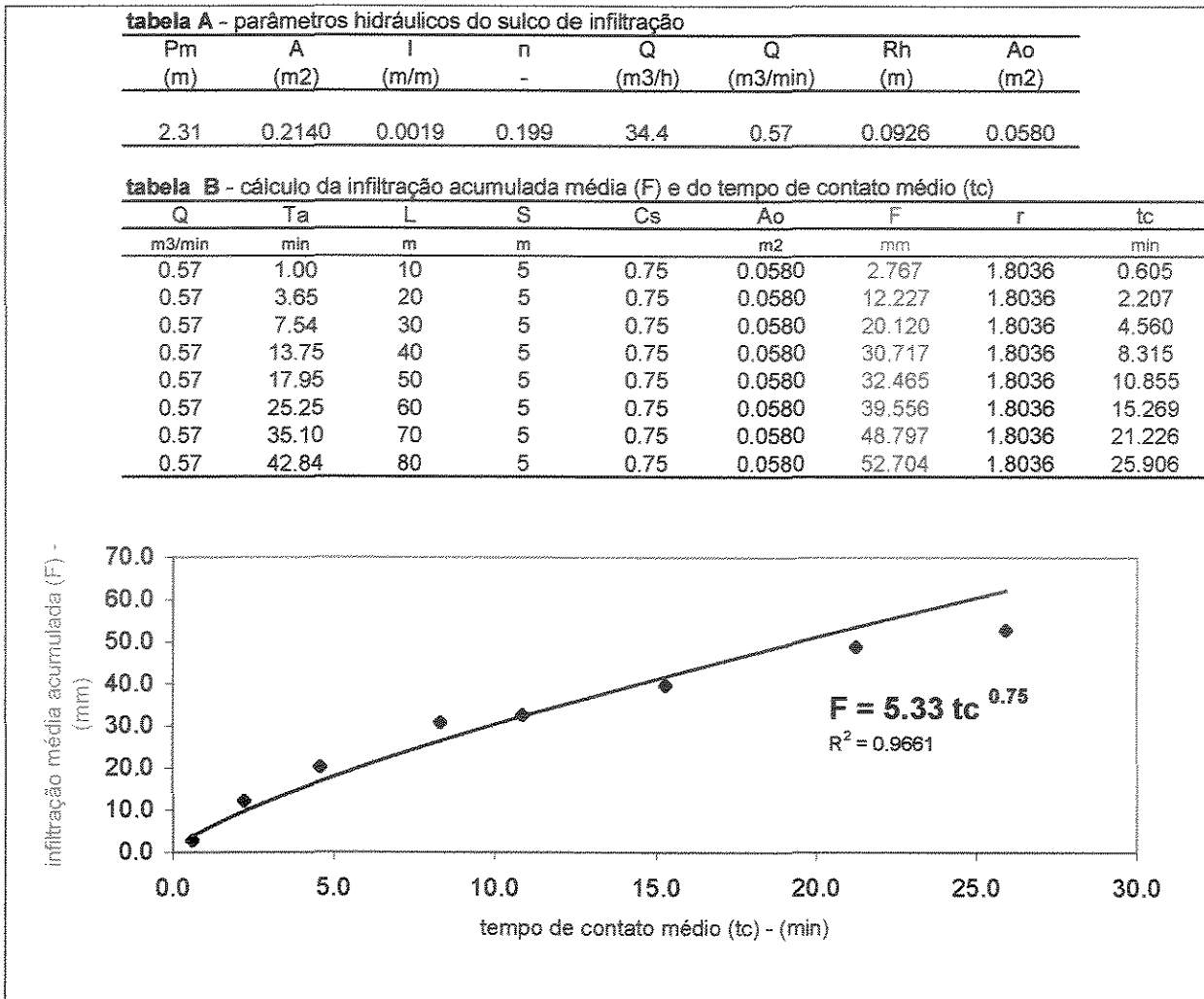


### **4.3. Testes de avanço e de infiltração**

Conforme descrito nos itens “3.6.1” e “3.6.2”, as equações de infiltração estão sendo obtidas por duas metodologias diferentes, ou seja, pelo método da “entrada-saída” (Figura-35) e a partir das equações de avanço, isto é, pelo método do "tempo de contato médio" (Figura-36).



**Figura-35** – Esquema para a obtenção da equação de infiltração pelo método "entrada-saída" – exemplo da Área-B – Franco Argilo Arenoso - (primeira repetição de coleta de dados) sulco 1, teste 1 (s1t1).



**Figura-36** – Esquema para a obtenção da equação de infiltração pelo método do "tempo de contato médio" – exemplo da Área-B – Franco Argilo Arenoso - (primeira repetição de coleta de dados) sulco 1, teste 1 (s1t1).

O esquema representado pela **Figura-35** mostra que o coeficiente "a" da equação de infiltração é igual a 2,49 assim como o coeficiente "n" igual 0,87. Já pelo esquema representado pela **Figura-36** tais parâmetros foram iguais a 5,33 e 0,75 para "a" e "n", respectivamente. Em ambos os casos o coeficiente de correlação  $R^2$  demonstra que houve um bom ajuste entre os dados. Foram montados, portanto, 82 esquemas para a obtenção da equação de infiltração a partir do método da "entrada-saída" e 82 esquemas para a obtenção da equação da infiltração a partir da metodologia do tempo de "contato médio", cujos resultados (coeficientes "a" e "n") apresentam-se na **Tabela-10, 11, 12 e 13** para a Área-A, Área-B (primeira repetição), Área-B (segunda repetição) e Área-C, respectivamente.

Tabela-10 – Resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação e desempenho hidráulico – Areia Franca - Área-A, Matão/ SP

	Q	L	Ta	tc f	Hi	a	n	F av	F rest	a	n	Tap rest	Tap total	tc Hi	EA	ED	L sim	EA sim	ED sim
	m <sup>3</sup> /h	m	min	min	mm	(cont. médio)		mm	mm	(entr.-saída)		min	min	min	%	%	m	%	%
i	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii	ix	x	xi	xii	xiii	xiv	xv	xvi	xvii	xviii	xix	xx
s1t1	36.0	98.0	48.00	27.67	42.78	17.77	0.42	71.67	-28.89	4.85	0.93	-	-	8.10	50.18	48.32	48.00	58.63	60.17
s1t2	27.7	98.0	50.00	27.34	42.78	20.63	0.33	61.47	-18.69	4.09	0.89	-	-	9.12	53.88	52.00	48.00	57.93	60.06
s1t3	17.1	98.0	72.00	39.55	42.78	15.44	0.33	51.96	-9.18	3.55	0.80	-	-	21.94	59.47	57.15	75.00	60.11	60.15
s2t1	27.7	105.5	52.70	29.79	42.78	13.45	0.45	61.95	-19.17	5.49	0.85	-	-	13.08	49.93	49.58	57.00	55.19	60.13
s2t2	32.7	105.5	20.31	11.02	42.78	7.79	0.48	24.65	18.13	8.45	0.70	2.98	23.29	34.76	53.48	69.91			
s2t3	18.0	105.5	61.58	32.70	42.78	11.07	0.34	36.23	6.55	3.25	0.94	2.11	63.69	53.30	55.10	66.22			
s3t1	25.7	106.0	73.26	40.17	42.78	17.25	0.35	62.83	-20.05	6.51	0.80	-	-	13.40	58.38	53.70	63.00	60.38	60.04
s3t2	36.0	106.0	25.24	13.16	42.78	21.65	0.22	38.17	4.61	8.98	0.82	0.44	25.68	22.10	58.62	64.70			
s3t3	21.1	106.0	25.97	14.07	42.78	8.32	0.39	23.33	19.45	5.56	0.74	5.43	31.40	66.59	49.76	72.35			
s4t1	25.7	106.0	74.25	44.35	42.78	12.77	0.50	85.04	-42.26	6.72	0.79	-	-	11.22	39.77	40.79	43.00	55.35	60.15
s4t2	40.0	106.0	33.25	16.89	42.78	22.05	0.23	42.24	0.54	9.00	0.82	0.03	33.28	17.84	57.40	64.12			
s4t3	40.0	106.0	24.00	12.86	42.78	21.83	0.28	44.63	-1.85	7.49	0.96	-	-	11.05	63.73	59.67	102.00	63.68	60.01
s5t1	27.7	106.0	45.28	24.28	42.78	15.90	0.32	44.12	-1.34	5.69	0.88	-	-	22.04	64.15	62.95			
s5t2	36.0	106.0	40.00	21.02	42.78	16.34	0.32	43.30	-0.52	7.94	0.82	-	-	20.24	64.45	64.95			
s5t3	15.6	106.0	65.03	34.16	42.78	9.70	0.34	32.22	10.56	3.19	0.90	3.78	68.81	78.61	55.64	70.20			
s6t1	30.0	106.0	70.00	35.52	42.78	21.73	0.31	65.72	-22.94	6.81	0.91	-	-	8.89	58.31	53.16	54.00	60.43	60.02
s6t2	40.0	106.0	33.33	15.75	42.78	32.97	0.08	41.11	1.67	10.05	0.85	0.12	33.45	25.94	51.80	66.50			
s6t3	16.4	106.0	32.10	18.03	42.78	4.95	0.54	23.60	19.18	4.69	0.78	6.09	38.19	54.26	66.64	68.73			
s7t1	36.0	106.0	66.95	36.02	42.78	28.40	0.30	83.23	-40.45	9.05	0.87	-	-	3.92	48.22	46.53	27.00	58.02	60.32
s7t2	40.0	106.0	43.10	22.13	42.78	30.63	0.22	60.54	-17.76	8.81	0.87	-	-	4.57	63.06	55.12	50.00	63.86	60.08
s7t3	30.0	106.0	24.00	13.55	42.78	10.93	0.42	32.66	10.12	7.73	0.97	1.32	25.32	25.76	60.82	63.65			
s8t1	24.0	108.0	48.32	28.40	42.78	10.85	0.47	52.30	-9.52	6.44	0.75	-	-	18.52	54.09	52.35	72.00	58.59	60.15
s8t2	40.0	108.0	42.98	22.27	42.78	33.27	0.22	65.85	-23.07	9.94	0.65	-	-	3.14	57.30	52.39	34.00	62.14	60.15
s9t1	27.7	112.0	23.53	12.58	42.78	13.02	0.28	26.46	16.32	9.98	0.71	2.00	25.53	70.00	42.51	71.48			
s9t2	37.0	112.0	20.14	10.72	42.78	18.12	0.26	33.57	9.21	9.86	0.76	0.91	21.05	27.22	57.70	66.11			
s9t3	17.1	112.0	21.30	12.52	42.78	4.49	0.55	18.03	24.75	6.90	0.70	6.20	27.50	60.25	67.80	72.42			

Tabela-11 – Resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação e desempenho hidráulico –Franco Argilo Arenoso - Área-B (primeira repetição), Limeira/ SP

	Q	L	Ta	tc f	Hi	a	n	F av	F rest	a	n	Tap rest	Tap total	tc Hi	EA	ED	L sim	EA sim	ED sim
	m <sup>3</sup> /h	m	min	min	mm	(cont. médio)		mm	mm	(entr.-saída)		min	min	min	%	%	m	%	%
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
s1t1	34.4	146.0	42.84	25.90	74.54	5.33	0.75	61.19	13.35	2.49	0.87	6.89	49.73	33.69	58.34	41.65	84.00	67.49	60.21
s1t2	34.3	146.0	38.38	22.90	74.54	9.81	0.53	51.57	22.97	2.35	0.95	11.02	49.40	45.89	63.49	57.65	131.00	64.45	60.04
s1t3	32.7	146.0	35.30	21.83	74.54	6.10	0.66	46.68	27.86	2.16	0.99	13.24	48.54	44.37	63.46	51.78	112.00	68.29	60.06
s2t1	45.0	147.0	27.47	15.33	74.54	15.14	0.39	43.90	30.64	3.59	0.93	10.03	37.50	59.57	60.37	66.69			
s2t2	42.4	147.0	26.00	14.51	74.54	15.67	0.36	41.05	33.49	3.30	0.93	12.08	38.08	76.11	57.33	68.70			
s2t3	40.0	147.0	21.60	11.88	74.54	15.04	0.33	34.04	40.50	3.00	0.94	15.94	37.54	127.79	45.13	73.20			
s3t1	55.4	147.0	39.56	20.90	74.54	40.84	0.23	83.18	-8.64	3.92	0.99	-	-	13.08	64.55	56.82	95.00	65.99	60.01
s3t2	48.0	147.0	30.58	16.57	74.54	26.17	0.29	59.08	15.46	3.41	0.98	4.68	35.26	36.94	63.79	63.45			
s4t1	55.4	140.0	27.06	15.29	74.54	19.79	0.38	56.09	18.45	5.06	0.94	3.96	31.02	32.19	63.06	61.55			
s4t2	48.0	140.0	21.07	12.02	74.54	12.95	0.42	36.80	37.74	4.28	0.92	10.66	31.73	64.54	59.25	70.19			
s5t1	45.0	141.0	58.47	32.15	74.54	34.79	0.32	105.62	-31.08	3.92	0.94	-	-	10.82	51.09	47.79	47.00	61.92	60.01
s5t2	42.4	141.0	45.89	27.00	74.54	15.77	0.45	69.49	5.05	3.78	0.91	1.37	47.26	31.55	57.92	54.14	102.00	61.47	60.14
s5t3	40.0	141.0	42.42	25.01	74.54	11.78	0.51	60.84	13.70	3.35	0.90	4.78	47.20	37.24	59.12	54.50	108.00	61.52	60.15
s6t1	55.4	142.0	33.32	17.93	74.54	31.34	0.27	68.32	6.22	4.73	0.95	1.33	34.65	24.76	65.52	61.24			
s6t2	40.0	142.0	27.02	15.53	74.54	9.47	0.54	41.65	32.89	3.40	0.92	11.79	38.81	45.64	67.41	60.52			
s6t3	36.0	142.0	22.35	12.88	74.54	9.90	0.44	30.48	44.06	2.98	0.93	18.11	40.46	98.32	58.32	72.35			
s7t1	42.4	143.0	52.63	29.28	74.54	27.42	0.33	83.57	-9.03	3.24	0.97	-	-	20.71	58.82	53.77	83.00	62.87	60.13
s7t2	37.9	143.0	48.00	27.62	74.54	17.34	0.41	67.60	6.94	3.14	0.94	2.32	50.32	35.05	59.84	56.20	112.00	61.61	60.03
s7t3	28.8	143.0	36.23	21.80	74.54	6.65	0.58	39.73	34.81	2.50	0.91	18.07	54.30	64.51	70.24	60.86			
s8t1	55.4	142.0	35.35	19.17	74.54	34.05	0.28	77.85	-3.31	4.67	0.95	-	-	16.42	62.80	56.29	95.00	64.46	60.06
s8t2	36.0	142.0	33.60	20.29	74.54	11.25	0.50	50.67	23.87	3.22	0.93	8.62	42.22	43.90	61.66	57.63	127.00	62.98	60.05
s8t3	30.0	142.0	18.54	10.79	74.54	7.60	0.46	22.70	51.84	2.76	0.92	24.24	42.78	143.09	53.26	76.79			
s9t1	45.0	143.0	59.58	33.04	74.54	33.13	0.34	108.82	-34.28	3.83	0.94	-	-	10.86	50.09	46.67	46.00	62.30	60.24
s9t2	37.9	143.0	52.35	30.48	74.54	18.75	0.42	78.76	-4.22	3.13	0.97	-	-	26.74	55.52	51.55	86.00	61.99	60.03
s9t3	32.7	143.0	53.18	33.18	74.54	15.44	0.43	69.60	4.94	2.61	0.99	1.90	55.08	38.91	59.48	55.12	107.00	62.25	60.04

Tabela-12 – Resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação e desempenho hidráulico – Área-B – Franco Argilo Arenoso - (segunda repetição), Limeira/ SP

	Q	L	Ta	tc f	Hi	a	n	F av	F rest	a	n	Tap rest	Tap total	tc Hi	EA	ED	L sim	EA sim	ED sim
	m <sup>3</sup> /h	m	min	min	mm	(cont. médio)		mm	mm	(entr.-saida)		min	min	min	%	%	m	%	%
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
s1t1	34.4	146.0	28.13	16.57	74.54	6.97	0.62	39.74	34.80	2.39	0.95	16.77	44.90	45.70	70.33	56.63	127.00	71.03	60.16
s1t2	32.7	146.0	28.71	16.85	74.54	2.76	0.98	43.95	30.59	2.40	0.94	14.99	43.70	28.89	87.94	41.31	92.00	91.14	60.31
s1t3	42.4	146.0	32.30	19.24	74.54	8.82	0.61	52.98	21.56	2.77	0.98	8.11	40.41	33.79	59.93	51.71	105.00	63.42	60.21
s2t1	48.0	147.0	32.32	18.22	74.54	13.63	0.48	54.15	20.39	3.71	0.96	5.90	38.22	35.69	60.93	58.17	132.00	60.90	60.02
s2t2	55.4	147.0	21.63	11.34	74.54	23.05	0.26	43.34	31.20	4.07	0.96	8.35	29.98	91.30	42.19	70.64			
s2t3	42.4	147.0	19.62	10.43	74.54	7.23	0.52	24.47	50.07	3.07	0.94	19.49	39.11	88.83	59.87	73.90			
s3t1	55.4	147.0	43.98	24.05	74.54	33.99	0.32	93.54	-19.00	3.98	0.97	-	-	11.79	53.71	50.42	61.00	60.30	60.02
s3t2	28.8	147.0	30.86	17.30	74.54	11.25	0.43	37.94	36.60	2.32	0.94	18.81	49.67	84.29	66.87	66.44			
s3t3	37.9	147.0	35.12	19.99	74.54	11.93	0.48	50.78	23.76	2.74	0.98	9.06	44.18	44.19	61.81	57.87	130.00	61.96	60.07
s4t1	55.4	140.0	32.56	18.23	74.54	19.35	0.41	64.23	10.31	4.86	0.97	2.17	34.73	26.14	59.44	57.26	116.00	59.74	60.04
s4t2	48.0	140.0	24.12	12.92	74.54	12.90	0.39	34.99	39.55	3.99	0.95	11.18	35.30	89.81	48.38	71.97			
s4t3	40.0	140.0	20.90	11.88	74.54	3.59	0.88	31.69	42.85	3.42	0.94	14.72	35.62	31.40	93.82	55.76	123.00	92.91	60.02
s5t1	45.0	141.0	52.35	30.24	74.54	7.44	0.71	82.53	-7.99	3.87	0.95	-	-	26.18	46.09	39.78	68.00	51.56	60.01
s5t2	37.9	141.0	41.59	24.29	74.54	8.79	0.57	54.86	19.68	3.07	0.97	6.79	48.38	41.43	63.06	56.08	118.00	63.85	60.16
s5t3	42.4	141.0	39.17	21.01	74.54	20.56	0.33	55.41	19.13	3.30	0.98	6.01	45.18	52.27	60.21	64.39			
s6t1	55.4	142.0	34.02	17.90	74.54	29.79	0.26	63.31	11.23	4.54	0.95	2.60	36.62	33.45	59.30	62.94			
s6t2	45.0	142.0	32.67	19.26	74.54	5.93	0.77	58.46	16.08	3.43	0.97	4.92	37.59	26.37	58.34	42.67	82.00	63.72	60.32
s6t3	37.9	142.0	25.50	14.30	74.54	13.45	0.38	36.77	37.77	3.03	0.95	14.23	39.73	92.63	55.64	70.57			
s7t1	55.4	143.0	47.36	28.06	74.54	23.19	0.46	106.20	-31.66	4.16	0.97	-	-	12.92	41.24	41.32	54.00	58.83	60.05
s7t2	37.9	143.0	50.00	28.05	74.54	19.69	0.38	69.08	5.46	2.89	0.97	1.93	51.93	34.33	59.69	56.58	111.00	60.70	60.01
s7t3	28.8	143.0	20.53	12.42	74.54	3.16	0.86	27.58	46.96	2.54	0.94	22.27	42.80	39.46	99.52	54.28	123.00	100.00	60.02
s8t1	55.4	142.0	29.77	16.17	74.54	29.89	0.29	67.01	7.53	4.78	0.97	1.60	31.37	23.34	63.91	59.68	137.00	63.92	60.02
s8t2	40.0	142.0	35.87	20.92	74.54	9.82	0.55	52.94	21.60	3.56	0.94	6.81	42.68	38.79	63.97	56.28	119.00	64.80	60.18
s8t3	34.3	142.0	34.06	20.23	74.54	7.75	0.61	49.01	25.53	2.79	0.98	9.57	43.63	40.09	64.40	52.79	107.00	67.16	60.09
s9t1	30.0	143.0	20.01	11.74	74.54	8.40	0.48	27.40	47.14	2.54	0.96	20.96	40.97	94.46	66.38	70.79			
s9t2	36.0	143.0	36.00	22.01	74.54	8.12	0.61	53.73	20.81	3.00	0.99	7.07	43.07	37.61	60.10	50.90	103.00	65.66	60.09
s9t3	42.4	143.0	42.55	25.52	74.54	8.87	0.62	65.75	8.79	3.47	0.99	2.56	45.11	31.26	55.81	48.75	94.00	61.34	60.05

**Tabela-13** – Resultados das equações de infiltração, tempo de aplicação e desempenho hidráulico – Franco Argilo Arenoso - Área-C, Mirassol/ SP

	Q	L	Ta	tc f	Hi	a	n	F av	F rest	a	n	Tap rest	Tap total	tc Hi	EA	ED	L sim	EA sim	ED sim
	m <sup>3</sup> /h	m	min	min	mm	(cont. médio)		mm	mm	(entr.-saida)		min	min	min	%	%	m	%	%
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
s2t1	15.6	150.0	47.46	29.27	52.00	3.71	0.65	33.31	18.69	3.83	0.95	5.31	52.77	58.08	59.67	47.25	99.00	68.32	60.06
s4t1	15.6	150.0	31.32	19.38	52.00	5.01	0.53	24.11	27.89	5.06	0.98	5.71	37.03	82.66	64.39	58.58	141.00	65.34	60.11
s5t1	8.7	150.0	80.17	50.97	52.00	1.94	0.80	45.05	6.95	1.15	0.86	8.11	88.28	60.99	35.89	22.23	55.00	67.88	60.51
s6t1	8.7	150.0	83.47	53.36	52.00	1.73	0.77	36.98	15.02	1.18	0.77	27.21	110.68	83.07	49.10	35.59	81.00	68.99	60.07

Ressalta-se que na coluna indicada pelo algarismo romano (I) estão representadas as identificações dos testes de campo, por exemplo, o terceiro teste do quarto sulco de uma determinada área experimental está sendo representado por "s4t3". Na coluna (II) e (III) encontram-se, respectivamente, a vazão de entrada "Q" e o comprimento total de cada sulco "L". A coluna (IV) traz o tempo de avanço máximo "Ta", bem como em (V) verifica-se o tempo de contato médio correspondente, ou seja, no momento do término da fase de avanço. A coluna (VI) mostra o valor calculado da lâmina hídrica líquida de irrigação média "Hi", já as colunas (VII) e (VIII) trazem os valores dos coeficientes da equação de infiltração determinados de acordo com a metodologia do "tempo de contato médio". obs: os valores das colunas (V), (VII) e (VIII) foram calculados com a aplicação do programa "INFILTRAÇÃO".

Aplicando-se os valores da coluna (V) na equação de infiltração (utilizando-se dos termos da colunas (VII) e (VIII)), chega-se aos valores da coluna (IX) que, por sua vez, representa a lâmina média infiltrada no final de cada teste de avanço. Então, subtraindo-se a lâmina hídrica de irrigação "Hi" (coluna (VI)) da lâmina média infiltrada no final do teste de avanço "F av" (coluna (IX)), determinou-se a lâmina média que ainda faltava infiltrar (coluna (X)). Nesse sentido, a ocorrência de alguns valores negativos na coluna (X) se deu ao fato de que em muitos casos a infiltração média ocorrida no final do teste de avanço "F av" foi excessiva, ou seja, maior que a lâmina hídrica líquida de irrigação "Hi", acarretando em perda por percolação. Na verdade, muitos dos sulcos estudados apresentaram uma grande variação no que diz respeito ao tamanho da seção transversal (o que pode ser conferido pelas figuras do ANEXO-02). Se não bastasse tal variação, muitos sulcos apresentaram declividades irregulares e ainda formação de depressões, causando acúmulo do líquido em alguns pontos do sulco e por conseqüência uma infiltração média excessiva e irregular.

Como exposto anteriormente, é necessário que no final do sulco (ou em alguns metros que antecedem o final do sulco) seja infiltrada a lâmina "Hi". Portanto, o término da fase de avanço não significa o término da irrigação. Após essa fase, a irrigação continua e, com ela, a infiltração. Assim, para se determinar a infiltração ocorrida após a fase de avanço, normalmente aplica-se a metodologia da "entrada-saída" (BERNARDO, 1982), sendo que, desse procedimento prático chega-se à equação de infiltração correspondente. Portanto, partindo da equação de infiltração  $F = a \cdot T^n$ , e isolando-se o termo "T", tal equação poderá ser escrita da seguinte forma :



$$T = \sqrt[3]{F/a} \quad (4.3.1)$$

Agora, diante dos termos da equação de infiltração determinados pelo método da entrada-saída (colunas (XI e XII)), aplicando-se os valores da coluna (X) na equação de infiltração (3.6.1.2) - pg. 33, chega-se aos resultados da coluna (XIII), ou seja, o tempo de aplicação restante, isto é, aquele necessário para que, no final do sulco, infiltre a lâmina "Hi". Dessa maneira, o tempo de avanço "Ta", somado com o tempo de aplicação restante "Tap rest", resulta no tempo total "Tap total" que deverá perdurar a aplicação do líquido correspondente a vazão de entrada (II) – é o que mostra a coluna (XIV). Os valores da coluna (XIV) serão comparados mais adiante - pg. 89 e 90, com os valores da coluna (XV), que por sua vez representam o tempo de aplicação conforme metodologia do "tempo de contato médio". Os valores da coluna (XV) foram obtidos substituindo o termo "F" da equação (4.6.1) por "Hi" conforme (VIEIRA, 1989) e utilizando-se dos coeficientes mostrados nas colunas (VII) e (VIII).

As colunas (XVI) e (XVII) mostram respectivamente a Eficiência de Aplicação (Ea) e a Eficiência de Distribuição (ED). Esses dois parâmetros nos dão o conhecimento sobre o desempenho hidráulico dos sulcos, (BERNARDO, 1982), que através da utilização do programa "INFILTRAÇÃO" foram calculados de acordo com as equações (4.1.19) – pg. 60 e (4.1.21) – pg. 61. Os valores das colunas (XVI) e (XVII) nos fornecem a atual situação em que se encontram os sulcos largos. No entanto, com o propósito de verificar outras possibilidades que melhorem de imediato o desempenho hidráulico desses sulcos, procedeu-se a uma investigação no sentido de buscar o comprimento "L" mais adequado, uma vez que este parâmetro, seja talvez, o mais fácil de se corrigir na prática.

Devido ao grande número de testes e a dificuldade de se trabalhar com todos os dados de cada um deles, foi necessário criar uma rotina computacional que pudesse garantir com rapidez e precisão todos os cálculos. Tal rotina foi inserida no programa "INFILTRAÇÃO" que, através de simulações, busca a melhor situação hidráulica no que diz respeito ao comprimento dos sulcos. O programa faz isso até encontrar uma Eficiência de Distribuição mínima aceitável conforme descrito por (VIEIRA, 1989), retornando o comprimento "L" (simulado), bem como a Eficiência de Aplicação simulada correspondente. – o que é mostrado respectivamente nas colunas (XVIII) e (XIX) das tabelas 10, 11, 12 e 13.

A partir dos casos das Tabelas 10, 11, 12 e 13 em que ocorreram simulações, foram montadas as Tabelas 14, 15, 16 e 17.

**Tabela-14 – Parâmetros do desempenho hidráulico – Areia Franca - Área-A, Matão/ SP**

teste	Q m <sup>3</sup> /h	L m	EA %	ED %	L simulado m	EA %	ED %
s1t1	36,0	98,0	50,2	48,3	48,0	58,6	60,2
s1t2	27,7	98,0	53,9	52,0	48,0	57,9	60,1
s1t3	17,1	98,0	59,5	57,2	75,0	60,1	60,2
s2t1	27,7	105,5	49,9	49,6	57,0	55,2	60,1
s3t1	25,7	106,0	58,4	53,7	63,0	60,4	60,0
s4t1	25,7	106,0	39,8	40,8	43,0	55,4	60,2
s4t3	40,0	106,0	63,7	59,7	102,0	63,7	60,0
s6t1	30,0	106,0	58,3	53,2	54,0	60,4	60,0
s7t1	36,0	106,0	48,2	46,5	27,0	58,0	60,3
s7t2	40,0	106,0	63,1	55,1	50,0	63,9	60,1
s8t1	24,0	108,0	54,1	52,4	72,0	58,6	60,2
s8t2	40,0	108,0	57,3	52,4	34,0	62,1	60,2
Média	30,8	104,3	54,7	51,7	56,0	59,5	60,1

**Tabela-15 - Parâmetros do desempenho hidráulico - Franco Argilo Arenoso -Área-B (primeira repet), Limeira/ SP**

Teste	Q m <sup>3</sup> /h	L m	EA %	ED %	L simulado m	EA %	ED %
s1t1	34,4	146,0	58,3	41,7	84,0	67,5	60,2
s1t2	34,3	146,0	63,5	57,7	131,0	64,5	60,0
s1t3	32,7	146,0	63,5	51,8	112,0	68,3	60,1
s3t1	55,4	147,0	64,6	56,8	95,0	66,0	60,0
s5t1	45,0	141,0	51,1	47,8	47,0	61,9	60,0
s5t2	42,4	141,0	57,9	54,1	102,0	61,5	60,1
s5t3	40,0	141,0	59,1	54,5	108,0	61,5	60,2
s7t1	42,4	143,0	58,8	53,8	83,0	62,9	60,1
s7t2	37,9	143,0	59,8	56,2	112,0	61,6	60,0
s8t1	55,4	142,0	62,8	56,3	95,0	64,5	60,1
s8t2	36,0	142,0	61,7	57,6	127,0	63,0	60,1
s9t1	45,0	143,0	50,1	46,7	46,0	62,3	60,2
s9t2	37,9	143,0	55,5	51,6	86,0	62,0	60,0
s9t3	32,7	143,0	59,5	55,1	107,0	62,3	60,0
média	40,8	143,4	59,0	53,0	95,4	63,5	60,1

**Tabela-16 - Parâmetros do desempenho hidráulico – Franco Argilo Arenoso - Área-B (segunda repet), Limeira/ SP**

teste	Q m <sup>3</sup> /h	L m	EA %	ED %	L simulado m	EA %	ED %
s1t1	34,4	146,0	70,3	56,6	127,0	71,0	60,2
s1t2	32,7	146,0	87,9	41,3	92,0	91,1	60,3
s1t3	42,4	146,0	59,9	51,7	105,0	63,4	60,2
s2t1	48,0	147,0	60,9	58,2	132,0	60,9	60,0
s3t1	55,4	147,0	53,7	50,4	61,0	60,3	60,0
s3t3	37,9	147,0	61,8	57,9	130,0	62,0	60,1
s4t1	55,4	140,0	59,4	57,3	116,0	59,7	60,0
s4t3	40,0	140,0	93,8	55,8	123,0	92,9	60,0
s5t1	45,0	141,0	46,1	39,8	68,0	51,6	60,0
s5t2	37,9	141,0	63,1	56,1	118,0	63,9	60,2
s6t2	45,0	142,0	58,3	42,7	82,0	63,7	60,3
s7t1	55,4	143,0	41,2	41,3	54,0	58,8	60,1
s7t2	37,9	143,0	59,7	56,6	111,0	60,7	60,0
s7t3	28,8	143,0	99,5	54,3	123,0	100,0	60,0
s8t1	55,4	142,0	63,9	59,7	137,0	63,9	60,0
s8t2	40,0	142,0	64,0	56,3	119,0	64,8	60,2
s8t3	34,3	142,0	64,4	52,8	107,0	67,2	60,1
s9t2	36,0	143,0	60,1	50,9	103,0	65,7	60,1
s9t3	42,4	143,0	55,8	48,8	94,0	61,3	60,1
média	42,3	143,4	64,4	52,0	105,4	67,5	60,1

**Tabela-17 – Parâmetros do desempenho hidráulico – Franco Argilo Arenoso - Área-C, Mirassol/ SP**

teste	Q m <sup>3</sup> /h	L m	EA %	ED %	L simulado m	EA %	ED %
s2t1	15,6	150,0	59,7	47,3	99,0	68,3	60,1
s4t1	15,6	150,0	64,4	58,6	141,0	65,3	60,1
s5t1	8,7	150,0	35,9	22,2	55,0	67,9	60,5
s6t1	8,7	150,0	49,1	35,6	81,0	69,0	60,1
média	12,2	150,0	52,3	40,9	94,0	67,6	60,2

Pelas quatro últimas tabelas confere-se que, de um total de 82 testes, houve 49 casos com a possibilidade de ser realizado o procedimento de simulação.

Pela **Tabela-14** verifica-se que na Área-A os valores médios de interesse foram os seguintes: "L" igual a 104,3 metros, "Ea" igual a 54,7% e ED igual a 51,7%. Já com a simulação obteve-se "L" igual a 56,0 metros, "Ea" igual a 59,6% e ED igual a 60,1%. Portanto, em média, houve uma redução de 43,3% para o comprimento (L), assim como um aumento de 8,8% para a Eficiência de Aplicação (Ea) e um aumento de 16,2% para a Eficiência de Distribuição (ED).

Com a **Tabela-15** verifica-se que na Área-B (primeira repetição) os valores médios de interesse foram os seguintes: "L" igual a 143,4 metros, "Ea" igual a 59,0% e ED igual a 53,0%. Já

com a simulação obteve-se "L" igual a 95,4 metros, "Ea" igual a 63,5% e ED igual a 60,1%. Portanto, em média, houve uma redução de 33,5% para o comprimento (L), assim como um aumento de 7,7% para a Eficiência de Aplicação (Ea) e um aumento de 13,4% para a Eficiência de Distribuição (ED).

A partir da **Tabela-16** verifica-se que na Área-B (segunda repetição) os valores médios de interesse foram os seguintes: "L" igual a 143,4 metros, "Ea" igual a 64,4% e ED igual a 52,0%. Já com a simulação obteve-se "L" igual a 105,4 metros, "Ea" igual a 67,5% e ED igual a 60,1%. Portanto, em média, houve uma redução de 26,5% para o comprimento (L), assim como um aumento de 4,8% para a Eficiência de Aplicação (Ea) e um aumento de 15,5% para a Eficiência de Distribuição (ED).

Pela **Tabela-17** verifica-se que na Área-C os valores médios de interesse foram os seguintes: "L" igual a 150,0 metros, "Ea" igual a 52,3% e ED igual a 40,9%. Já com a simulação obteve-se "L" igual a 94,0 metros, "Ea" igual a 67,6% e ED igual a 60,2%. Portanto, em média, houve uma redução de 37,3% para o comprimento (L), assim como um aumento de 29,4% para a Eficiência de Aplicação (Ea) e um aumento de 47,1% para a Eficiência de Distribuição (ED).

Para uma melhor visualização dos resultados, montou-se a **Tabela-18** mostrada a seguir.

**Tabela-18** – Redução do comprimento dos sulcos, após simulação para alcançar ED  $\geq$  60 %

(%)	Área-A	Área-B (repet.1)*	Área-B (repet.2)*	Área-C
Diminuição média de "L"	43,3	33,5	26,5	37,3
Aumento médio de "Ea"	8,8	7,7	4,8	29,4
Aumento médio de "ED"	16,2	13,4	15,5	47,1

\* repetições ocorridas nos mesmos sulcos em safras diferentes.

Outro ponto importante a ser discutido é que na prática a aplicação do efluente é feita totalmente sem critérios. Os operadores desconhecem conceitos básicos que envolvem a prática da irrigação, como por exemplo a capacidade de retenção de água no solo. Assim a lâmina lançada nos sulcos é sempre muito superior que a lâmina bruta de irrigação calculada, o que pode provocar a saturação do solo, a percolação do efluente e prejudicar o metabolismo da cultura (no caso, a cultura do eucalipto). Como a indústria precisa eliminar o efluente, sobrecarregam os sulcos e, vez por outra, o descuido chega a provocar transbordos e rompimentos de alguns sulcos.

#### 4.4. Determinação dos sulcos hidráulicamente mais corretos

Conforme metodologia exposta anteriormente, dos 82 testes realizados em campo, foram destacados aqueles que mostraram uma eficiência de no mínimo 60% (Tabelas 19 e 20), para que diante desse conjunto de testes pudessem ser identificados suas particularidades.

Nesse contexto, notou-se nas Tabelas 10, 11, 12 e 13 que para o solo com classe textural Areia Franca - Área-A – Citrosuco Paulista / Matão/SP, em todos os testes com Eficiência de Distribuição menor que 60% ocorreram tempos de avanço maiores que 30 minutos. Situação parecida ocorreu para o solo de classe textural Franco Argilo Arenoso - Área B – Citrosuco Paulista / Limeira/SP. Considerando as duas repetições realizadas nessa área, 94% dos casos onde ocorreram uma baixa eficiência, verificou-se um tempo de avanço bem próximo ou superior a 30 minutos. Para este solo, ocorreram duas exceções: na segunda repetição o teste 3 do sulco 4 bem como o teste 3 do sulco 7 também apresentaram baixa Eficiência de Distribuição, porém o tempo de avanço foi inferior a 30 minutos, ou seja, 20,90 min e 20,53 min, respectivamente (Tabela-12). Este fato ocorreu devido a influência preponderante de outros fatores, como por exemplo uma elevada vazão de entrada ou uma umidade excessiva do sulco no momento da realização dos testes – o que está de acordo com (OLITTA, 1977) ao descrever sobre a influência de um grande número de fatores para a determinação da curva de avanço.

Situações com tempos de avanço duradouros mostraram-se prejudiciais para o desempenho hidráulico dos sulcos, provocaram uma infiltração excessiva no início do sulco acarretando numa baixa Eficiência de Distribuição, fato este explicado por (SCALOPPI, 1983) ao comentar que o principal problema associado ao dimensionamento da irrigação por sulcos consiste na previsão das taxas de avanço e recesso da água na superfície do solo.

Com o objetivo de identificar as possíveis causas da ocorrência de tempos de avanço duradouros, notou-se que os testes com tempos de avanço próximos ou superiores a 30 min estavam relacionados aos sulcos que tinham, em média, a área da seção transversal maior do que aqueles sulcos que apresentaram uma boa Eficiência de Distribuição. Assim, para os sulcos largos de infiltração, a área da seção transversal elevada efetivamente indicou uma situação hidráulica desfavorável.

No que diz respeito à vazão de entrada, notou-se durante os testes que valores maiores ou iguais a 40 m<sup>3</sup>/h provocaram erosão no início do sulco, aumentaram os riscos de alterações na

área da seção transversal dos sulcos, acumularam água em seu início e prejudicaram a frente de umedecimento durante a fase de avanço, o que é confirmado por (ANDRADE, 1994) ao descrever sobre possíveis problemas que podem ser identificados durante a fase de avanço. Desta forma, a vazão de abastecimento não deve superar o valor acima mencionado. Por outro lado, vazões pequenas (menores que 20 m<sup>3</sup>/h) também não são convenientes pois geralmente ocasionam um tempo de avanço mais prolongado e podem provocar uma grande perda de água por percolação profunda, principalmente no início dos sulcos largos de infiltração.

Através de observações práticas, notou-se que o tempo de avanço também pode ser prejudicado se o solo apresentar uma umidade muito alta ou muito baixa no momento do teste.

**Tabela-19** – Testes que reúnem as melhores condições – Areia Franca - Área-A - Citrusuco/Matão-SP

Sulco	Teste	Qe (m <sup>3</sup> /h)	L (m)	S (m)	Ta (min)	I (m/m)	Pm médio (m)	A médio (m <sup>2</sup> )	Ao (m <sup>2</sup> )	UA médio (%)	Rh (m)	V (m/s)	n <sub>m</sub>
2	2	32,7	105,5	4,0	20,31	0,00140	1,178	0,1083	0,0455	13,88	0,0919	0,0839	0,091
3	3	21,1	106,0	4,0	25,97	0,00040	1,092	0,0675	0,0236	16,35	0,0618	0,0869	0,036
5	1	27,7	106,0	4,0	45,28	0,00110	1,106	0,0741	0,0148	24,55	0,0670	0,1038	0,053
5	2	36,0	106,0	4,0	40,00	0,00110	1,130	0,0855	0,0162	29,34	0,0757	0,1170	0,051
7	3	30,0	106,0	4,0	24,00	0,00080	1,132	0,0865	0,0207	36,37	0,0764	0,0964	0,053
9	1	27,7	112,0	4,0	23,53	0,00130	1,048	0,0466	0,0158	19,30	0,0444	0,1653	0,027
9	2	37,0	112,0	4,0	20,14	0,00130	1,096	0,0694	0,0125	22,60	0,0633	0,1482	0,039
<b>Média =</b>		<b>30,3</b>	<b>107,6</b>	<b>4,0</b>	<b>28,46</b>	<b>0,00106</b>	<b>1,112</b>	<b>0,0768</b>	<b>0,0213</b>	<b>23,20</b>	<b>0,0686</b>	<b>0,1145</b>	<b>0,050</b>

**Tabela-20** – Testes que reúnem as melhores condições – Franco Argilo Arenoso - Área-B - Citrusuco/Limeira-SP

sulco	Teste	Qe (m <sup>3</sup> /h)	L (m)	S (m)	Ta (min)	I (m/m)	Pm médio (m)	A médio (m <sup>2</sup> )	Ao (m <sup>2</sup> )	UA médio (%)	Rh (m)	V (m/s)	n <sub>m</sub>
6	3	36,0	142,0	5,0	22,35	0,00115	1,940	0,1380	0,0180	29,48	0,0711	0,0725	0,080
7	3	28,8	143,0	5,0	36,23	0,00140	1,920	0,1280	0,0270	36,37	0,0667	0,0625	0,098
8	3	30,0	142,0	5,0	18,54	0,00175	1,660	0,1030	0,0120	36,52	0,0620	0,0809	0,081
3	2	28,8	147,0	5,0	30,86	0,00060	1,899	0,1178	0,0270	27,23	0,0620	0,0679	0,057
6	3	37,9	142,0	5,0	25,50	0,00115	1,990	0,1537	0,0210	26,50	0,0772	0,0685	0,090
9	1	30,0	143,0	5,0	20,01	0,00180	1,677	0,1067	0,0120	18,10	0,0636	0,0781	0,087
<b>Média =</b>		<b>31,9</b>	<b>143,2</b>	<b>5,0</b>	<b>25,58</b>	<b>0,00131</b>	<b>1,848</b>	<b>0,1245</b>	<b>0,0195</b>	<b>29,03</b>	<b>0,0671</b>	<b>0,0717</b>	<b>0,082</b>

Conforme explicado no **item 3.8**, com o objetivo de se chegar ao sulco hidráulicamente mais correto, foram calculados nas **Tabelas 19 e 20** os valores médios dos parâmetros de dimensionamento. Assim, passou-se ao estudo da relação entre a vazão de entrada e declividade dos sulcos. Na **Tabela-21** constam os valores de vazão de entrada e também os valores da infiltração acumulada dos sulcos largos que apresentaram Eficiência de Distribuição acima de 60% para ambas as áreas experimentais. As vazões de entrada foram colocadas em ordem

crescente e divididas em faixas de valores representadas por suas médias que, por sua vez, foram relacionadas com os valores médios da infiltração acumulada correspondentes.

**Tabela-21** – Valores da vazão de entrada e da infiltração acumulada

Área	Identificação			Q (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>média</sub> (m <sup>3</sup> /h)	F <sub>acumulada</sub> (%)	F <sub>acumulada média</sub> (%)
	repetição	sulco	teste				
A	1	5	3	15,60		40,06	
A	1	6	3	16,40		46,77	
A	1	9	3	17,10	<b>16,37</b>	41,11	<b>42,65</b>
A	1	2	3	18,00		48,24	
A	1	3	3	21,10		34,36	
A	1	5	1	27,70	<b>22,27</b>	58,09	<b>46,90</b>
A	1	9	1	27,70		30,68	
B	1	7	3	28,80		66,99	
B	2	3	2	28,80		60,11	
A	1	7	3	30,00		53,30	
B	1	8	3	30,00	<b>29,06</b>	33,75	<b>48,97</b>
B	2	9	1	30,00		67,48	
A	1	2	2	32,70		41,75	
A	1	3	2	36,00		54,37	
A	1	5	2	36,00		54,88	
B	1	6	3	36,00		46,27	
A	1	9	2	37,00		49,51	
B	2	6	3	37,90	<b>35,09</b>	48,42	<b>51,81</b>
A	1	4	2	40,00		56,70	
A	1	6	2	40,00		49,24	
B	1	2	3	40,00		36,11	
B	1	6	2	40,00		68,46	
B	1	2	2	42,40	<b>40,48</b>	51,47	<b>52,40</b>
B	2	2	3	42,40		47,59	
B	2	5	3	42,40		63,49	
B	1	2	1	45,00		57,06	
B	1	3	2	48,00		68,65	
B	1	4	2	48,00		45,91	
B	2	4	2	48,00	<b>45,63</b>	40,43	<b>53,86</b>
B	1	4	1	55,40		63,57	
B	1	6	1	55,40		72,23	
B	2	2	2	55,40		39,21	
B	2	6	1	55,40	<b>55,40</b>	67,48	<b>60,62</b>

Traçando-se uma curva para representar a relação entre esses dois parâmetros, chegou-se aos resultados apresentados pelo **Figura-37**.

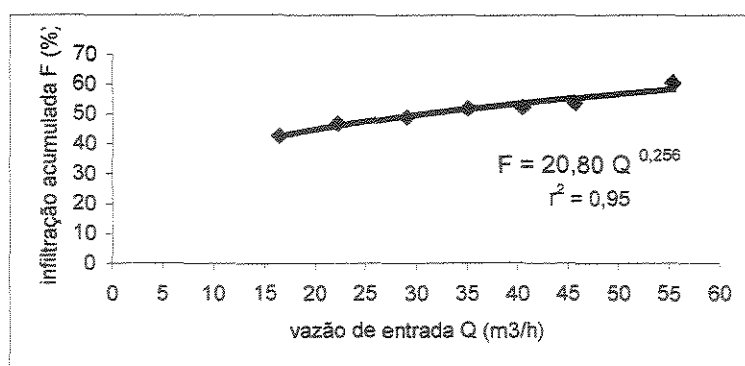


Figura-37 – relação entre a vazão de entrada e a infiltração acumulada

A Tabela-22 foi estabelecida seguindo os mesmos procedimentos para a montagem da Tabela-21, porém relacionando-se agora a declividade média e a infiltração acumulada média dos mesmos sulcos de infiltração.

Tabela-22 – Valores da declividade e da infiltração acumulada

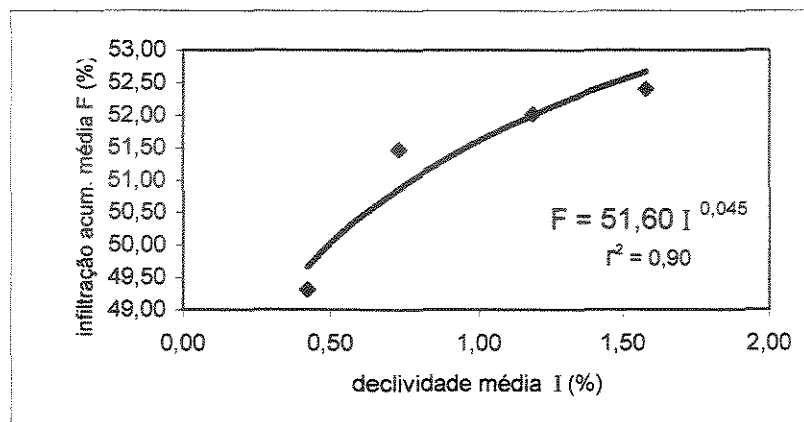
Área	Identificação			I (‰)	I <sub>médio</sub> (‰)	F <sub>acumulada</sub> (%)	F <sub>acumulada média</sub> (%)
	repetição	sulco	teste				
A	1	3	2	0,40		54,37	
A	1	3	3	0,40		34,36	
B	1	2	1	0,45		57,06	
B	1	2	2	0,45	<b>0,43</b>	51,47	<b>49,32</b>
B	1	2	3	0,45		36,11	
B	2	2	2	0,45		39,21	
B	2	2	3	0,45		47,59	
A	1	4	2	0,60		56,70	
B	1	3	2	0,60		68,65	
B	2	3	2	0,60		60,11	
A	1	7	3	0,80		53,30	
A	1	5	1	1,10		58,09	
A	1	5	2	1,10		54,88	
A	1	5	3	1,10	<b>0,73</b>	40,06	<b>51,47</b>
A	1	6	2	1,10		49,24	
A	1	6	3	1,10		46,77	
B	1	6	1	1,15		72,23	
B	1	6	2	1,15		68,46	
B	1	6	3	1,15		46,27	
B	2	6	1	1,15		67,48	
B	2	6	3	1,15		48,42	
A	1	9	1	1,30		30,68	
A	1	9	2	1,30		49,51	
A	1	9	3	1,30	<b>1,19</b>	41,11	<b>52,02</b>
A	1	2	2	1,40		41,75	



continuação : Tabela-22 – Valores da declividade e da infiltração acumulada

A	1	2	3	1,40		48,24
B	1	7	3	1,40		66,99
B	1	4	1	1,50		63,57
B	1	4	2	1,50		45,91
B	2	4	2	1,50		40,43
B	1	8	3	1,75		33,75
B	2	9	1	1,80		67,48
B	2	5	3	1,95	1,58	63,49
						52,40

A relação entre os dois parâmetros podem ser observados através da **Figura-38**.



**Figura-38** – relação entre a declividade de entrada e a infiltração acumulada

Uma vez que na **Figura-37** obtêm-se  $F = 20,80 \cdot Q^{0,256}$  ( $F = a \cdot Q^b$ ) e na **Figura-38** obtêm-se  $F = 51,60 \cdot I^{0,045}$  ( $F = c \cdot I^d$ ), igualando as equações, :

$$a \cdot Q^b = c \cdot I^d \quad (4.4.1)$$

$$Q = \left( \frac{c \cdot I^d}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (4.4.2)$$

$$Q = \left( \frac{c}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \cdot I^{\frac{d}{b}} \quad (4.4.3)$$

substituindo os termos :

$$Q = \left( \frac{51,60}{20,80} \right)^{\frac{1}{0,256}} \cdot I^{\frac{0,045}{0,256}} \quad (4.4.4)$$

$$\boxed{Q = 34,78 \cdot I^{0,175}} \text{ , onde } Q = (\text{m}^3/\text{h}) \text{ e } I = (\text{‰}) \quad (4.4.5)$$

Para declividade de 0,05%, tem-se :

$$Q = 34,78 \cdot 0,05^{0,175} \quad (4.4.6)$$

$$Q = 20,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Diante dos valores médios dos parâmetros de dimensionamento calculados nas Tabelas-19 e 20 (relativos aos testes que reúnem as melhores condições) – pg. 81, bem como dos valores de  $Q = 20,0 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $I = 0,05\%$ , finalmente aplicou-se o programa “INFILTRAÇÃO” na intenção de se constatar bons resultados. Dessa forma, a Área-A - Citrusuco/Matão-SP - reuniu os dados mostrados nas Tabelas-23 e 24:

**Tabela-23** – Dados de entrada para a aplicação do programa “INFILTRAÇÃO” – Área-A, Areia Franca – Matão/ SP

Q	S	I	L	Ta	Hi	Pm	A	Ao	Teste de avanço :	
(m <sup>3</sup> /h)	(m)	(%)	(m)	(min)	(mm)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	L	Ta
									(m)	(min)
20,0	3,0	0,5	80	20	42,78	1,112	0,0768	0,0213	10	0,50
									20	1,50
									30	3,00
									40	5,00
									50	7,00
									60	10,00
									70	15,00
									80	20,00

**Tabela-24** – Resultados da aplicação do programa “INFILTRAÇÃO” – Área-A, Areia Franca – Matão/ SP

Rh	V	n <sub>m</sub>	Ea	ED	Eq. Avanço :	Eq. Infiltração :
(m)	(m/s)	-	(%)	(%)	Ta = 0,008 · L <sup>1,755</sup>	F = 1,884 · T <sup>1,135</sup>
0,0691	0,0723	0,052	92,67	63,64		

Já para o solo com classe textural Franco Argilo Arenoso - Área-B – Citrusuco/Limeira-SP chegou-se aos seguintes dados:

**Tabela-25** – Dados de entrada para a aplicação do programa “INFILTRAÇÃO” – Área-B, Franco Argilo Arenoso - Limeira/ SP

Q	S	I	L	Ta	Hi	Pm	A	Ao	Teste de avanço :	
(m <sup>3</sup> /h)	(m)	(‰)	(m)	(min)	(mm)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	L	Ta
									(m)	(min)
20,0	3,0	0,5	100	25	74,54	1,848	0,1245	0,0195	10	0,50
									20	1,50
									30	3,00
									40	5,00
									50	7,00
									60	10,00
									70	13,50
									80	17,00
									90	21,00
									100	25,00

**Tabela-26** – Resultados da aplicação do programa “INFILTRAÇÃO” –Área-B, Franco Argilo Arenoso- Limeira/ SP

Rh	V	n <sub>m</sub>	Ea	ED	Eq. Avanço :	Eq. Infiltração :
(m)	(m/s)	-	(%)	(%)		
0,0674	0,0446	0,083	92,98	77,91	Ta = 0,009 · L <sup>1,712</sup>	F = 2,936 · T <sup>0,836</sup>

Pelo que pode ser observado, os resultados da aplicação final do programa “INFILTRAÇÃO” (Tabelas 24 e 26) demonstraram a ocorrência de uma alta Eficiência de Aplicação (Ea) e de Distribuição (ED), o que foi conseguido graças à combinação dos valores selecionados para os parâmetros de projeto dos sulcos largos de infiltração (Tabelas 23 e 25). Tal combinação estabelece, portanto, a condição dos sulcos hidraulicamente mais corretos para ambos os solos testados. Conforme colocado anteriormente, pela comparação estatística entre os resultados obtidos pela equação (4.4.5) – pg. 84, com aqueles obtidos pela equação (2.6.1) – pg. 20, verifica-se o que é colocado a seguir. Obs: Para a utilização da equação (2.6.1), isto é,  $Q = \frac{C}{I^u}$ , adotou-se C = 0,644 e u = 0,704 (Tabela-01), pois tanto o solo da Área-B - Citrusuco/Limeira-SP, quanto o solo da Área-A - Citrusuco/Matão-SP apresentam textura grossa, (MONIZ, 1972), ou seja, textura Franco Argilo Arenoso e textura Areia Franca, respectivamente.

**4.5 – Comparação das vazões de abastecimento obtidas pelo método da entrada e saída e pelo método do tempo de contato médio.**

A Tabela-27 mostra os resultados das vazões de abastecimento obtidas através da aplicação da equação (4.4.5) - pág. 84 e da equação (2.6.1) - pág. 20. Demonstra-se ainda na referida tabela a média e o desvio padrão dos resultados obtidos.

Tabela-27 – valores de Q calculado pelas equações (4.4.5) e (2.6.1)

Identificação				"Q" campo	I	"Q" eq. (4.6.5)	I	"Q" eq. (2.6.1)
área	repetição	sulco	teste	(m3/h)	(‰)	(m3/h)	(%)	(m3/h)
A	1	5	3	15,60	1,10	35,4	0,110	11,0
A	1	6	3	16,40	1,10	35,4	0,110	11,0
A	1	9	3	17,10	1,30	36,4	0,130	9,7
A	1	2	3	18,00	1,40	36,9	0,140	9,3
A	1	3	3	21,10	0,40	29,6	0,040	22,4
A	1	5	1	27,70	1,10	35,4	0,110	11,0
A	1	9	1	27,70	1,30	36,4	0,130	9,7
B	1	7	3	28,80	1,40	36,9	0,140	9,3
B	2	3	2	28,80	0,60	31,8	0,060	16,8
A	1	7	3	30,00	0,80	33,4	0,080	13,7
B	1	8	3	30,00	1,75	38,4	0,175	7,9
B	2	9	1	30,00	1,80	38,5	0,180	7,8
A	1	2	2	32,70	1,40	36,9	0,140	9,3
A	1	3	2	36,00	0,40	29,6	0,040	22,4
A	1	5	2	36,00	1,10	35,4	0,110	11,0
B	1	6	3	36,00	1,15	35,6	0,115	10,6
A	1	9	2	37,00	1,30	36,4	0,130	9,7
B	2	6	3	37,90	1,15	35,6	0,115	10,6
A	1	4	2	40,00	0,60	31,8	0,060	16,8
A	1	6	2	40,00	1,10	35,4	0,110	11,0
B	1	2	3	40,00	0,45	30,2	0,045	20,6
B	1	6	2	40,00	1,15	35,6	0,115	10,6
B	1	2	2	42,40	0,45	30,2	0,045	20,6
B	2	2	3	42,40	0,45	30,2	0,045	20,6
B	2	5	3	42,40	1,95	39,1	0,195	7,3
B	1	2	1	45,00	0,45	30,2	0,045	20,6
B	1	3	2	48,00	0,60	31,8	0,060	16,8
B	1	4	2	48,00	1,50	37,3	0,150	8,8
B	2	4	2	48,00	1,50	37,3	0,150	8,8
B	1	4	1	55,40	1,50	37,3	0,150	8,8
B	1	6	1	55,40	1,15	35,6	0,115	10,6
B	2	2	2	55,40	0,45	30,2	0,045	20,6
B	2	6	1	55,40	1,15	35,6	0,115	10,6
<b>média</b>				<b>36,50</b>		<b>34,6</b>		<b>12,9</b>
<b>desvio</b>				<b>11,55</b>		<b>2,93</b>		<b>4,89</b>

De acordo com (STEVENSON, 1981), aplicando-se a distribuição t de Student nos dados da **Tabela-27**, obteve-se o seguinte resultado: para nível de significância de 0,05 tem-se  $t(64; 2,5\%) = 2,2718$ , menor que  $t_{\text{teste}}(\text{calculado}) = 21,87$ . Assim pode-se concluir que as médias são diferentes. Foi usado  $t(64; 2,5\%)$ , onde "64" = graus de liberdade, ou seja,  $n_1+n_2 - 2 = 33+33-2 = 64$ . A utilização de 2,5% é devido o teste ser bicaudal ( $0,05 = 5\%$ , então  $5\%/2 = 2,5\%$ ).

Pelos resultados obtidos verifica-se que a equação (2.6.1) devida a Gardner – citada por (BERNARDO, 1982) - por ser estatisticamente diferente da equação (4.4.5) não recomenda-se sua aplicação para as situações dos sulcos largos de infiltração.

#### **4.6. Comparação entre os tempo de irrigação obtidos pela aplicação da metodologia do tempo de contato médio e da metodologia da “entrada e saída”**

Comparando-se os valores da coluna (XIV) e da coluna (XV) das tabelas 11 e 12 verifica-se o que é apresentado nas **Tabelas 28 e 29**.

Para a Área-A e Área-C não foram feitas tais comparações pela falta de consistência na quantidade de dados levantados em campo – amostragem pequena. No entanto para a Área-B realizou-se a comparação dos dados para as duas repetições, ou seja, nas **Tabelas 28 e 29** foram agrupados os pares "Tap total" e "tc Hi" (das **Tabelas 11 e 12**), excluindo-se os casos em que ocorreram os valores negativos comentados anteriormente.

Tabela-28 - Agrupamento dos valores "Tap total" \* e "tc Hi" \*\* (área B primeira repetição)

área B	Tap total (min)	tc Hi (min)
	49,73	33,69
	49,40	45,89
	48,54	44,37
	37,50	59,57
	38,08	76,11
	37,54	127,79
	35,26	36,94
	31,02	32,19
	31,73	64,54
	47,26	31,55
	47,20	37,24
	34,65	24,76
	38,81	45,64
	40,46	98,32
	50,32	35,05
	54,30	64,51
	42,22	43,90
	42,78	143,09
	55,08	38,91
desvio padrão	7,41	33,04
média	42,73	57,06
CV	17,3%	57,9%

\* tempo total de aplicação, min.

\*\* tempo de contato médio correspondente à infiltração da lâmina Hi, min.

**Tabela-29** - Agrupamento dos valores "Tap total" e "tc Hi" (área B segunda repetição)

área B	Tap total (min)	tc Hi (min)
	44,90	45,70
	43,70	28,89
	40,41	33,79
	38,22	35,69
	29,98	91,30
	39,11	88,83
	49,67	84,29
	44,18	44,19
	34,73	26,14
	35,30	89,81
	35,62	31,40
	48,38	41,43
	45,18	52,27
	36,62	33,45
	37,59	26,37
	39,73	92,63
	51,93	34,33
	42,80	39,46
	31,37	23,34
	42,68	38,79
	43,63	40,09
	40,97	94,46
	43,07	37,61
	45,11	31,26
desvio padrão	5,49	24,98
média	41,04	49,40
CV	13,4%	50,6%

Aplicando-se a distribuição t de Student, obtêm-se como resultado a seguinte situação:

a ) Área-B (primeira repetição) - para nível de significância de 0,05 tem-se  $t(36; 2,5\%) = 2,028$  (maior que 1,845), significando que estatisticamente as médias são iguais.

b ) Área-B (segunda repetição) - para nível de significância de 0,05 tem-se  $t(46; 2,5\%) = 2,014$  (maior que 1,602). Conclui-se que para essa repetição as médias também são iguais.

Como visto acima, estatisticamente não existe diferença entre a utilização isolada da equação de infiltração proveniente do método do "tempo de contato médio" quando comparada com a aplicação desta mesma equação em conjunto com aquela proveniente do método da

"entrada-saída". Tal situação é muito conveniente pois, podendo-se aplicar na prática apenas o teste de avanço para a obtenção da equação de infiltração pelo método do "tempo de contato médio", os trabalhos de campo se tornam bem mais fáceis e rápidos, o que é confirmado por (CAMACHO et al., 1992), ao explicar que, por esse método, os cálculos necessários para determinar os coeficientes da equação de Kostiakov são muito simples. Com esse método, pela sua simplicidade, não é necessário recorrer à integração numérica e, não obstante a isso, com poucos dados medidos em campo necessários para qualquer outra avaliação, é possível encontrar os parâmetros da equação de infiltração. No entanto, observa-se nas Tabelas 28 e 29, elevados valores de Coeficiente de Variação (CV), motivo pelo qual deve-se utilizar a equação de infiltração proveniente da metodologia do "tempo de contato médio", com precaução.



## 5. Conclusões

Para as condições dos sulcos largos de infiltração localizados nas áreas experimentais estudadas e de acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que :

a - Os sulcos largos de infiltração utilizados para a disposição do efluente líquido gerado pelas indústrias estudadas, operam de forma precária sob o ponto de vista hidráulico;

b - No que se refere ao coeficiente de rugosidade de Manning, os sulcos largos apresentam, em média, grande resistência ao escoamento;

c - O desempenho hidráulico dos sulcos largos pode ter uma considerável melhora apenas reduzindo-se o comprimento dos mesmos, uma vez que haverá um ganho tanto na Eficiência de Aplicação, quanto na Eficiência de Distribuição do efluente;

d - A equação empírica citada por vários autores que relaciona a vazão máxima de entrada com a declividade, não é adequada para os sulcos largos de infiltração devido às suas características peculiares. Para os sulcos largos obteve-se a equação  $Q = 34,60 \cdot I^{0,175}$ , que melhor relaciona tais parâmetros; e,

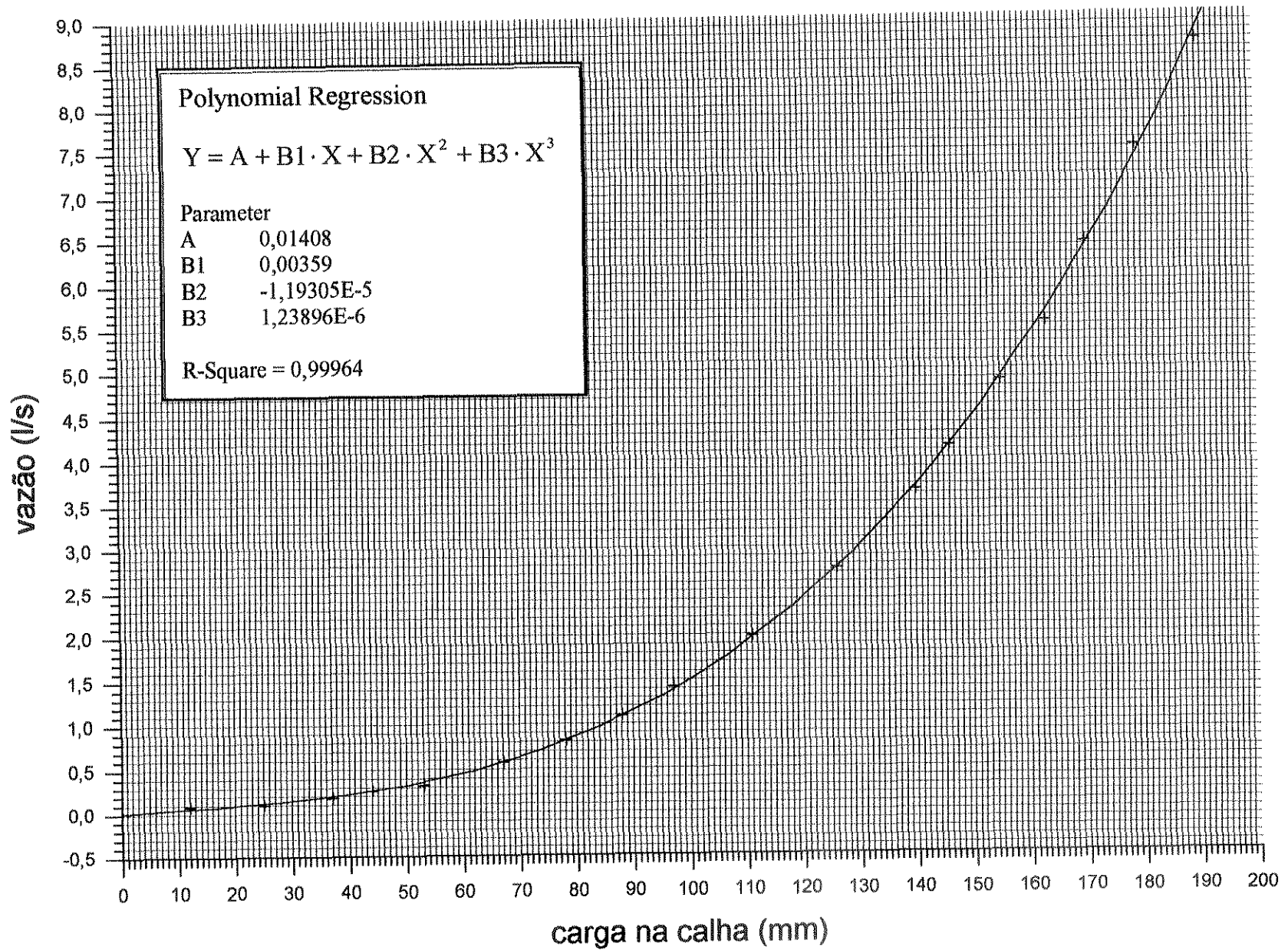
e - Os resultados provenientes das equações de infiltração mostram que a aplicação isolada da metodologia do "tempo de contato médio" ou em conjunto com a método da "entrada-saída", não apresentam diferença estatística significativa, embora tenha sido observado elevados valores de Coeficiente de Variação entre seus resultados. Portanto, para os sulcos largos, é possível utilizar-se de equações de infiltração obtidas a partir dos testes de avanço.

f - O programa "INFILTRAÇÃO" desenvolvido em linguagem de programação DELPHI, mostra-se uma importante ferramenta para o estudo hidráulico e para a avaliação do desempenho de sulcos de infiltração.

## **Anexo – 01**

Curva de calibração da calha WSC .

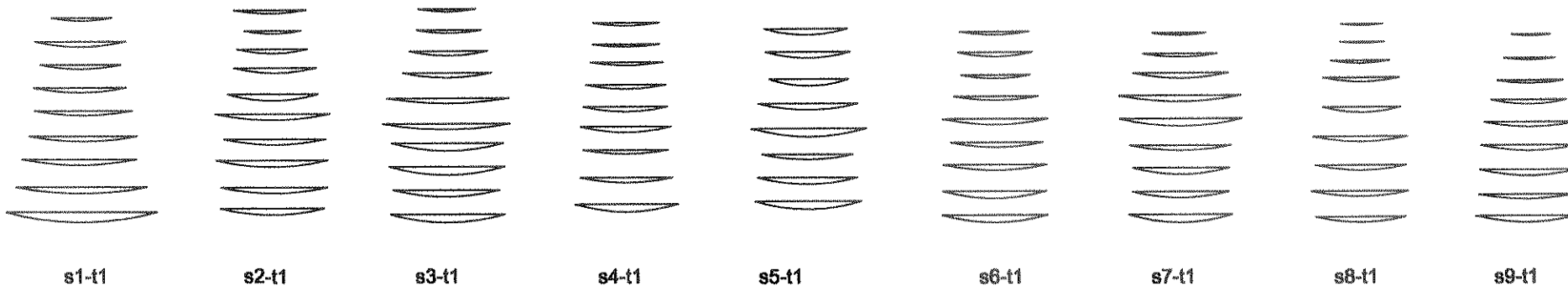
## Curva de calibração da calha WSC flume B - n.4



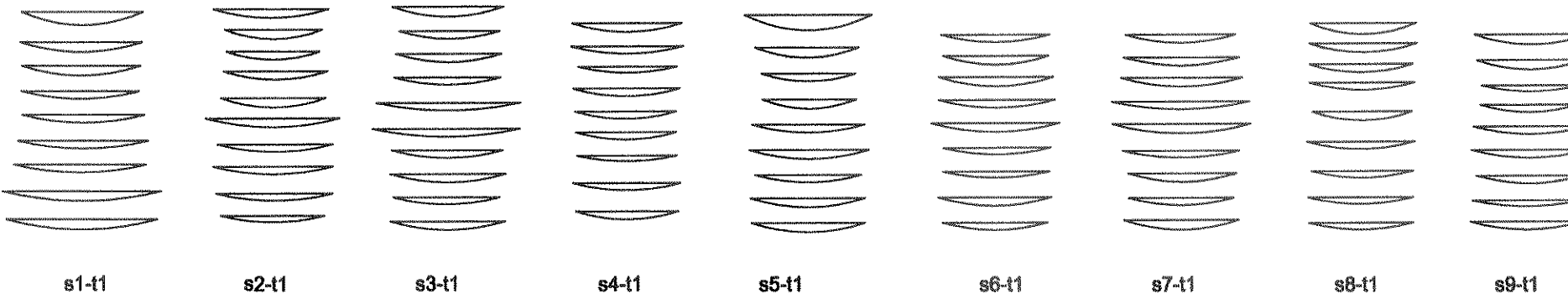
## Anexo – 02

Detalhes das seções transversais dos sulcos largos de infiltração verificados tanto no final do teste de avanço, quanto no momento do corte do abastecimento do efluente. Esses dados serviram para o cálculo do perímetro molhado médio, área da seção transversal média utilizados tanto para a determinação do coeficiente de rugosidade de Manning, quanto para a leitura do valor da área da seção transversal inicial dos sulcos “Ao”. Obs.: as figuras e as tabelas aqui apresentadas são referentes à Área-B (da segunda repetição da coleta de dados).

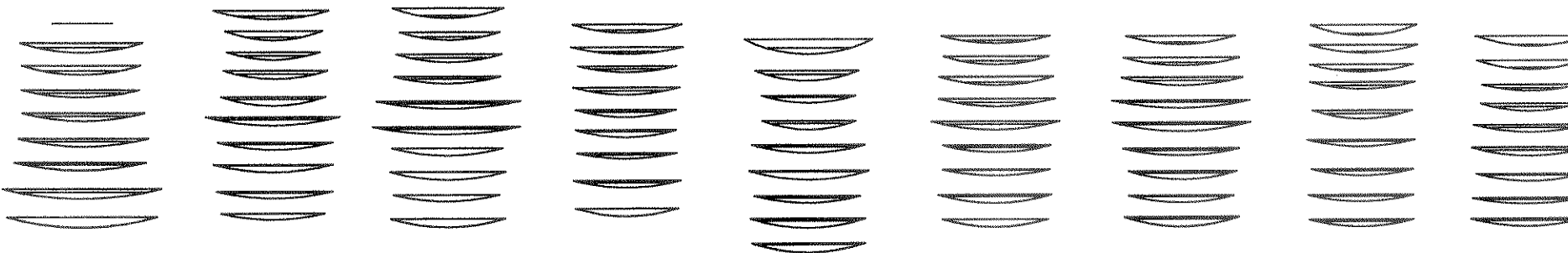
Área molhada transversal (m<sup>2</sup>) ao final da fase de avanço



Área molhada transversal (m<sup>2</sup>) no momento do corte da irrigação



Comparação da área molhada transversal ao final da fase de avanço e ao corte da irrigação



**TESTE 01**

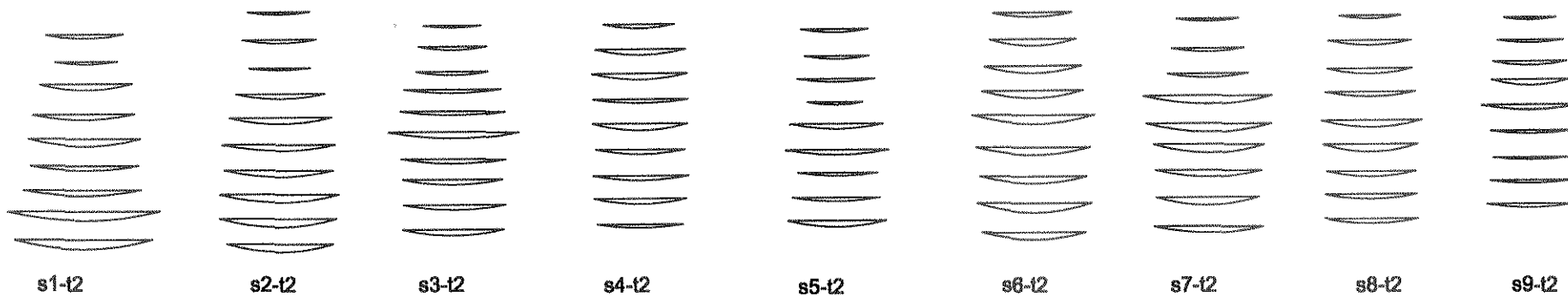
no momento do corte

s1t1		s2t1		s3t1		s4t1		s5t1		s6t1		s7t1		s8t1		s9t1	
Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area
2,628	0,457	2,454	0,286	2,380	0,319	2,335	0,277	2,780	0,575	2,309	0,237	2,322	0,269	2,283	0,325	2,472	0,346
2,605	0,344	2,095	0,263	2,133	0,227	2,374	0,237	2,219	0,301	2,237	0,259	2,449	0,265	2,290	0,268	2,303	0,285
2,527	0,326	1,995	0,213	2,247	0,251	2,082	0,173	2,000	0,204	2,432	0,304	2,565	0,297	2,193	0,235	2,083	0,181
2,492	0,261	2,218	0,251	2,264	0,227	2,264	0,235	2,011	0,253	2,471	0,265	2,909	0,312	2,228	0,225	2,091	0,221
2,601	0,282	2,243	0,275	3,045	0,310	2,137	0,219	2,400	0,266	2,717	0,328	2,921	0,375	2,134	0,252	2,431	0,250
2,759	0,299	2,839	0,340	3,117	0,338	2,134	0,221	2,545	0,319	2,820	0,215	2,453	0,236	2,290	0,223	2,490	0,282
2,794	0,298	2,443	0,248	2,365	0,246	2,113	0,165	2,248	0,221	2,265	0,191	2,293	0,264	2,159	0,200	2,283	0,227
3,372	0,449	2,541	0,264	2,455	0,281	2,278	0,212	2,444	0,305	2,414	0,281	2,222	0,218	2,230	0,201	2,325	0,191
3,205	0,447	2,465	0,238	2,251	0,208	2,183	0,237	2,410	0,301	2,243	0,223	2,433	0,313	2,214	0,206	2,415	0,254
		2,195	0,187	2,430	0,276												
<b>2,776</b>	<b>0,351</b>	<b>2,349</b>	<b>0,257</b>	<b>2,469</b>	<b>0,268</b>	<b>2,211</b>	<b>0,220</b>	<b>2,340</b>	<b>0,305</b>	<b>2,434</b>	<b>0,256</b>	<b>2,507</b>	<b>0,283</b>	<b>2,225</b>	<b>0,237</b>	<b>2,321</b>	<b>0,249</b>

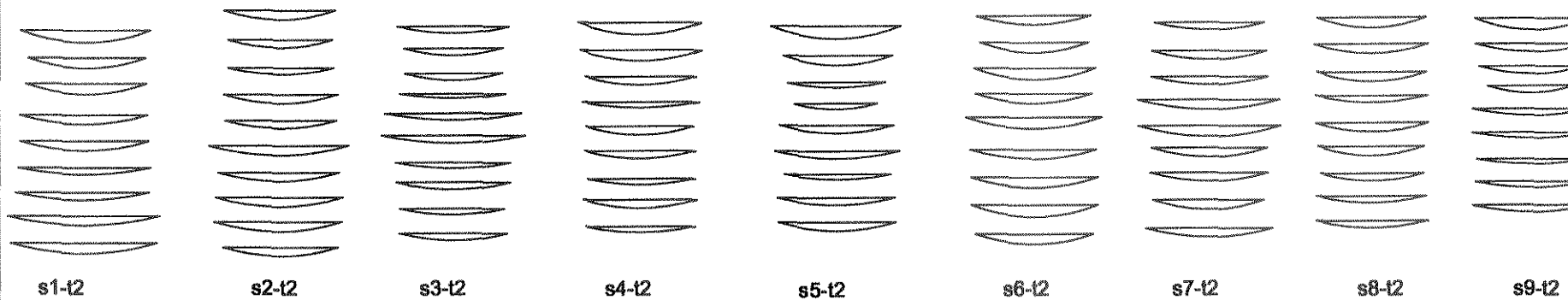
na fase de avanço

s1t1		s2t1		s3t1		s4t1		s5t1		s6t1		s7t1		s8t1		s9t1	
Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area
1,271	0,053	1,526	0,070	1,206	0,042	1,387	0,059	1,755	0,150	1,467	0,061	1,109	0,030	0,874	0,019	0,803	0,012
1,918	0,139	1,200	0,050	1,356	0,059	1,402	0,049	1,786	0,145	1,564	0,089	1,545	0,067	0,935	0,018	1,064	0,029
1,700	0,100	1,486	0,089	1,658	0,102	1,525	0,068	1,688	0,151	1,450	0,065	2,007	0,143	1,240	0,043	1,378	0,053
1,950	0,126	1,749	0,124	1,866	0,128	1,678	0,096	2,101	0,179	1,775	0,099	2,556	0,212	1,606	0,085	1,586	0,097
2,071	0,143	1,918	0,173	2,558	0,184	1,771	0,125	2,441	0,282	2,220	0,180	2,575	0,258	1,651	0,118	1,950	0,130
2,269	0,167	2,416	0,210	2,671	0,213	1,903	0,157	1,917	0,137	1,949	0,134	2,117	0,152	1,995	0,148	2,047	0,157
2,423	0,195	2,163	0,173	2,365	0,246	1,786	0,100	2,112	0,198	2,178	0,170	2,035	0,185	1,914	0,140	2,087	0,174
2,776	0,251	3,355	0,211	2,455	0,281	1,936	0,131	2,255	0,247	2,196	0,212	2,028	0,166	2,041	0,154	2,015	0,125
3,205	0,447	2,246	0,180	2,251	0,208	2,183	0,237			2,243	0,223	2,190	0,229	1,908	0,132	2,165	0,183
		2,195	0,190	2,430	0,276												
<b>2,176</b>	<b>0,180</b>	<b>2,025</b>	<b>0,147</b>	<b>2,082</b>	<b>0,174</b>	<b>1,730</b>	<b>0,114</b>	<b>2,007</b>	<b>0,186</b>	<b>1,894</b>	<b>0,137</b>	<b>2,018</b>	<b>0,160</b>	<b>1,574</b>	<b>0,095</b>	<b>1,677</b>	<b>0,107</b>

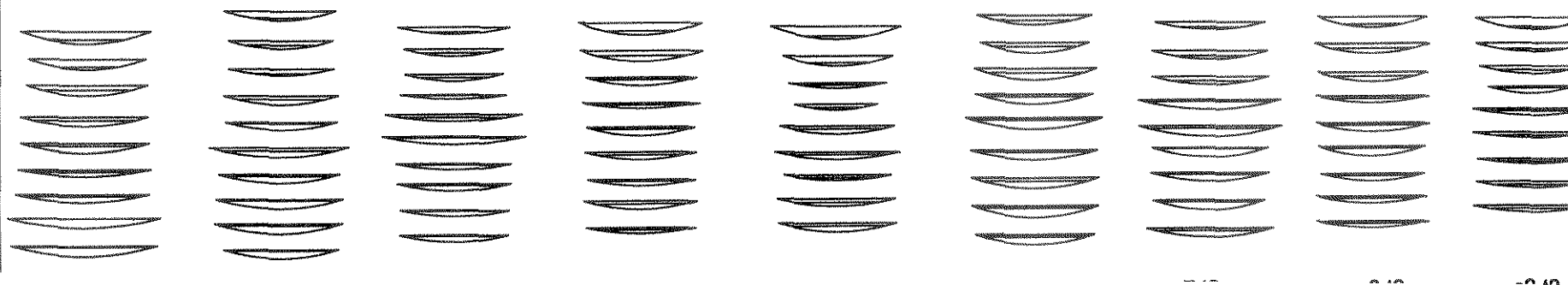
Área molhada transversal (m<sup>2</sup>) ao final da fase de avanço



Área molhada transversal (m<sup>2</sup>) no momento do corte da irrigação



Comparação da área molhada transversal ao final da fase de avanço e ao corte da irrigação





**TESTE 02**

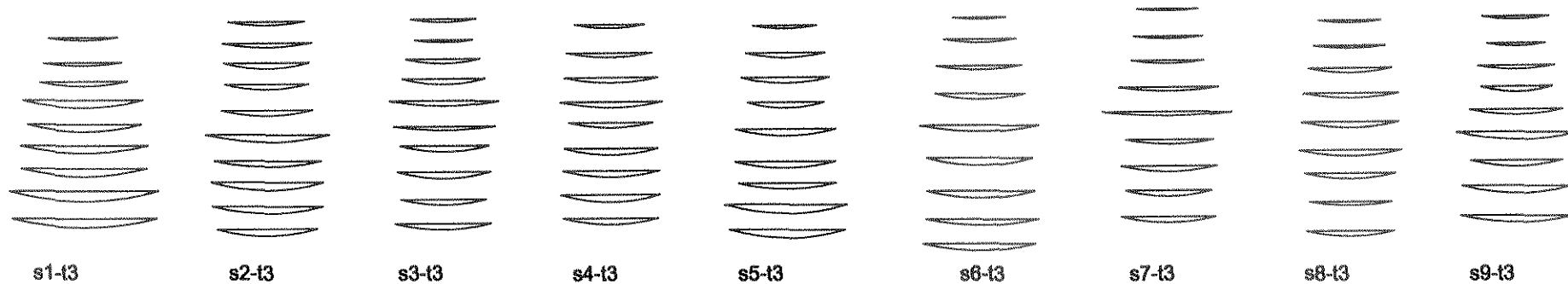
no momento do corte

s1t2		s2t2		s3t2		s4t2		s5t2		s6t2		s7t2		s8t2		s9t2	
Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area
2,686	0,430	2,284	0,270	2,280	0,205	2,548	0,407	2,698	0,450	2,342	0,277	2,222	0,212	2,247	0,303	2,348	0,350
2,414	0,336	2,137	0,222	2,025	0,193	2,514	0,357	2,251	0,294	2,238	0,306	2,336	0,264	2,344	0,296	2,313	0,258
2,493	0,355	2,149	0,187	2,001	0,185	2,267	0,249	1,984	0,139	2,507	0,382	2,372	0,257	2,244	0,272	2,160	0,231
2,604	0,313	2,345	0,277	2,141	0,123	2,381	0,176	1,685	0,131	2,400	0,317	2,893	0,372	2,291	0,218	1,804	0,170
2,629	0,338	2,279	0,236	2,772	0,242	2,210	0,249	2,340	0,243	2,790	0,410	2,911	0,408	2,310	0,262	2,420	0,209
2,699	0,247	2,861	0,360	2,913	0,299	2,267	0,224	2,543	0,251	2,577	0,322	2,363	0,286	2,192	0,271	2,414	0,184
2,719	0,277	2,480	0,281	2,324	0,177	2,185	0,172	2,158	0,150	2,601	0,348	2,409	0,266	2,105	0,200	2,170	0,145
3,104	0,382	2,601	0,316	2,317	0,215	2,325	0,262	2,402	0,238	2,602	0,405	2,277	0,289	2,247	0,206	2,289	0,180
2,998	0,423	2,627	0,342	2,129	0,175	2,219	0,172	2,411	0,278	2,429	0,317	2,578	0,297	2,280	0,207	2,385	0,215
		2,350	0,278	2,210	0,203												
<b>2,705</b>	<b>0,345</b>	<b>2,411</b>	<b>0,277</b>	<b>2,311</b>	<b>0,202</b>	<b>2,324</b>	<b>0,252</b>	<b>2,275</b>	<b>0,242</b>	<b>2,498</b>	<b>0,343</b>	<b>2,485</b>	<b>0,295</b>	<b>2,251</b>	<b>0,248</b>	<b>2,256</b>	<b>0,216</b>

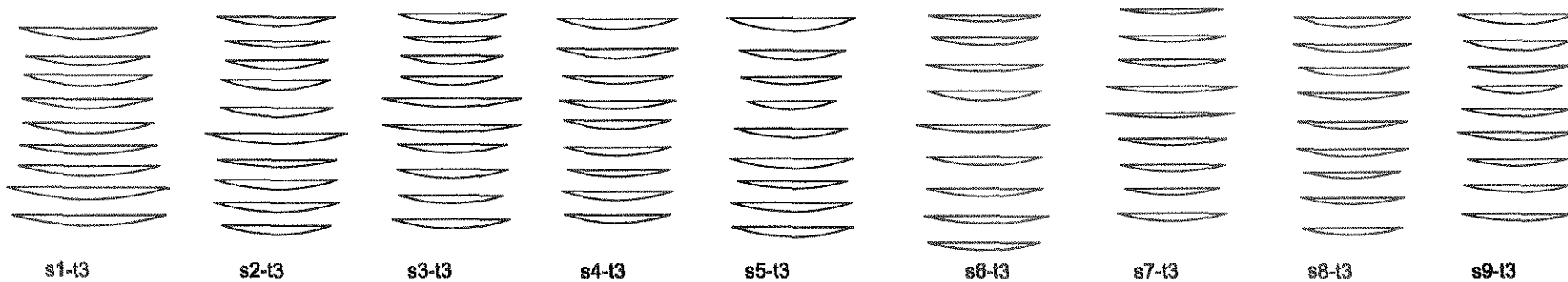
na fase de avanço

s1t2		s2t2		s3t2		s4t2		s5t2		s6t2		s7t2		s8t2		s9t2	
Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area
1,564	0,086	1,251	0,045	1,158	0,027	1,449	0,076	1,354	0,058	1,601	0,089	1,246	0,038	1,236	0,051	1,042	0,031
1,269	0,050	1,502	0,778	1,383	0,062	1,839	0,141	1,304	0,058	1,767	0,152	1,454	0,064	1,692	0,112	1,331	0,050
1,880	0,154	1,237	0,036	1,442	0,070	1,943	0,157	1,577	0,070	1,982	0,191	1,626	0,083	1,725	0,125	1,491	0,077
2,069	0,158	1,819	0,130	1,957	0,094	1,912	0,091	1,116	0,038	2,064	0,203	2,610	0,274	1,833	0,112	1,579	0,115
2,292	0,225	2,088	0,182	2,124	0,109	1,941	0,169	1,891	0,129	2,052	0,297	2,544	0,274	2,053	0,185	1,987	0,116
2,196	0,134	2,303	0,189	2,650	0,226	1,804	0,113	2,080	0,138	2,328	0,238	2,256	0,249	1,931	0,186	1,640	0,058
2,406	0,193	2,224	0,203	2,119	0,135	1,930	0,119	1,606	0,062	2,176	0,205	2,157	0,192	1,827	0,132	1,541	0,049
3,104	0,382	2,426	0,257	2,020	0,143	1,871	0,140	1,777	0,097	2,350	0,300	2,098	0,227	1,863	0,118	1,633	0,066
2,826	0,355	2,393	0,259	2,080	0,149	1,727	0,081	2,000	0,159	2,118	0,211	2,201	0,186	1,891	0,119	1,790	0,091
		2,165	0,219	2,057	0,163												
<b>2,178</b>	<b>0,193</b>	<b>1,941</b>	<b>0,230</b>	<b>1,899</b>	<b>0,118</b>	<b>1,824</b>	<b>0,121</b>	<b>1,634</b>	<b>0,090</b>	<b>2,049</b>	<b>0,210</b>	<b>2,021</b>	<b>0,176</b>	<b>1,783</b>	<b>0,127</b>	<b>1,559</b>	<b>0,073</b>

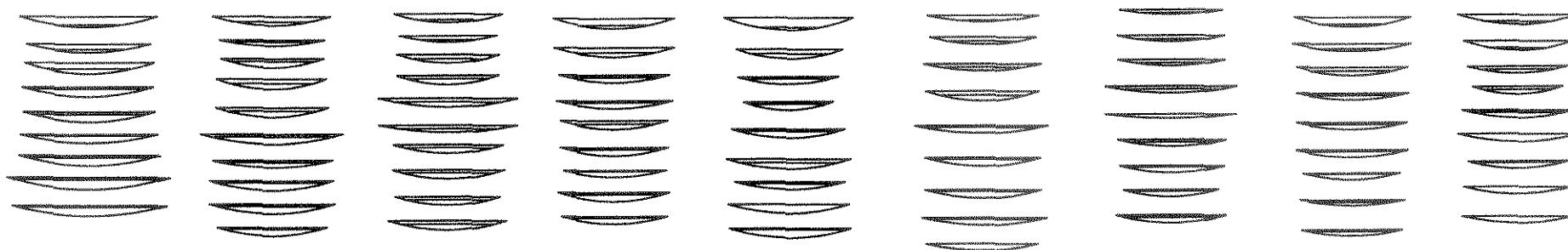
Área molhada transversal (m<sup>2</sup>) ao final da fase de avanço



Área molhada transversal (m<sup>2</sup>) no momento do corte da irrigação



Comparação da área molhada transversal ao final da fase de avanço e ao corte da irrigação



**TESTE 03**

**no momento do corte**

s1t3		s2t3		s3t3		s4t3		s5t3		s6t3		s7t3		s8t3		s9t3	
Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area
2,898	0,421	2,489	0,310	2,294	0,281	2,547	0,359	2,734	0,472	2,325	0,200	2,132	0,142	2,447	0,313	2,548	0,343
2,605	0,297	2,199	0,178	2,045	0,178	2,535	0,323	2,244	0,290	2,233	0,229	2,227	0,181	2,481	0,254	2,309	0,302
2,732	0,412	2,170	0,268	2,164	0,255	2,313	0,232	2,119	0,210	2,467	0,241	2,237	0,194	2,326	0,252	2,127	0,192
2,749	0,346	2,332	0,318	2,148	0,253	2,435	0,254	1,889	0,207	2,390	0,307	2,730	0,248	2,347	0,213	1,902	0,194
2,770	0,376	2,375	0,295	2,920	0,346	2,252	0,258	2,382	0,278	2,781	0,276	2,676	0,155	2,307	0,222	2,325	0,238
2,875	0,338	2,996	0,412	2,893	0,276	2,264	0,260	2,610	0,345	2,436	0,286	2,254	0,205	2,348	0,230	2,531	0,261
2,983	0,412	2,508	0,239	2,312	0,278	2,153	0,201	2,319	0,243	2,445	0,271	2,178	0,205	2,038	0,178	2,126	0,202
3,430	0,572	2,609	0,343	2,363	0,294	2,334	0,283	2,552	0,313	2,623	0,271	1,974	0,179	2,179	0,173	2,295	0,230
3,248	0,454	2,647	0,333	2,211	0,252	2,219	0,231	2,561	0,340	2,339	0,221	2,287	0,240	2,103	0,189	2,338	0,208
		2,311	0,272	2,493	0,315												
<b>2,921</b>	<b>0,403</b>	<b>2,464</b>	<b>0,297</b>	<b>2,384</b>	<b>0,273</b>	<b>2,339</b>	<b>0,267</b>	<b>2,379</b>	<b>0,300</b>	<b>2,449</b>	<b>0,256</b>	<b>2,299</b>	<b>0,194</b>	<b>2,286</b>	<b>0,225</b>	<b>2,278</b>	<b>0,241</b>

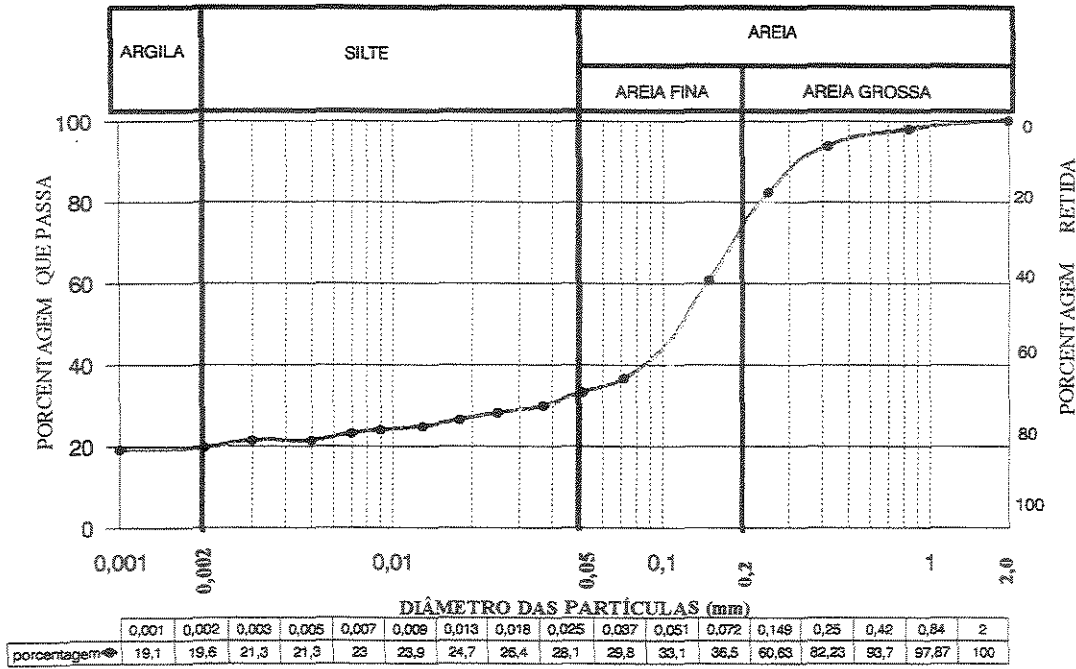
**na fase de avanço**

s1t3		s2t3		s3t3		s4t3		s5t3		s6t3		s7t3		s8t3		s9t3	
Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area	Pm	Area
1,443	0,053	1,585	0,081	1,357	0,059	1,460	0,069	1,313	0,053	1,096	0,021	1,253	0,029	1,278	0,045	1,396	0,057
1,618	0,072	1,857	0,107	1,357	0,036	1,775	0,112	1,645	0,116	1,517	0,072	1,430	0,048	1,480	0,054	1,211	0,044
1,828	0,125	1,785	0,150	1,535	0,092	1,936	0,137	1,832	0,136	1,776	0,090	1,491	0,058	1,737	0,105	1,602	0,083
2,510	0,264	1,748	0,136	1,724	0,132	2,122	0,168	1,600	0,127	1,871	0,149	2,060	0,107	1,980	0,128	1,497	0,095
2,387	0,242	1,897	0,151	2,263	0,162	1,756	0,123	2,087	0,188	2,482	0,200	2,676	0,155	2,029	0,152	1,950	0,141
2,663	0,269	2,586	0,266	2,109	0,107	1,946	0,166	2,091	0,179	2,217	0,216	1,813	0,107	2,129	0,172	2,531	0,261
2,639	0,286	2,222	0,167	1,856	0,145	2,023	0,167	2,022	0,162	2,259	0,214	1,999	0,159	1,880	0,140	1,916	0,148
3,116	0,430	2,347	0,251	1,952	0,167	2,080	0,201	2,552	0,313	2,353	0,200	1,777	0,131	1,711	0,084	2,295	0,230
3,028	0,368	2,309	0,222	1,780	0,132	1,983	0,165	2,416	0,286	2,339	0,221	1,954	0,150	1,831	0,125	2,338	0,208
		2,099	0,205	2,000	0,164												
<b>2,359</b>	<b>0,234</b>	<b>2,044</b>	<b>0,174</b>	<b>1,793</b>	<b>0,120</b>	<b>1,898</b>	<b>0,145</b>	<b>1,951</b>	<b>0,173</b>	<b>1,990</b>	<b>0,154</b>	<b>1,828</b>	<b>0,105</b>	<b>1,784</b>	<b>0,112</b>	<b>1,860</b>	<b>0,141</b>

### **Anexo – 03**

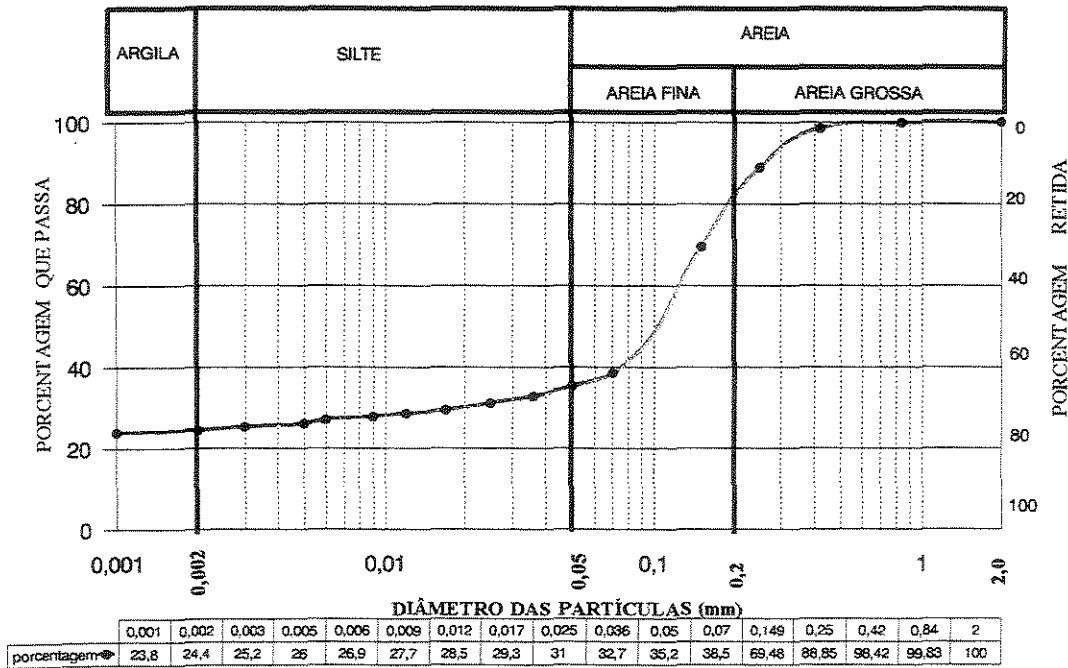
Curva Granulométrica – para a determinação da classe textural do solo. Obs: as curvas apresentadas nesse anexo são referentes à Área-B.

### CURVA GRANULOMETRICA DO SOLO



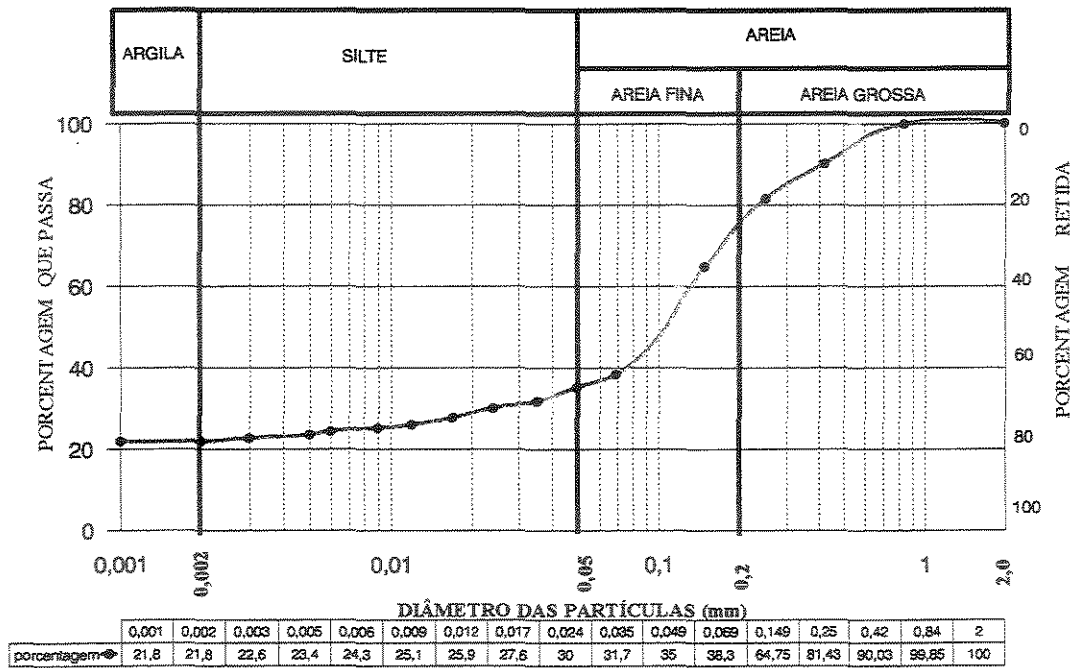
Ponto 1 Prof. 0-0,50 m - CLASSE USDA - FRANCO ARGILO ARENOSO

### CURVA GRANULOMETRICA DO SOLO



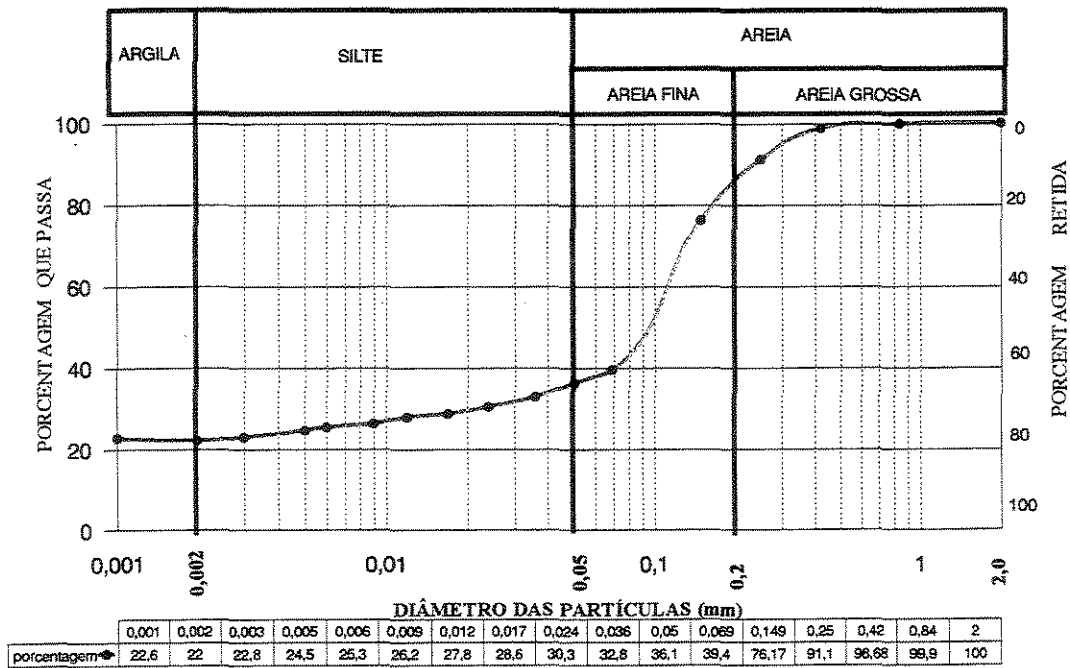
Ponto 1 Prof. 0,50-1,00 m - CLASSE USDA - FRANCO ARGILO ARENOSO

### CURVA GRANULOMETRICA DO SOLO



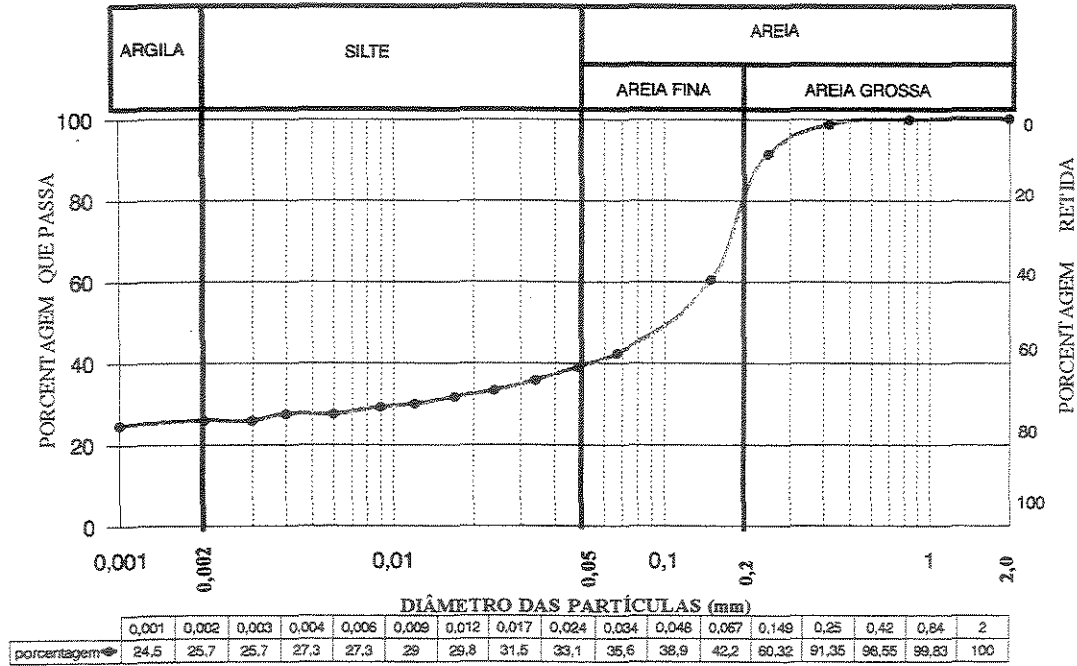
Ponto 2 Prof. 0-0,50 m - CLASSE USDA - FRANCO ARGILO ARENOSO

### CURVA GRANULOMETRICA DO SOLO



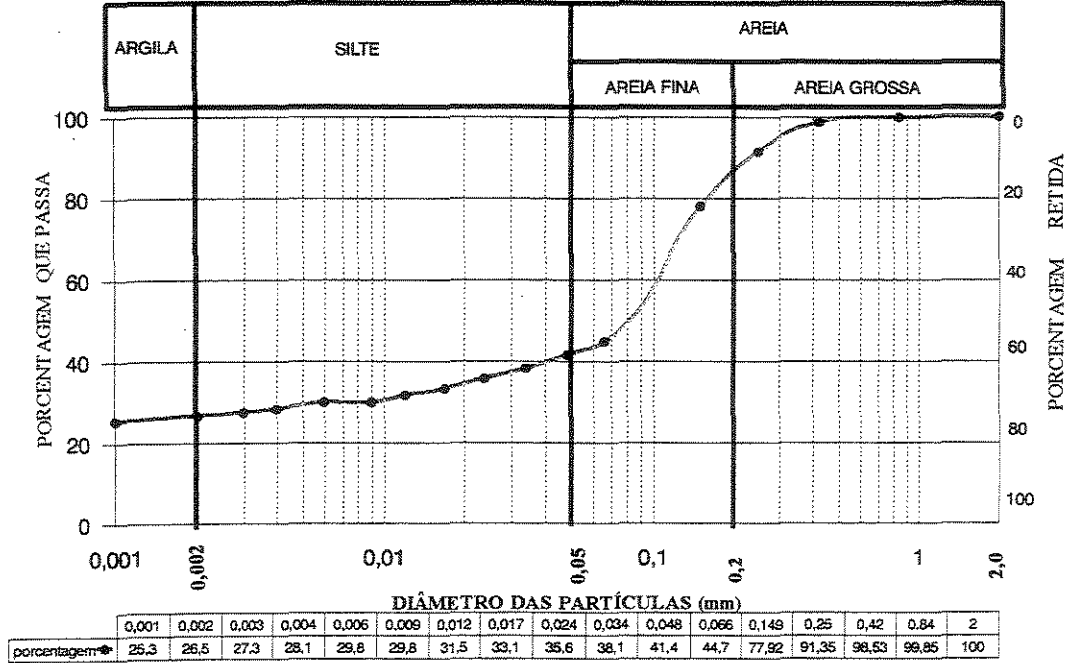
Ponto 2 Prof. 0,50-1,00 m - CLASSE USDA - FRANCO ARGILO ARENOSO

### CURVA GRANULOMETRICA DO SOLO



Ponto 3 Prof. 0-0,50 m - CLASSE USDA - FRANCO ARGILO ARENOSO

### CURVA GRANULOMETRICA DO SOLO



Ponto 3 Prof. 0,50-1,00 m - CLASSE USDA - FRANCO ARGILO ARENOSO

## Referências Bibliográficas

- 01 ABDULRAZZAK, M. J.; KHAN, A. Z. A. Domestic water potential in Saudi Arabia. *J. Envir. Mgmt*, v.14, p.167-178, 1990.
- 02 ANDRADE, M. C. A poluição dos Cursos d'água da Região da Mata de Pernambuco pelo Despejo de Resíduos e Águas Servidas pelas Indústrias. *Boletim do Instituto Joaquim Nabuco*, Recife, v.15, p.63-112, 1996.
- 03 ANDRADE, D. V. **Modelo matemático para simulação da fase de avanço na irrigação por sulcos**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ, Piracicaba, 1994.
- 04 AZAD, H. S. **Industrial Wastewater Management Handbook**. New York : Macgraw-Hill Book, 1976.
- 05 BARRETO, G. B. **Avanço da água e intensidade de infiltração em sulcos de irrigação**. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ, Piracicaba, 1971.
- 06 BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 2.ed. Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, 1982. 463p.
- 07 BHAMIDIMARRI, S. M. R. Appropriate industrial waste management technologies : the New Zeland meat industry. *Water Science & Technology*, v.24, n.1, p.89-95, 1991.
- 08 BISHOP, A.; JENSEN, M. E.; HALL, W. A. Surface irrigation systems. *Am. Soc. Agron.*, v.11, p.865-884, 1967.
- 09 BLAIR, A. W.; SMERDON, E. T. Infiltration from irrigation advance data II: Experimental. *J. Irrig. Drain. Engrg.*, ASCE. 114 (IR1): 18-30, 1988.
- 10 BLOSSER, R. O.; OWENS, E. L. Irrigation and land disposal of pulp mill effluents. *Water and Sewage Works*, v.3, n.9, p.424-432, 1964.
- 11 CAMACHO, E.; ROLDÁN, J.; RECA, J. Parâmetros de – Infiltracion Obtenidos de la Curva de Avance. *Riegos y Drenajes*, Espanha, v.21, n.75, p.18-21, 1994.
- 12 CARDOSO, E. J. B. M. **Efeito da Matéria Orgânica na Biologia do Solo**. Piracicaba : Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 1992. 23p. (Preparação para apresentação do VI Encontro sobre Matéria Orgânica do Solo, Problemas e Soluções. Botucatu, SP, 1992).
- 13 CARRARO, V. **Tratamento de efluente bruto cítrico líquido no solo por meio de sulcos largos de infiltração**. Dissertação - Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, 1995.
- 14 CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Resíduos Sólidos Industriais – Tratamento no Solo**. Norma Técnica L10.101. São Paulo, 1988.



- 15 CHRISTIANSEN, J.E. et al. Evaluation of the intake rate constants as related to advance of water in surface irrigaton. **Trans. of the ASAE**. 9 (5): 671-674, 1966.
- 16 CUNHA, R. C. A. et al. Sistemas de Tratamento de Resíduos Industriais em Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16, 1991. **Anais . . . Goiânia**, v.2, TOMO IV, p341-359.
- 17 DeTAR, W.R. Infiltration function from furrow stream advance. **J. Irrig. Drain. Engrg.**, ASCE. 115 (4): 722-730, 1988. 1990.
- 18 DIBBE, J. T.; BARTHA, R. The Effect of Environmental Parameter on the Biodegradation of Oil Sludge. **Applied and Environmental Microbiology**, v.37, p.729-739, 1979.
- 19 FAROOQ, S.; AL-LAYLA, R. I. Study of water transportation to Saudi Arabia. **J. Wat. Resour. Plann. Mgmt Div.**, ASCE, v.113, p.392-404, 1987.
- 20 FIGUEIREDO, R. F. et al. Tratamento de Efluente Cítrico Líquido pelo Processo de Irrigação por Aspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16, 1991. **Anais . . . Goiânia**, v.2, TOMO IV, p.460-475.
- 21 FRIZZONE, J. A. **Irrigação por superfície**. Piracicaba : Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior Luiz de Queiroz, ESALQ, 1993. 183p. (Série Didática, 005).
- 22 GELLMAN, I.; BLOSSER, R. O. Desposal of Pulps and Papermill Wastew by Land Aplicatyion on Irrigatio Use. Proc. In: PRODUC. UNIV. INDUST. WASTE CONF, 14, 1959. **Anais . . .** p.479-494.
- 23 HAANDEL, A. C.; CATUNDA, P. F. C. Profitability increase of alcohol distilleries by the rational use of byproducts. **Water Science & Technology**, v.29, n.8, p.117-124, 1994.
- 24 KIDDER, E. **Seletion of the System for Wastewater Application on Agriculture Land**. Michigan State University, Lansing, EUA. [s.d.]
- 25 LORENZETTI, J. M.; FREITAS, P. G. Aplicação de Vinhaça pôr Aspersão. **Brasil Açucareiro**, 1979. p.16-22.
- 26 LUANA, L.; LOSADA, A. Semejanza Hidrodinamica en Riegos pôr Superficie. **Revista de Ingenieria del Água**, Valência, Espanha, v.1, p.67-88, 1994.
- 27 McCART, P. L.; KING, P. H. The movement of pesticides in soils. In: PROCEEDINGS OF THE 21<sup>ST</sup> INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE. 1996, **Anais . . . Purdue University, Lafayette, Indiana**, Part 1, p.156-171.
- 28 McGAUHEY, P. H.; KRONE, R. B. **Soil mantle as a wastewater treatment systems**. Universidade of California, Berkeley, n.67, 1967. Report.
- 29 MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: A guide for manegement**. Logan : Utah State University, 1978. 270p.
- 30 METCALF and EDDY INC. **Wastewater Engineering : Tratament, Disposal, Reuse**. Boston : Mc Graw-Hill, 1979. p.760-828.
- 31 MOHAMMAD, S.; NAKHLA, G. F. Wastewater reuse in Jubal, Saudi Arabia. **J. Water Research**, v.29, n.6, p.1579-1584, 1995.
- 32 MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**, São Paulo: Polígono da USP, 1972. 459p.

- 33 NOUR, E. A.; FIGUEIREDO, R. F. Tratamento de Efluentes da Indústria Cítrica pelo Processo de Escoamento Superficial no Solo (Overland Flow). In : CONGRESSO DA AIDIS, 22, 1990, *Anais . . .* San Juan, Porto Rico, v.2, p.289-312.
- 34 OLITTA, A. F. L. Estudo da infiltração da água em sulcos de irrigação : variação de características hidráulicas com o crescimento de plantas. Piracicaba. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ, Piracicaba, 1970.
- 35 \_\_\_\_\_. *Os métodos de irrigação*. 1.ed. São Paulo : Nobel, 1977. 267p.
- 36 PLANALSUCAR. *Aplicação de Vinhaça pôr aspersão*. PLANALSUCAS/IAA : Piracicaba, SP, set. 1979. Boletim Técnico n.4.
- 37 PHILIP, J.R. Theory of infiltration: 4, *Soil Science*, 84 (3): 257-264. 1957.
- 38 POUND, C. E., CRITES, W. C. *Wastewater Treatment and Reuse by Land Application*. 1973. v.2, 249p.
- 39 RAMOS, C. et al. El Riego de Uva de Mesa con Aguas Residuales. *Viticultural y Enología Profesional*, Espanha, v.4, p.29-34, dec. 1989.
- 40 RESENDE, F. C. et al. Alternativas de manejo e dimensionamento em irrigação por sulcos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1988, *Anais . . .* p.102-114.
- 41 SCALOPPI, E. J. *Modelos matemáticos para simulação da irrigação superficial*. 155p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1983.
- 42 \_\_\_\_\_. *Sistemas de Irrigação por Superfície*. *Informe Agropecuário*, v.12, n.139, p.12-26, 1986.
- 43 SCHRALE, G.; BOARDMAN, R.; BLASKETT, M. J. Investigation land based disposal of Bolivar Reclaimed Water, south Australia. *Water Science & Technology*, v.27, n.1, p.87-96, 1993.
- 44 SCS National Engineering Handbook. *Border Irrigation*. Department of Agriculture. sec.15- Irrigation, cap.4. Soil Conservation Service : Washington, EUA U.S. 1974.
- 45 SMERDON, E. T.; BLAIR, W. W.; REDDEL, D.L. Infiltration from irrigation advance I: Theory. *J. Irrig. Drain. Engrg.*, ASCE. 114 (IR1): 4-17, 1988.
- 46 SOARES, J. M. et al. Análise comparativa entre o uso de vazão constante e redução da vazão inicial e seu efeito na eficiência de irrigação por sulco. *Turrialba*, v.31, n.4, p.343-350, 1981.
- 47 STEVENSON, W.J. *Estatística Aplicada à Administração*. Harbra, 1981.
- 48 SOUZA, F. *Non linear hydrodynamic model of furrow irrigation*. Davis, 1981. 172p. PhD - University of California, 1981.
- 49 TABUADA, M. A. *Modelação bidimensional e tridimensional da rega por sulcos*. 237p. Tese (Doutorado) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 1989.
- 50 THOMA, K.; BAKER, P. A.; ALLENDER, E. B. Design Methods for the Development of Wastewater Land Disposal Systems. *Water Science & Technology*, v.27, n.1, p.77-86, 1993.
- 51 THOMAS, R. E.; SCHWARTZ, W. A.; BENDIXEN, T. W. Soil Chemical Changes and Infiltration Rate Reduction Under Sewage Spreading. *Soil Science Society of America, Proceedings*, v.30, p.641-646, 1966.
- 52 VIEIRA, D. B. *As técnicas de Irrigação*. São Paulo : Globo, 1989. 263p.

53 \_\_\_\_\_ . **Avaliação da Interceptação Hidrológica e do Efeito da Vinhaça em Cana-de-Açúcar (*Saccharum spp*)**. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Limeira, Unicamp, Limeira, 1983.

54 \_\_\_\_\_ . **Tópicos sobre Hidrologia**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil (FEC), Unicamp, 1997. (Disciplina IC-722 / notação de aula).

55 WALKER, W.R. **Surface Irrigation. Theory and Practice**. Prentice-Hall, 1987.

## **Abstract**

Teixeira da Silva, Rogério. PROJECT OF PARAMETERS FOR WIDE FURROW OF INFILTRATION. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. p.120. Tese de Doutorado.

This work has as basic objectives to study the hydraulic performance of the wide furrows system used for the effluent disposition and treatment of the citric juices industries. That effluent is generated in the production units during the period of fruits processing, having as final destiny the treatment stations that use the anaerobic ponds or alternatively the treatment through its disposition in the surface of the soil. The disposition can happen in several ways, for example, through the wide furrows of infiltration whose parameters are still ignored. The hydraulic performance study had as purpose to determine the project parameters, as well as to compare the infiltration equation obtained by the inflow-outflow with the "water front test method". For the application of the industrial effluent - that is not properly an irrigation - the larger interest is not the culture, but the elimination of the effluent and, therefore, it is looked for to apply larger blades, since that doesn't cause pollution risk or contamination for underground water. Thus, there is need to verify the validity of those methods for the type of furrow used, so much the aspect of its dimensional characteristics as of the applied depth for different soil textural classes.