

# **DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA AUXILIAR NO DIMENSIONAMENTO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

**LUIZ ALBERTO FREIRE MAIA**

Engenheiro Agrônomo

Orientador : Prof. Dr. **TARLEI ARRIEL BOTREL**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Outubro - 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da  
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

---

Maia, Luiz Alberto Freire  
M217d Desenvolvimento de um software para auxiliar no  
dimensionamento e manejo da irrigação localizada.  
Piracicaba, 1994.  
158p.

Diss.(Mestre) - ESALQ  
Bibliografia.

1. Irrigação localizada - Manejo - Processamento  
de dados 2. Programa de computador I. Escola Superior  
de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.7

**AGRADEÇO** aos meus pais,  
JOSÉ HOLANDA e MARIA CREUZA,  
e aos meus irmãos,  
VALÉRIO, PAULO, ANA CÉLIA,  
ANA CLÁUDIA, HOLANDA FILHO  
E FERNANDO (*in memoriam*),  
pelo estímulo e apoio irrestritos.

**DEDICO** à minha namorada ADRIANA DIRLEY,  
pelo incentivo, apoio e por tudo que  
ela representa para mim.

## **AGRADECIMENTOS**

### **AGRADEÇO**

- ao Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel, pela segura orientação, amizade e apoio recebidos no decorrer do curso e na realização deste trabalho;

- Ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela acolhida e apoio dispensados;

- ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ, pelo auxílio financeiro;

- ao Prof. Dr. José Antônio Frizzone, pelas sugestões oportunas;

- aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, pela dedicação e amizade;

- a Eletrovale Serviços de Engenharia LTDA. e a Carborundum S.A. - Sistemas de Irrigação, pelo total apoio e incentivo;

- aos colegas do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem pela convivência e pela amizade;

- a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.



## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
RESUMO.....	xv
SUMMARY.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Hidráulica de sistemas de irrigação localizada.....	5
2.1.1. Hidráulica de emissores.....	6
2.1.2. Hidráulica de linhas laterais.....	14
2.1.3. Hidráulica de linhas de derivação.....	18
2.1.4. Hidráulica de linha principal.....	21
2.2. Evapotranspiração em irrigação localizada.....	26
2.3. Manejo da irrigação.....	28
3. METODOLOGIA.....	30
3.1. Seleção do emissor.....	30
3.1.1. Vazão mínima do gotejador.....	31
3.1.2. Alcance e vazão mínima do microaspersor.....	33
3.2. Dimensionamento hidráulico.....	33
3.2.1. Dimensionamento da linha lateral.....	36
3.2.1.1. Dimensionamento da linha lateral pelo método trecho a trecho.....	36
3.2.1.2. Dimensionamento da linha lateral pelo método hidráulico ...	39
3.2.1.3. Dimensionamento da linha lateral pelo método estatístico ...	49

	Página
3.2.2. Dimensionamento da linha de derivação pelo método da divisão em trechos .....	52
3.2.3. Dimensionamento da linha principal, baseado na análise econômica, método das tentativas simplificado.....	57
3.2.4. Escolha do conjunto moto-bomba .....	68
3.3. Manejo da irrigação .....	72
4. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE .....	84
4.1. Descrição dos módulos .....	84
4.1.1. Módulo : Seleção do emissor .....	86
4.1.2. Módulo : Dimensionamento hidráulico .....	86
4.1.2.1. Módulo : Dimensionamento da linha lateral .....	86
4.1.2.1.1. Módulo : Dimensionamento da linha lateral pelo método trecho a trecho.....	86
4.1.2.1.2. Módulo : Dimensionamento da linha lateral pelo método hidráulico.....	87
4.1.2.1.3. Módulo : Dimensionamento da linha lateral pelo método estatístico .....	87
4.1.2.2. Módulo : Dimensionamento da linha de derivação pelo método da divisão em trechos .....	87
4.1.2.3. Módulo : Dimensionamento da linha principal, baseado na análise econômica, método das tentativas simplificado.....	87
4.1.2.4. Módulo : Escolha do conjunto moto-bomba .....	88
4.1.3. Módulo : Manejo da irrigação .....	88
5. UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE.....	89
5.1. Seleção do emissor.....	91
5.2. Dimensionamento hidráulico .....	92
5.2.1. Linha lateral .....	92
5.2.1.1. Linha lateral : método trecho a trecho .....	94

	<b>Página</b>
5.2.1.2. Linha lateral : método hidráulico .....	94
5.2.1.3. Linha lateral : método estatístico .....	95
5.2.2. Linha de derivação .....	95
5.2.3. Linha principal .....	96
5.2.4. Conjunto moto-bomba .....	97
5.3. Manejo da irrigação .....	97
5.3.1. Inicia balanço .....	98
5.3.2. Continua com o atual .....	99
5.3.3. Lista e/ou imprime balanço.....	99
<b>6. SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE.....</b>	<b>100</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE 1 .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>143</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>157</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Fluxograma para escolha do emissor.....	34
2	Fluxograma para dimensionamento da linha lateral pelo método trecho a trecho .....	40
3	Fluxograma para dimensionamento da linha lateral pelo método hidráulico .....	47
4	Fluxograma para dimensionamento da linha lateral pelo método estatístico .....	53
5	Fluxograma para dimensionamento da linha de derivação pelo método da divisão em trechos .....	58
6	Fluxograma para dimensionamento da linha principal baseado na análise econômica, método das tentativas simplificado.....	65
7	Fluxograma para escolha do conjunto moto-bomba.....	70
8	Fluxograma para manejo da irrigação .....	80
9	Esquema de processamento do sistema .....	85
10	Tela de apresentação do sistema .....	90
11	Menu principal.....	90
12	Menu dimensionamento .....	93
13	Menu linha lateral .....	93
14	Menu sugestão de manejo .....	97
15	Área do projeto .....	144
16	Tela gerada pelo programa com os resultados do módulo “Seleção do emissor” .....	145

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
17	Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha lateral pelo método trecho a trecho .....	146
18	Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha lateral pelo método hidráulico .....	147
19	Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha lateral pelo método estatístico .....	147
20	Layout da área dividida em 6 sub-unidades.....	148
21	Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha de derivação .....	150
22	Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha de derivação com os novos diâmetros.....	151
23	Layout de uma sub-unidade .....	152
24	Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha principal.....	153
25	Distribuição da linha principal no campo .....	154
26	Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento do conjunto moto-bomba.....	155
27	Tela gerada pelo programa com os resultados do manejo.....	156

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Valores do coeficiente “C” de Hazen-Williams.....	63
2	Valores do coeficiente “C” de Hazen-Williams, para tubos de ferro fundido em função do tempo de uso .....	64
3	Fator “f” de acréscimo na potência calculada do motor e potências nominais(cv) padronizadas pela ABNT .....	72
4	Valores do coeficiente do tanque Classe “A”(Kp), em função dos dados meteorológicos da região e do meio em que ele está instalado .....	75
5	Novos diâmetros de alguns trechos da linha de derivação .....	149
6	Diâmetros e seus respectivos preços para o cálculo da linha principal ..	153

## LISTA DE SÍMBOLOS

- a** = constante da equação de perda de carga;
- Am** = área molhada ( $m^2$ );
- Bw** = diâmetro da conexão do emissor (mm);
- CCV** = custo da energia (R\$/cv-hora);
- CFA** = custo fixo anual (R\$);
- CHf** = custo anual da perda de carga (R\$);
- COD** = consumo de óleo diesel (l/cv/hora);
- CRA** = capacidade real de água no solo (mm);
- CT** = custo total anual (R\$);
- CVf** = coeficiente da variação de fabricação;
- CVHc** = coeficiente de variação de pressão calculado;
- CVHp** = coeficiente de variação de pressão permitido;
- CV(k)** = coeficiente de variação de fabricação;
- CVqprocurado** = coeficiente de variação de vazão procurado;
- D** = diâmetro interno da linha lateral (mm);
- Da** = densidade aparente do solo ( $g/cm^2$ );
- DAf** = disponibilidade de água final (mm);
- DAI** = disponibilidade de água inicial (mm);
- Dm** = diâmetro molhado (m);
- e** = espaçamento entre emissores (m);
- ECA** = evaporação do tanque classe “A” (mm);
- Ef** = eficiência de aplicação da irrigação (%);
- Eg** = espaçamento entre emissores (m);

- El** = espaçamento entre linhas de plantio (m);
- Ep** = espaçamento entre plantas (m);
- Etm** = evapotranspiração máxima da cultura (mm);
- ETo** = evapotranspiração de referência (mm);
- ETg** = evapotranspiração para a irrigação localizada (mm);
- Ex** = excesso de água aplicada (mm);
- f** = fator de disponibilidade de água no solo (decimal);
- FRC** = fator de recuperação de capital;
- g** = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );
- GC** = porcentagem de área coberta em relação a área total (%);
- H** = pressão na entrada do emissor (mca);
- $\bar{H}$  = energia total (m);
- Hf** = perda de carga no comprimento “L” (m);
- HFA** = horas de trabalho do sistema por ano (h/ano);
- $\Delta H_t$  = perda de carga no comprimento “L” (m);
- Hi** = pressão na entrada da linha lateral (mca);
- Hm** = pressão média na linha (mca);
- Hman** = altura manométrica total (mca);
- Hvar** = máxima variação de pressão na linha lateral (%);
- J** = perda de carga unitária;
- K** = coeficiente de perda de carga localizada (adimensional);
- k** = constante de proporcionalidade da equação de fluxo do emissor;
- K<sub>1</sub>** = coeficiente de perda de carga na tubulação(adimensional);
- Kc** = coeficiente da cultura;
- Kp** = coeficiente do tanque classe “A” (tabelado);
- Kr** = coeficiente de cobertura;



- K\*** = parâmetro adimensional, definido como  $(2,3838 \cdot 10^{-4} \cdot q^{1,75}) / (e^{1,75} \cdot D^{4,75})$ ;
- L** = comprimento da linha lateral (m);
- Lba** = lâmina bruta de irrigação aplicada (mm);
- Let** = comprimento da linha lateral mais comprimento equivalente (m);
- Lir** = lâmina bruta de irrigação recomendada (mm);
- LocHm** = local onde ocorre a pressão média, do início (m);
- LUAL** = lâmina útil armazenada para irrigação localizada (mm);
- m** = expoente da equação de perda de carga;
- Ng** = número de gotejadores por planta;
- Nm** = número de microaspersores por planta
- NR** = número de Reynolds;
- P** = porcentagem de área molhada em relação à área total irrigada (%);
- Pa** = potência absorvida pela bomba (cv);
- PD** = preço do metro de tubo do diâmetro escolhido (R\$);
- PKH** = preço do kilowatt por hora (R\$/kwh);
- PM** = potência do motor (cv);
- Pm** = profundidade de molhamento (cm);
- PMa** = potencial matricial atual (cm H<sub>2</sub>O);
- POD** = preço do óleo diesel (R\$/l);
- PP** = precipitações (mm);
- Pu** = potência útil da bomba (cv);
- Q** = vazão do trecho calculado (m<sup>3</sup>/s);
- q** = vazão nominal do emissor (l/h);
- $\bar{qt}$  = média da vazão dos distribuidores à pressão de referência;
- qmg** = vazão mínima do gotejador (l/h);
- Re** = número de Reynolds;
- RMB** = rendimento da motobomba (%);

- So** = inclinação da linha lateral (%);
- T** = tempo máximo de irrigação por dia (h);
- TAJ** = taxa anual de juro (%);
- Tir** = tempo de irrigação necessário para levar o solo a capacidade de campo(h);
- Ua** = umidade atual do solo (%);
- Uc** = umidade crítica, em peso (%);
- Ucc** = umidade na capacidade de campo, em peso (%);
- Ui** = umidade inicial, em peso (%);
- Upmp** = umidade no ponto de murcha permanente, em peso (%);
- Us** = umidade na saturação (%);
- V** = velocidade (m/s);
- Va** = volume de água a ser aplicado por planta (l);
- VH** = variância da pressão dos emissores ao longo da linha lateral;
- VUT** = vida útil da tubulação (anos);
- x** = expoente, cujo valor depende do regime de fluxo que opera o emissor;
- Z** = desnível no trecho (m);
- Ze** = profundidade efetiva do sistema radicular (cm);
- $\sigma(q)$**  = desvio padrão da vazão a uma pressão de referência;
- $\gamma$**  = viscosidade cinemática da água (m<sup>2</sup>/s);

# **DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA AUXILIAR NO DIMENSIONAMENTO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

Autor: LUIZ ALBERTO FREIRE MAIA

Orientador: PROF. DR. TARLEI ARRIEL BOTREL

## **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada. No dimensionamento, o objetivo foi ganhar na agilização, precisão e segurança nos cálculos. No manejo, o objetivo foi a otimização da aplicação de água, sugerindo a quantidade a ser aplicada e o momento adequado de sua aplicação.

O software faz sugestão de emissor, dimensionamento hidráulico das linhas laterais, linhas de derivação e linha principal, conjunto moto-bomba e manejo da irrigação.

Três métodos de cálculos foram utilizados no dimensionamento das linhas laterais : método trecho a trecho, método hidráulico e método estatístico. Usando a equação de Darcy-Weisbach para a estimativa da perda de carga por atrito, com o fator de atrito para regime laminar calculado pela equação de Hagen-Poiseuille e para regime crítico e turbulento, calculado pela equação de Blasius.

Para o dimensionamento da linha de derivação foi usado o método da divisão em trechos. Utilizando a equação de Veronese-Datei para a estimativa da perda de carga por atrito.

No dimensionamento da linha principal foi usado o método econômico das tentativas simplificado. Para a estimativa de perda de carga por atrito, foi usada a equação de Hazen-Williams.

Para o conjunto moto-bomba, é fornecida a altura manométrica total versus vazão total para a escolha da bomba. Quanto ao motor, é escolhida a potência padronizada, segundo ABNT, igual ou imediatamente superior a potência calculada.

É sugerido o balanço hídrico com o Tanque classe "A", existindo a possibilidade de correção via solo, dos erros inerentes do método do balanço, para o manejo da irrigação.

# **DEVELOPMENT OF A SOFTWARE AS AN AID TO DESIGN AND MANAGEMENT OF LOCALIZED IRRIGATION**

**Author: LUIZ ALBERTO FREIRE MAIA**

**Adviser: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL**

## **SUMMARY**

The aim of this work was to develop a software to help the design and management of localized irrigation. In design, the aim is to gain speed, accuracy, and safety in resolutions. As to management, the aim is the optimization of water reposition, suggesting the amount of water and the correct time of reposition.

The software suggests the choice of emitter, hydraulic design of lateral lines, derivation lines, and main line, motor-pump and management of localized irrigation.

Three calculation methods were used for the design of lateral lines: segment by segment method, hydraulic method, and statistical method. The Darcy-Weisbach equation for estimating head losses with the friction factor for laminar flow, calculated by the Hagen-Poiseuille equation, and for critical and turbulent flow, as calculated by Blasius equation.

The chapter an section method was used for the design of derivation lines. The Veronese-Datei equation was used for estimating head losses in derivation lines.

A simplified economical method was performed for main line design and a Hazen-Williams equation for estimating head losses.

Total pressure head versus total discharge are calculated for the choice of pump. Concerning the motor, the standard power was chosen as required by the ABNT

(Brazilian Technical Rules Association), equal or immediately superior to the calculated power.

Class "A" pan water balance is suggested for irrigation management, and errors inherent to the balance method are likely to be corrected via soil.

## **1. INTRODUÇÃO**

O método de irrigação localizada, geralmente é o que requer o maior investimento inicial, mas tem o menor custo operacional quando comparado com os demais métodos.

O grande investimento inicial, é explicado pelo fato de que esse método possui toda a rede hidráulica fixa. Sendo os gastos com tubulações, responsáveis por cerca de 60% do custo total do projeto OLITTA (1987). Daí, a importância de se fazer um dimensionamento hidráulico bem feito.

SAAD (1993) comenta que o aspecto econômico é cada vez mais importante no dimensionamento e operação de projetos de irrigação. Caracteriza-se como dimensionamento o processo de reunião de componentes individuais compatíveis entre si que, ao se unirem, irão produzir um sistema de irrigação aplicável a uma determinada área e situação. A otimização deste dimensionamento consiste em promover este processo de agregação sob o enfoque de minimização do custo total do sistema ou de maximização da receita líquida da atividade agrícola desenvolvida utilizando irrigação, respeitando-se critérios hidráulicos e restrições geométricas e operacionais.

A implantação de sistemas de irrigação localizada, requer grandes investimentos iniciais. Por isso, um sistema mal dimensionado hidráulicamente, pode resultar em uma elevação no investimento inicial ou um aumento no custo operacional, em decorrência do aumento no consumo de energia.

Segundo PLEBAN & AMIR (1981), o custo com equipamento e o custo com energia são determinantes no dimensionamento de redes de distribuição de água, sendo que estes fatores são, de certa forma antagônicos, uma vez que tubos de diâmetros

menores apresentam menor custo, porém, resultam em maior perda de carga e, conseqüentemente, em maior consumo de energia. De maneira oposta, tubos de maior diâmetro produzem menor perda de carga e menor consumo de energia, porém, apresentam maior custo. Logo, conclui-se que, a maneira de se minimizar o custo dos sistemas de irrigação localizada, é otimizar sua rede hidráulica e a energia por ela consumida.

Outro fator de não menos importância, principalmente para regiões com escassez de recursos hídricos, é o manejo da irrigação. No manejo, busca-se uma aplicação correta e utilização eficiente da água, ou seja, um manejo adequado da irrigação.

O manejo adequado de um sistema de irrigação, é fator fundamental para o seu funcionamento em níveis econômicos. Para tanto é necessário dispor de um mecanismo de manejo da irrigação, o qual definirá quando irrigar sem riscos de excesso ou deficiência. O manejo das irrigações, pode ser feito utilizando aparelhos que indicam diretamente o momento de irrigar, como é o caso dos tensiômetros, ou através de um balanço hídrico. Nesse caso pode ser feito mediante a avaliação do teor de umidade do solo ou pela medição da evapotranspiração real, isto é, do consumo de água no solo.

SAAD et al. (1991) comentam que, inúmeros fatores tem contribuído para o agravamento na queda de produção de algumas culturas. Os autores afirmam que, com certeza, um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores irrigantes está associado ao manejo da irrigação, isto é, na aplicação de uma quantidade correta de água à cultura, no momento adequado. Problemas fitotécnicos associados a patógenos de solo advindos de procedimentos incorretos de manejo do sistema solo/água/planta, têm contribuído para que vários proprietários rurais fiquem impossibilitados de produzir culturas rentáveis.

Baseado no contexto acima discutido, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada. No dimensionamento, ganha-se com a agilização, precisão e segurança nos



cálculos. No manejo de irrigação, ganha-se com a otimização na aplicação de água, reduzindo os custos operacionais e aumentando a produtividade.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Devido ao rápido crescimento na demanda de alimentos, em consequência do crescimento populacional e das limitações dos recursos naturais; vem se tentando através da pesquisa e da adoção de tecnologias cada vez mais avançadas, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos agrícolas.

A irrigação, é uma das mais importantes tecnologias empregada para aumentar a produtividade, permitir maior eficiência e estabilidade na produção agrícola. Ela é imprescindível para regiões com baixas precipitações pluviométricas e importante para aquelas em que ocorre com frequência, mas sujeitas as estiagens ou veranicos.

De acordo com BERNARDO (1989) E OLITTA (1978) pode-se propor a seguinte classificação para os métodos de irrigação :

### **A - Métodos de irrigação não pressurizados**

A.1. Método de irrigação superficial e suas divisões;

A.2. Método de irrigação sub-superficial.

### **B. Métodos de irrigação pressurizados**

#### **B.1. sistemas de irrigação por aspersão**

##### **B.1.1. Sistemas com movimento periódico**

- Convencionais(manual) portátil e semiportátil;

- Mecanizados, sobre rodas com deslocamento longitudinal e transversal;

##### **B.1.2. Sistemas com movimento contínuo**

- Pivô central;

- Autopropelido.

##### **B.1.3. Sistemas fixos.**

## B.2. Sistemas de irrigação localizada

- Gotejamento;
- Microaspersão;
- Tubos perfurados ou porosos;
- Jato pulsante;
- Xique-xique;
- Potejamento;
- Cápsulas porosas;
- Outros.

Os principais sistemas de irrigação localizada em uso comercial são os de gotejamento e microaspersão.

### 2.1. Hidráulica de sistemas de irrigação localizada

A irrigação localizada, é um método em que a água é aplicada ao solo em pequenas quantidades, porém com alta frequência, diretamente sobre a região radicular, de modo a manter o teor de umidade do solo, nessa região, próxima à capacidade de campo.

Existem dois aspectos básicos que caracterizam os sistemas de irrigação localizada : a elevada frequência de suprimento de água (diária na maioria dos casos) e o fornecimento localizado de água em uma parte da zona potencial de desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

O fornecimento de água é feito, através de uma rede de tubulações e tubos flexíveis, distribuídos por toda área, podendo as tubulações ficarem enterradas ou sobre a superfície do solo. Já os tubos flexíveis, que caracterizam as linhas laterais, podem ficar sobre a superfície ou em disposição aérea.

MARTI (1993) comenta que, as tubulações fornecem água a numerosos elementos de distribuição, situados de acordo com o tipo de solo e as exigências da

cultura. Com o objetivo de controlar corretamente o suprimento de água, as vazões de fornecimento de cada elemento de saída d'água são muito reduzidas. Isso se consegue mediante o emprego de distribuidores de pequeno diâmetro interno.

A irrigação localizada foi inicialmente adotada em culturas altamente produtivas e em pomares, situados em regiões onde a água era escassa e cara. Atualmente, tal sistema é utilizado numa ampla relação de culturas e, também, em áreas onde o recurso água não é fator limitante.

BUCKS et al. (1982), cita que as principais vantagens dos sistemas de irrigação localizada são : maior eficiência no uso da água; possibilidade de obtenção de uma maior produtividade; pode ser utilizado com água salina ou em solos salinos; maior eficiência na adubação; limita o crescimento de plantas daninhas; pequena necessidade de mão-de-obra; não interfere nas práticas culturais; e menor requerimento de energia em relação a outros sistemas pressurizados de irrigação. As principais limitações, por sua vez, são : possibilidade de obstrução total ou parcial dos emissores (principalmente os gotejadores); o sistema radicular concentra-se no volume de solo úmido; ocasionando, em alguns casos, uma diminuição da estabilidade das plantas; acúmulo de sal na periferia do bulbo molhado e elevado custo inicial.

### **2.1.1. Hidráulica de emissores.**

Os emissores são os elementos de maior importância nas instalações de irrigação localizada. São dispositivos que possibilitam a distribuição de um fluxo de água com vazão e frequência constantes. O fluxo de água, recebido pelos emissores das tubulações às quais estão conectados, sofre uma dissipação de energia tal que resulta, na sua saída, em gotas ou pequenos jatos que são fornecidos a um ponto ou a uma área circular do solo. Cada ponto de saída de água é chamado de ponto de emissão.

VERMEIREIN & JOBLING (1980) consideram que o emissor, em um sistema de irrigação localizada, deve apresentar :

- Descarga uniforme e constante;

- Suficiente abertura para prevenir entupimentos;
- baixo custo, robustez e homogeneidade.

Além destas, deve apresentar também resistência a agressão química e ambiental, sofrer pouca variação devido as condições externas, ter baixo coeficiente de variação de fabricação, produzir reduzidas perdas de carga localizada na tubulação e não sofrer muitas alterações com as variações de temperatura.

Para o SOIL CONSERVATION SERVICE (1979), os emissores influenciam diretamente na qualidade e segurança dos sistemas de irrigação localizada, portanto, a escolha de um emissor em particular, deverá seguir uma avaliação detalhada de suas características, custos e riscos do sistema.

O gotejamento, caracteriza-se pela liberação de água para o solo de modo pontual, através de dispositivos denominados gotejadores, na forma de gotas e em vazões reduzidas. Esse tipo de irrigação pressupõe um sofisticado sistema de filtragem da água, fertilizantes e outros produtos químicos.

Introduzidos na linha, os gotejadores dissipam a energia da água de forma que emitem gotas ou um filete contínuo próximo a planta a ser irrigada. A sua inserção no tubo pode ser feita “sobre linha” ou “em linha” (entre duas seções do tubo), com espaçamento uniforme ou não, relata OLIVEIRA (1978).

KELLER & KARMELI (1975), definem o gotejador como sendo a estrutura mecânica idealizada para dissipar a pressão da água nas canalizações laterais, de modo a permitir pequena vazão, de alguns litros por hora. E, sendo a peça principal deste método de irrigação, deve preencher os seguintes requisitos : *i*) fornecer uma vazão relativamente baixa, constante e uniforme; *ii*) apresentar um orifício de saída do fluxo relativamente grande; *iii*) ser de baixo custo, resistente e compacto.

A relação entre vazão e pressão na entrada do gotejador, a perda de carga localizada com a sua inserção no tubo e o tamanho e forma da passagem de água nele existente constituem características hidráulicas dos gotejadores. Tais características são

influenciadas pela geometria, material de constituição, processo de fabricação e pelo método de instalação do gotejador na linha.

Um estudo de avaliação da consistência de fluxo de cinco tipos de gotejadores em condições de campo, foi feito por DAVIS & PUGH (1974), durante o período de 1971 e 1974. Excluindo os gotejadores que apresentaram entupimento parcial ou problemas de fabricação, concluíram que a maioria deles forneceram uma distribuição de água compatível com o esperado, tanto ao longo da linha quanto com o tempo.

Em geral, o fluxo através de um gotejador é controlada pela carga hidráulica na entrada e pelo caminho percorrido pela água dentro dele. Desde que haja escoamento na linha lateral, ocorre perda de carga ao longo desta, com o que haverá variação de pressão. Se a geometria do emissor for fixada, verificar-se-á, então ao longo da linha lateral, a variação de vazão do emissor, correspondente à variação na pressão ao longo da linha lateral. Uma uniformidade de vazão para os emissores é possível com a mudança do tipo de emissor. Entretanto, na prática, as características dos emissores geralmente são fixadas e a variação de vazão é determinada apenas pela variação de pressão, (SILVA,1984).

Na microaspersão, a água é aspergida em pequenos círculos ou setores, tornando o sistema melhor adaptável as diferentes condições de solo e cultura. A condução da água também é feita, como no gotejamento, por rede fixa e extensa de tubos que operam com baixas pressões que, no entanto, são superiores as do primeiro. As vazões e as áreas molhadas pelos microaspersores são superiores as dos gotejadores.

SAVALDI (1991), faz a seguinte classificação dos fatores que influenciam na uniformidade de distribuição de água em microaspersão :

#### 1º ) Posição vertical do microaspersor

Para se obter uma distribuição ótima em microaspersão , deve-se levar em conta que o microaspersor deve ser colocado sobre um suporte vertical a uma altura de 20cm do solo e a uma distância de 60cm do tronco das árvores com o dorso da asa dirigido no sentido do tronco;

## 2º ) O ângulo de irrigação

Quanto maior for o ângulo de aplicação de água, menor será a uniformidade de distribuição, por isso recomenda-se a aplicação o mais horizontal possível;

## 3º ) O tronco e a folhagem da árvore

O tronco constitui em um obstáculo permanente. Em plantas jovens, o microaspersor pode ser colocado perto do tronco; depois de algum tempo muda-se para uma distância de 60cm. Quanto a folhagem, deve-se cortar todos os ramos que estejam no caminho do jato;

## 4º ) O elemento distribuidor (defletor)

Em geral, a uniformidade de distribuição do microaspersor com elemento giratório dinâmico tem uma forma trapezoidal, sendo melhor que a de difusor com elemento de distribuição estática, o qual tem uma forma triangular;

## 5º ) Pressão de trabalho

Uma pressão maior que a pressão nominal de trabalho, pulveriza o jato, causando a acumulação de água próximo ao emissor e déficit no perímetro molhado; Por outro lado, quando a pressão de trabalho é menor que a nominal, as gotas d'água são maiores alcançando maiores distâncias, causando acumulação de água maior no perímetro e déficit de água perto do microaspersor;

## 6º ) Reguladores e amortecedores

Os reguladores tem a função de manter as pressões e vazões constantes e controlar assim o tamanho da gota de água na saída do emissor, como também o diâmetro molhado;

O amortecedor mantém uma velocidade adequada no bocal e evita o efeito de nebulização. Em ambos os casos obtem-se uma melhora na uniformidade de distribuição de água;

### 7º ) A vazão nominal

Em geral, microaspersores com vazões menores tem deficiência na distribuição de água. Microaspersores com vazão entre 70 e 90 l/h tem melhor uniformidade do que de 35 a 40 l/h.

Segundo NOGUEIRA (1989), a irrigação por microaspersão tem sido bastante desenvolvida nos últimos anos, estendendo-se sua aplicação à irrigação em pomares, hortaliças, viveiros e estufas. Comenta também que o elevado grau de desenvolvimento que o sistema tem atingido nos últimos anos se deve principalmente as seguintes vantagens : economia de água e energia; elevada eficiência do sistema; uniformidade na aplicação de água ; possibilidade de emprego de água mais salina que os outros métodos; possibilidade de fertirrigação; filtragem de baixo custo; independe da topografia e tipo de solo; elimina perigos de erosão; fácil localização de microaspersores entupidos; não interfere no tratamento fitossanitário e exige pouca mão-de-obra.

Os microaspersores podem ser inseridos diretamente nas linhas laterais, geralmente de polietileno flexível, ou ainda, utilizando-se de tubos prolongadores. Porém, sua finalidade é dissipar a energia da água, aspergindo-a sobre o solo na forma de gotas de pequeno diâmetro.

A relação entre perda de carga localizada na inserção do emissor com a lateral, tamanho e forma da seção de passagem de água e sua distribuição, influenciam nas características hidráulicas de um microaspersor, tal como no gotejador.

PAES (1985), relata que as características hidráulicas dos microaspersores são influenciadas pela geometria, pelo material, pelo processo de fabricação e pelo método de instalação do microaspersor na linha lateral.

Os métodos comumente empregados para dissipar energia de pressão nos emissores são o de percurso longo e de orifícios. KELLER & KARMELI (1975) sugerem que, em qualquer um deles a relação entre descarga e pressão, pode ser caracterizada pela seguinte equação :

$$q = k.H^X \quad (1)$$



sendo,

q - vazão do emissor;

k - constante de proporcionalidade da equação de fluxo do emissor;

H - pressão na entrada do emissor;

x - um expoente cujo valor depende do regime de fluxo que opera o emissor.

Eles comentam ainda que, o valor do expoente “x”, caracteriza o regime de fluxo. O fluxo é dito laminar quando  $x = 1$  e turbulento quando “x” está próximo de 0,5. Logo, em fluxo turbulento a vazão é mais ou menos proporcional a raiz quadrada da pressão, conseqüentemente a pressão precisa aumentar quatro vezes para dobrar a vazão. Quando o valor de “x” se aproxima de zero, o emissor assume a condição de autocompensante, podendo se concluir que, quanto mais o expoente se aproxime de zero, melhor será o emissor do ponto de vista hidráulico.

BOTREL (1984) comenta que, os emissores apresentam um pequeno orifício de saída da água (1 a 2 mm) e que pequenas variações neste orifício provocam grandes variações na descarga a uma mesma pressão. VERMEIREN & JOBLING (1980), afirmam que essas diferenças podem ultrapassar a 10%. o que em alguns casos as tornam mais significativas que variações da vazão devido a diferenças de pressão ao longo da linha lateral.

No processo de fabricação, por mais precisas que sejam as máquinas, os emissores confeccionados apresentam pequenas diferenças, cujas conseqüências refletem nos valores de “K” e “x”.

o coeficiente de variação de fabricação, CVf, é o parâmetro utilizado para medir a variação de vazão provocada pela desuniformidade entre emissores, sendo obtido pela seguinte equação :

$$CVf = \frac{\sigma f(q)}{qf} \quad (2)$$

sendo,

CVf - coeficiente da variação de fabricação;

$\sigma_f(q)$  - desvio padrão da vazão a uma pressão de referência;

$\bar{q}_f$  - média da vazão dos emissores à pressão de referência.

O SOIL CONSERVATION SERVICE - USDA (1979) sugere a seguinte classificação para os emissores quanto à uniformidade de fabricação :

- CVf até 4% : uniformidade excelente;
- CVf de 4 a 7% : uniformidade média;
- CVf de 7 a 11% : uniformidade marginal;
- CVf de 11 a 15% : uniformidade pobre;
- CVf acima de 15% : inaceitável.

Para a determinação da perda de carga localizada na inserção do microaspersor na linha lateral, pode-se utilizar a equação :

$$H_f = \frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g} \quad (3)$$

sendo,

$H_f$  - perda de carga localizada na inserção do microaspersor na linha lateral (mca);

K - coeficiente de perda de carga localizada (adm.);

g - aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ).

Feghali<sup>1</sup> citado por BOTREL (1984), afirma que a grandeza utilizada para caracterizar a dissipação de energia localizada, depende do número de Reynolds, da

---

<sup>1</sup>FEGHALI, J. **Mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1974. 2 v.

rugosidade e principalmente da geometria da superfície de contato, razão pela qual nas aplicações práticas, adota-se um valor médio para “K”.

PIZARRO (1990), para simplificar os cálculos de perdas de carga localizadas em linhas laterais, adota o método dos comprimentos equivalentes. Para emissores “sobre a linha”, o comprimento equivalente é função do diâmetro da conexão do emissor.

BOTREL (1984) estudou as características hidráulicas de dois microaspersores fabricados no Brasil : Dantas MA120 e Irtec rotativo. Os microaspersores foram submetidos a testes sob pressões constante e variável, visando entre outros objetivos, a determinação da equação vazão-pressão, coeficiente de variação de vazão decorrente do processo de fabricação, perfil de distribuição da precipitação, alcance do jato, equação de perda de carga contínua e equação de perda de carga localizada na inserção do microaspersor na linha lateral.

As equações vazão-pressão obtidas para o microaspersor Dantas MA120 e o Irtec rotativo foram, respectivamente :

$$q = 18,54.H^{0,54} \quad (4)$$

$$q = 12,78.H^{0,55} \quad (5)$$

sendo,

q - vazão do microaspersor (l/h);

H - pressão na entrada do microaspersor (mca).

Os coeficientes de variação de vazão foram : 2,7% para Dantas MA120 e 12,18% para Irtec rotativo. Tais valores, de acordo com os parâmetros preconizados pelo SOIL CONSERVATION SERVICE - USDA (1979), classificam o microaspersores como excelente e pobre uniformidade, respectivamente.

### **2.1.2. Hidráulica de linhas laterais**

Para KELLER & BLIESNER (1990), a largura da unidade operacional dos sistemas de irrigação localizada é governada pelo espaçamento e vazão dos emissores, pela economia devido ao uso de linhas laterais de menor diâmetro, pelas variações de pressão permissíveis, pelo comprimento das linhas e números de unidades operacionais operando simultaneamente, além da topografia. De forma similar, o comprimento da unidade operacional, depende do espaçamento e vazão das linhas laterais, economia devido ao uso de tubos de menor diâmetro, variações de pressão permissíveis, número de linhas laterais e número de unidades operacionais em operação, bem como da topografia da área.

Esses autores, comentam também que, a configuração final dos sistemas de irrigação localizada deve satisfazer a uma série de objetivos de dimensionamento, os quais nem sempre são compatíveis entre si. A configuração ideal deve ter : um número mínimo de unidades operacionais e pontos de controle de vazão ou de pressão; uma configuração conveniente e econômica da linha principal, para atender às unidades operacionais; a mesma vazão total em cada grupo de unidades operacionais que atuam simultaneamente; configurações da unidade operacional uniformes na forma e no tamanho; linhas laterais de diâmetro único variando de 12mm a, no máximo, 20mm; linhas de derivação com vários diâmetros, sendo de 100mm o valor máximo; variações de pressão que não excedam o valor permissível estabelecido, a fim de que se tenha a uniformidade de emissão desejada.

Para GOEHRING (1976), a divisão do projeto da área a ser irrigada em unidades operacionais traz aspectos vantajosos, tais como : permite irrigar parte da área ao longo do tempo, o que confere maior flexibilidade à irrigação, posto que nem sempre se dispõe de água suficiente para suprir todo o projeto simultaneamente; geralmente se obtém uma maior uniformidade de emissão, uma vez que as diferenças de nível são menores dentro de cada unidade operacional; permite o uso de tubos de menor diâmetro, reduzindo, assim, o custo inicial do sistema; a automação torna-se mais econômica.

Várias equações que permitem calcular a perda de carga numa linha lateral, estão disponíveis na literatura especializada. Mas, as equações de Hazen-Williams e Darcy-Wiesbach vêm sendo aplicadas com maior frequência.

A equação de Hazen-Williams é utilizada com maior segurança a partir de número de Reynolds maiores que 4000. KELLER & KARMELI (1975), estendem a sua aplicação às linhas laterais a partir de número de Reynolds igual a 2.000. Tal consideração pode ser feita sem acarretar erro considerável, porque o trecho da linha lateral em que ocorre o regime instável ( $2.000 \leq Re \leq 4.000$ ) é relativamente pequeno.

URBINA (1977), estudando perda de carga em linhas laterais para irrigação por gotejamento, chegou à conclusão de que a equação de Hazen-Williams não é apropriada para esses cálculos, pois o coeficiente “C” empregado como constante para o material utilizado, varia com a vazão.

Segundo o SOIL CONSERVATION SERVICE - USDA (1979), um valor do coeficiente “C” igual a 150, que geralmente é usado no cálculo da perda de carga em tubos de plástico com diâmetro pequeno, como os utilizados em irrigação localizada, a equação de Hazen-Williams, subestima a perda de carga em 30%.

A equação de Darcy-Weisbach pode ser utilizada tanto em regime laminar como turbulento, com resultados satisfatórios. O fator de atrito “f” dessa equação pode ser obtido pelas seguintes equações :

- Para movimento laminar ( $Re < 2.000$ )

$$f = \frac{64}{Re} \quad (6)$$

- Para movimento turbulento até número de Reynolds igual a 100.000, “f” é adequadamente representado pela fórmula de Blasius :

$$f = 0,316 \cdot Re^{-0,25} \quad (7)$$

sendo,

$f$  - fator de atrito da fórmula de Darcy-Weisbach (adimensional);

$Re$  - número de Reynolds (adimensional).

BOTREL (1984) comenta que, a vazão é variável ao longo da linha lateral, pois cada microaspersor provoca um decréscimo na vazão que irá provocar também um decréscimo na perda de carga final. Assim sendo, para se obter a perda de carga que ocorre na linha lateral, seria necessário computar a variação de perda de carga entre cada duas saídas adjacentes, adicionando-a à localizada que ocorre no ponto de inserção do emissor, partindo do final para o início da linha.

Em todo sistema de irrigação, é desejável que a água seja distribuída uniformemente às plantas. Por outro lado, a medida que se aproxima desta condição, geralmente há um aumento nos custos de implantação do projeto.

Segundo NAKAYAMA & BUCKS (1986), a energia total em qualquer seção de uma linha lateral de irrigação localizada, pode ser expressa pela equação da energia :

$$\bar{H} = Z + H + \frac{V^2}{2.g} \quad (8)$$

sendo,

$\bar{H}$  - é a energia total (m);

$Z$  - é a energia de posição (m);

$H$  - é a carga de pressão (m);

$\frac{V^2}{2.g}$  - é a carga de velocidade (m);

$V$  - velocidade (m/s);

$g$  - aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ).

Os autores comentam ainda que a variação na energia com relação ao comprimento da linha, pode ser expressa como :

$$\frac{d\bar{H}}{dL} = \frac{dZ}{dL} + \frac{dH}{dL} + \frac{d\left(\frac{V^2}{2g}\right)}{dL} \quad (9)$$

Considerando que a vazão dos emissores é baixa numa linha de irrigação localizada, a variação na carga de velocidade com relação ao comprimento é pequena e pode ser desprezada. Ficando, a equação da energia reduzida a :

$$\frac{d\bar{H}}{dL} = \frac{dZ}{dL} + \frac{dH}{dL} \quad (10)$$

onde  $\frac{d\bar{H}}{dL}$  é a declividade da linha de energia que pode ser representada como :

$$\frac{d\bar{H}}{dL} = -S_f \quad (11)$$

onde o sinal negativo, significa perda por atrito com relação ao comprimento da linha.

A razão  $\frac{dZ}{dL}$  representa a declividade da linha que pode ser representada como:

$$\frac{dZ}{dL} = -S_o(\text{declive}) \quad (12)$$

$$\frac{dZ}{dL} = +S_o(\text{aclive}) \quad (13)$$

A variação da pressão ao longo da linha, fica então da seguinte forma :

$$\frac{dH}{dL} = S_o - S_f \quad (14)$$

Quando a linha está em declive, a equação ficará :

$$\frac{dH}{dL} = -S_o - S_f \quad (15)$$

Quando a linha está em aclave, a equação ficará :

$$\frac{dH}{dL} = +S_o - S_f \quad (16)$$

Segundo os mesmos autores, as duas equações mostram que a variação da pressão ao longo da linha lateral, é uma combinação linear da declividade da linha lateral e do gradiente da linha de energia de pressão. O perfil de distribuição de pressão ao longo da linha lateral pode ser determinado a partir da pressão de entrada, da perda por atrito e das variações de energia devido à declividade do terreno, como mostra a equação a seguir :

$$H_l = H_i - \Delta H_l \pm \Delta Z_l \quad (17)$$

sendo,

$H_l$  - pressão à distância  $l$ , a partir do início da lateral;

$H_i$  - pressão na entrada da linha;

$\Delta H_l$  - perda de carga à distância  $l$ , a partir do início da linha lateral;

$\Delta Z_l$  - energia ganha ou perdida devido à declividade, para um determinado comprimento  $l$ , medido a partir do início da lateral (o sinal positivo significa declive e o negativo significa aclave).

### 2.1.3. Hidráulica de linhas de derivação

Linha de derivação é a linha na qual estão inseridas as linhas laterais, ou seja, é a linha que faz a conexão da linha principal com as linhas laterais.



Comumente são usados tubos de polietileno ou PVC, podendo ficarem sobre a superfície do terreno ou serem enterradas.

Em terrenos com topografia irregular, as laterais são colocadas em nível e as derivações inclinadas no sentido da declividade e podem ser usados diferentes diâmetros no seu dimensionamento, tornando-as mais econômicas . Geralmente os registros ou válvulas de controle de vazão e pressão são instalados no início das linhas de derivação.

A pressão necessária, no início da linha de derivação, será a soma da pressão requerida para linha lateral, com a perda de carga e o desnível ao longo da linha de derivação.

PIZARRO (1990), mostra três situações em que as linhas de derivação podem apresentar-se e como se procede os cálculos:

1o. Caso : Subunidade retangular. Diâmetro constante.

Nesse caso, a derivação pode ser calculada pelos mesmos métodos utilizados para o cálculo das linhas laterais e estando em qualquer condição topográfica.

2o. Caso : Subunidade retangular. Diâmetro variável.

As vezes é conveniente dividir a derivação em vários trechos com diâmetros diferentes. Em cada caso tem que se estudar se compensa colocar menores diâmetros com maior custo das peças de redução e a maior complicação na montagem do sistema, porém, há casos em que a troca de diâmetros é conveniente, sobre tudo em subunidades grandes com derivações muito longas e emissores com grande vazão. Para esse caso os cálculos podem ser feitos, usando o método numérico ou gráfico.

-Método numérico :

Consiste em dividir a derivação pelo comprimento entre laterais, encontrando o número total de trechos na derivação. Após decidir quais diâmetros serão usados no cálculo, adota-se o critério de que a velocidade não supere 1,5 m/s. Com a velocidade e os diâmetros, acham-se as vazões máximas para cada diâmetro. Dividindo essas vazões pela vazão de uma lateral, encontra-se o número máximo de laterais para cada diâmetro.

Conhecendo o espaçamento entre laterais, determina-se o comprimento para cada diâmetro na derivação. Após escolher os comprimentos de cada diâmetro, o próximo passo é achar a pressão requerida na entrada da derivação.

Da pressão inicial da derivação, se vai descontando a perda de carga e somando ou subtraindo o desnível em cada trecho. Dessa forma, se obtém a pressão para o ponto inicial de cada lateral em função de  $H_i$  (ainda desconhecido). A média de todas essas pressões se iguala à pressão de entrada da lateral média, que é um dado conhecido, permitindo com isso achar a pressão na entrada da derivação.

#### - Método gráfico

Esse método consiste em utilizar ábacos de perda de carga versos vazão total. O ábaco é escolhido de acordo com a tubulação a ser utilizada (PEBD; PEAD e PVC) e a vazão de cada linha lateral. Segundo o autor, esse método permite um cálculo mais rápido sem perder praticamente precisão.

### 3o. Caso : Subunidade não retangular.

Essa é uma situação que se apresenta com frequência, principalmente em terrenos irregulares. Para essa situação recomenda-se o método numérico anteriormente citado.

O autor recomenda aplicar o método numérico, que é de aplicação universal qualquer que seja a forma da subunidade, a topografia do terreno e o número de diâmetro a utilizar.

Outro método de dimensionamento da linha de derivação, é o método da divisão em trechos. Sendo possível sua utilização, somente quando a linha encontra-se em declive. O método consiste em calcular a perda de carga para todos os trechos utilizando quantos diâmetros se deseje. Será escolhido para cada trecho o diâmetro, cuja perda de carga mais se aproxime do valor da energia ganha com o desnível.

#### 2.1.4. Hidráulica de linha principal

Entende-se por linha principal, todas as ramificações compreendidas entre o cabeçal de controle e a entrada das subunidades. Alguns autores, chamam certos trechos de linhas secundárias, mas isso é só questão conceitual.

Os cálculos utilizados para encontrar os diâmetros da linha principal, é o mesmo para todos os sistemas que conduzem água sob pressão, não somente para irrigação mas também para outros fins como abastecimento de água.

PIZARRO (1990), mostra duas situações de cálculos :

- Pressão disponível conhecida.

Esse é o caso de irrigação a partir de um depósito ou canal de cota conhecida ou de uma rede comunitária de irrigação que fornece água a uma pressão já estabelecida.

O cálculo se inicia no depósito ou no ponto inicial. Da pressão disponível no depósito se desconta a perda de carga no cabeçal de controle e em seguida, se escolhe para cada trecho de tubulação o diâmetro que permita conduzir a vazão necessária com a perda de carga admissível. Um critério prático, consiste em começar selecionando para cada trecho , o diâmetro correspondente a uma velocidade não superior a 1,5 m/s, que pode ser encontrado pela seguinte equação :

$$D > \sqrt{0,236.Q} \quad (18)$$

sendo,

D - diâmetro (mm);

Q - vazão (l/h).

Em seguida, se vai descontando a perda de carga de cada trecho, assim como dos pontos singulares, o que permite calcular a pressão disponível na entrada de cada subunidade. No caso de em algum ponto esta seja insuficiente, deve-se aumentar os diâmetros de algumas ou de todas as tubulações que afetem esse ponto. Geralmente se apresentam várias soluções alternativas e tem que decidir por aquela que se supõe, menor custo.

**- Pressão disponível desconhecida.**

Quando a pressão vai ser fornecida por um conjunto moto-bomba que faz parte do projeto e que por tanto pode ser modificado adequando-a as necessidades.

Quando a pressão é fornecida mediante bombeamento, se apresentam menos limitações que no caso de pressão conhecida que cabem várias soluções.

Quanto maior for o diâmetro, maior é o investimento inicial com tubulações, em compensação as perdas de carga são menores, o consumo de energia é menor e as vezes também pode-se baratear o conjunto moto-bomba.

Existem muitos procedimentos de otimizar o diâmetro para o caso de bombeamento. A primeira fórmula que aparece na bibliografia hidráulica é a de Bresse, que consiste em supor que o diâmetro ótimo corresponde a uma velocidade de 0,57 m/s. Vários autores criaram fórmulas que permitem calcular o diâmetro ótimo, partindo de distintas hipóteses. A seguir serão descritos algumas das soluções clássicas e um critério muito simples e prático.

**-Fórmula de Mendiluce**

Parte das seguintes hipóteses :

- O custo de uma tubulação varia linearmente com o diâmetro;
- O regime de fluxo é turbulento.

$$J = K_1 \cdot \frac{Q^2}{D^5} \quad (19)$$

A fórmula deduzida por Mendiluce é :

$$D=1,913\left(\frac{K_1 \cdot p \cdot n}{P \cdot a \cdot \eta}\right)^{0,167} \cdot \sqrt{Q} \quad (20)$$

sendo,

D - diâmetro interno da tubulação (m);

$K_1$  - coeficiente de perda de carga da tubulação; para sua determinação pode ser usada a seguinte expressão :

$$K_1 = \frac{10,54}{C^{1,85}} \quad (21)$$

sendo,

“C” - o coeficiente da fórmula de Hazen-Williams, que para plástico vale 150 e para fibrocimento 140.

p - preço do kwh;

n - número de horas de funcionamento por ano;

P - custo da tubulação por metro de diâmetro e metro de comprimento;

a - fator de recuperação de capital, que é encontrado pela seguinte equação :

$$a = \frac{(1+r)^t \cdot r}{(1+r)^t - 1} \quad (22)$$

r - taxa anual de juros (decimal);

t - vida útil da tubulação (anos);

$\eta$  - rendimento da moto-bomba (decimal);

Q - vazão ( $m^3/s$ ).

A fórmula de Mendiluce dá bons resultados, se o intervalo de diâmetros a que se aplica não é muito grande. Sua utilização só requer duas ou três interações : parte-se de

um diâmetro “D”, avalia seu custo e se aplica a equação (18), obtendo um valor de “D”; se não coincide com o inicial, se tenta um novo.

#### - Fórmula de Melzer

Se distingue da de Mendiluce, por supor que o custo da tubulação é proporcional ao peso da mesma. A estática dos fluidos permite demonstrar que o peso é proporcional ao quadrado do diâmetro. A equação é expressa da seguinte forma :

$$D = 1,744 \cdot \left( \frac{k \cdot p \cdot n}{P \cdot a \cdot \eta} \right)^{0,143} \cdot Q^{0,43} \quad (23)$$

#### - Fórmula de Vibert

Vibert supõe que, o custo da tubulação é proporcional ao quadrado do diâmetro, mas o custo de sua instalação (abertura de valas, montagem, etc.) varia linearmente com o diâmetro, e obtém a seguinte equação intermediária entre a de Mendiluce e Melzer :

$$D = 1,822 \left( \frac{k \cdot p \cdot n}{P \cdot a \cdot \eta} \right)^{0,154} \cdot Q^{0,46} \quad (24)$$

#### - Critério prático

Em muitas situações reais, não se pode aplicar as fórmulas clássicas, por não dispor dos meios necessários, pela simplicidade do problema ou pela urgência de tomar uma decisão. Para estes casos, é proposto um critério muito simples.

A velocidade média da água deve estar compreendida entre 0,6 e 2,25 m/s. Inferior a esse valor, os diâmetros são excessivos e a tubulação fica muito cara; outro problema é que as baixas velocidades favorecem a formação de sedimentos. Para velocidades superiores a 2,25 m/s, as perdas de carga adquirem valores muito elevados,

se acelera o envelhecimento das tubulações e começa a ter importância os fenômenos transitórios que podem obrigar a utilizar tubulações com resistências maiores ou meios especiais de proteção.

Comprova-se na prática, que dos limites citados, o superior está mais próximo do ótimo no caso de tubulações grandes e o inferior no caso de pequenas tubulações. Para a maioria dos casos em irrigação localizada, é recomendado o critério de não ultrapassar a velocidade de 1,5 m/s o que conduz a equação (16), isso para linha principal, PIZARRO (1990).

BERNARDO (1989) mostra três procedimentos para dimensionamento da linha principal, baseado em critérios econômicos : método das tentativas, método das tentativas simplificado e método de KELLER.

#### - Método das tentativas

Consiste em se determinar o custo fixo anual por metro de tubulação, para todos os diâmetros possíveis de serem utilizados e o custo anual relativo à energia consumida na forma de perda de carga, em cada trecho da rede hidráulica. A combinação de diâmetros que apresentar o menor custo total será a solução econômica.

#### - Método das tentativas simplificado

É uma simplificação do anterior, que consiste em determinar o custo total anual por 100m de tubulação de diversos diâmetro, para cada vazão que ocorre nos diferentes trechos. A solução econômica é encontrada pelo processo de tentativas, idêntico ao método anterior, ou seja, será escolhido para cada trecho, o diâmetro que apresentar o menor custo total.

#### - Método de KELLER

SAAD (1993), descreve esse método como sendo mais rápido simples e eficiente que os processos por tentativa. Consiste em confeccionar um nomograma, tendo

no eixo das ordenadas a perda de carga e no eixo das abcissas a vazão. São traçadas as retas representando a perda de carga com a vazão, para os diversos diâmetros. Entre as retas referentes a diâmetros sucessivos, insere-se uma linha tracejada que indica a diferença de perda de carga entre os mesmos, nas várias vazões. Uma vez determinado seu gráfico, poderá ser usado para a seleção do diâmetro econômico para qualquer vazão.

## **2.2. Evapotranspiração em irrigação localizada**

Na irrigação localizada, só se molha uma parte da superfície do solo, enquanto que na irrigação convencional se molha toda a área. Em consequência, a evaporação direta do solo, será menor em irrigação localizada, entretanto a transpiração pode aumentar ligeiramente por várias causas. Uma delas, é que o solo seco fica mais quente do que o solo úmido, provocando a emissão de maior quantidade de ondas longas, que é proporcional a quarta potência da temperatura absoluta do corpo emissor, no caso o solo. Desse modo, o ar situado sobre o solo não molhado se aquece mais, do que se todo solo estivesse úmido e por meio de fenômenos de microadvecção conduz mais energia a folhagem aumentando a transpiração.

O efeito da alta frequência de irrigação também favorece a um aumento da transpiração, já que na irrigação convencional, a umidade diminui bastante nos dias que antecede a irrigação e a transpiração é mais difícil. Esse fato só se apresenta quando o intervalo de irrigação é incorreto e portanto, a rigor não se pode considerar como inerente ao sistema de irrigação, porém, na prática é uma situação que se apresenta com frequência, PIZARRO (1990).

Em resumo, o efeito da localização e a alta frequência de irrigação, diminui a evaporação mas aumenta a transpiração. No balanço, se supõe uma diminuição da evapotranspiração, cuja grandeza depende de várias características das partes transpirantes da planta : massa de folhagem, superfície total das folhas, volume da copa e outros. Como essas características são difíceis de se quantificar, tem-se tentado



representá-las pela porcentagem de área sombreada, a partir da projeção horizontal da copa das árvores.

VERMEIREN & JOBLING (1980), mostram três equações propostas por alguns pesquisadores para encontrar o coeficiente para corrigir a evapotranspiração para a irrigação localizada :

- Keller & Karmeli

$$K_r = \frac{GC}{0,85} \quad \text{no máximo } K_r = 1 \quad (25)$$

sendo,

$K_r$  - coeficiente de cobertura;

GC - porcentagem de área coberta em relação a área total(%).

- Freemam & Garzoli

$$K_r = GC + \frac{1}{2} \cdot (1 - GC) \quad (26)$$

A equação (26), é baseada na simples suposição de que a evaporação em áreas não cobertas pelas plantas é a metade da evapotranspiração das cobertas. Quando a cobertura ocupa a área toda,  $K_r$  é igual a 1.

- Decroix, CTGREF

$$K_r = (0,10 + GC) \quad \text{no máximo } K_r = 1 \quad (27)$$

O valor 0,10 inclui o efeito oásis, o qual é importante quando a cobertura é pequena.

Para projeto não se deve usar um “GC” inferior a 60%.

### 2.3. Manejo da irrigação

STEGMAN et al. (1983), associam o conceito de “manejo da irrigação” a um objetivo econômico apropriado. Relacionaram a maximização do rendimento da cultura por unidade de água aplicada ao manejo da irrigação em locais onde há limitação de disponibilidade do recurso hídrico. A maximização do lucro líquido e a minimização dos gastos de energia, são outros objetivos propostos.

O manejo adequado da irrigação, consiste em aplicar-se água no solo, no momento oportuno e em quantidade suficiente para atender as necessidades hídricas das culturas. Este procedimento é de fundamental importância para a obtenção de altas produtividades com economia de água e de energia. Para que isso ocorra, há necessidade do uso de métodos de campo que determinem direta ou indiretamente a disponibilidade de água no solo para uma determinada cultura.

JENSEN (1983), define manejo da irrigação, como a atividade de planejamento e tomada de decisão que o agricultor irrigante deve assumir durante o desenvolvimento da cultura. Cita os seguintes fatores que influenciam a tomada de decisão :

- i) valor atual e a previsão da disponibilidade de água no solo para um período de tempo de 5 a 10 dias após a última irrigação;
- ii) estimativa de um possível atraso na data de irrigação e meios de se evitar o efeito adverso do estresse da água na planta;
- iii) quantificação do volume de água aplicado, de forma a se obterem elevadas eficiências de irrigação;
- iv) as conseqüências sobre os efeitos de se irrigar fora do momento exato ou de se aplicar volumes que provoquem excesso ou déficit de água na cultura.

SAAD et al. (1991) relata que, o manejo da irrigação define critérios para se iniciar a aplicação de água na cultura. Os critérios mais citados na literatura indicam os seguintes parâmetros a serem monitorados :

- depleção da água disponível no solo;
- potencial mátrico da água do solo;

- déficit de evapotranspiração;
- índice de estresse hídrico na planta;
- potencial de água na folha, etc.

A decisão da irrigação deve incluir outros fatores, tais como o valor econômico da cultura, a praticidade e desempenho operacional do tipo de sistema de irrigação, os aspectos legais e institucionais associados ao fornecimento de água e energia elétrica e a concordância com as demais práticas agrícolas e rotinas da propriedade rural.

BERNARDO (1989) afirma que, o momento da irrigação pode ser definido tanto pelo sintoma como pela medição da deficiência de água na planta. Também pode ser determinado, pela disponibilidade de água no solo, pela evapotranspiração real, pelo turno de rega e pelo balanço de água no solo.

SAAD (1991) comenta que, a classificação das técnicas de manejo da irrigação pode ser feita da seguinte maneira :

- com base nos atributos físicos e hídricos do solo;
- com base na fisiologia das plantas;
- computando o balanço de água na zona radicular;
- com a ajuda de modelos climáticos.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Seleção do emissor

A irrigação localizada, como o próprio nome sugere, aplica água somente próximo da planta, portanto, diferente dos demais métodos de irrigação que aplica água em toda a área. Devido a essas características é que a determinação da quantidade de água a ser aplicada na irrigação localizada é consideravelmente diferente dos demais métodos.

OLITTA (1987), comenta que, ainda que o uso da água pelas plantas, não seja afetado pelo modo como ela é aplicada, os efeitos especiais decorrentes desse método de irrigação, requerem certa modificação no processo de avaliação do consumo de água.

A metodologia utilizada para a escolha do emissor é proposta por KELLER e KARMELI (1975), para a determinação da retenção de água pelo solo, baseado no fator de molhamento(P).

Considerando que, somente parte do volume do solo será molhado na irrigação, a determinação da aplicação máxima de água, pode ser expressa como:

$$LUA_I = \frac{U_{cc} - U_{pmp}}{10} \cdot D_a \cdot f \cdot Z_e \cdot \frac{P}{100} \quad (28)$$

sendo,

LUA<sub>I</sub> - lâmina útil armazenada para irrigação localizada(mm);

- Ucc - umidade na capacidade de campo, em peso(%);  
 Upmp - umidade no ponto de murcha permanente, em peso(%);  
 Da - densidade aparente do solo(g/cm<sup>3</sup>);  
 f - fator de disponibilidade de água no solo(decimal);  
 Ze - profundidade efetiva do sistema radicular(cm);  
 P - porcentagem da área molhada em relação à área total irrigada(%).

KELLER & KARMELLI (1975), recomendam que em regiões áridas a porcentagem da área molhada deve ser, no mínimo de 33 % da área total ( $P \geq 33\%$ ) e em regiões sujeitas a maiores precipitações este valor mínimo pode ser de 20 % ( $P \geq 20\%$ ).

O volume de água a ser aplicado por planta, para a condição de que a frequência adotada seja a frequência máxima, é encontrado pela seguinte equação :

$$V_a = LUAl.El.E_p \quad (29)$$

sendo,

V<sub>a</sub> - volume d'água a ser aplicado por planta(l);

E<sub>l</sub> - espaçamento entre linhas de plantio(m);

E<sub>p</sub> - espaçamento entre plantas(m).

### 3.1.1. Vazão mínima do gotejador

Para a obtenção da vazão mínima do gotejador, adotou-se a seguinte metodologia :

Conhecido o Volume de água a ser aplicado por planta e conforme o tipo de solo encontra-se o diâmetro molhado, a área molhada e a profundidade de molhamento, através das equações ajustadas a partir dos gráficos apresentados por VERMEIREN & JOBLING (1984).

$$Dm = a1 \cdot Va^{b1} \quad (30)$$

$$Am = \frac{\pi \cdot Dm^2}{4} \quad (31)$$

$$Pm = a2 \cdot Va^{b2} \quad (32)$$

sendo,

a1, b1, a2 e b2 - constantes da regressão;

Dm - diâmetro molhado(m);

Am - área molhada;

Pm - profundidade de molhamento(cm);

TEXTURA	CONSTANTES DA REGRESSÃO			
	a1	b1	a2	b2
<b>Fina</b>	0,4410154	0,4067574	0,0773794	0,3847667
<b>Média</b>	0,2741265	0,3985277	0,0746613	0,4947684
<b>Grossa</b>	0,2280621	0,3101212	0,0775140	0,5837777

Os cálculos são refeitos, incrementando o número de gotejadores, até que a área molhada, seja maior ou igual a área molhada requerida, definida pelo usuário.

Satisfeita a condição acima, é calculada a vazão mínima do gotejador pela seguinte equação :

$$qmg = \frac{LUA \cdot l \cdot E \cdot Ep}{Ng \cdot T \cdot Ef} \quad (33)$$

sendo,

qmg - vazão mínima do gotejador(l/h);

Ng - número de gotejadores por planta;

T - tempo máximo de irrigação por dia(h);

Ef - Eficiência de aplicação da irrigação.

### 3.1.2. Alcance e vazão do microaspersor

Para o microaspersor, é feita sugestão para quatro situações : um emissor para cada duas plantas e um, dois ou três emissores por planta. Para qualquer destas situações, é necessário que a área molhada seja igual ou maior que a área molhada requerida.

A vazão mínima para as quatro situações é encontrada com a seguinte equação :

$$q_{mm} = \frac{LUA \cdot I \cdot E_l \cdot E_p}{N_m \cdot T \cdot E_f} \quad (34)$$

sendo,

$q_{mm}$  - vazão mínima do microaspersor(l/h);

$N_m$  - número de microaspersores por planta.

O diâmetro molhado mínimo, é encontrado pela seguinte equação :

$$D_{mm} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_m}{N_m \cdot \pi}} \quad (35)$$

sendo,

$D_{mm}$  - diâmetro molhado mínimo(m).

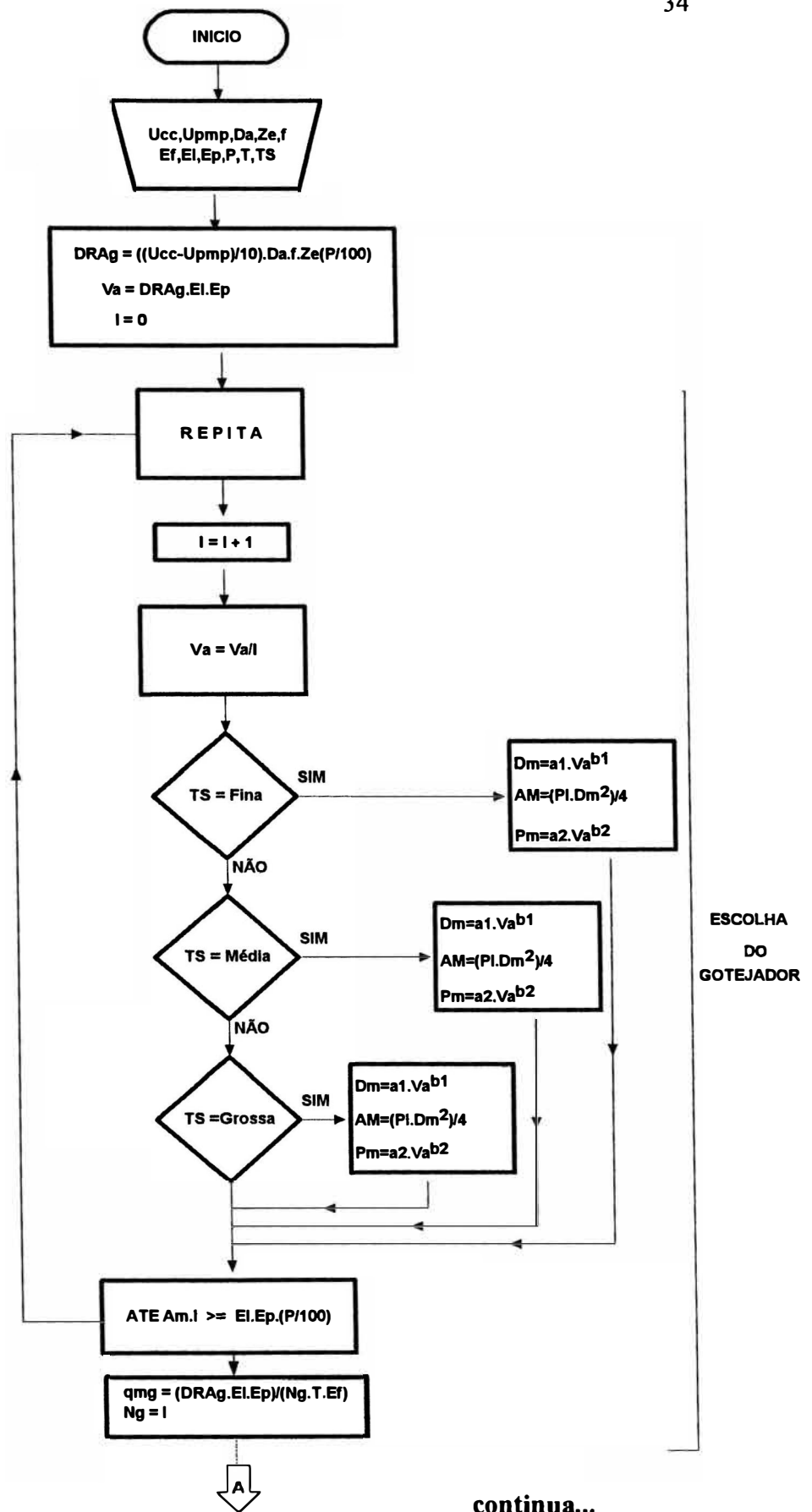
Toda a seqüência de cálculos para gotejadores e microaspersores, está melhor apresentado no fluxograma da Figura 1.

### 3.2. Dimensionamento Hidráulico

A seguir serão apresentadas as metodologias usadas para o cálculo hidráulico das linhas laterais, derivação e principal e o conjunto moto-bomba.

**\* LISTA DE SÍMBOLOS :**

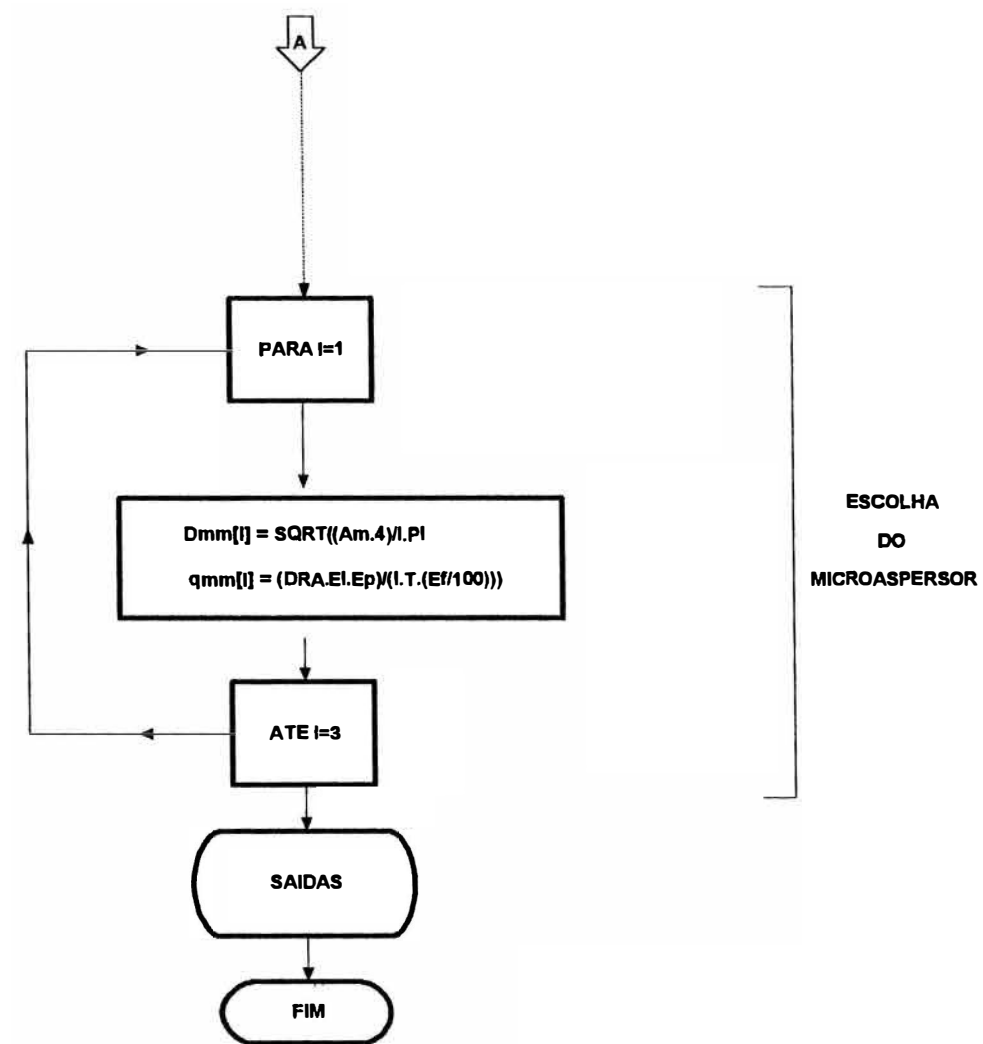
- Ucc = Umidade na cap. de campo (%);
- Upmp = umidade no ponto de mucha permanente (%);
- Da = Densidade aparente do solo (g/cm<sup>3</sup>);
- Ze = Prof. efetiva do sistema radicular (cm);
- f = Fator de disponibilidade de água no solo (decimal);
- Ef = Eficiência de aplicação da irrigação (%);
- Ei = Espaçamento entre linhas de plantio (m);
- Ep = Espaçamento entre plantas (m);
- P = Porcentagem de area molhada (%);
- T = Tempo máximo de irrigação desejado, por dia (h);
- TS = Textura do solo;
- DRAg = Disponibilidade real de água p/ localizada (mm);
- Va = Volume de água a aplicar (l);
- Ng = Número de gotejadores;
- qmg = Vazão mínima do gotejador (l/h);
- Dmm[l]=Diâmetro molhado mínimo (m);
- qmm[l] = Vazão mínima do microas-persor(l/h);
- Am = Área molhada (m<sup>2</sup>);
- Pm = Profundidade de molhamento(m);
- Dm = Diâmetro molhado(m).



continua...

Figura 1 - Fluxograma para escolha do emissor.





**Figura 1 - Fluxograma para escolha do emissor.**

### 3.2.1. Dimensionamento da linha lateral

Serão apresentadas três metodologias usadas para o cálculo das linhas laterais. Os três métodos de cálculos são : trecho a trecho, hidráulico e estatístico, que serão descritos individualmente, a seguir.

#### 3.2.1.1. Dimensionamento da linha lateral pelo método trecho a trecho

Nesse método de dimensionamento os cálculos são feitos trecho a trecho, partindo-se de uma pressão preestabelecida no último emissor.

Sendo a vazão do emissor e o diâmetro da linha conhecidos, calcula-se a perda de carga no trecho entre um emissor e outro, pela equação de Darcy-Weisbach com “f” de Blasius. Soma-se ou subtrai com o desnível e obtém-se a pressão do emissor seguinte. Com essa pressão e a equação do emissor, é encontrado sua vazão. No trecho seguinte, o cálculo da perda de carga é feita com a vazão dos dois emissores, e assim sucessivamente os cálculos vão sendo feitos, até que se tenha uma variação de vazão entre os emissores da linha lateral igual a pré estabelecida pelo usuário. Se o emissor for do tipo auto compensante, os cálculos serão suspensos quando a pressão calculada for igual ou maior do que a pressão máxima de operação do emissor.

Aos comprimentos entre emissores, é somado o “comprimento equivalente” devido a perda de carga localizada, provocada pela conexão dos emissores.

Para a estimativa da perda de carga, utilizou-se a equação de Darcy-Weisbach, por ser considerada bastante precisa no cálculo de perda de carga em tubulações de plástico com pequenos diâmetros e para todos os regimes de fluxo, ela é expressa da seguinte forma:

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (36)$$

sendo,

Hf - perda de carga no comprimento “L”(m);

f - coeficiente de atrito;

L - comprimento do trecho mais comprimento equivalente(m);

D - diâmetro interno da linha lateral(m);

V - velocidade(m/s);

g - aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

A seguir tem-se, as demais equações usadas para a determinação do máximo comprimento da linha lateral,

$$V = \frac{4.Q}{\pi.D^2} \quad (37)$$

sendo,

Q - vazão do trecho calculado(m<sup>3</sup>/s).

$$NR = \frac{V.D}{\gamma} \quad (38)$$

sendo,

NR - número de Reynolds;

$\gamma$  - viscosidade cinemática da água(m<sup>2</sup>/s), adotado 10<sup>-6</sup>.

Conhecendo o número de Reynolds, calcula-se o coeficiente de atrito. Se o “NR” for menor ou igual a 2000, isso caracteriza regime de fluxo laminar. Entre 2000 e 4000, regime crítico e maior do que 4000, regime turbulento. No regime laminar, o coeficiente de atrito é inversamente proporcional ao “NR”, e pode ser calculado pela equação de Hagen-Poiseuille,

$$f = \frac{64}{RN} \quad (39)$$

De acordo com PIZARRO (1990), pode-se usar a equação de Blasius para calcular o coeficiente de atrito no regime crítico, e que a possibilidade de erro é menor que 2%.

Segundo KELLER & BLIESNER (1990), a equação de Blasius se ajusta muito bem para tubos de plásticos com diâmetro interno inferior a 125 mm.

Para o regime turbulento, usando-se tubulações de plástico hidraulicamente lisos, a equação de Blasius será :

$$f = 0,316.NR^{-0,25} \quad (40)$$

A pressão em cada emissor ao longo da linha, é calculado pela seguinte equação :

$$H[I] = H[I - 1] + Hf \pm Z \quad (41)$$

sendo,

H[I] - pressão no emissor da posição [I](mca);

H[I-1] - pressão no emissor da posição [I-1](mca);

Z - desnível no trecho(m);

I - posição do emissor (adimensional).

É importante lembrar que, como o dimensionamento está sendo feito do final para o início da linha, Hf é somada a pressão no emissor anterior e se a inclinação for descendente, o desnível é subtraído e vice versa.

Como foi comentado anteriormente, esses cálculos são realizados dentro de um laço, onde vão sendo acrescentados o comprimento e a vazão, até que se chegue a uma variação de vazão ao longo da linha lateral igual a pré estabelecida pelo usuário. Desses

cálculos são tirados, a menor e a maior pressão na linha, o local onde elas ocorrem, menor e maior vazão, velocidade máxima, pressão na entrada da linha, número de emissores e por último o comprimento máximo permitido da linha lateral.

Todos esses passos, estão apresentados no fluxograma da Figura 2.

### 3.2.1.2. Dimensionamento da linha lateral pelo método hidráulico.

O método de dimensionamento, foi desenvolvido por GILLESPIE et al. (1979) e encontra-se deduzido no APÊNDICE 1.

Quando a equação de perda de carga, não é conhecida, é usada a equação de DARCY-WEISBACH com “f” de BLASIUS e considera-se um fator de redução de perda de carga para múltiplas saídas de 0,3636, e é expressa da seguinte maneira :

$$\Delta H_t = 2,3838 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{q^{1,75} \cdot L^{2,75}}{e^{1,75} \cdot D^{4,75}} \quad (42)$$

sendo,

$\Delta H_t$  - perda de carga no comprimento “L”(m.c.a.);

q - vazão nominal do emissor(m<sup>3</sup>/s);

e - espaçamento entre emissores(m);

D - diâmetro interno da linha lateral(m);

L - comprimento da linha lateral(m).

Chama-se de “K\*” todos os termos da eq. (42), exceto “L”, resultando :

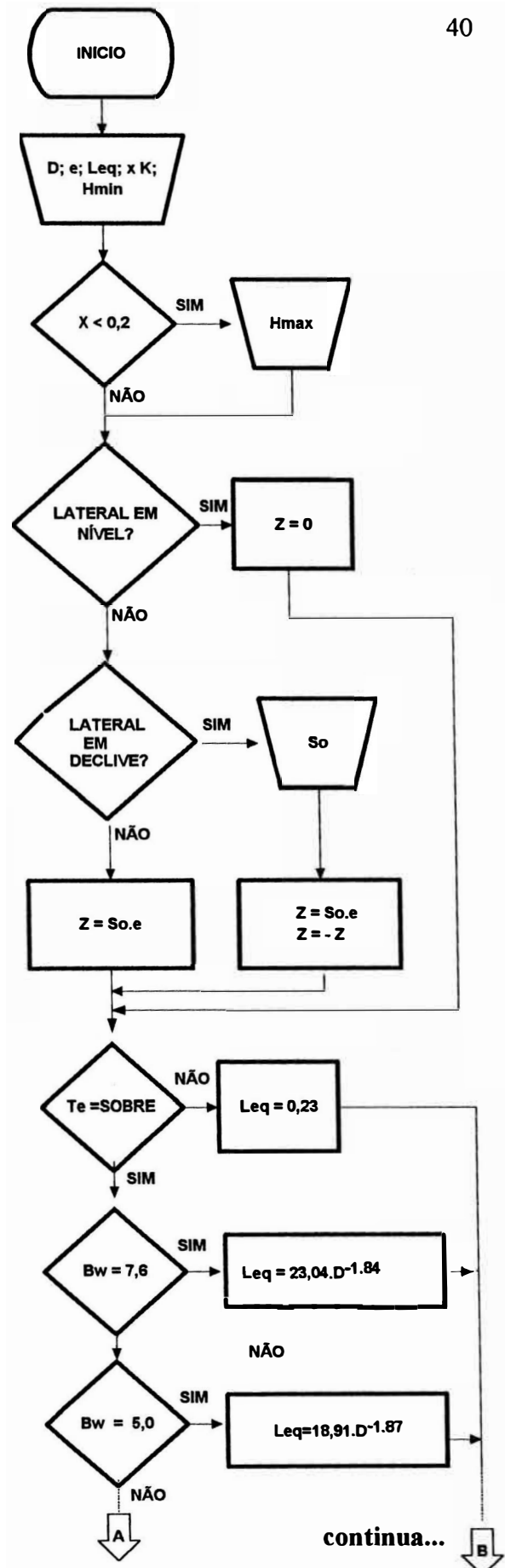
$$K^* = 2,3838 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{q^{1,75}}{e^{1,75} \cdot D^{4,75}} \quad (43)$$

sendo,

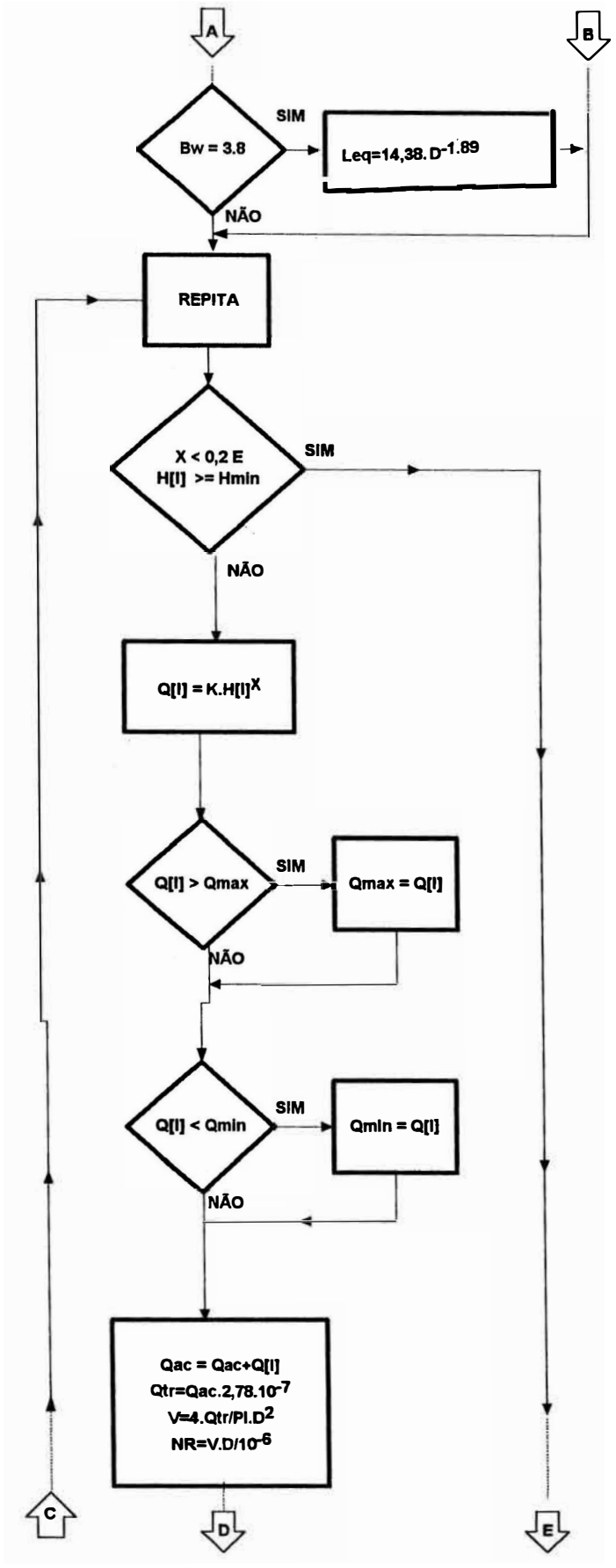
K\* - constante.

**\* LISTA DE SÍMBOLOS :**

- D** = Diâmetro Interno da lateral (mm);  
**e** = Espaçamento entre lateral (mm);  
**Leq** = Comprimento equivalente/emissor (m);  
**x** = Expoente da equação de fluxo do emissor;  
**k** = Constante da equação de fluxo do emissor;  
**Hmin** = Pressão mínima de operação do emissor(mca);  
**Hmax** = Pressao maxima de operacao do emissor(mca);  
**So** = Inclinação da lateral(%);  
**Z** = Desnível na lateral(m);  
**H[I]** = Pressao no ponto do emissor(mca);  
**Qmax** = Maxima vazao de um emissor ao longo da llnha(l/h);  
**Q[I]** = Vazao no ponto do emissor na llnha(mca);  
**Qmin** = Minima vazao de umemissor ao longo da llnha(l/h);  
**Ne** = Numero de emissores na llnha;  
**Lcom** = comprimento da llnha(m);  
**Qac** = vazao total da llnha(l/h);  
**Qtr** = Vazao total dalllnha(m<sup>3</sup>/s)  
**NR** = numero de Reynolds;  
**V** = Velocidade (m<sup>2</sup>/s);  
**Hf** = Perda de carga no trecho(m);  
**Bw** = Diametro da conexao do emissor(mm);  
**Te** = Insercao do emissor;  
**La** = Comprimento do trecho + comp. equivalente(m);

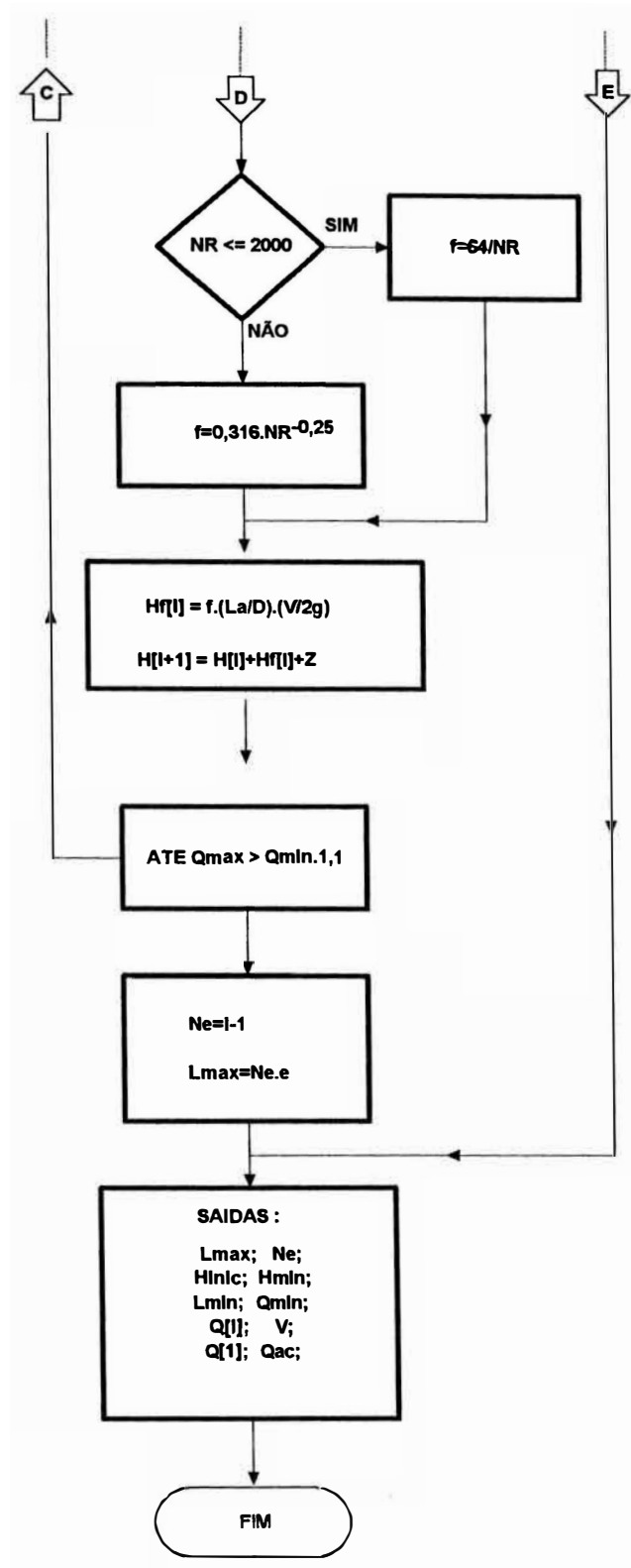


**Figura 2 - Fluxograma para dimensionamento da L. lateral :método trecho a trecho.**



continua...

Figura 2 - Fluxograma para dimensionamento da Linha lateral :método trecho a trecho.



**Figura 2 - Fluxograma para dimensionamento da L. lateral :método trecho a trecho.**



Pelo critério do trabalho, existem cinco tipos de perfis de pressão, que serão definidos a seguir :

- PERFIL I :

É considerado perfil do tipo I, quando a linha encontra-se em nível ou em aclave, ou seja, quando a inclinação( $S_o$ ) é igual ou menor do que zero.

Para esse caso, usa-se a seguinte equação para determinar o comprimento máximo da linha lateral :

$$L = \frac{H_{var} \cdot H_i}{K \cdot L^m + S_o} \quad (44)$$

sendo,

$H_{var}$  - máxima variação de pressão na linha lateral(decimal);

$H_i$  - pressão na entrada da linha lateral(mca);

$S_o$  - inclinação da linha lateral(decimal).

O valor de “L” é obtido, usando-se um método iterativo. É encontrado também a pressão mínima e a pressão média da linha.

Usa-se a seguinte equação para encontrar a pressão mínima :

$$H_{min} = H_i - \Delta H_t - \Delta Z \quad (45)$$

$$\Delta Z = S_o \cdot L \quad (46)$$

sendo,

$H_{min}$  - menor pressão na linha(mca);

$\Delta Z$  - desnível na linha lateral(m).

Para encontrar a pressão média, usa-se

$$H_m = H_i - \left( \frac{m+1}{m+2} \cdot \Delta H_t \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot \Delta Z \right) \quad (47)$$

sendo,

$H_m$  - pressão média na linha(mca).

- PERFIL IIa :

É considerado perfil do tipo IIa, quando a linha encontra-se em declive suave, e satisfaz a seguinte condição :

$$0 < \frac{S_o}{K^* \cdot L^m} < 1 \quad (48)$$

Para esse caso, usa-se a seguinte equação para determinar o comprimento máximo da linha lateral :

$$L = \frac{H \text{ var. Hi}}{K^* \cdot L^m \left[ 1 - \left( 1 - \left[ 1 - \left( \frac{S_o}{(m+1) \cdot K^* \cdot L^m} \right)^{\frac{1}{m}} \right] \right)^{m+1} \right] - \left\{ S_o \left[ 1 - \left( \frac{S_o}{(m+1) \cdot K^* \cdot L^m} \right)^{\frac{1}{m}} \right] \right\}} \quad (49)$$

Para  $m = 1,75$ , tem-se :

$$L = \frac{H \text{ var. Hi}}{K^* \cdot L^{1,75} + S_o \left[ 0,357 \left( \frac{S_o}{K^* \cdot L^{1,75}} \right)^{0,5714} - 1 \right]}$$

O valor de "L" é obtido, usando-se um método iterativo.

- PERFIL IIb :

É considerado perfil do tipo IIb, quando a linha encontra-se em declive, e satisfaz a seguinte condição :

$$\frac{S_o}{K^* \cdot L^m} = 1 \quad (50)$$

Para esse caso, usa-se a seguinte equação para determinar o comprimento máximo da linha lateral :

$$L = \frac{H \text{ var. Hi}}{So - \left\{ 1 - \left[ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{1}{m+1} \right)^{\frac{1}{m}} \right] \right] \right\}^{m+1}} \left\{ So \left[ 1 - \left( \frac{1}{m+1} \right)^{\frac{1}{m}} \right] \right\} \quad (51)$$

para  $m = 1,75$ , tem-se:

$$L = \frac{H \text{ var. Hi}}{0,357 \cdot So}$$

- PERFIL IIc :

É considerado perfil do tipo IIc, quando a linha encontra-se em declive, e satisfaz a seguinte condição :

$$1 < \frac{So}{K \cdot L^m} < m+1 \quad (52)$$

Para esse caso, usa-se a seguinte equação para determinar o comprimento máximo da linha lateral :

$$L = \frac{H \text{ var. H}}{So - J - \left[ 1 - \left( \frac{So}{(m+1) \cdot K \cdot L^m} \right)^{\frac{1}{m}} \right] \cdot So + \left[ 1 - \left[ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{So}{(m+1) \cdot K \cdot L^m} \right)^{\frac{1}{m}} \right] \right] \right] \cdot J - H \text{ var. } (So - K \cdot L^m)} \quad (53)$$

para  $m = 1,75$ , tem-se:

$$L = \frac{H \text{ var. Hi}}{So \left[ 0,357 \left( \frac{So}{K \cdot L^{1,75}} \right)^{0,5714} - 1 \right] - H \text{ var. } (So - K \cdot L^{1,75})}$$

O valor de "L" é obtido, usando-se um método iterativo.

- PERFIL III :

É considerado perfil do tipo III, quando a linha encontra-se em declive, e satisfaz a seguinte condição :

$$\frac{S_o}{K^* \cdot L^m} \geq m+1 \quad (54)$$

Para esse caso, usa-se a seguinte equação para determinar o comprimento máximo da linha lateral:

$$L = \frac{H_{var} \cdot H_i}{(S_o - K^* \cdot L^m) \cdot (1 - H_{var})} \quad (55)$$

O valor de “L” é obtido, usando-se um método iterativo.

Para os quatro últimos perfis, são encontrados a pressão mínima e a pressão média, usando-se as mesmas equações.

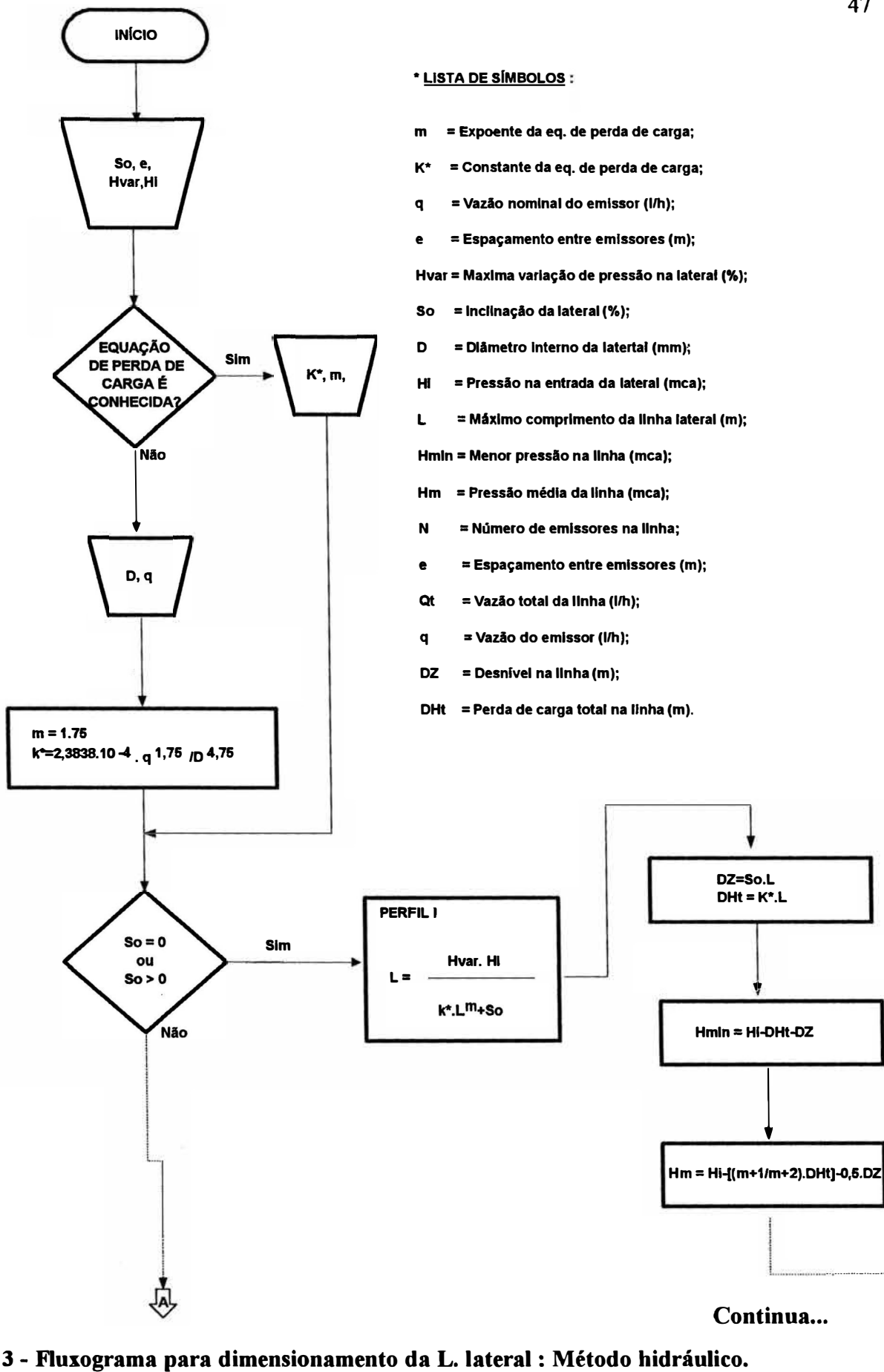
A pressão mínima é encontrada pela seguinte equação :

$$H_{min} = H_i - \Delta H_t + \Delta Z \quad (56)$$

A pressão média é encontrada da seguinte forma :

$$H_m = H_i - \left( \frac{m+1}{m+2} \cdot \Delta H_t \right) + \left( \frac{1}{2} \cdot \Delta Z \right) \quad (57)$$

Toda seqüência de cálculos desse módulo está melhor explicado no fluxograma da figura 3.



\* LISTA DE SÍMBOLOS :

- m = Expoente da eq. de perda de carga;
- K\* = Constante da eq. de perda de carga;
- q = Vazão nominal do emissor (l/h);
- e = Espaçamento entre emissores (m);
- Hvar = Máxima variação de pressão na lateral (%);
- So = Inclinação da lateral (%);
- D = Diâmetro Interno da lateral (mm);
- HI = Pressão na entrada da lateral (mca);
- L = Máximo comprimento da linha lateral (m);
- Hmin = Menor pressão na linha (mca);
- Hm = Pressão média da linha (mca);
- N = Número de emissores na linha;
- e = Espaçamento entre emissores (m);
- Qt = Vazão total da linha (l/h);
- q = Vazão do emissor (l/h);
- DZ = Desnível na linha (m);
- DHT = Perda de carga total na linha (m).

Figura 3 - Fluxograma para dimensionamento da L. lateral : Método hidráulico.

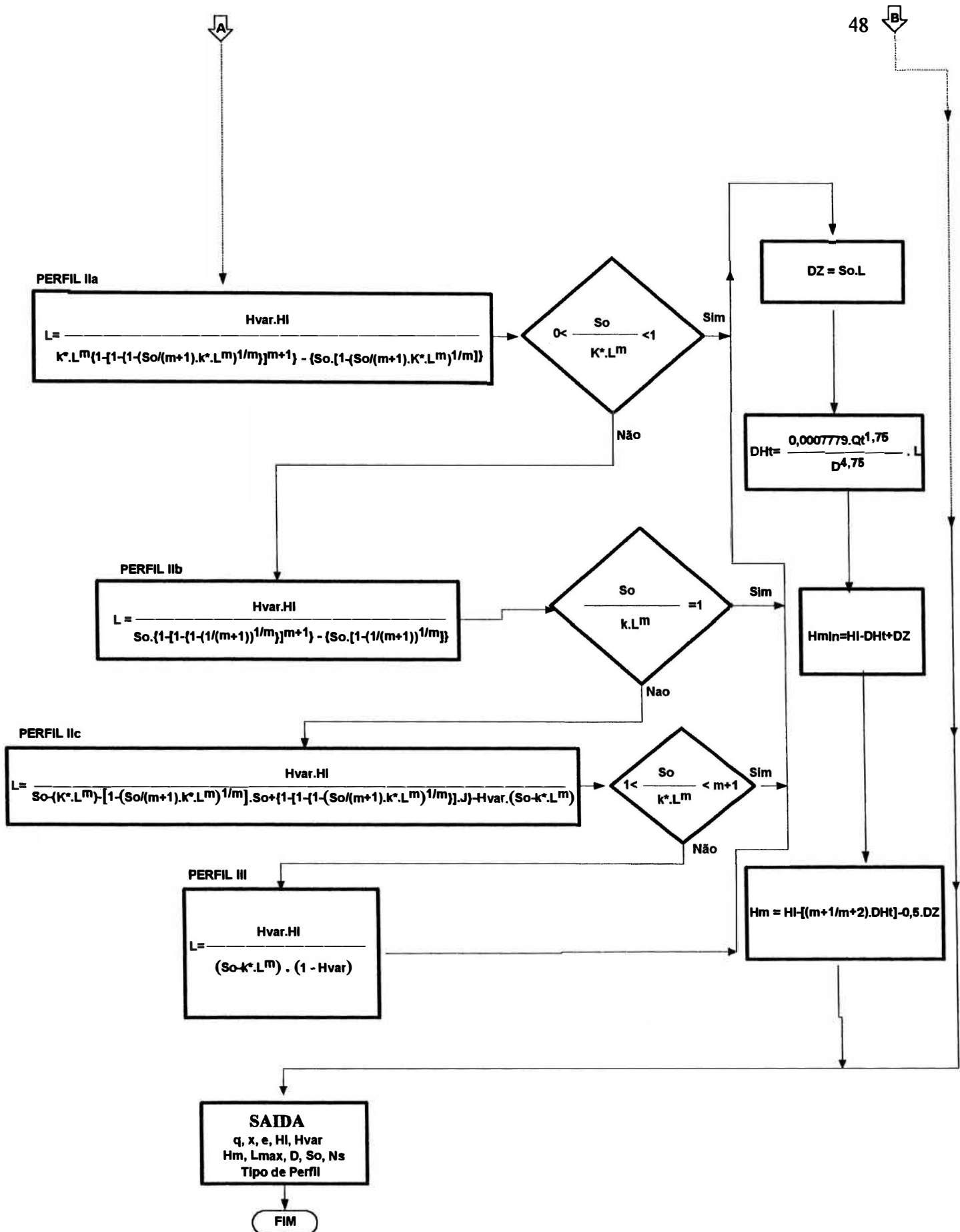


Figura 3 - Fluxograma para dimensionamento da L. lateral : Método hidráulico.

### 3.2.1.3. Dimensionamento da linha lateral pelo método estatístico.

Esse método de dimensionamento, foi desenvolvido por ANYOJI e WU (1987) e encontra-se deduzido no APÊNDICE 1.

A seqüência de cálculos, consiste dos seguintes passos :

1o.) Como o coeficiente de variação da vazão total(CV(q)) requerido é um dado de entrada, procura-se através da equação que se segue, um coeficiente de variação de vazão (CVqprocurado) que fique aproximadamente igual ao CV(q) de entrada.

$$CVqprocurado = \frac{\sqrt{[CV(k)]^2 + x^2 \cdot CVHp^2}}{1 + [CVHp^2 \cdot (0,5x^2 - 0,5x)]} \quad (58)$$

sendo :

CVqprocurado - coeficiente de variação de vazão procurado;

CV(k) - coeficiente de variação de fabricação;

CVHp - coeficiente de variação de pressão ;

x - expoente da equação de fluxo do emissor.

Essa equação vai sendo recalculada, incrementando o valor de CVHp, até que CVqprocurado, fique aproximadamente igual ao CVq de entrada.

2o.) O CVHp que resultou na igualdade dos coeficientes de variação de vazão, passa a ser agora o coeficiente de variação de pressão permitido na linha lateral.

Em seguida, calcula-se a pressão média na linha pela seguinte equação :

$$H_m = \left\{ \frac{q}{k \cdot [1 + CVH_p^2 \cdot (0,5 \cdot x^2 - 0,5 \cdot x)]} \right\}^{1/x} \quad (59)$$

sendo,

$H_m$  - pressão média na linha(mca);

$q$  - vazão nominal do emissor(l/h);

$k$  - constante da equação de fluxo do emissor.

3o.) O passo final, é buscar através da seqüência de cálculos que se segue, um valor para o coeficiente de variação de pressão calculado(CVHc), que fique aproximadamente, com o mesmo valor do coeficiente de variação de pressão permitido(CVHp). A variável “L” vai sendo incrementada com o valor do espaçamento entre emissores(e) e indiretamente vai alterando o valor de CVHc, até que ele fique aproximadamente com o mesmo valor do CVHp. O “L” que resultou na igualdade dos coeficientes de variação de pressão, será o comprimento da linha lateral.

Pode-se calcular a perda de carga por duas formas:

- Quando sua equação for conhecida, ela será calculada da seguinte forma :

$$\Delta H_t = \frac{1}{m+1} \cdot a \cdot Q_t^m \cdot L \quad (60)$$

sendo,

$Q_t$  - vazão total da linha(l/h).

- Quando a equação da perda de carga não é conhecida, é usada a equação de DARCY-WEISBACH com “f” de BLASIUS, e é expressa da seguinte maneira :



$$\Delta H_t = 2,3838 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{q^{1,75}}{e^{1,75} \cdot D^{4,75}} \cdot L \quad (61)$$

Em seguida, calcula-se a variância da pressão pela seguinte equação :

-Para a linha em nível :

$$VH = \frac{(m+1)^2}{(2 \cdot m+3) \cdot (m+2)^2} \Delta H^2 \quad (62)$$

sendo,

VH - variância da pressão dos emissores ao longo da linha lateral.

-Para a linha em aclive :

$$VH = \frac{(m+1)^2}{(2 \cdot m+3) \cdot (m+2)^2} \Delta H^2 + \frac{1}{12} \Delta Z^2 + \frac{m+1}{(m+2) \cdot (m+3)} \Delta H \cdot \Delta Z \quad (63)$$

- Para a linha em declive:

$$VH = \frac{(m+1)^2}{(2 \cdot m+3) \cdot (m+2)^2} \Delta H^2 + \frac{1}{12} \Delta Z^2 - \frac{m+1}{(m+2) \cdot (m+3)} \Delta H \cdot \Delta Z \quad (64)$$

E finalmente, encontra-se o coeficiente de variação de pressão calculado (CVHc), pela seguinte equação :

$$CVHc = \sqrt{\frac{VH}{Hm}} \quad (65)$$

todas essas equações vão sendo recalculadas, incrementando o comprimento "L" com o valor do espaçamento entre emissores(e), que indiretamente vai alterando o valor

de CVHc, até que ele fique aproximadamente com o mesmo valor do CVHp. O “L” que resultou na igualdade dos coeficientes de variação de pressão, será o comprimento da linha lateral.

Toda seqüência de cálculos, está melhor explicado no fluxograma da Figura 4.

### **3.2.2. Dimensionamento da linha de derivação pelo método da divisão em trechos.**

Seu princípio consiste em dividir a linha de derivação em tantos trechos quantos forem as linhas laterais. Cada trecho transporta uma vazão constante, menor que a vazão no trecho anterior. Para cada trecho, busca-se o diâmetro, cuja perda de carga, esteja o mais próximo possível da energia ganha com o desnível nesse trecho.

Esse método de cálculo é simples e preciso. É trabalhoso de fazer os cálculos manualmente por envolver muitas tentativas, mas, extremamente rápido no computador. Possui, porém, a limitação de só poder ser usado, nas situações em que a linha esteja em declive.

De posse das vazões em cada ponto de conexão com as laterais, calcula-se a perda de carga para cada trecho com os diferentes diâmetros previamente determinados. Será escolhido aquele diâmetro, cuja perda de carga, mais se aproxime da energia ganha com o desnível.

A equação usada para o cálculo da perda de carga é a de Veronese-Datei, vista a seguir:

$$H_f = \frac{0,00092}{D^{4,8}} \cdot L \cdot Q^{1,8} \cdot 1,05 \quad (66)$$

sendo,

Hf - perda de carga(m);

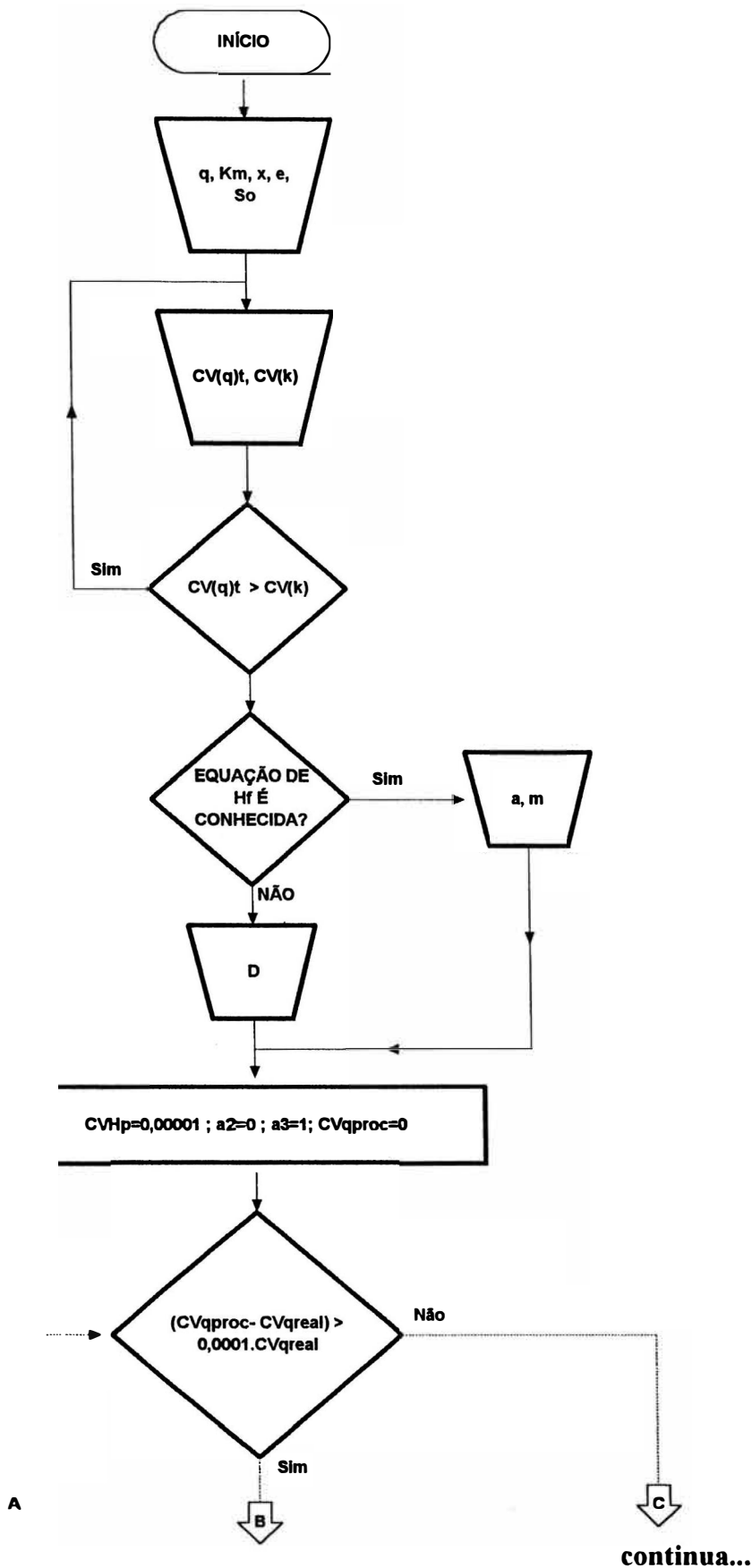
D - diâmetro (m);

L - comprimento do trecho(m);

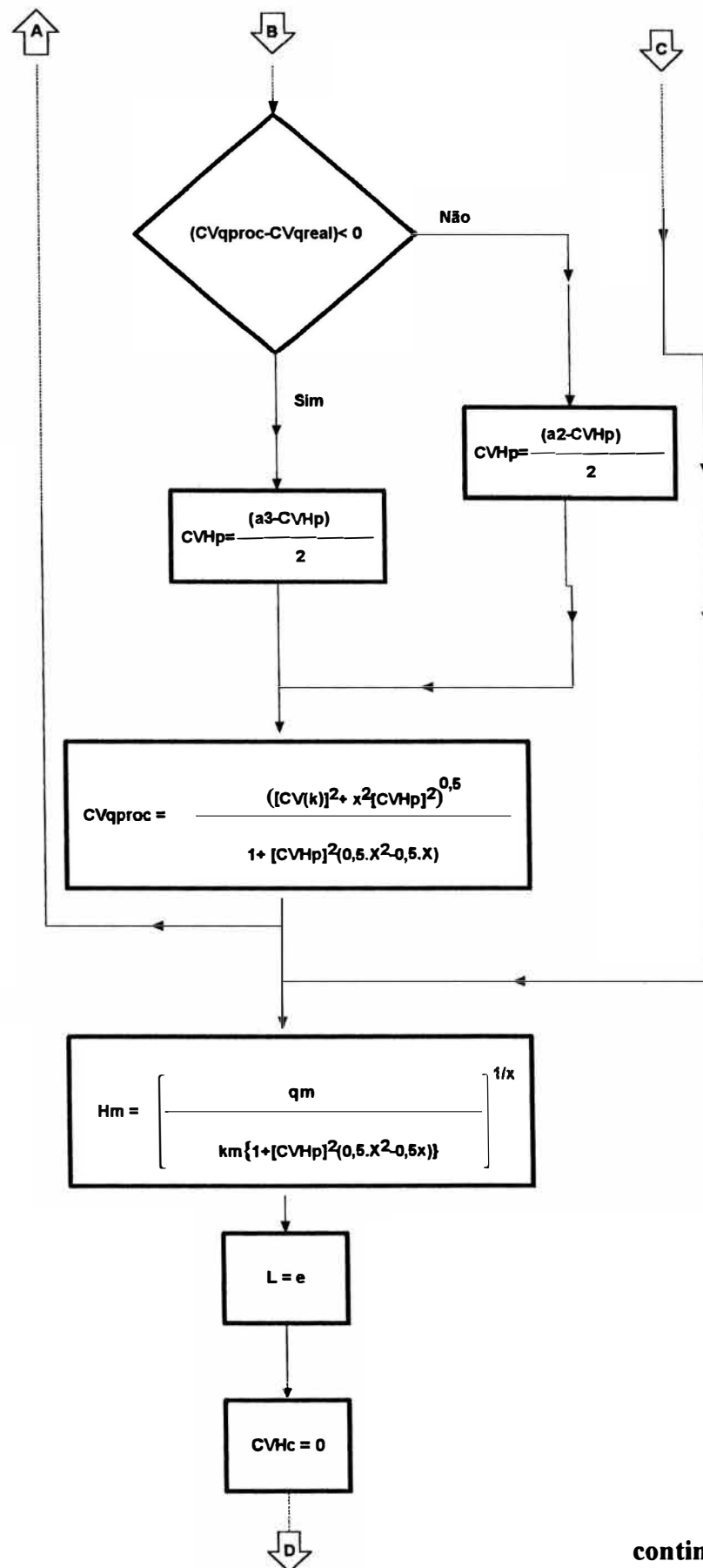
Q - vazão (m<sup>3</sup>/s).

**\*LISTA DE SÍMBOLOS :**

- $q$  = Vazão nominal do emissor(l/h);  
 $e$  = Espaçamento entre emissores(m);  
 $x$  = Expoente da eq. de fluxo do emissor;  
 $k$  = Constante da eq. de fluxo do emissor;  
 $D$  = Diâmetro Interno da linha lateral(mm);  
 $So$  = Inclinação da lateral(%);  
 $m$  = Expoente da vazão na eq. de perda de carga unitária;  
 $a$  = Constante da equação de perda de carga unitária;  
 $Hm$  = Pressão média na linha(mca);  
 $L$  = Comprimento da linha(m);  
 $Qt$  = Vazão total da linha(l/h);  
 $DZ$  = Desnível(m);  
 $Hf$  = Perda de carga na linha(m);  
 $VH$  = Variância da pressão dos emissores; ao longo da linha lateral;  
 $CV(k)$  = Coeficiente de variação de fabricação(%);  
 $CV(q)$  = Coeficiente de variação da vazão total(%);  
 $CVqprocurado$  = Coeficiente de variação da vazão procurado;  
 $CV(H)p$  = Coeficiente de variação da pressão permitido;  
 $CV(H)c$  = Coeficiente da variação da pressão calculado;



**Figura 4 - Fluxograma para dimensionamento da L. lateral: método estatístico.**



continua...

**Figura 4 - Fluxograma para dimensionamento da L. lateral: método estatístico.**

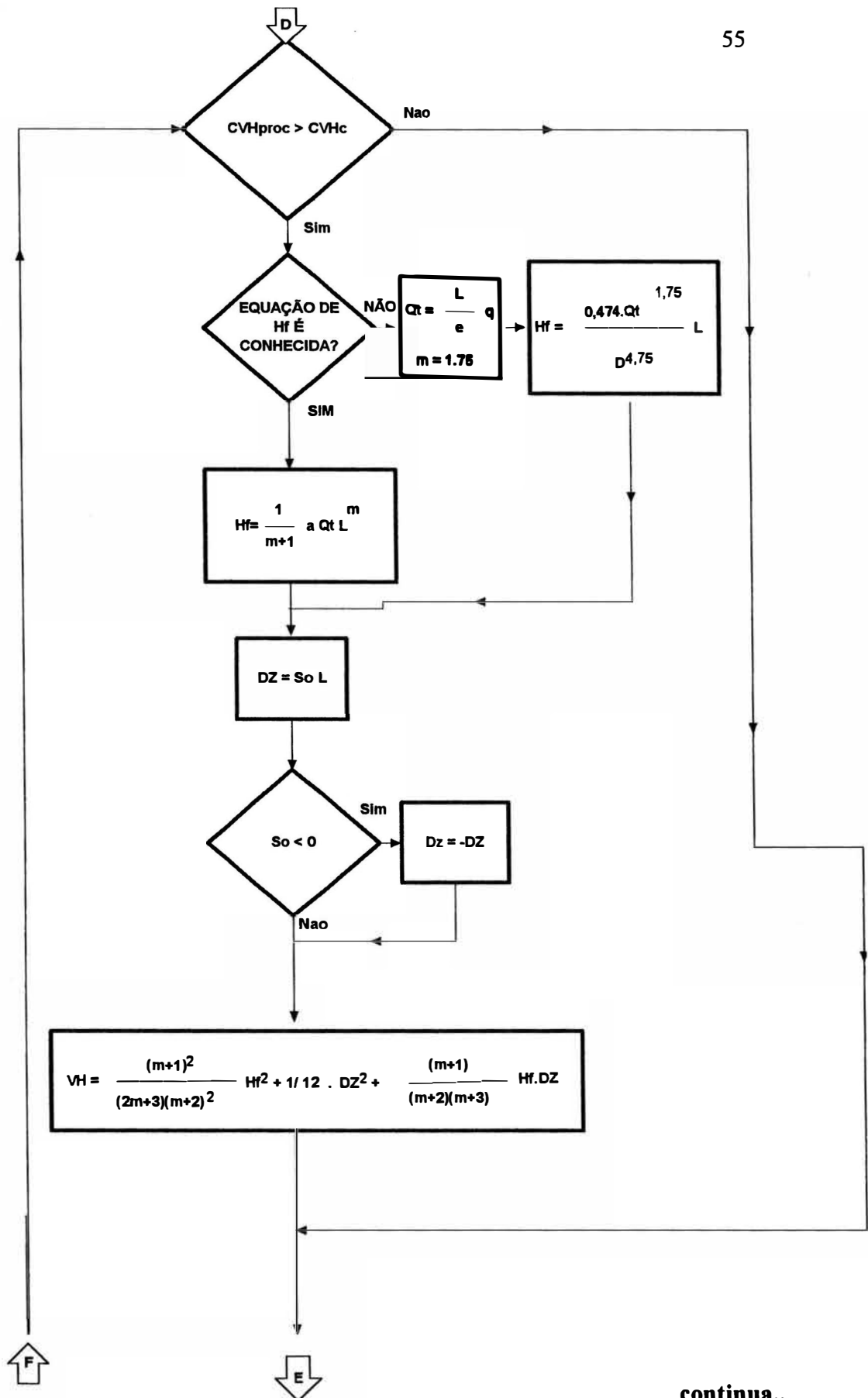
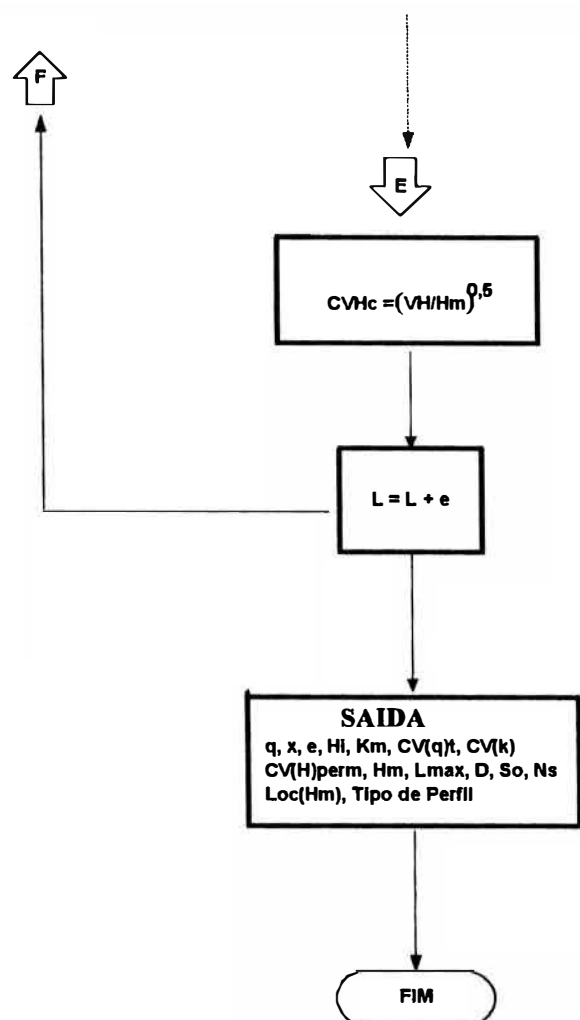


Figura 4 - Fluxograma para dimensionamento da L. lateral: método estatístico.



**Figura 4 - Fluxograma para dimensionamento da L. lateral: método estatístico.**

A multiplicação por 1,05 na perda de carga, ou 5% de Hf corresponde a perda de carga localizada nas conexões da linha de derivação com as linhas laterais, OLITTA(1987).

No decorrer dos cálculos, são retirados a maior e a menor pressão que ocorre na linha. Com esses dois dados, calcula-se a variação de pressão que irá ocorrer na linha de derivação.

O fluxograma da figura 5, ilustra os passos realizados para o cálculo da linha de derivação.

### **3.2.3. Dimensionamento da linha principal, baseado na análise econômica, método das tentativas simplificado.**

Esse método usa como parâmetros para a escolha dos diâmetros, a análise de custos. Isso não quer dizer que, hidraulicamente, a linha não fique bem dimensionada. Sob o aspecto técnico, a seleção econômica das tubulações de um sistema de irrigação, deve receber tanta consideração quanto a solução hidráulica do problema, BERNARDO (1989).

O método consiste basicamente, em calcular o custo anual total (custo anual fixo + custo anual variável) para cada trecho, usando vários diâmetros. Será escolhido o diâmetro, que propicie o menor custo anual total.

Inicialmente, encontra-se o fator de recuperação de capital, da seguinte forma :

$$FRC = \frac{(1 + TAJ)^{VUT} \cdot TAJ}{(1 + TAJ)^{VUT} - 1} \quad (67)$$

sendo,

FRC - fator de recuperação do capital;

TAJ - taxa anual de juro(decimal);

VUT - vida útil do equipamento.

# LISTA DE SÍMBOLOS :

- Pnom = Pressão nominal (mca);
- ND = No. de diam. comerciais;
- DC[X] = Diâm. Interno comerc. (mm);
- T = Total de nos na L. de derivação;
- So = Declividade da L. de derivação (%);
- CN[I] = Cota de cada nó;
- L = Espaçamento(constante) entre nós (m);
- LT[I] = Espaçamento entre cada nó (m);
- QT[I] = vazão de cada nó (l/h);
- Qa = vazão (m<sup>3</sup>/s);
- V = velocidade (m/s);
- NR = No. de Reynolds;
- Hf = Perda de carga contínua (m);
- DZ[I] = Desnível entre nós (m);
- H[I] = Saldo de pressão no trecho (mca) ;
- Hmin = Saldo de pressão para o diâmetro escolhido p/ o trecho (mca);
- PN[I] = Pressão no nó (mca);
- Pmin = Menor pressão ocorrida na linha de derivação (mca);
- Pmax = Maior pressão ocorrida na linha de derivação (mca);
- Pvar = Variação de pressão na L. de derivação (%);
- DE[I] = Diâmetro escolhido p/ o trecho (mm);

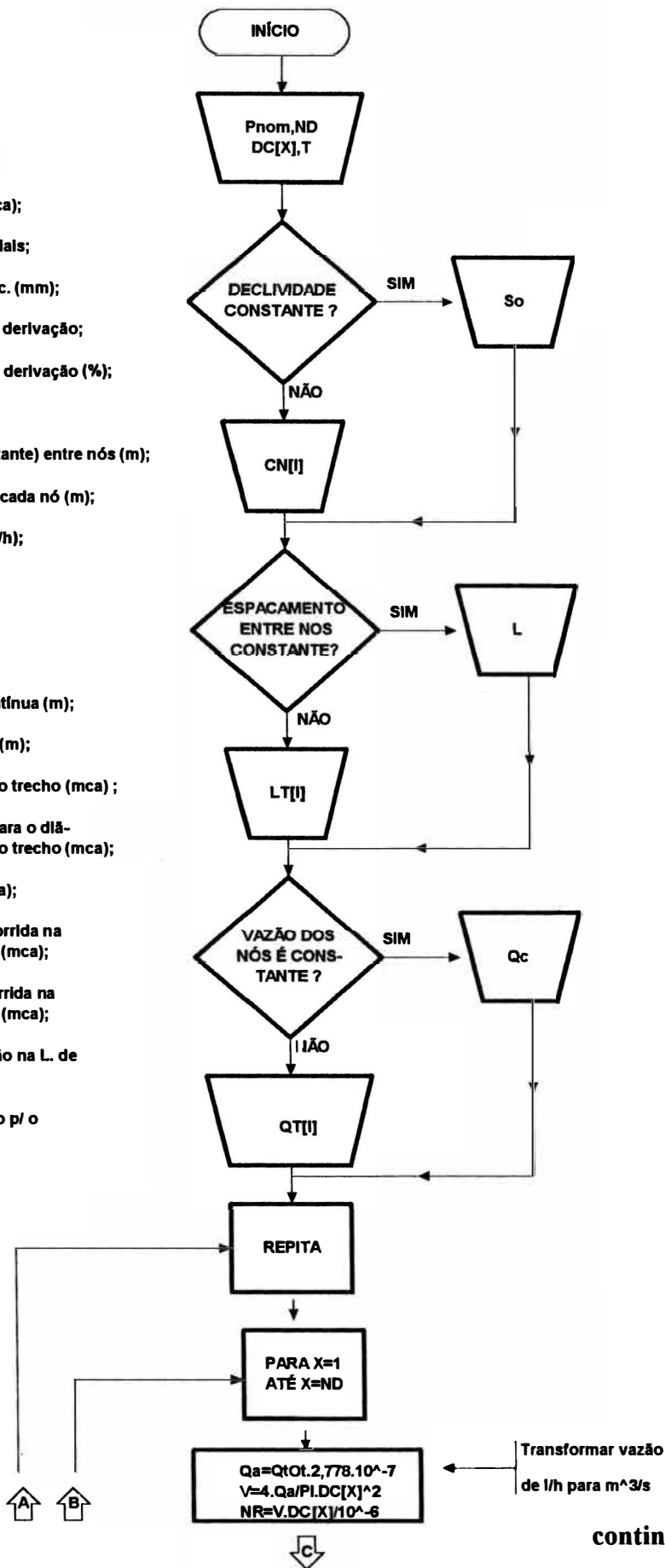
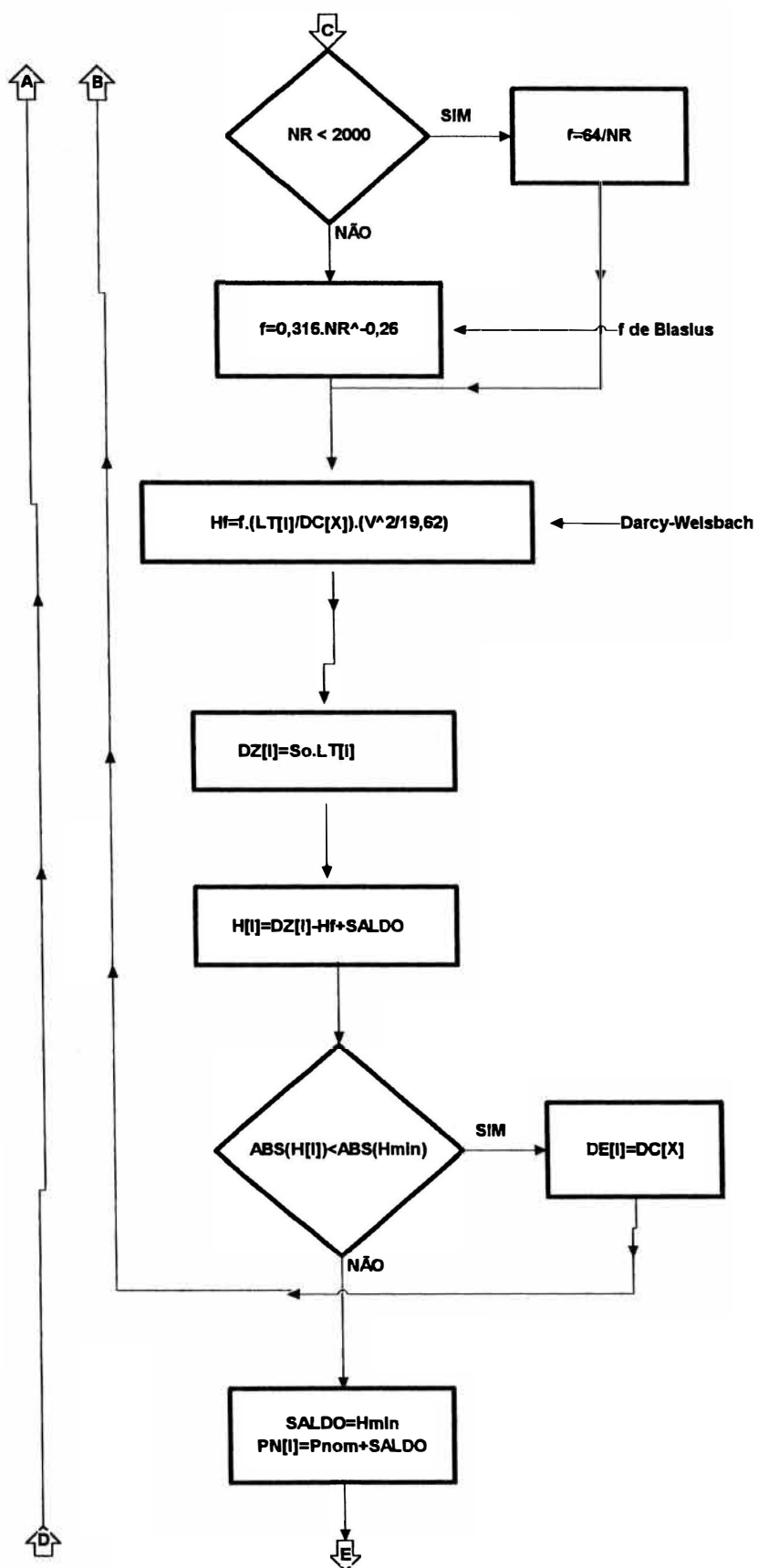


Figura 5 - Fluxograma para dimensionamento da L. de derivação : Método da divisão em trechos





continua...

Figura 5 - Fluxograma para dimensionamento da L. de derivação : Método da divisão em trechos

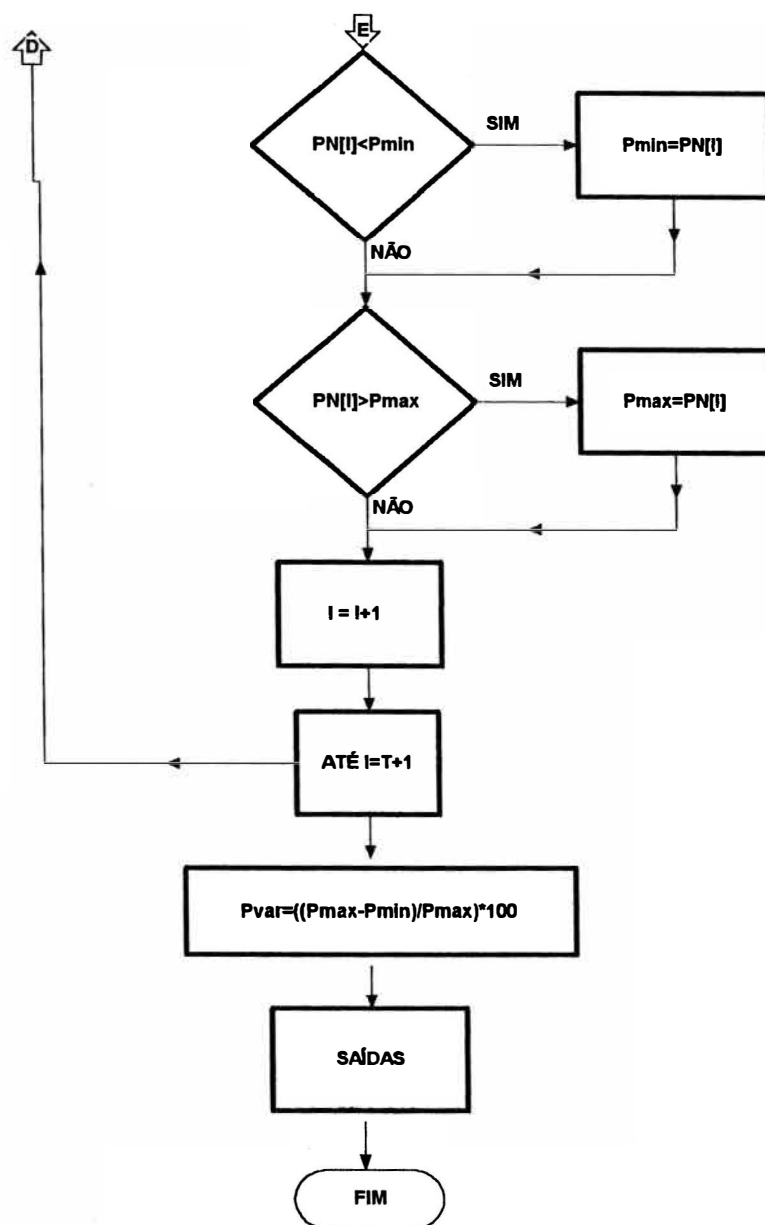


figura 5 - Fluxograma para dimensionamento da L. de derivação : Método da divisão em trechos

Em seguida, calcula-se o custo fixo anual. A equação original, é a seguinte :

$$CFA = (C - R) \cdot FRC \quad (68)$$

sendo,

C - valor do investimento;

R - valor de resgate do equipamento, ao final do período de vida útil.

BERNARDO (1989), comenta que, o valor de resgate do equipamento, para o caso de tubulações, normalmente é considerado como 10% do valor inicial. Mas como se está comparando diferentes diâmetros, pode-se, sem muito erro, desprezar o valor de resgate.

Sendo assim, a equação do custo fixo anual, ficará :

$$CFA = C \cdot FRC \quad (69)$$

Como os cálculos são feitos para cada trecho, o valor do investimento “C” é o valor do metro de tubulação vezes o comprimento do trecho. Ficando a equação do “CFA” da seguinte maneira:

$$CFA = PD \cdot L \cdot FRC \quad (70)$$

sendo,

PD - preço do metro de tubo do diâmetro escolhido(R\$);

L - comprimento do trecho(m);

Para o cálculo da perda de carga é usada a equação de HAZEN-WILLIAMS. Ela é recomendada apenas para escoamento de água a temperatura ambiente e para diâmetros maior ou igual a 50 mm. Difícilmente teremos diâmetros inferiores a 50 mm na linha principal. A equação usada é a seguinte :

$$H_f = 10,646 \cdot \frac{1}{D^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \cdot L \quad (71)$$

sendo,

Hf - perda de carga(m);

D - diâmetro da linha(m);

Q - vazão que passa no trecho(m<sup>3</sup>/s);

C - coeficiente de rugosidade que depende da natureza da parede do tubo (material e estado)(ver Tabelas 1 e 2);

L - comprimento do trecho(m).

Em seguida, calcula-se o custo anual da perda de carga, com a seguinte equação :

$$CHF = \frac{1000. QHf HF ACCV}{75.RMB} \quad (72)$$

sendo,

Chf - custo anual da perda de carga(R\$);

HFA - horas de trabalho do sistema por ano(h/ano);

CCV - custo da energia(R\$/cv.hora);

RMB - rendimento da moto-bomba(decimal).

O custo da energia é calculado de duas maneiras, conforme a energia utilizada no motor. Se for elétrica, a equação é a seguinte :

$$CCV = PKH.0,7357 \quad (73)$$

sendo,

PKH - preço do kilowatt por hora(kwh).

Se for diesel, a equação é a seguinte :

$$CCV = POD.COD \quad (74)$$

sendo,

POD - preço do óleo diesel(R\$/litro);

COD - consumo de óleo diesel(0,22 a 0,32)l/cv.hora.

Por último, calcula-se o custo total anual com a seguinte equação :

$$CT = CFA + CHF \quad (75)$$

sendo,

CT - custo total anual(R\$).

Tabela 1 - Valores do coeficiente “C” de HAZEN-WILLIAMS.

M A T E R I A L	C
Plástico, polietileno, PVC	150
Latão, cobre, chumbo, estanho, chapas de ferro estanhado-novos; cimento amianto; mangueiras de tecido revestido de borracha, de boa qualidade.	140
Alumínio.	135
Aço galvanizado; concreto de acabamento liso; ferro fundido novo; ferro fundido e aço, revestido de cimento liso - novos; latão, cobre, chumbo, estanho.	130
Ferro galvanizado.	125
Concreto de acabamento ordinário; aduelas de madeira lisas; ferro forjado; aço novo com juntas soldadas ou de acoplamento; alumínio com juntas de acoplamento rápido; manilha de argila comum para drenos.	120
Ferro ou aço revestidos de cimento - usados; manilhas de barro vitrificadas, para esgoto; aço rebitado novo.	110
Ferro fundido com 15 anos de uso; alvenaria de tijolos revestidos de cimento liso.	100
mangueiras de tecido sem revestimento de borracha.	90
Tubos corrugados, chapas onduladas; ferro e aço altamente corroídos e incrustados.	60
Ferro fundido, aço rebitado e aço soldado - velhos	Tabela 2

Fonte : CRUCIANI (1993).

Tabela 2 - Valores do coeficiente “C” de HAZEN-WILLIAMS, para tubos de ferro fundido (\*) em função do tempo de uso.

Anos	D I Â M E T R O S													
	4”	6”	8”	10”	12”	14”	16”	18”	20”	24”	30”	36”	42”	60”
0	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
5	117	118	119	120	120	120	120	120	120	120	121	122	122	122
10	106	108	109	110	110	110	111	112	112	112	113	113	113	113
15	96	100	102	103	103	103	104	104	105	105	106	106	106	106
20	88	93	94	96	97	97	98	98	99	99	100	100	100	100
25	81	86	89	91	91	91	92	92	93	93	94	94	94	95
30	75	80	83	85	86	86	87	87	88	89	90	90	90	91
35	70	75	78	80	82	82	83	84	85	85	86	86	87	88
40	64	71	74	76	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
45	60	67	71	73	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81
50	56	63	67	70	71	72	73	73	74	75	76	76	77	78

(\*) Para tubulações de aço :

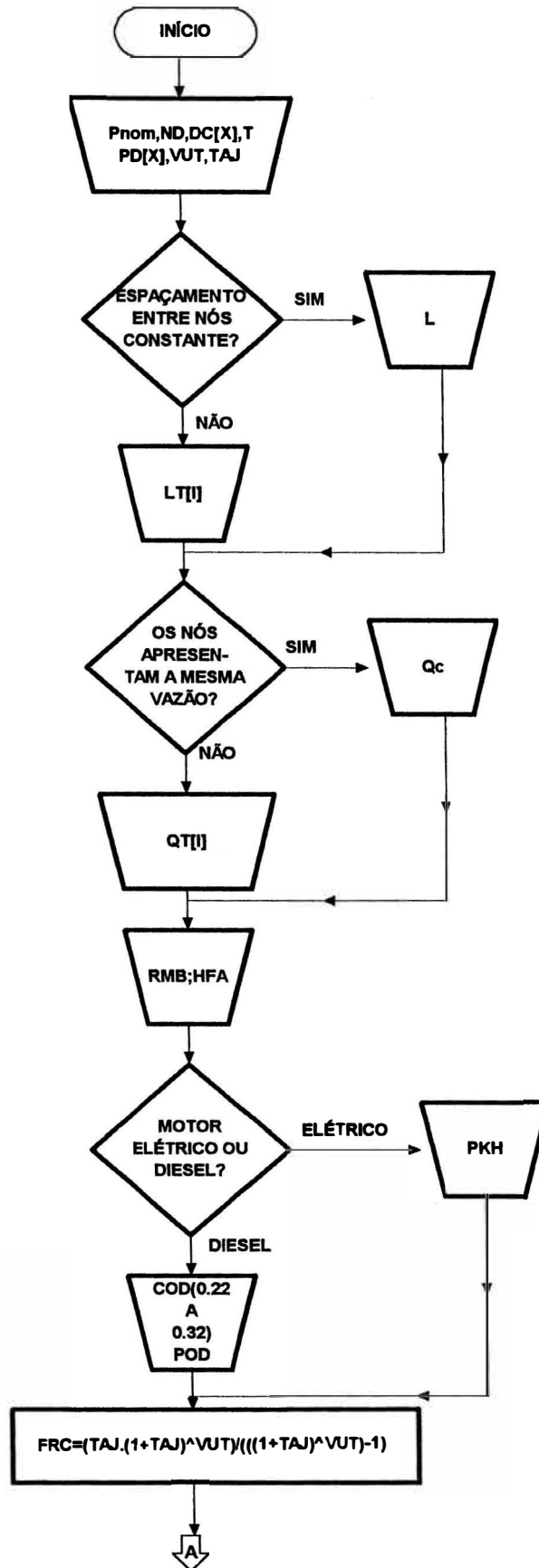
- a ) Soldados : Tomar como valores de “C” , os valores indicados para tubos de ferro fundido 5 anos mais velhos;
- b ) Rebitados : Tomar como valores de “C” , os valores indicados para tubos de ferro fundido 10 anos mais velhos;
- c ) Com revestimento especiais : admitir  $C = 130$ .

Fonte : CRUCIANI (1993).

Todas essas equações, com exceção da “FRC”, são calculadas para cada trecho, usando todos os diâmetros. Para cada trecho, será escolhido o diâmetro que obtenha o menor custo total anual. O fluxograma da Figura 6, mostra todos os passos desses cálculos.

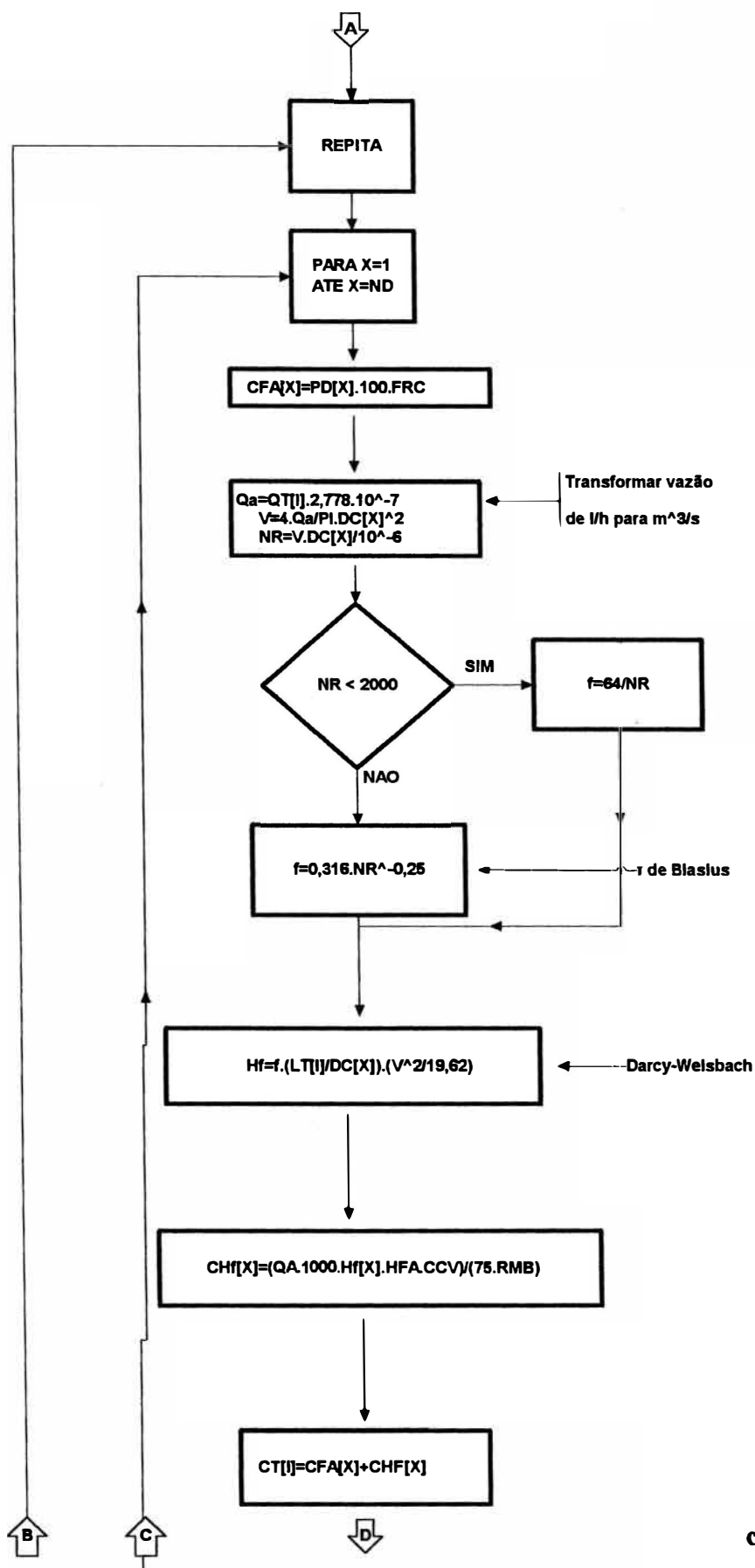
# LISTA DE SIMBOLOS :

- Pnom = Pressão nominal (mca);
- ND = Número de diâmetros p/ usar nos cálculos;
- DC[X] = Diâm. Interno comercial (mm);
- T = Total de nós na L. de derivação;
- PD[X] = Preço/metro tubulação de diâm. x (R\$);
- VUT = Vida útil da tubulacao (anos);
- TAJ = Taxa anual de juros (%);
- L = Espaçamento(constante) entre nós (m);
- LT[I] = Espaçamento entre nós (m);
- QT[I] = Vazão de cada nó (l/s);
- Q1 = Vazão da 1a. lateral (l/s);
- Q2 = Vazão da 2a. lateral (l/s);
- Qa = Vazão (m<sup>3</sup>/s);
- V = Velocidade (m/s);
- NR = No. de Reynolds;
- Hf[X] = Perda de carga contínua (m);
- RMB = Rendimento da motobomba (%);
- HFA = No. de horas de funcionamento/ano (h);
- POD = Preço do óleo diesel (R\$);
- COD = Consumo do óleo diesel;
- PKH = Preço do kWh (R\$);
- FRC = Fator de recuperação de capital;
- CTmin = Custo total mínimo ;
- Qc = Vazão de cada nó (constante) (l/s);
- Chf[X]= Custo da perda de carga;
- CT[I] = Custo total;
- De[I] = Diâm. mais econômico p/ cada trecho (mm).
- CFA = Custo fixo anual;
- CCV = Custo do "cv".



continua...

Figura 6 - Fluxograma para dimensionamento da linha principal : Método das tentativas simplificado



continua...

Figura 6 - Fluxograma para dimensionamento da linha principal : Método das tentativas simplificado



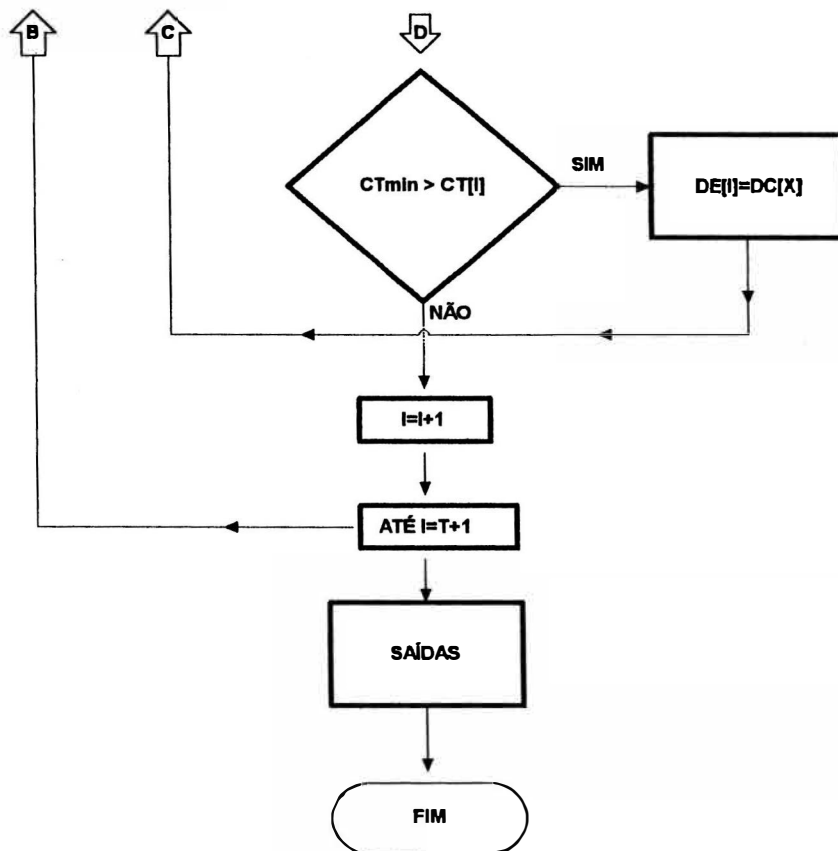


Figura 6 - Fluxograma para dimensionamento da linha principal : Método das tentativas simplificado

### 3.2.4. Escolha do conjunto moto-bomba

A seguir, será mostrado a seqüência de cálculos para a escolha do conjunto moto-bomba. Para a bomba, é fornecido a altura manométrica total e a vazão total bombeada, para se escolher em catálogos de fabricantes. É fornecido também a potência do motor.

O primeiro passo, consiste em achar a altura manométrica total, que é encontrada com a seguinte equação :

$$H_{man} = H_s + h_{cs} + h_{ls} + H_r + h_{cr} + h_{lr} + P_c \quad (76)$$

sendo,

$H_{mam}$  - altura manométrica total(mca);

$H_s$  - altura geométrica na sucção(m);

$h_{cs}$  - perda de carga contínua na sucção(m);

$h_{ls}$  - perda de carga localizada na sucção(m);

$H_r$  - altura geométrica no recalque(da bomba ao cabeçal)(m);

$h_{cr}$  - perda de carga contínua no recalque(m);

$h_{lr}$  - perda de carga localizada no recalque(m);

$P_c$  - pressão necessária na entrada do cabeçal(mca).

Em seguida, calcula-se a potência útil e posteriormente a potência absorvida pela bomba, com as seguintes equações

$$P_u = \frac{Q_b \cdot H_{man}}{75} \quad (77)$$

sendo,

$P_u$  - potência útil da bomba(cv);

$Q_b$  - vazão bombeada(l/s).

A potência absorvida é encontrada dividindo “ $P_u$ ” pela eficiência da bomba, como é mostrado a seguir :

$$P_a = \frac{P_u}{E_b} \quad (78)$$

sendo,

$P_a$  - potência absorvida pela bomba ou potência necessária no eixo da bomba (cv);

$E_b$  - eficiência da bomba(decimal).

Com a potência necessária no eixo da bomba, chega-se a potência do motor pela seguinte equação :

$$P_m = P_a \cdot f \quad (79)$$

sendo,

$P_m$  - potência do motor, calculada(cv);

$f$  - fator que depende da “ $P_a$ ” (Tabela 3).

É importante ressaltar que, nem sempre a “ $P_m$ ” calculada, coincide com a potência dos motores disponíveis no mercado. Diante disso, o programa escolhe o motor com potência nominal, imediatamente superior a potência calculada. Potência esta, padronizada pela ABNT.

A metodologia de cálculos, está descrita no fluxograma da Figura 7.

## \* LISTA DE SÍMBOLOS :

$H_s$  = Altura geométrica de sucção (m);

$h_{cs}$  = Perda de carga contínua da sucção (m);

$h_{ls}$  = Perda de carga localizada na sucção (m);

$H_r$  = Altura geométrica de recalque (bomba->cabecal) (m);

$h_{cr}$  = Perda de carga contínua no recalque (m);

$h_{lr}$  = Perda de carga localizada no recalque (m);

$P_c$  = Pressão necessária na entrada do cabecal (mca);

$Q_b$  = Vazão bombeada (l/s);

$E_b$  = Eficiência da bomba (%);

$H_{man}$  = Altura manométrica total (m.c.a.);

$P_u$  = Potência útil (cv);

$P_a$  = Potência aplicada no eixo da bomba(cv);

$P_m$  = Potência do motor escolhida (comercial)(cv);

$P_{mc}[i]$  = Potência do motor pré-definida (comercial)(cv);

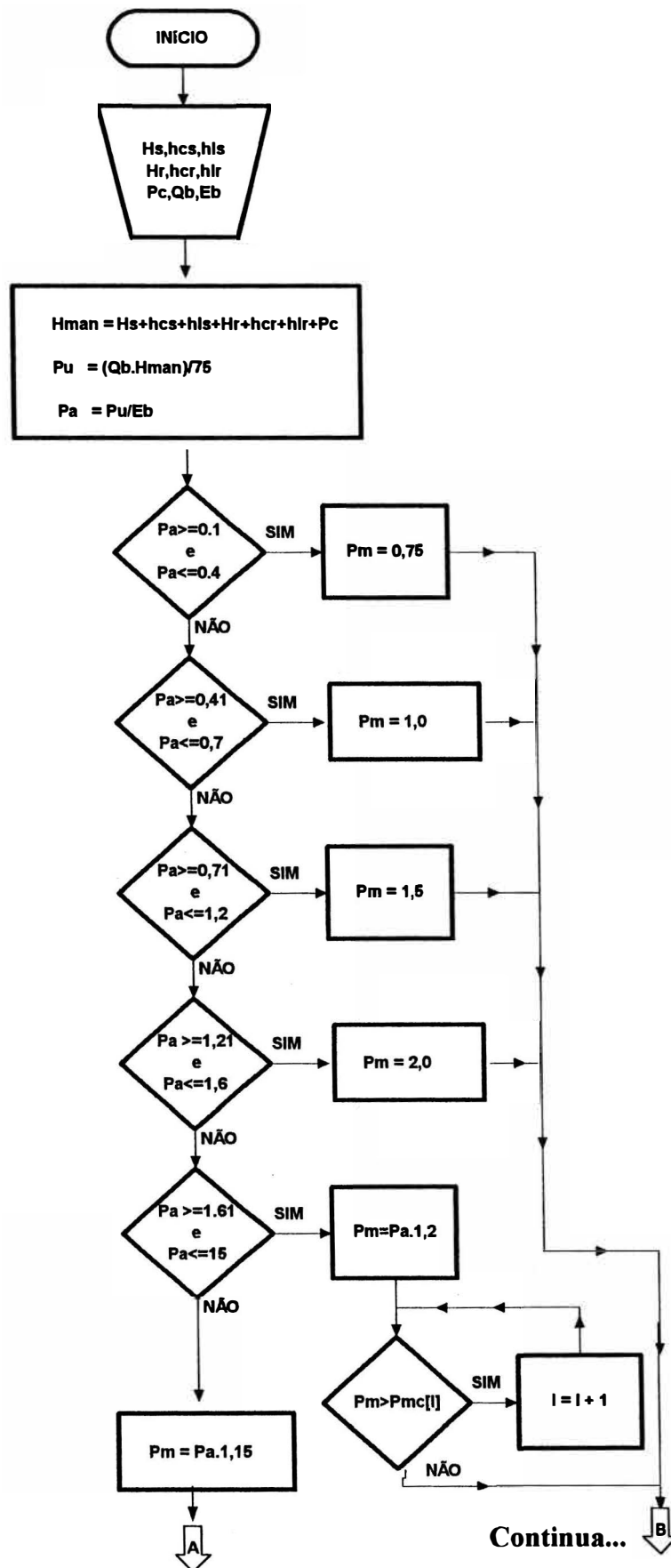
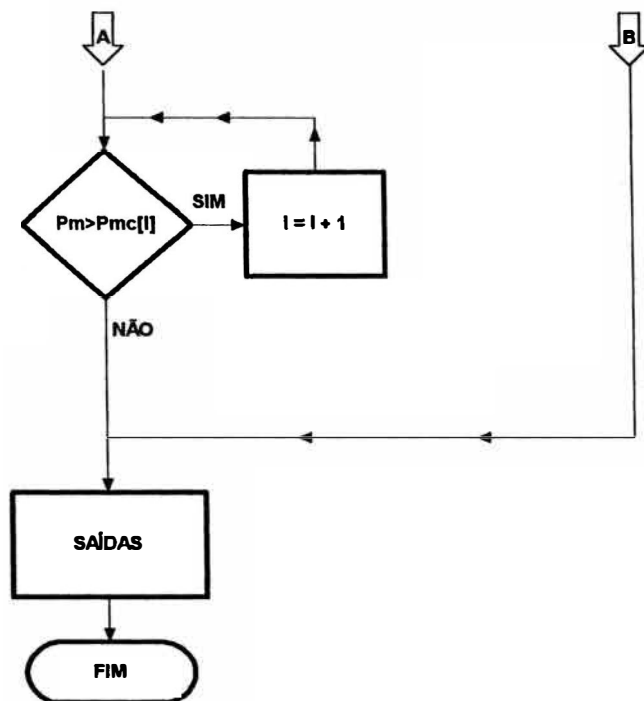


Figura 7 - Fluxograma para escolha do conjunto moto-bomba



**Figura 7 - Fluxograma para escolha do conjunto moto-bomba**

Tabela 3 - Fator “F” de acréscimo na potência calculada do motor e potências nominais(cv) padronizadas pela ABNT.

<b>M O T O R E S   E L É T R I C O S</b>	
<b>CAPACIDADE DE ACIONAMENTO NECESSÁRIA</b>	
Consumo da bomba	Capacidade mínima do motor
0,10 até 0,40 HP	0,75 HP
0,41 até 0,70 HP	1,00 HP
0,71 até 1,20 HP	1,50 HP
1,21 até 1,60 HP	2,00 HP
acima de 1,60 até 15,00 HP	20 % a mais
acima de 15,00 HP	15 % a mais

**Potências nominais (cv) padronizadas, segundo ABNT - PB 38 de 1970**

1/12 - 1/8 - 1/6 - 1/4 - 1/3 - 1/2 - 3/4 - 1 - 1,5 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7,5 - 10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 - 100 - 125 - 150 - 200 - 250 - 300 - 350 - 425 - 475 - 530 - 600 - 675 - 750 - 850 - 950.

Fonte : CRUCIANE (1993)

### 3.3. Manejo da irrigação

Neste item, é mostrada a seqüência de cálculos usados para realização do balanço hídrico. Para a estimativa da evapotranspiração é usado o tanque classe “A”, embora em qualquer dia, a umidade atual do solo possa ser corrigida a partir de qualquer método de determinação de umidade ou pelo tensiômetro.

Inicialmente, encontra-se a capacidade total d’água do solo pela seguinte equação:

$$CTA = \frac{U_{cc} - U_{pmp}}{10} \cdot Z_e \cdot D_a \cdot \frac{P}{100} \quad (80)$$

sendo,

CTA - capacidade total de água do solo(mm);

Ucc - umidade na capacidade de campo, em peso(%);

Upmp - umidade no ponto de murcha permanente, em peso(%);

Ze - profundidade efetiva do sistema radicular(cm);

Da - densidade aparente do solo(g/cm<sup>3</sup>);

P - porcentagem de área molhada, em relação a área total irrigada (%).

Em seguida, encontra-se a capacidade real de água no solo; como se segue :

$$CRA = CTA.f \quad (81)$$

sendo,

CRA - capacidade real de água no solo(mm);

f - fator de água disponível;

Para encontrar a umidade crítica, usa-se a equação seguinte :

$$Uc = Ucc - \frac{10.CRA}{Da.Ze} \quad (82)$$

sendo,

Uc - Umidade crítica, em peso(%);

A disponibilidade de água no início do balanço, é calculada pela equação que se segue :

$$DAI = \frac{Ui - Uc}{10} . Da.Ze \quad (83)$$

sendo,

DAI - disponibilidade de água no início do balanço(mm);

U<sub>i</sub> - umidade do solo no início do balanço, em peso(%).

A evapotranspiração de uma cultura, pode ser estimada por diferentes metodologias. A utilização do lisímetro, o balanço de água no solo, podem ser considerados como métodos diretos de determinação da evapotranspiração.

Conforme DOORENBOS e KASSAN (1979), o método do “tanque classe A”, e as equações empíricas de Blaney-Criddle, Hargreaves, Thornthwaite e o balanço de energia combinado com a forma aerodinâmica, proposta por Penman são considerados como métodos indiretos.

Após comparar 9 metodologias para estimar a evapotranspiração, Stanhill<sup>2</sup>, citado por SAAD (1991) recomendou o “tanque classe A” para estimativas do consumo de água, por apresentar-se como um método preciso, prático, econômico e capaz de fornecer valores que refletem os processos meteorológicos envolvidos na evapotranspiração.

Baseado nesses argumentos, é que se optou pelo “tanque classe A” como meio de determinação da evapotranspiração de referência.

Porém, por se tratar de um método indireto, onde usa-se alguns coeficientes de ajustes, até a determinação da evapotranspiração da cultura, o tanque poderá sobre ou subestimar a evapotranspiração, erro esse, que irá se acumulando no decorrer dos dias. Para contornar esse problema, é necessário fazer periodicamente a correção da evapotranspiração através de tensiômetros ou de qualquer outro método de determinação da umidade do solo. Possibilita-se com isso que, com o tempo, o tanque seja calibrado para as condições locais.

A evapotranspiração de referência, é calculada pela seguinte expressão

$$E_{To} = K_p \cdot E_{CA} \quad (84)$$

---

<sup>2</sup> STANHILL, G. A comparison of methods of calculating potencial evapotranspiration from climatic data. Israel, *Journal Agricultural Research*, Bet-Dagan, 11(3/4): 158-71, 1961.



Tabela 4 - Valores do coeficiente do tanque "Classe A" (Kp), em função dos dados meteorológicos da região e do meio em que ele está instalado.

		EXPOSIÇÃO A			EXPOSIÇÃO B			
		Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo nu			
UR(%) média		Baixa < 40%	Média 40-70%	Alta > 70%	Baixa < 40%	Média 40-70%	Alta > 70%	
Vento (Km/dia)	Posição do tanque R(m)*				Posição do tanque R(m)*			
Leve < 175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Mode- rado 175-425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 700	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Fonte : DOORENBOS & PRUITT (1977).

OBS.: Para extensas áreas de solo nu, reduzir os valores de Kp em 20%, em condições de alta temperatura e vento forte, e de 5 a 10% em condições de temperatura, vento e umidade moderados.

\* Por R(m), entende-se a menor distância(m) do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

sendo,

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência(mm);

K<sub>p</sub> - coeficiente do “tanque classe A(Tabela 4);

ECA - evaporação do “tanque classe A”(mm).

A seguir, encontra-se a evapotranspiração máxima da cultura, pela seguinte equação :

$$ET_m = K_c \cdot ET_o \quad (85)$$

sendo,

ET<sub>m</sub> - evapotranspiração máxima da cultura(mm);

K<sub>c</sub> - coeficiente da cultura;

O valor do “K<sub>c</sub>” depende da cultura e das condições climáticas locais. Quanto maior for a demanda evapotranspirométrica local, maior deverá ser o valor de “K<sub>c</sub>” para determinada cultura.

Para a irrigação localizada, existe mais um coeficiente de correção da evapotranspiração. Esse coeficiente foi introduzido, por considerar que, na irrigação localizada, somente parte do solo será irrigado, enquanto que nos demais métodos, como aspersão convencional e por superfície, irriga-se toda a área. O coeficiente é calculado pela porcentagem da área sombreada, a partir da projeção horizontal da copa das árvores e pelo espaçamento entre as plantas ou área total.

Optou-se, pela equação KELLER e KARMELI (1974) sugerida por VERMEIREN e JOBLING (1980), que é a seguinte :

$$K_r = \frac{GC}{0,85} \quad (86)$$

sendo,

$K_r$  - coeficiente de cobertura;

$GC$  - porcentagem de área coberta em relação a área total(%).

Para projeto, é recomendado valores entre 60% e 100% para “ $GC$ ”.

A evapotranspiração para a irrigação localizada, é calculada da seguinte maneira :

$$ET_g = K_r \cdot ET_m \quad (87)$$

sendo,

$ET_g$  - evapotranspiração para a irrigação localizada(mm).

A disponibilidade de água no final do dia, é calculada pela seguinte expressão :

$$DA_f = DA_i + PP + (L_{ba} \cdot E_f) - ET_g \quad (88)$$

sendo,

$DA_f$  - disponibilidade de água final(mm);

$PP$  - precipitações ocorridas no dia(mm);

$L_{ba}$  - lâmina bruta de irrigação aplicada(mm).

Se a “ $DA_f$ ” for maior do que a capacidade real de armazenamento, calcula-se o excesso e a “ $DA_f$ ” passa a ser a própria “ $CRA$ ”, ou seja, o solo não pode armazenar mais do que sua capacidade e ele fica na capacidade de campo. O excesso de água é calculado da seguinte maneira :

$$Ex = DA_f - CRA \quad (89)$$

sendo,

Ex - excesso de água aplicada(mm).

Finalmente, calcula-se a lâmina de irrigação e o tempo de irrigação recomendados. A lâmina é calculada da seguinte maneira :

$$Lir = \frac{CRA - DAR}{Ef} \quad (90)$$

sendo,

Lir - lâmina bruta de irrigação recomendada para levar o solo a capacidade de campo(mm).

O tempo de irrigação recomendado, é calculado pela seguinte expressão :

$$Tir = \frac{Lir \cdot e \cdot El}{q} \quad (91)$$

sendo,

Tir - tempo de irrigação necessário para levar o solo a capacidade de campo(h);

e - espaçamento entre emissores(m);

El - espaçamento entre linhas laterais(m);

q - vazão do emissor(l/h).

Existem duas maneiras de se fazer a correção da “DAF”. A primeira é via tensiômetro e a segunda é entrando diretamente com a umidade, encontrada através de qualquer método de determinação de umidade do solo.

Para obter a umidade do solo via tensiômetro, é usada a equação de VAN GENUCHTEN (1980). A equação é a seguinte :

$$U_a = U_{pmp} + \frac{U_s - U_{pmp}}{\left[1 + (a \cdot |PMa|)^n\right]^m} \quad (92)$$

sendo,

$U_a$  - umidade atual do solo, em volume(%);

$U_s$  - umidade do solo na saturação, em volume(%);

$PMa$  - potencial matricial atual(cm  $H_2O$ );

$a, m, n$  - parâmetros empíricos da equação de Van Genuchten.

$$U_a = \frac{U_a}{D_a} \quad (93)$$

sendo,

$U_a$  - umidade atual do solo, em peso(%).

A umidade na saturação( $U_s$ ) e no ponto de murcha permanente( $U_{pmp}$ ), foram multiplicadas pela densidade aparente( $D_a$ ), para ficarem a base de volume em porcentagem(%), como requer a equação.

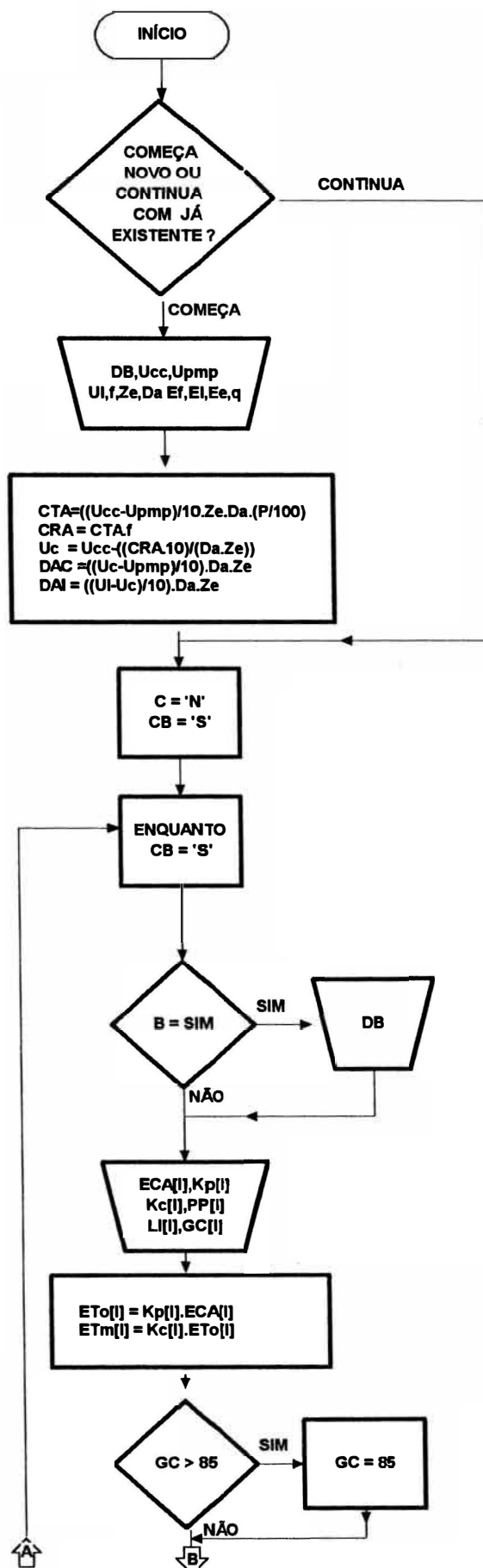
Quando se faz a correção da “DAP”, possibilita-se a correção da disponibilidade de água do dia seguinte. Por isso a equação é expressa da seguinte forma :

$$DA_i = \frac{U_a - U_c}{10} \cdot D_a \cdot Z_e \quad (94)$$

O fluxograma da figura 8, mostra toda a seqüência de cálculos para o Manejo da irrigação.

## \* LISTA DE SÍMBOLOS :

Da = Densidade aparente do solo (g/cm<sup>3</sup>);  
 ECA= Evaporação do tanque classe A (mm);  
 Kc = Coef. da cultura;  
 Kp = Coef. do tanque;  
 Kr = Coef. p/ Irrig. localizada  
 GC = Fator de cobertura(%);  
 ETg = Evapotranspl. p/ Irrig. local.(mm);  
 PP = Precipitações(mm);  
 Lba = Lâmina bruta de irrigação aplicada (mm);  
 Ze = Prof. efetiva do sistema radicul.(mm);  
 CTA = Cap. total d'água do solo(mm);  
 CRA = Cap. real d'água do solo(mm);  
 DAC = Disponibilidade d'água crítica(mm);  
 DAI = Disponibilidade d'água Inicial(mm);  
 DAA = Disponibilidade d'água atual(mm);  
 f = Fator de água disponível;  
 Ef = Eficiência da irrigação(%);  
 Ee = Espaçamento entre emissores(m);  
 Ei = Espaçamento entre laterais(m);  
 q = Vazão do emissor(l/h);  
 TI = Tempo de irrigação(h).  
 Ucc = Umidade na cap. de campo, em peso(%);  
 Upmp = Umidade no P. de murcha permanente, em peso(%);  
 P = Porcentagem de área molhada (%);  
 UI = Umidade Inicial, em peso(%);  
 Uc = Umidade crítica, em peso(%);  
 ETo = Evapotranspiração de referência(mm);  
 ETm = Evapotranspiração máxima da cultura(mm);  
 DB = Data do balanço;  
 a,m,n = Parâmetros empíricos da eq. de VAN GENUCHTEN;  
 Us = Umidade do solo na saturação, em peso (%);  
 PMI = Potencial Matricial inicial (cm H<sub>2</sub>O);  
 PMA = potencial Matricial atual (cm H<sub>2</sub>O);  
 PMc = Potencial matricial crítico (cm H<sub>2</sub>O);  
 Ex = Excesso de água a ser drenada (mm);  
 Lir = Lâmina de irrigação recomendada (lâmina bruta) (mm);  
 Tir = Tempo de irrigação recomendado(h)  
 CB = Continua balanço ?;  
 C = Fazer correção da Daf ?  
 B = Continua balanço;



continua...

Figura 8 - Fluxograma para manejo da irrigação

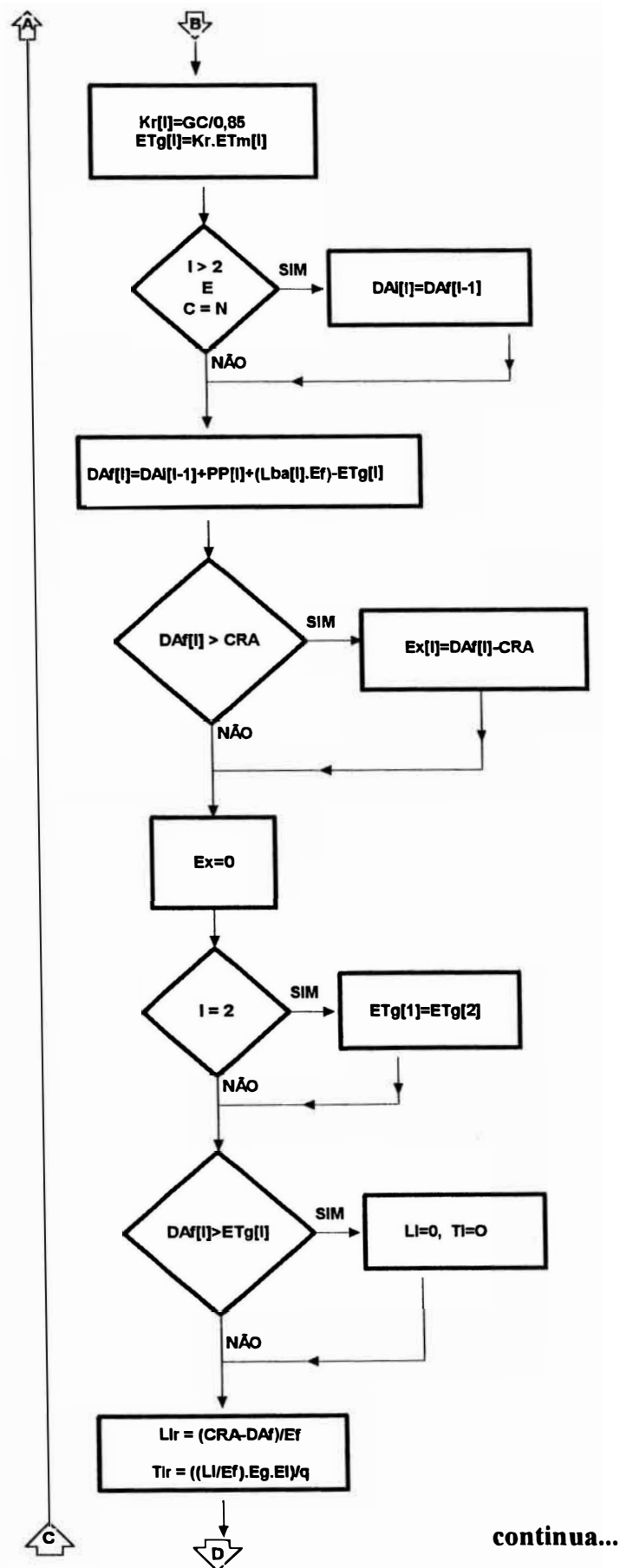


Figura 8 - Fluxograma para manejo da irrigação.

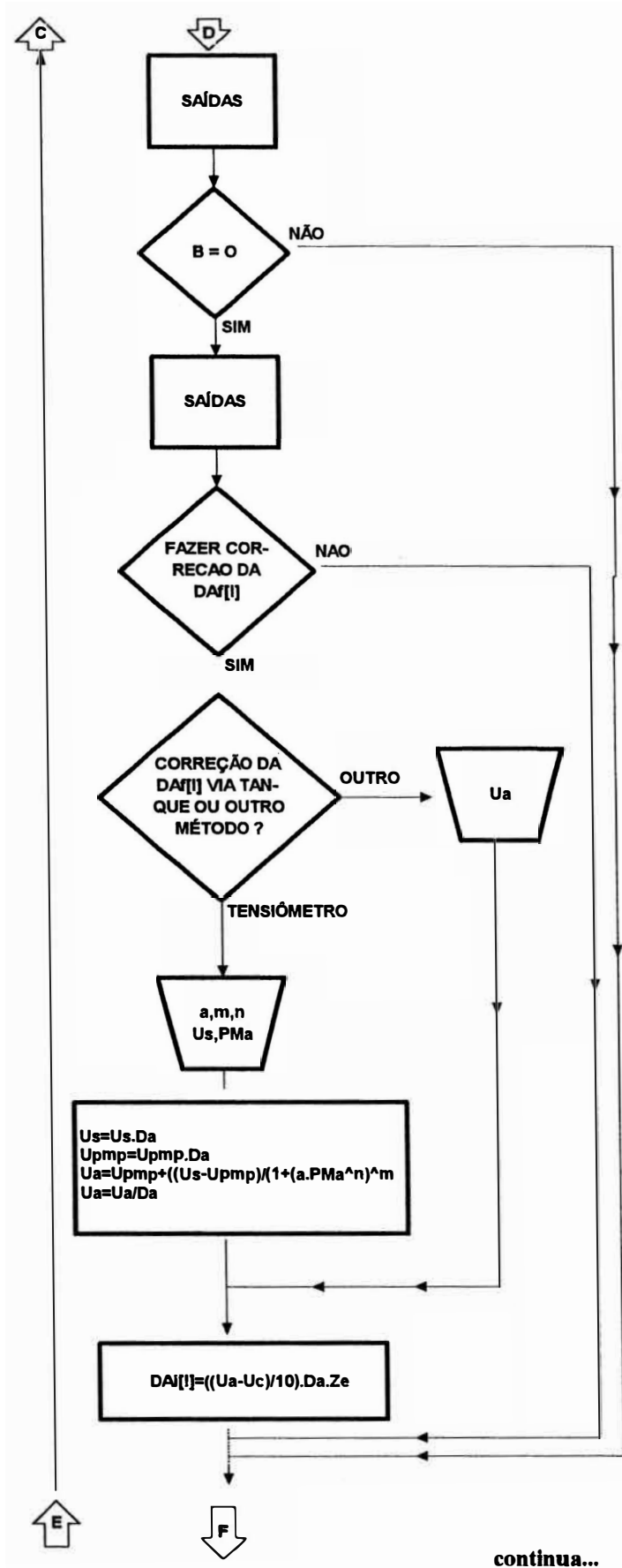
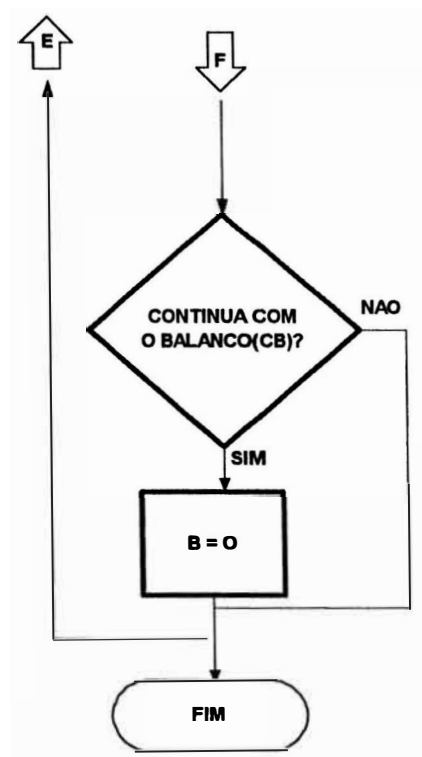


Figura 8 - Fluxograma para manejo da irrigação.





**Figura 8 - Fluxograma para manejo da irrigação.**

## 4. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

Este software, destina-se a profissionais que trabalham mais especificamente, no dimensionamento e manejo da irrigação localizada.

Desde o início, teve-se sempre a preocupação de se fazer um programa de fácil compreensão e utilização, dispensando com isso, conhecimentos maiores em informática. Mas sendo indispensável, o conhecimento da teoria aplicada na elaboração do software.

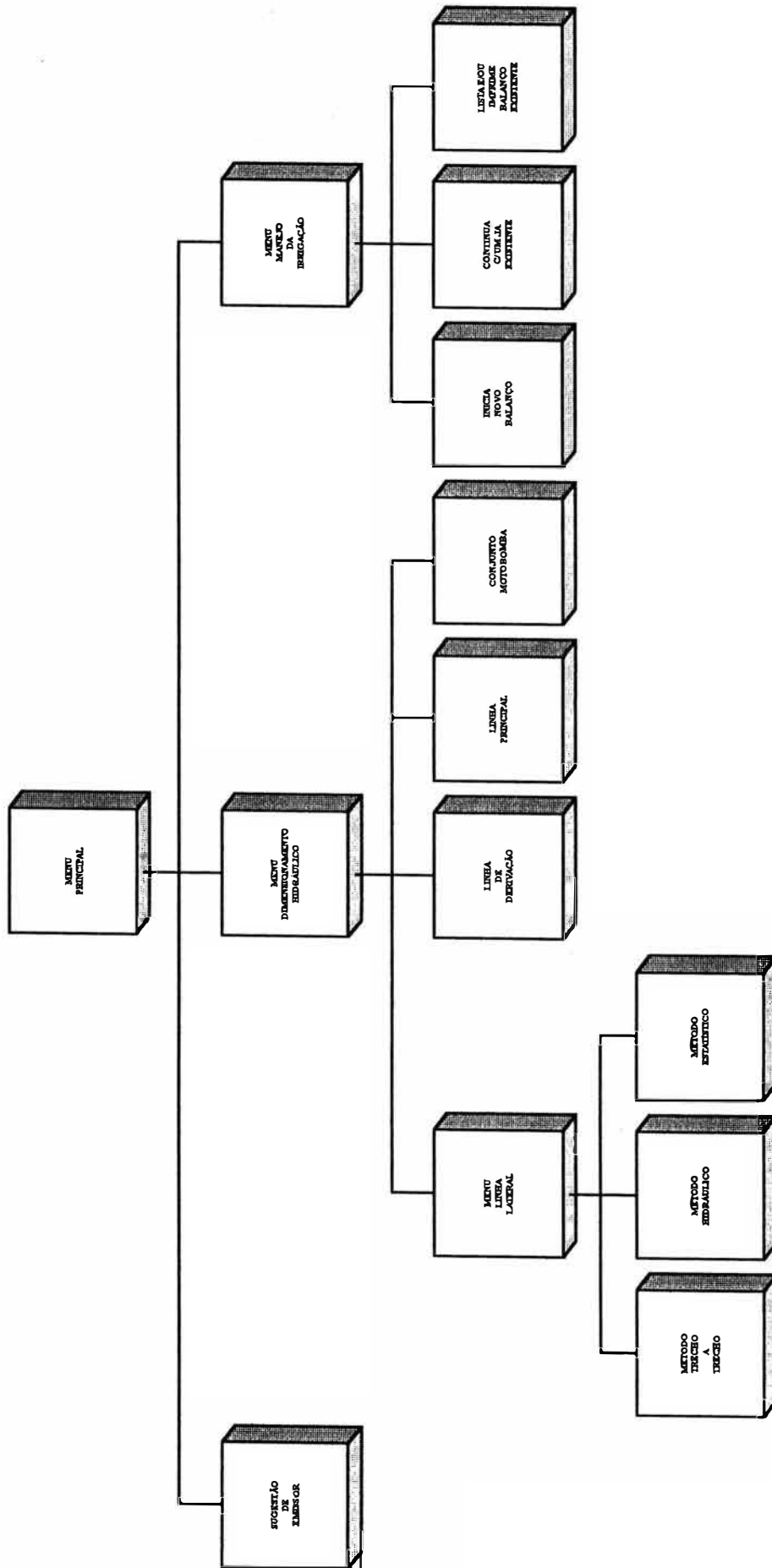
O software foi desenvolvido em linguagem de programação TURBO PASCAL versão 6.0. Sendo possível sua utilização em microcomputadores do tipo IBM PC XT/AT ou compatíveis.

O nome do arquivo executável é, **IRRILOC.EXE**. Portanto, para iniciar a operação, basta digitar seu nome a partir do “drive” onde ele esteja e apertar a tecla “enter”. Por exemplo: A:\>IRRILOC <ENTER>.

O software é constituído de três módulos principais de processamento, sendo que, dois deles, possuem níveis inferiores que se subdividem. Na Figura 9, estão representados os módulos do software e seus níveis de processamento.

### 4.1 Descrição dos módulos

A seguir, serão descritos individualmente todos os módulos que compõem o programa.



**Figura 9 - Esquema de processamento do sistema.**

#### **4.1.1. Módulo : Seleção do emissor**

Esse módulo dá sugestão de emissor, utilizando-se da metodologia descrita no item 3.1.

#### **4.1.2. Módulo : Dimensionamento hidráulico**

Esse módulo, se subdivide em outros quatro módulos, que serão descritos a seguir.

##### **4.1.2.1. Módulo : Dimensionamento da linha lateral**

Esse módulo, também se subdivide em outros três módulos, que serão descritos a seguir.

##### **4.1.2.1.1. Módulo : Dimensionamento da linha lateral pelo método trecho a trecho**

Esse módulo, utiliza a metodologia descrita no item 3.2.1.1. Tem como objetivo, calcular o comprimento máximo da linha lateral, dando também as seguintes informações: pressão mínima na linha, local onde essa pressão ocorre, menor vazão, vazão total da linha, vazão no primeiro e no último emissor e velocidade máxima. Em seguida, solicita o comprimento de projeto, recalcula, e volta a apresentar as informações para esse novo comprimento.

#### **4.1.2.1.2. Módulo : Dimensionamento da linha lateral pelo método hidráulico**

Esse módulo, utiliza a metodologia descrita no item 3.2.1.2. Tem como objetivo, calcular o comprimento máximo da linha lateral, dando também a pressão média, local onde essa pressão ocorre, número de emissores e tipo de perfil.

#### **4.1.2.1.3. Módulo : Dimensionamento da linha lateral pelo método estatístico**

Esse módulo, utiliza a metodologia descrita no item 3.2.1.3. Tem como objetivo, calcular o comprimento máximo da linha lateral, dando também o coeficiente de variação de pressão, perda de carga na linha, pressão média de operação, número de emissores e vazão total da linha.

#### **4.1.2.2. Módulo : Dimensionamento da linha de derivação pelo método da divisão em trechos**

Esse módulo, dimensiona a linha de derivação, sugerindo diâmetro para todos os trechos com um mínimo de variação de pressão ao longo dela. Utilizando-se da metodologia descrita no item 3.2.2.

#### **4.1.2.3. Módulo : Dimensionamento da linha principal**

Esse módulo, dimensiona a linha principal, utilizando-se da metodologia descrita no item 3.2.3.

#### **4.1.2.4. Módulo : Escolha do conjunto moto-bomba**

Esse módulo, dá a vazão total do projeto e a altura manométrica total para a escolha da bomba pelo usuário, solicita o rendimento da bomba escolhida e forenece a potência do motor(comercial), utilizando-se da metodologia descrita no item 3.2.4.

#### **4.1.3. Módulo : Manejo da irrigação**

Esse módulo, realiza o balanço hídrico de uma ou mais culturas irrigadas, utilizando-se da metodologia descrita no item 3.3.

## 5. UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE

Em anexo, acompanha um disquete com o programa executável. Para inicializá-lo, introduza o disquete no drive do computador e digite **IRRILOC <ENTER>**, a partir do drive onde o mesmo se encontra, aguarde um momento enquanto o programa é carregado para a memória.

A operação e deslocamento dentro do programa é bastante simples, pois é utilizado as setas para a seleção de opções e o teclado numérico para a entrada de dados. O programa oferece mensagens informativas sobre procedimentos e significados das opções selecionadas.

A tela do programa é dividida em três áreas : a primeira, é a parte superior da tela, constituída de três pequenas janelas, cada uma contendo uma informação, entre estas a data corrente e a hora em tempo real; a segunda, é a parte central, que é uma janela maior, onde estão os “menus” e as janelas de entradas e saídas de dados. E finalmente, a terceira, é a parte inferior da tela, que é uma pequena janela destinada a apresentação de mensagens informativas e em alguns módulos, são feitas perguntas nesta área. Na parte superior desta última janela, tem escrito o significado de algumas teclas.

Ao acessar o programa, é mostrada a tela de apresentação do sistema **IRRILOC** (Figura 10).

Em seguida, tecele **<BARRA DE ESPAÇO>** para continuar, e então é mostrado o **MENU PRINCIPAL** (Figura 11) , contendo quatro opções. A primeira opção, dá acesso ao módulo seleção do emissor, a segunda ao módulo dimensionamento hidráulico, a terceira, dá acesso ao módulo manejo da irrigação e a última encerra o programa.



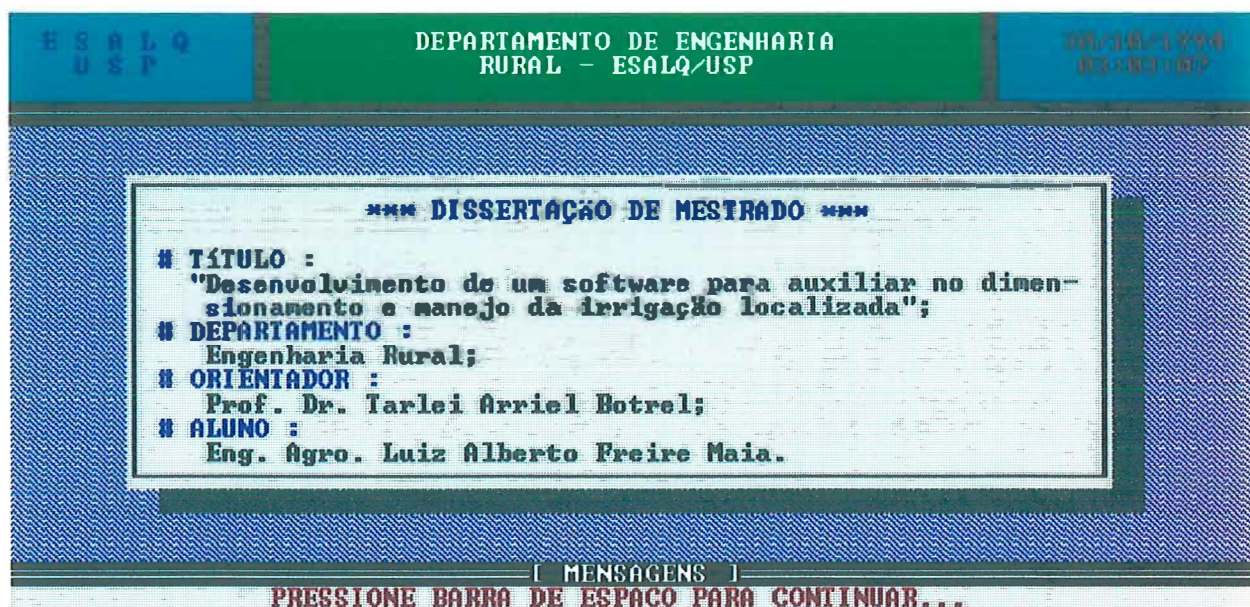


Figura 10 - Tela de apresentação do sistema.



Figura 11 - Menu principal.



As opções podem ser selecionadas através de um cursor luminoso(verde) que se movimenta verticalmente entre elas ou pelas suas letras iniciais(vermelhas). No caso da seleção ser feita via cursor, tem-se que, em seguida, apertar a tecla “enter”. Para se deslocar entre as opções, use : **Seta para baixo**, **Seta para cima**, **PgUp** e **PgDn**. É importante observar que, a medida que o cursor se desloca sobre as opções, uma frase é mostrada na área de mensagens, dando maiores informações sobre a opção escolhida.

A seguir, serão vistos cada módulo separadamente. Quando a opção escolhida implicar em uma série de outras opções, um outro “menu” será apresentado e assim por diante.

### **5.1. Seleção do emissor**

Ao escolher essa opção, aparecerá uma “**Janela de entrada de dados**”, solicitando a entrada de uma série de informações para a realização dos cálculos. Se alguma(s) dessas informações solicitadas, forem dados pré-definidos ao invés de números (Ex. uma pergunta para responder se “sim” ou “não”), basta teclar <TAB> para escolher a opção desejada. Na entrada de números, não precisa entrar com a vírgula, pois ela já está disponível. Quando um número a ser entrado, tiver somente duas casas decimais e no campo seja possível a entrada de até quatro, deve-se entrar o número e completar as duas últimas casas decimais com zero. O mesmo é feito, quando se deseja entrar um número inteiro e o campo possui duas casas decimais. Digita-se o número e mais dois zeros para preencher as casas decimais e deslocar os números entrados, para a esquerda da vírgula.

O deslocamento dentro da janela, é feito através das setas para cima e para baixo, PgUp, PgDn ou com a tecla <enter>. Se, após a entrada dos dados, se verificar que um número foi digitado erradamente, use as setas para deslocar o cursor até o campo que contém o número errado e aperte a tecla <DEL> quantas vezes seja necessário para apaga-lo, em seguida entre o número correto. Se a qualquer momento, desejar suspender a entrada de dados, tecla <ESC> e voltará para o “menu principal” ou para a janela

anterior. Depois de ter entrado todos os dados, tecele <CTRL> <END> simultaneamente, para que os cálculos sejam realizados.

Após ter teclado <CTRL> <END>, aparecerá uma “**Janela de saídas**” com os resultados dos cálculos. Depois de analisar os resultados, uma pergunta será feita na área de mensagens, se deseja ou não imprimir os resultados obtidos. A resposta deverá ser dada, teclando a letra “S” ou “N”. Esse procedimento é válido para todas as perguntas que forem feitas na área de mensagens, ou seja, a escolha da opção, é feita teclando a letra que está em destaque. Em alguns módulos, a impressão trás bem mais informações do que foi mostrado na tela, isso ocorre devido a falta de espaço na tela, onde são mostrados apenas os dados mais importantes.

Caso deseje imprimir os resultados e a impressora não esteja preparada ou desligada, soará um som e irá aparecer uma mensagem avisando que a “impressora não está pronta” e pergunta se “tenta imprimir novamente ou se cancela”. Se a resposta for “cancela”, o módulo será suspenso e volta para o “menu principal”, esse procedimento é idêntico para todos os demais módulos.

## **5.2. Dimensionamento hidráulico**

Esse módulo dá acesso ao “**MENU DIMENSIONAMENTO**” (Figura 12) com cinco opções, sendo que a última volta ao “**MENU PRINCIPAL**”, as demais opções serão mostradas a seguir.

### **5.2.1. Linha lateral**

Essa opção, dá acesso ao “**MENU LINHA LATERAL**” (Figura 13) contendo quatro opções, sendo que a última opção volta ao “**MENU DIMENSIONAMENTO**”, as demais serão descritas a seguir.





Figura 12 - Menu Dimensionamento.



Figura 13 - Menu Linha Lateral.

### 5.2.1.1 Linha lateral : Método trecho a trecho

Ao escolher essa opção, irá aparecer a **“Primeira janela de entrada de dados”**. O primeiro item é um dado predefinido. Logo, sua escolha é feita através da tecla <TAB>, os demais itens são numéricos. Depois de ter entrado todos os dados, tecla <CTRL><END> para passar à **“Segunda janela de entrada de dados”**. Os dados da janela seguinte são solicitados de acordo com as respostas dadas na janela anterior. Por isso, se for teclado <CTRL><END> faltando algum dado em uma janela, o programa será suspenso. Isso é válido para todos os módulos que tenha mais de uma **“janela de entrada de dados”**.

Terminado de entrar os dados, tecla <CTRL><END> novamente, e então aparecerá a **“Primeira janela de saída”**, mostrando o comprimento máximo da linha lateral e uma série de outras informações complementares. Após analisar os resultados, responda a pergunta se deseja imprimir. Se responder que **“sim”**, será impresso os dados de entrada e os de saída. Em seguida, aparece uma janela solicitando o comprimento de projeto da linha. Se responder que **“não”**, já aparece a janela solicitando o comprimento de projeto.

O comprimento que está sendo solicitado é o escolhido pelo projetista (menor ou igual ao calculado pelo programa), e este varia de acordo com as dimensões da área e do esquema de distribuição do sistema no campo. Após entrar o comprimento, tecla <CTRL><END> e irá aparecer a **“Segunda janela de saída”** contendo várias informações para esse novo comprimento. Novamente é feita a pergunta se deseja imprimir, se **“sim”** imprime e volta para o **“MENU LINHA LATERAL”**, se **“não”**, já volta direto para o menu.

### 5.2.1.2. Linha lateral : Método hidráulico

Nesse módulo, segue-se os mesmos passos dos anteriores, ou seja, escolhendo os dados predefinidos com <TAB>, os números são digitados normalmente, sempre



teclar <CTRL><END> após a entrada dos dados, responder as perguntas que aparecem na área de mensagens teclando a letra em destaque, mandando imprimir ou não e em seguida voltando para o menu em que se encontrava anteriormente.

Esse módulo possui duas “**janelas de entrada de dados**” e uma “**janela de saída**”.

### **5.2.1.3. Linha lateral : Método estatístico**

Nesse módulo, segue-se também os mesmos passos dos anteriores. Esse módulo possui duas “**janelas de entrada de dados**” e uma “**janela de saída**”.

### **5.2.2. Linha de derivação**

Nesse módulo, os dados são entrados através de cinco “**janelas de entrada de dados**”, é mostrada a primeira “**janela de saída**” e perguntado se quer imprimir os resultados obtidos.

Em seguida, o programa pergunta se quer “redimensionar a linha, modificando o diâmetro de algum(s) trecho(s)”. Essa pergunta é feita, porque o programa escolhe seqüencialmente, o diâmetro mais adequado hidraulicamente para cada trecho, ou seja, busca a menor variação de pressão ao longo da linha. Porém, em alguns casos, essa seqüência é de difícil instalação no campo (Ex. 75 -> 75 -> 50 -> 35 -> 75 -> 35 -> 50 -> 35), então, o programa permite que seja feita a troca do diâmetro de um ou mais trecho e refaz os cálculos.

Se desejar redimensionar, o programa pergunta se refaz os cálculos permitindo “alterar ou não o diâmetro dos trechos que não foram modificados”. Se não for permitido a alteração, ele irá recalcular a linha, mantendo fixo o diâmetro dos trechos não modificados e com o novo diâmetro do(s) trecho(s) modificado(s). Caso se permita a alteração, o diâmetro do(s) trecho(s) modificado(s) permanecerá fixo, já os demais trechos poderão sofrer alteração em seus diâmetros. É importante esclarecer, que

o primeiro resultado apresentado pelo programa é o que dá a menor variação de pressão ao longo da linha , com a modificação, essa variação de pressão tende a aumentar.

Caso a primeira pergunta tenha sido afirmativa e a segunda já tenha sido respondida, aparecerá uma janela pedindo o “número do trecho a ser modificado” e o “novo diâmetro do trecho selecionado”. Essa janela irá aparecer cada vez que se deseje modificar mais algum diâmetro.

Terminado de entrar o(s) diâmetro(s) modificado(s), o programa recalcula e mostra o novo resultado dos cálculos e pergunta se quer imprimir. O programa fica dentro desse laço quantas vezes o operador desejar, ou seja, até que não se queira fazer mais modificações nos trechos.

### **5.2.3. Linha principal**

Nesse módulo, pode aparecer quatro ou cinco “**janelas de entrada de dados**”, uma “**janela de saída**” e perguntado se quer imprimir os resultados obtidos.

Quem determina o número de “janelas de entrada de dados” e o seu conteúdo, são as respostas que vão sendo dadas as perguntas que estão sendo feitas. No caso desse módulo, se o espaçamento entre nós não for constante, e se todos os nós não apresentarem a mesma vazão, será criada uma “janelas de entrada de dados” para a entrada dos comprimentos de cada trecho e uma outra para a entrada da vazão de cada nó.

Se o motor for elétrico, será pedido o preço do kilowatt por hora, se for a diesel, será pedido o preço do litro de óleo e o consumo para produzir um cv/hora. BERNARDO (1989), cita que, para o óleo diesel o consumo por cv-hora varia entre 0,22 e 0,32 l.

Terminado as entradas e mostrando os resultados, volta a aparecer o MENU DIMENSIONAMENTO.

### 5.2.4. Conjunto moto-bomba

Nesse módulo, existem duas janelas de entrada de dados e uma de saída. É o módulo mais simples, não existindo nenhuma passagem mais complicada para rodá-lo.

### 5.3. Manejo da irrigação

Essa opção, dá acesso ao “MENU SUGESTÃO DE MANEJO” (Figura 14) contendo quatro opções, sendo que a última opção volta ao “MENU PRINCIPAL”, as demais serão descritas a seguir.



Figura 14 - Menu Sugestão de Manejo.

### 5.3.1. Inicia balanço

Com essa opção, se inicia um novo balanço. Esse módulo é composto de duas “janelas de entrada de dados” e uma “janela de saída”.

Na primeira janela de entradas, são solicitados os dados que “não se alteram” no decorrer do balanço. São informações do solo, profundidade do sistema radicular, espaçamentos e vazão do emissor.

Na segunda, são solicitados os dados que variam todo dia, tais como, evaporação, precipitação, etc.

A partir do segundo dia do balanço, será feita a pergunta se deseja fazer correção da disponibilidade de água final. Se a resposta for “sim”, será feita a pergunta se deseja fazer correção via tensiômetro ou por outro método. Aparecerá uma janela, solicitando os dados de acordo com a resposta dada.

Após observar os resultados e respondido se deseja imprimir ou não, irá aparecer uma janela solicitando o nome do arquivo para gravar os dados. O nome só pode ter no máximo oito letras. Se o arquivo já existir, o programa irá avisar e solicitar outro nome. Se não existir, serão criados dois arquivos, o primeiro com o nome entrado e a extensão “.DAT”, ou seja “<NOME.DAT>“. Nesse arquivo, ficarão todos os resultados do balanço. O segundo arquivo ficará com o mesmo nome e a extensão “.DT2”, ou seja “<NOME.DT2>“. Nesse arquivo, irão ficar alguns dados de entrada, necessários para a realização do balanço.

Os arquivos, serão gravados no mesmo local onde está o arquivo de acesso ao programa. Para que possam ser acessados posteriormente, eles devem sempre ficar no mesmo diretório onde está o arquivo executável do programa.

Se depois de entrar o nome do arquivo, não aparecer nenhuma outra pergunta, é porque o arquivo foi gravado com sucesso, e o programa volta para o “MENU DE SUGESTÃO DE MANEJO”.



Como os dados são gravados em arquivos, pode-se fazer o manejo de quantas culturas se deseje, em uma mesma época.

### **5.3.2. Continua com o atual**

Ao escolher essa opção, irá aparecer uma janela solicitando o nome do arquivo que contenha os dados do balanço que se deseja continuar. É importante lembrar que, o arquivo mesmo existindo, só será carregado se ele estiver no mesmo diretório do arquivo do programa. Se o arquivo existir, será listado seu conteúdo e em seguida aparecerá a segunda janela comentada no item anterior.

A partir da aparição da segunda janela, segue-se os mesmos passos do item anterior. A única diferença, é que na saída não é mais solicitado o nome do arquivo, o programa grava os novos resultados encontrados no mesmo arquivo carregado no início e volta para o menu.

### **5.3.3. Lista e/ou imprime balanço**

O objetivo desse item, é somente o de acessar os dados de um arquivo de balanço já existente e imprimi-los se assim desejar.

No APÊNDICE 2, encontra-se um exemplo completo de aplicação do software.

## **6. SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE**

Incrementar o programa com um modelo mais elaborado para estimativa do bulbo molhado, uma vez que o modelo atual considera apenas o volume total de água aplicada e a textura do solo.

Introdução de um banco de dados com diâmetros das tubulações, emissores e moto-bomba.

Gerar gráficos dos perfis de pressão.

Possibilitar a interação com softwares de CAD para confeccionar esquemas para montagem.

Fornecer uma lista com a relação dos materiais do projeto.

Provir o programa de um módulo de ajuda(HELP) com orientações de utilização e explicações individualizadas de cada módulo.

Acreditamos que na atual fase, o programa pode ser uma ferramenta útil a projetistas, contudo, pretende-se dar continuidade buscando o seu aprimoramento, o que pode ser melhor elaborado com as sugestões de futuros usuários.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ANYOJI, H. & WU, I.P. Statistical approach for drip lateral design. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, **30(1):187-92**, 1987.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5 ed. Viçosa, U.F.V. Imprensa Universitária, 1989. 596p.
- BOTREL, T.A. Hidráulica de microaspersores e linhas laterais para irrigação localizada. Piracicaba, 1984. 78p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F.S.; WARRICK, A.W. **Principles, practices and potentialities of trickle(drip) irrigation**. New York, Academic Press, 1982. v.1, p.219-98.
- CRUCIANI, D.E. **Hidráulica; equações-tabelas-gráficos**. Piracicaba, ESALQ/Depto. Eng. Rural, 1993. 127p.
- DAVIS, S. & PUGH, W.J. Dripper flow consistency. In: **INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2., Riverside, 1974. Proceedings**. Riverside, 1974. p.281-86.

- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos.** Roma, FAO, 1979. 212p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. **Crop water requirements.** Roma, FAO, 1977. 144p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Trickle irrigation.** Washington, 1979. USDA/Soil Conservation service, s.d. 129p. (National Engineering Handbook, section 15: Irrigation, 7).
- FRIZZONE, J. A. **Modelos para dimensionamento de linhas laterais de sistemas de irrigação localizada.** Piracicaba, ESALQ/Depto. Eng. Rural, 1993. 120p.
- GILLESPIE, V. A.; PHILLIPS, A. L.; WU, I. P. Drip irrigation design equations. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, 105(IR3):247-57, 1979.
- GOEHRING, L.D. Optimization of trickle irrigation system design. Fort Collins, 1976. 90p. (M.S. - Colorado State University).
- JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation systems.** St. Joseph, ASAE, 1983. 829p.
- KELLER, J. & BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation.** New York, Van Nostrand Reinhold, 1990. 651p.
- KELLER, J. & KARMELI, D. **Trickle irrigation design.** California, Rain Bird Sprinckler, 1975. 133p.

- MARTI, S.P. **Diseno y manejo agronomico de instalaciones.** In: FERNANDES, J.B. Seminário sobre projeto de irrigação por gotejamento. Campinas, UNICAMP, 1993. cap. 1, p.1-31.
- NAKAYAMA, F. S. & BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production.** Amsterdam, Elsevier, 1986. 383p.
- NOGUEIRA, A.M. Características hidráulicas e de distribuição de água por microaspersores. Piracicaba, 1989. 57p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação.** São Paulo, Nobel, 1978. 267p.
- OLIVEIRA, C.A.S. Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais para irrigação por gotejamento. Viçosa, 1987. 72p. (M.S. - Universidade Federal de Viçosa).
- PAES, L.A.D. Características hidráulicas dos microaspersores Dantas MA120 e Irtec e das linhas laterais em sistemas de irrigação por microaspersão. Viçosa, 1985. 85p. (M.S. - Universidade Federal de Viçosa)
- PIZARRO, F. **Riego localizados de alta frecuencia.** 2ed. Madrid, Ediciones Mundi Prensa. 1990. 471p.
- PLEBAN, S. & AMIR, I. An interactive computerized aid for the design of branching irrigating networks. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **24(2)**: 358-61, 1981.

SAAD, A.M. Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1991. 144p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SAAD, A.M.; DOURADO NETO, D.; Van LIER, Q. J. Controle de irrigação em pivô central: exemplo de aplicação na cultura do feijoeiro. In: DOURADO NETO, D. **Curso de agricultura irrigada**. Piracicaba, ESALQ/Depto. Agricultura, 1991. p.99-119.

SAAD, J.C.C.; Otimização de sistemas de irrigação localizada utilizando programação não-linear. Piracicaba, 1993. 115p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SAVALDI, D. **Material de estudio sobre microaspersion**, Tel Avive, CINADCO, 1991. 99p.

SILVA, A.T.; LOU, W.C.; ARAÚJO, C.M. Características hidráulicas do microaspersor. **ÍTEM - Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília. (19):36-8, dez. 1984.

STEGMAN, E.C.; MUSICK, J.T.; STEWART, J.I. Irrigation water manegement. In : JENSEN, M.E., ed. **Design e operation of farm irrigation system**. St. Joseph, ASAE, 1983. 829p.

URBINA, J. Head loss characteristics of trickle irrigation hose with emitters. Logan, 1977. 54p. (M.S. - Utah State University).

Van GENUCHTEN, M.T. **A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.** Soil Science Society American Journal, Madison, 44: 892-7, 1980.

VERMEIREN, L. & JOBLING, G. **Localized irrigation.** Rome, FAO, 1980. 203p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 36).

WU, I. P. & GITLIN, H. M. Preliminary concept of a drip irrigation network design. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **80**(14):330-39. 1981.

WU, I. P.; GITLIN, H.M.; SOLOMON, K.W.; SARUWATARI, C. A. **Design principles.** In : NAKAIAMA, F. S. & BUCKS, D. A. ed. Trickle irrigation for crop production, design, operation and management. St. Joseph, 1986. p.53-92. (Developments in Agricultural Engineering,9).

## **APÊNDICE 1**



## SUMÁRIO

	Página
1. HIDRÁULICA DAS TUBULAÇÕES COM MÚLTIPLAS SAÍDAS .....	109
1.1. Hipóteses básicas .....	109
1.2. Perda de carga por atrito .....	110
1.2.1. Perda de carga em um trecho de comprimento “ $\ell$ ” .....	113
1.2.2. Valor médio da perda de carga .....	115
1.3. Variação da carga de pressão nas tubulações em desnível .....	117
1.4. Equação do perfil de pressão .....	118
1.4.1. Para desnível uniforme .....	119
1.4.2. Para desnível desuniforme e com trechos de comprimentos diferentes .....	119
1.4.3. Para desnível desuniforme e com trechos de comprimentos iguais .....	119
1.5. Tipos de perfis de pressão .....	120
1.5.1. Perfil do tipo I .....	120
1.5.2. Perfil do tipo IIa .....	120
1.5.3. Perfil do tipo IIb .....	120
1.5.4. Perfil do tipo IIc .....	121
1.5.5. Perfil do tipo III .....	121
1.6. Local de ocorrência da carga de pressão mínima para os perfis do tipo IIa, IIb e IIc .....	121
1.7. Carga de pressão média para os perfis do tipo IIa, IIb, IIc e III .....	122
1.7.1. Local de ocorrência da carga de pressão média .....	123
1.8. Comprimento máximo das linhas laterais .....	124
1.8.1. Perfil do tipo I .....	125
1.8.2. Perfil do tipo IIa .....	127
1.8.3. Perfil do tipo IIb .....	129

	Página
1.8.4. Perfil do tipo IIc.....	130
1.8.5. Perfil do tipo III.....	131
1.9. Critérios para caracterização do tipo de perfil.....	132
1.9.1. Perfil do tipo I.....	132
1.9.2. Perfil do tipo IIa.....	132
1.9.3. Perfil do tipo IIb.....	132
1.9.4. Perfil do tipo IIc.....	133
1.9.5. Perfil do tipo III.....	133
<b>2. MODELO ESTATÍSTICO PARA DIMENSIONAMENTO DE</b>	
<b>LINHAS LATERAIS .....</b>	<b>134</b>
2.1. Desenvolvimento em Série de Taylor de funções de várias variáveis .....	134
2.2. Aproximações para expectativa e variância.....	135
2.3. Valor médio da vazão dos emissores - $q_m$ .....	136
2.4. Variância da vazão dos emissores ao longo da linha lateral - $V(q)$ .....	138
2.5. Coeficiente de variação da vazão dos emissores ao longo da linha lateral - $CV(q)$ .....	139
2.6. Variância da carga de pressão dos emissores ao longo da linha lateral - $V(H)$ .....	140
2.7. Coeficiente de variação da carga de pressão ao longo da linha lateral - $CV(H)$ .....	142

## HIDRÁULICA DAS TUBULAÇÕES COM MÚLTIPLAS SAÍDAS

A seguir serão mostradas as deduções do método hidráulico proposto por GILLESPIE et al. (1979) para dimensionamento de linhas laterais, FRIZZONE (1993).

### 1. Hidráulica das tubulações com múltiplas saídas

Nos sistemas de irrigação localizada, as tubulações com múltiplas saídas são constituídas das linhas laterais e das linhas de derivação. O conhecimento da hidráulica dessas tubulações é fundamental para o dimensionamento das seções de escoamento requeridas.

#### 1.1. Hipóteses básicas

Os desenvolvimentos analíticos apresentados nos sub-ítem seguintes, baseiam-se nas seguintes hipóteses :

- a) O componente associado à energia cinética é considerado desprezível, uma vez que o aumento da carga de pressão causado pela redução gradual da velocidade do fluxo é insignificante;
- b) O fluxo lateral ocorre continuamente ao longo de toda linha lateral;
- c) As saídas são consideradas equidistantes e proporcionam vazão uniforme ao longo da tubulação;
- d) A primeira saída está localizada a uma distância do ponto de derivação igual a distância uniforme existente entre as múltiplas saídas;
- e) A vazão total ocorre na extremidade inicial da tubulação e, na extremidade final a vazão é nula ( $Q_{\text{extrem. final}} = 0$ );
- f) A tubulação apresenta diâmetro interno uniforme ao longo de todo seu comprimento;

g) A vazão total que entra na tubulação é igual ao fluxo lateral que ocorre ao longo do seu comprimento ( $Q_{entra} = \sum q_{saida}$ ).

## 1.2. Perda de carga por atrito

Várias equações são utilizadas para calcular a perda de carga por atrito ao longo das tubulações, sendo que as equações de Hazen-Williams e de Darcy-Weisbach são aquelas de uso mais freqüente em irrigação localizada, onde as tubulações de polietileno são consideradas lisas.

A perda de carga por atrito em um determinado segmento de comprimento “ $l$ ” da tubulação, pode ser representada de forma simplificada, pela seguinte equação GILLESPIE et al. (1979):

$$\Delta H_l = a \cdot l \cdot Q^m \quad (1)$$

sendo,

$\Delta H_l$  - perda de carga por atrito ao longo do segmento de comprimento da tubulação (mca);

$l$  - comprimento do segmento da tubulação (m);

$Q$  - vazão no segmento da tubulação considerado (l/s);

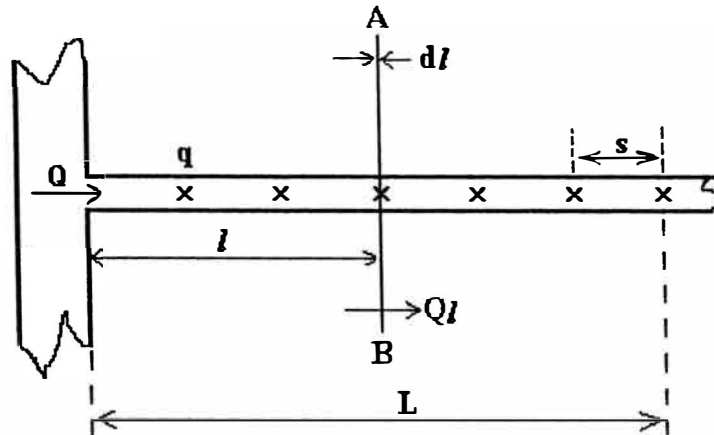
$m$  - expoente da velocidade média, na equação de perda de carga considerada;

$a$  - constante para um determinado diâmetro de tubo e regime de escoamento ( ou para um tipo especial de equação empírica utilizada). Para a equação de Hazen-Williams, considerando que a tubulação é lisa;

$$(C=150), \quad a = \frac{1,135 \cdot 10^6}{D^{4,871}} \quad (2)$$

$D$  - diâmetro interno da tubulação (mm);

$C$  - coeficiente de rugosidade.



No comprimento "L" ---> N emissores --->  $Q = N \cdot q$

No comprimento "l" --->  $\frac{l}{s}$  emissores ---> vazão =  $\frac{l}{s} \cdot q$

Nas linhas laterais e de derivação, o escoamento é permanente, espacialmente variado, uma vez que a vazão diminui ao longo do comprimento da tubulação. Considerando que os emissores ou as saídas laterais estão igualmente espaçadas e que proporcionam uma vazão constante, ou com pequena variação, a vazão " $Q_l$ " que passa por uma seção, coincidente com a posição de um emissor ou de uma saída lateral, localizada a uma distância " $l$ " do início da tubulação, será :

$$Q_l = N \cdot q - \frac{l}{s} q = \left( N - \frac{l}{s} \right) \cdot q \quad (3)$$

sendo,

N - número total de emissores ou de saídas laterais ao longo de toda a tubulação;

$l$  - distância da seção considerada ao início da tubulação;

s - espaçamento entre emissores ou saídas laterais;

q - vazão de cada emissor ou saída lateral.

A energia total em uma determinada seção da tubulação é expressa pela equação da energia, WU et al. (1986) :

$$E = H + \frac{v^2}{2.g} + Z \quad (4)$$

sendo,

$E$  - energia total;

$H$  - carga de velocidade;

$\frac{v^2}{2.g}$  - carga de velocidade;

$Z$  - energia de posição.

Desprezando-se o componente associado à energia cinética, uma vez que a vazão dos emissores é muito baixa e a variação da carga de velocidade em relação ao comprimento da tubulação é pequena WU et al. (1986) e assumindo que a tubulação encontra-se em nível, o gradiente da linha de energia ao longo da tubulação de comprimento “ $\ell$ ” pode ser expresso da seguinte maneira :

$$\frac{dE}{d\ell} = \frac{dH}{d\ell} = -Sf = -a Q\ell^m \quad (5)$$

onde o sinal “-” significa dissipação de energia ao longo da tubulação.

Seja uma tubulação de comprimento “ $L$ ”, na qual o escoamento se faz com vazão variável. Considerando-se um trecho elementar de comprimento “ $d\ell$ ” distante “ $\ell$ ” do início dessa tubulação (seção de montante), a perda de carga elementar será :

$$dH = -a.Q\ell^m.d\ell \quad (6)$$

Supondo-se que em “ $d\ell$ ” se possa considerar o movimento como permanente ( $Q\ell$  é constante em  $d\ell$ ), a perda de carga total no trecho de comprimento  $\ell$  será:

$$\Delta H = -a \int_0^{\ell} Q \ell^m \cdot d\ell \quad (7)$$

Admitindo-se uma distribuição linear das vazões ao longo da tubulação, a qual distribui uniformemente por metro linear a vazão “ $q$ ”, e designando por “ $Q$ ” e “ $Q_j$ ” as vazões à montante e à jusante da tubulação de comprimento “ $L$ ”, tem-se

$$Q\ell = Q_j - q \cdot (L - \ell) \quad (8)$$

Substituindo a equação (8) na equação (7) e resolvendo a integral, tem-se

$$\Delta H = -a \cdot \left( Q_j^m + Q_j \cdot q \cdot L^{m-1} + q^m \cdot \frac{L^m}{m+1} \right) \cdot L \quad (9)$$

Para o caso particular em que a vazão à jusante é nula ( $Q_j=0$ ), isto é, toda a vazão “ $q$ ” é consumida no percurso ( $Q=q \cdot L$ ), a perda de carga será:

$$\Delta H = -\frac{a}{m+1} \cdot Q^m \cdot L \quad (10)$$

a qual é idêntica a equação derivada por WU & GITLIN (1975) e expressa a perda de carga por atrito em uma tubulação com múltiplas saídas.

### 1.2.1. Perda de carga em um trecho de comprimento “ $\ell$ ”

Substituindo a equação (3) na equação (5) e procedendo-se a integração, obtém-se a perda de carga por atrito no trecho da tubulação de comprimento “ $\ell$ ”, com múltiplas saídas, conforme WU & GITLIN (1975):

$$\Delta H\ell = \frac{a \cdot q^m}{s^m \cdot (m+1)} \cdot [(L-\ell)^{m+1} - L^{m+1}] \quad (11)$$

Fazendo-se  $Q = q \cdot \frac{L}{s}$ , onde “s” é o espaçamento entre cada saída, e substituindo na equação (10) obtém-se  $\Delta H$  em função de “q”.

$$\Delta H = -\frac{a \cdot q^m}{s^m \cdot (m+1)} \cdot L^{m+1}$$

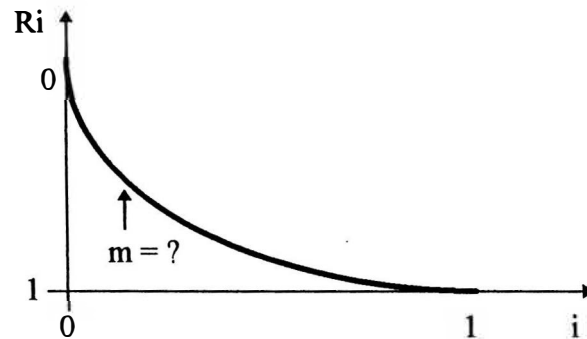
Pela relação  $\frac{\Delta H\ell}{\Delta H}$ , conforme WU & GITLIN (1975) e GILLESPIE et al. (1979), mostra-se que:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta H\ell}{\Delta H} &= \frac{\frac{a \cdot q^m}{s^m \cdot (m+1)} \cdot [(L-\ell)^{m+1} - L^{m+1}]}{-\frac{a \cdot q^m}{s^m \cdot (m+1)} \cdot L^{m+1}} \\ \frac{\Delta H\ell}{\Delta H} &= -\frac{(L-\ell)^{m+1}}{L^{m+1}} + \frac{L^{m+1}}{L^{m+1}} \\ \frac{\Delta H\ell}{\Delta H} &= 1 - \left(\frac{L-\ell}{L}\right)^{m+1} \\ \Delta H\ell &= \left[1 - \left(1 - \frac{\ell}{L}\right)^{m+1}\right] \cdot \Delta H \end{aligned} \quad (12)$$

Como a vazão diminui em relação ao comprimento da tubulação, o gradiente de energia não é uma linha reta, mas sim uma curva do tipo exponencial. A forma da linha de energia pode ser expressa graficamente pela relação adimensional  $Ri = \frac{\Delta H\ell}{\Delta H}$  em função



da relação adimensional  $i = \frac{\ell}{L}$ , conforme mostram WU & GITLIN (1975). Dessa forma,  $Ri = 1 - (1 - i)^{m+1}$ .



CURVA DO GRADIENTE DE ENERGIA

A seguir, é mostrado “Ri” para 3 tipos de escoamentos :

- Escoamento laminar ( $m=1$ );

$$Ri = 1 - (1 - i)^2$$

- Escoamento turbulento em condutos hidráulicamente liso ( $m=1,75$ );

$$Ri = 1 - (1 - i)^{2,75}$$

- Escoamento turbulento em condutos hidráulicamente rugoso ( $m=1$ );

$$Ri = 1 - (1 - i)^3$$

### 1.2.2. Valor médio da perda de carga :

O valor médio da perda de carga por atrito ao longo da tubulação com múltiplas saídas é expresso como :

$$\Delta H_m = \frac{1}{L} \int_0^L \Delta H \ell \cdot d\ell \quad (13)$$

ou

$$\Delta H_m = \frac{1}{L} \int_0^L \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\ell}{L} \right)^{m+1} \right] \Delta H \cdot d\ell \quad (14)$$

Desenvolvendo essa equação tem-se:

$$\Delta H_m = \frac{1}{L} \left[ \int_0^L \Delta H \cdot d\ell - \int_0^L \left( 1 - \frac{\ell}{L} \right)^{m+1} \cdot \Delta H \cdot d\ell \right]$$

$$\Delta H_m = \frac{1}{L} \left[ \int_0^L \Delta H \cdot d\ell - \Delta H \cdot \int_0^L \frac{(L - \ell)^{m+1}}{L^{m+1}} \cdot d\ell \right]$$

$$\Delta H_m = \frac{\Delta H}{L} \left[ L - \frac{1}{L^{m+1}} \cdot \frac{1}{m+2} \cdot (L - \ell)^{m+2} \Big|_0^L \right]$$

$$\Delta H_m = \frac{\Delta H}{L} \left[ L - \frac{1}{L^{m+1}} \cdot \frac{(L - \ell)^{m+2}}{m+2} \Big|_0^L \right]$$

$$\Delta H_m = \frac{\Delta H}{L} \left[ L - \frac{1}{m+2} \cdot \frac{L^{m+2}}{L^{m+1}} \right]$$

sendo  $\frac{L^{m+2}}{L^{m+1}} = L$  a equação irá ficar :

$$\Delta H_m = \Delta H \cdot \left( 1 - \frac{1}{m+2} \right)$$

finalmente, a equação (14) ficará da seguinte forma :

$$\Delta H_m = \frac{m+1}{m+2} \cdot \Delta H \quad (15)$$

Para fluxo turbulento em conduto hidraulicamente liso ( $m = 1,75$ ) :

$$\Delta H_m = \frac{1,75+1}{1,75+2} \cdot \Delta H \implies \Delta H_m = \frac{2,75}{3,75} \cdot \Delta H \implies \Delta H_m = 0,73 \cdot \Delta H$$

Para fluxo turbulento em conduto hidraulicamente rugoso ( $m = 2,0$ ) :

$$\Delta H_m = \frac{2+1}{2+2} \cdot \Delta H \implies \Delta H_m = \frac{3}{4} \cdot \Delta H \implies \Delta H_m = 0,75 \cdot \Delta H$$

### 1.3. Variação da carga de pressão nas tubulações em desnível

A distribuição da carga de pressão ao longo da tubulação pode ser expressa pela combinação linear entre o gradiente de posição e o gradiente de energia, e pode ser expresso como :

$$\frac{dH}{dL} = \frac{dE}{dL} - \frac{dZ}{dL} \quad (16)$$

sendo,

$\frac{dE}{dL} = -S_f$  - gradiente de energia. O sinal “-” significa dissipação de energia ao

longo da tubulação;

$\frac{dZ}{dL} = \pm S_o$  - gradiente de posição da tubulação, assumindo uniforme. Seu valor é “+”

para declividade e “-” para aclividade.

A variação da carga de pressão ao longo da tubulação pode, então, ser definida como:

$$\frac{dH}{dL} = -S_f \pm S_o \quad (17)$$

Se a tubulação é instalada em desnível, a carga de pressão varia em função da diferença de nível, conforme mostra a equação (17). A variação da energia de posição entre as duas extremidades da tubulação pode ser expressa como:

$$\Delta Z = S_o \cdot L \quad (18)$$

A uma distância do início da tubulação, tem-se :

$$\Delta Z \ell = S_o \cdot \ell = \frac{\ell}{L} \cdot \Delta Z \quad (19)$$

A variação média da carga de pressão, devido a diferença de nível, conforme consideram KELLER & KARMELI (1974), pode ser aproximada por :

$$\Delta Z_m = \frac{1}{2} \Delta Z \quad (20)$$

#### 1.4. Equação do perfil de pressão ao longo da linha lateral

O perfil de pressão ao longo da linha lateral, ou da linha de derivação, pode ser determinado a partir da combinação linear entre a carga de pressão no início da tubulação, a perda de carga por atrito e a variação da energia de posição (WU & GITLIN (1973) e GILLESPIE et al. (1979), podendo ser expresso matematicamente como :

$$H \ell = H - \Delta H \ell \pm \Delta Z \ell \quad (21)$$

sendo,

$H \ell$  - carga de pressão em uma determinada seção, situada a uma distância “ $\ell$ ” do início da tubulação;

$H$  - carga de pressão no início da tubulação;

$\Delta H \ell$  - perda de carga no segmento da tubulação de comprimento “ $\ell$ ”;

$\Delta Z \ell$  - variação da energia de posição, entre o início da tubulação e a seção situada à distância “ $\ell$ ”. O sinal é “+” quando existe declividade e “-” quando existe aclividade.

#### 1.4.1. Para desnível uniforme

Substituindo as equações (12) e (19) na equação (21), obtém-se :

$$H\ell = H - \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\ell}{L} \right)^{m+1} \right] \cdot \Delta H \pm \frac{\ell}{L} \cdot \Delta Z \quad (22)$$

#### 1.4.2. Para desnível desuniforme e com trechos de comprimentos diferentes ( $\neq \ell_j$ )

$$H\ell = H - \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\ell}{L} \right)^{m+1} \right] \cdot \Delta H \pm \sum_{j=1}^n \Delta Z_j \quad (23)$$

#### 1.4.3. Para desnível desuniforme e com trechos de comprimentos iguais ( $= \ell_j$ )

$$H\ell = H - \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\ell}{L} \right)^{m+1} \right] \cdot \Delta H \pm \frac{L}{n} \sum_{j=1}^n S_{o_j} \quad (24)$$

sendo,

$S_{o_j}$  - gradiente de declividade.

As equações (22), (23) e (24) definem o perfil de pressão ao longo da tubulação.

A forma do perfil depende da carga de pressão no início da tubulação, da perda de carga por atrito e da variação da energia de posição.

### **1.5. Tipos de perfis de pressão**

A seguir serão definidos os cinco principais tipos de perfis de pressão, que podem ocorrer ao longo de uma tubulação com múltiplas saídas, de acordo com GILLESPIE et al. (1979) :

#### **1.5.1. Perfil do tipo I**

Ocorre quando a tubulação está em nível ou em aclive. A redução da carga de pressão é devido a aclividade, quando existe, e a perda por atrito. A carga de pressão máxima,  $H_{max}$ . ocorre no início da tubulação e a carga de pressão mínima,  $H_{min}$ . no seu final.

#### **1.5.2. Perfil do tipo IIa**

Ocorre quando a tubulação possui declividade, sendo que o aumento da carga de pressão devido a diferença de nível no final da tubulação é maior que a perda de carga por atrito. Contudo, a carga de pressão no final da tubulação é um pouco menor que no seu início. A carga de pressão mínima,  $H_{min}$ . ocorre em algum ponto ao longo da tubulação, e  $H_{max}$ . ocorre no seu início.

#### **1.5.3. Perfil do tipo IIb**

Esse perfil é semelhante ao do “tipo IIa”, com a diferença de que  $H_{max}$ . ocorre no início e no final da tubulação e  $H_{min}$ . em algum ponto ao longo da mesma, em geral nas proximidades da seção média.

#### 1.5.4. Perfil do tipo IIc

Ocorre quando a declividade da tubulação é suficientemente grande, de forma que Hmax. ocorre no seu final. Nessas condições, Hmin. ocorre em algum ponto ao longo da tubulação.

#### 1.5.5. Perfil do tipo III

Ocorre quando a tubulação possui uma declividade muito grande, de tal forma que, em qualquer seção o aumento da carga de pressão devido a declividade é maior que a perda de carga por atrito. Nesse caso, Hmin. ocorre em  $\frac{\ell}{L} = 0$  e Hmax. em  $\frac{\ell}{L} = 1$ .

### 1.6. Local de ocorrência da carga de pressão mínima para os perfis do tipo IIa, IIb e IIc

Isso somente para os perfis do tipo IIa, IIb e IIc, pois para os perfis I e III, já são conhecidos, no final e no início da linha, respectivamente. O ponto de carga de pressão mínima para os perfis IIa, IIb e IIc, pode ser determinado pela diferenciação da equação (22) e igualando a derivada a zero, tem-se :

$$\frac{dH\ell}{d\ell} = (m+1) \cdot \left(1 - \frac{\ell}{L}\right) \cdot \frac{\Delta H}{L} - \frac{\Delta Z}{L} = 0 \quad (25)$$

É comum expressar a perda de carga por atrito na forma de perda de carga unitária,  $S_f = \frac{\Delta H}{L}$ , e da mesma forma,  $S_o = \frac{\Delta Z}{L}$ . Assim, obtém-se :

$$(m+1) \cdot \left(1 - \frac{\ell}{L}\right)^m \cdot S_f - S_o = 0 \quad (26)$$

Se os valores de “Sf” , “So” e “m” são conhecidos, a localização de Hmin. é obtida por :

$$\frac{\ell}{L} = 1 - \left[ \frac{So}{Sf(m+1)} \right]^{\frac{1}{m}} \quad (27)$$

### 1.7. Carga média de pressão para os perfis do tipo IIa, IIb, IIc e III

Para os perfis do tipo II e III, a carga média de pressão na tubulação, pode ser obtida pela expressão :

$$H_m = H - \Delta H_m \pm Z_m \quad (28)$$

sendo,

$H_m$  - carga média de pressão na tubulação;

$H$  - carga de pressão no início da tubulação;

$\Delta H_m$  - valor médio da perda de carga por atrito na tubulação;

$Z_m = \frac{1}{2} \cdot So \cdot L$  - diferença de nível médio.

Portanto,

$$H_m = H - \frac{(m+1)}{(m+2)} \cdot \Delta H \pm \frac{1}{2} \cdot So \cdot L \quad (29)$$

Assumindo-se que no regime laminar  $m = 1$ , no regime de transição  $m = 1,75$  e no regime turbulento  $m = 2$ , tem-se :

$$\text{para } m = 1,0 \quad H_m = H - \frac{2}{3} \cdot \Delta H \pm \frac{1}{2} \cdot So \cdot L \quad (30)$$

$$\text{para } m = 1,75 \quad H_m = H - \frac{2,75}{3,75} \cdot \Delta H \pm \frac{1}{2} \cdot So \cdot L \quad (31)$$



para  $m = 2,0$  
$$H_m = H - \frac{3}{4} \cdot \Delta H \pm \frac{1}{2} \cdot S_o \cdot L \quad (32)$$

### 1.7.1. Local de ocorrência da carga de pressão média

O local de ocorrência da carga média de pressão, poderá ser calculado utilizando-se a equação (12).

- Para uma tubulação em nível, pode-se mostrar que :

$$\frac{\Delta H \ell}{\Delta H} = 1 - \left(1 - \frac{\ell}{L}\right)^{m+1}$$

$$\frac{\Delta H_m}{\Delta H} = 1 - \left(1 - \frac{\ell}{L}\right)^{m+1}$$

substituindo  $\Delta H_m$  pela equação (15), irá ficar :

$$\frac{\Delta H \left(\frac{m+1}{m+2}\right)}{\Delta H} = 1 - \left(1 - \frac{\ell}{L}\right)^{m+1}$$

$$\frac{m+1}{m+2} = 1 - \left(1 - \frac{\ell}{L}\right)^{m+1}$$

$$\left(1 - \frac{\ell}{L}\right)^{m+1} = 1 - \frac{m+1}{m+2}$$

$$1 - \frac{\ell}{L} = \left(1 - \frac{m+1}{m+2}\right)^{\frac{1}{m+1}}$$

$$\frac{\ell}{L} = 1 - \left(1 - \frac{m+1}{m+2}\right)^{\frac{1}{m+1}} \quad (33)$$

$$\text{Para } m = 1,0 \quad \frac{\ell}{L} = 1 - \left(\frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{2}} = 0,42$$

$$\text{Para } m = 1,75 \quad \frac{\ell}{L} = 1 - \left(\frac{1}{3,75}\right)^{\frac{1}{2,75}} = 0,38$$

$$\text{Para } m = 2,0 \quad \frac{\ell}{L} = 1 - \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,37$$

- Para uma tubulação em declive e considerando  $m = 1,75$ , pode-se mostrar que :

$$\ell = \frac{H - H_m + (0,733 \cdot \Delta H)}{\Delta Z}$$

### 1.8. Comprimento máximo das linhas laterais

- Expressão da variação de vazão e pressão

a) Em relação a média

$$q_{\text{var}} = \frac{\Delta q}{q_m} = \frac{q_{\text{max}} - q_{\text{min}}}{q_m} = \frac{k(H_{\text{max}}^x - H_{\text{min}}^x)}{kH_m^x} = \frac{H_{\text{max}}^x - H_{\text{min}}^x}{H_m^x} \cong x \cdot \frac{\Delta H}{H_m} \quad (34)$$

logo, “Hvar” ficará da seguinte maneira :

$$H_{\text{var}} = \frac{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}{H_m} \quad (35)$$

considerando que  $\Delta H = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$  e  $q = k \cdot H^x$  derivando a segunda equação e dividindo por “q”, chega-se a seguinte relação :

$$\frac{dq}{dH} = k \cdot x \cdot H^{x-1} \implies dq = k \cdot x \cdot H^{x-1} \cdot dH \quad (36)$$

dividindo por “q”, chega-se a seguinte expressão:

$$\frac{dq}{q} = \frac{k \cdot x \cdot H^{x-1}}{k \cdot H^x} \cdot dH \implies \frac{dq}{q} = x \cdot \frac{dH}{H} \implies \frac{\Delta q}{q} = x \cdot \frac{\Delta H}{H} \quad (37)$$

finalmente,

$$\frac{\Delta q}{q_m} = x \cdot \frac{\Delta H}{H_m} \quad (38)$$

b) Em relação a máxima

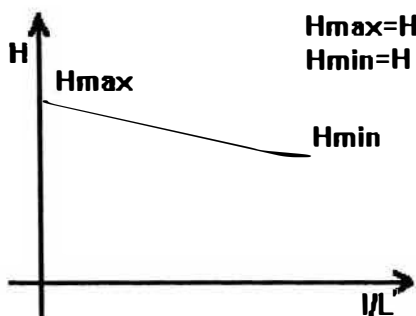
$$H \text{ var} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\max}} \quad (39)$$

$$q \text{ var} = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\max}} \quad (40)$$

$$H \text{ var} = 1 - (1 - q \text{ var})^{\frac{1}{x}} \quad (41)$$

O comprimento máximo das laterais é função do tipo de perfil de pressão, ou seja  
 $L_{\max} = f(\text{tipo de perfil de pressão})$

### 1.8.1. Perfil do tipo I



$$H_{\max} = H \quad (42)$$

$$H_{\min} = H - \Delta H - \Delta Z \quad (43)$$

substituindo as equações (42) e (43) em (39), tem-se :

$$H \text{ var} = \frac{\cancel{H} - \cancel{H} + \Delta H + \Delta Z}{H} \implies H \cdot H \text{ var} = \Delta H + \Delta Z \quad (44)$$

dividindo a equação (44) por “L”, tem-se,

$$\begin{aligned} \frac{H \cdot H \text{ var}}{L} &= \frac{\Delta H}{L} + \frac{\Delta Z}{L} \implies \frac{H \cdot H \text{ var}}{L} = J + S_o \implies \\ \implies L &= \frac{H \text{ var} \cdot H}{J + S_o} \end{aligned} \quad (45)$$

“Hvar” e “H”, são critérios de projeto (conhecidos).  $J = f(L)$ , sendo  $J = K^* \cdot L^m$

Usando a equação de Darcy-weisbach com “f” de Blasius para múltiplas saídas, tem-se :

$$\Delta H = 2,3838 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{q^{1,75} \cdot L^{2,75}}{s^{1,75} \cdot D^{4,75}} \quad (46)$$

→ K\*

dividindo (46) por “L”, tem-se :

$$\frac{\Delta H}{L} = K^* \cdot L^{1,75} = J \quad (47)$$

substituindo (47) em (45) tem-se :

$$L = \frac{H \text{ var} \cdot H}{K^* \cdot L^{1,75} + S_o} \quad (48)$$

sendo,

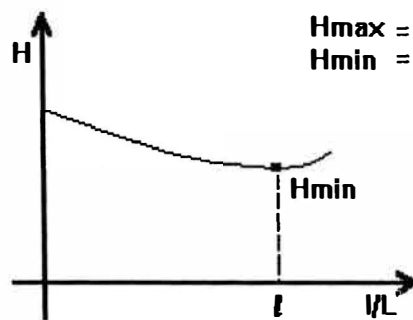
$D$  - diâmetro interno da linha lateral (m);

$q$  - vazão do emissor ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$s$  - espaçamento entre emissores (m);

$K^*$  - constante (todos os seus componentes são conhecidos).

### 1.8.2. Perfil do tipo IIa



$$H_{\max} = H \quad (49)$$

$$H_{\min} = H - \Delta H \ell + \Delta Z \ell \quad (50)$$

substituindo as equações (49) e (50) em (39), tem-se,

$$H_{\text{var}} = \frac{H - H + \Delta H \ell - \Delta Z \ell}{H} \implies H \cdot H_{\text{var}} = \Delta H \ell - \Delta Z \ell \quad (51)$$

dividindo tudo por "L", irá ficar :

$$\frac{H \cdot H_{\text{var}}}{L} = \frac{\Delta H \ell}{L} - \frac{\Delta Z \ell}{L} \quad (52)$$

sabendo-se que  $\Delta Z \ell = \frac{\ell}{L} \cdot \Delta Z$ , dividindo tudo por "L", ficará :

$$\frac{\Delta Z \ell}{L} = \frac{\frac{\ell}{L} \cdot \Delta Z}{L} \implies \frac{\ell}{L} \cdot \Delta Z \cdot \frac{1}{L} \implies \frac{\ell}{L} \text{ So} \quad (53)$$

substituindo (12) e (53) em (52), tem-se :

$$\frac{H.H \text{ var}}{L} = \frac{\Delta H}{L} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\ell}{L} \right)^{m+1} \right] - \frac{\ell}{L} \cdot S_o \quad (54)$$

$$L = \frac{H.H \text{ var}}{J \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\ell}{L} \right)^{m+1} \right] - \frac{\ell}{L} \cdot S_o} \quad (55)$$

sabendo que  $J = K.L^m \implies J = K^* . L^{1,75}$  (eq. de Darcy-Weisbach) e desenvolvendo (27), tem-se :

$$\frac{\ell}{L} = 1 - \left( \frac{S_o}{(m+1).J} \right)^{\frac{1}{m}} \implies \frac{\ell}{L} = 1 - \left( \frac{S_o}{2,75.J} \right)^{\frac{1}{1,75}} \implies \frac{\ell}{L} = 1 - 0,561 \cdot \left( \frac{S_o}{J} \right)^{0,5714} \quad (56)$$

substituindo (56) em (55) e desenvolvendo, tem-se :

$$L = \frac{H.H \text{ var}}{J \left[ 1 - \left[ 1 - \left( 1 - 0,561 \frac{S_o^{0,5714}}{J^{0,5714}} \right) \right]^{2,75} \right] - S_o \left( 1 - 0,561 \cdot \frac{S_o^{0,5714}}{J^{0,5714}} \right)}$$

$$L = \frac{H.H \text{ var}}{J - J \left( 0,561 \frac{S_o^{0,5714}}{J^{0,5714}} \right)^{2,75} - S_o \left( 1 - 0,561 \cdot \frac{S_o^{0,5714}}{J^{0,5714}} \right)}$$

$$L = \frac{H.H \text{ var}}{J - J \left( 0,204 \cdot \frac{S_o^{0,5714}}{J^{0,5714}} \right) - S_o \left( 1 - 0,561 \cdot \frac{S_o^{0,5714}}{J^{0,5714}} \right)}$$

$$L = \frac{H.H \text{ var}}{J - S_o \left( 0,204 \cdot \frac{S_o^{0,5714}}{J^{0,5714}} \right) - S_o + 0,561 \cdot S_o \cdot \frac{S_o^{0,5714}}{J^{0,5714}}}$$

$$L = \frac{H \cdot H \text{ var}}{J - So \left( 0,204 \cdot \frac{So^{0,5714}}{J^{0,5714}} + 1 - 0,561 \cdot \frac{So}{J^{0,5714}} \right)}$$

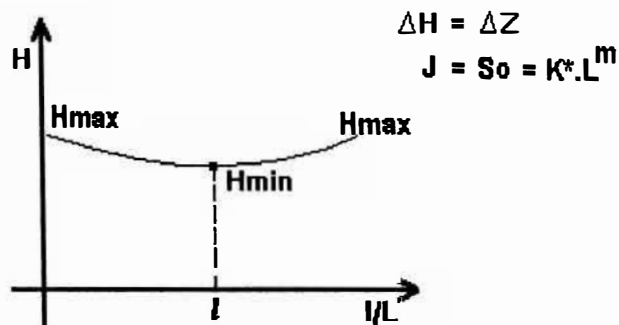
$$L = \frac{H \cdot H \text{ var}}{J + So \left( 0,357 \frac{So^{0,5714}}{J^{0,5714}} - 1 \right)}$$

$\swarrow$   $J = K^* \cdot L^{1,75}$        $\searrow$   $\left( \frac{So}{K^* \cdot L^{1,75}} \right)^{0,5714}$

$$L = \frac{H \cdot H \text{ var}}{K^* \cdot L^{1,75} + So \left[ 0,357 \left( \frac{So}{K^* \cdot L^{1,75}} \right)^{0,5714} - 1 \right]}$$

(57)

### 1.8.3. Perfil do tipo IIb

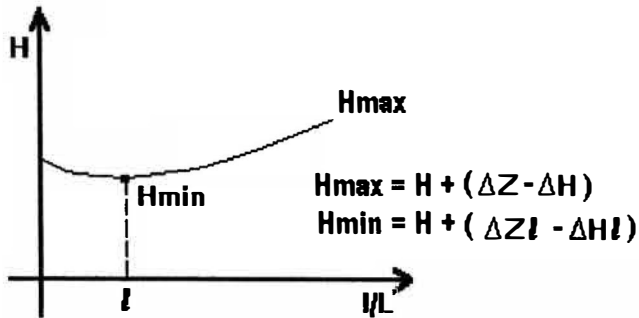


Esse tipo de perfil é idêntico ao anterior, só que  $J = So$ , logo a equação do perfil tipo IIa para  $J = So$ , ficará

$$L = \frac{H \cdot H \text{ var}}{0,357 \cdot So}$$

(58)

#### 1.8.4. Perfil do tipo IIc



$$(59)$$

$$(60)$$

substituindo as equações (59) e (60) em (39), tem-se,

$$H \text{ var} = \frac{H + \Delta Z - \Delta H - H - \Delta Zl + \Delta Hl}{H + \Delta Z - \Delta H} \quad (61)$$

desenvolvendo (63), tem-se :

$$H \text{ var} \cdot (H + \Delta z - \Delta H) = \Delta Z - \Delta H - \Delta Zl + \Delta Hl$$

$$H \text{ var} \cdot H + H \text{ var} \cdot \Delta z - H \text{ var} \cdot \Delta H = \Delta Z - \Delta H - \Delta Zl + \Delta Hl$$

$$H \text{ var} \cdot H = \Delta Z - \Delta H - \Delta Zl + \Delta Hl - H \text{ var} \cdot \Delta z + H \text{ var} \cdot \Delta H$$

dividindo tudo por "L", tem-se:

$$\frac{H \text{ var} \cdot H}{L} = \frac{\Delta Z}{L} - \frac{\Delta H}{L} - \frac{\Delta Zl}{L} + \frac{\Delta Hl}{L} - H \text{ var} \left( \frac{\Delta Z}{L} - \frac{\Delta H}{L} \right)$$

$$\frac{H \text{ var} \cdot H}{L} = So - J - \frac{l}{L} \cdot So + \frac{\Delta Hl}{L} - H \text{ var} (So - J) \quad (62)$$

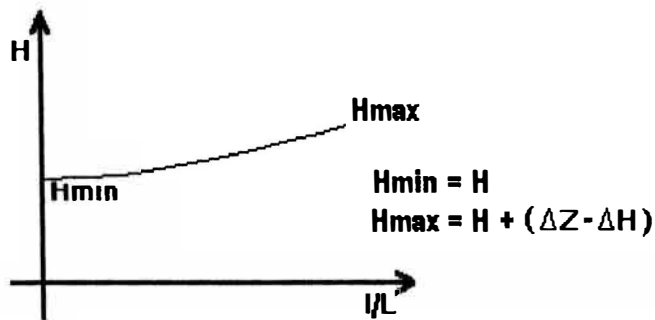


substituindo (56) e (12) em (62) e desenvolvendo, tem-se :

$$L = \frac{H \text{ var. } H}{So - J + \left\{ 1 - \left[ 1 - 0,561 \cdot \left( \frac{So}{J} \right)^{0,5714} \right]^{2,75} \right\} - Sc \left[ 1 - 0,561 \cdot \left( \frac{So}{J} \right)^{0,5714} \right] - H \text{ var. } (So - J)}$$

$$L = \frac{H \text{ var. } H}{So \cdot \left[ 0,357 \cdot \left( \frac{So}{K^* \cdot L^{1,75}} \right)^{0,5714} \right] - H \text{ var. } (So - K^* \cdot L^{1,75})} \quad (63)$$

### 1.8.5. Para o perfil do tipo III



$$\frac{H \text{ var. } H}{L} = \frac{\Delta Z}{L} - \frac{\Delta H}{L} + H \text{ var. } \frac{\Delta H}{L} - \frac{\Delta Z}{L}$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 $So$                        $J$                        $J$                        $So$

$$L = \frac{H \text{ var. } H}{So - J + H \text{ var. } (J - So)}$$

$$L = \frac{H \text{ var. } H}{(So - K^* \cdot L^{1,75}) \cdot (1 - H \text{ var.})} \quad (64)$$

## 1.9. Critérios para caracterização do tipo de perfil

### 1.9.1. Perfil tipo I

Quando a linha está em nível ou a cive, ou seja, quando :

$$\Delta Z = 0 \text{ ou } \Delta Z < 0$$

### 1.9.2. Perfil tipo IIa

É considerado perfil tipo IIa, quando :

$$\Delta H > \Delta Z \implies J > S_o \implies \frac{J}{S_o} > 1$$

$$\frac{K^* \cdot L^m}{S_o} > 1 \implies 0 < \frac{S_o}{K^* \cdot L^m} < 1$$

### 1.9.3. Perfil tipo IIb

É considerado perfil tipo IIb, quando :

$$\Delta Z = \Delta H \implies S_o = J \implies S_o = K^* \cdot L^m$$

$$\frac{S_o}{K^* \cdot L^m} = 1$$

#### 1.9.4. Perfil tipo IIc

É considerado perfil tipo IIc, quando o local onde ocorre a pressão mínima é maior que zero e menor que um, já que no perfil tipo III a pressão mínima ocorre no início, ou seja :

$$0 < \frac{\ell}{L} < 1 \implies 0 < \frac{S_0}{J(m+1)} < 1 \implies 0 < \frac{S_0}{J} < m+1$$

$$1 < \frac{S_0}{K \cdot L^m} < m+1$$

#### 1.9.5. Perfil tipo III

É considerado perfil tipo III, quando :

$$\frac{S_0}{K \cdot L^m} \geq m+1$$

## MODELO ESTATÍSTICO PARA DIMENSIONAMENTO DE LINHAS LATERAIS

A seguir serão mostradas as deduções do método estatístico proposto por ANYOJI & WU (1987) para dimensionamento de linhas laterais, FRIZZONE (1993).

### 2. Modelo estatístico para dimensionamento de linhas laterais

Parâmetros usados : - CV(q)t ;  
- CV(H) ;  
- CV(K) ;  
- ΔZ .

sendo,

CV(q)t - coeficiente de variação de vazão;

CV(H) - coeficiente de variação de pressão;

CV(K) - coeficiente de variação de fabricação;

ΔZ - desnível.

#### 2.1. Desenvolvimento em série de Taylor de funções de várias variáveis (no caso, Z)

Seja  $Z = G(x,y)$  uma função definida e contínua na vizinhança de um ponto  $G(x_m, y_m)$ , com as derivadas parciais de ordem “n” (no caso, Z) também contínuas nessa região. O desenvolvimento de  $G(x,y)$  em série de Taylor, para ordem 2, será:

$$G(x, y) = G(x_m, y_m) + \frac{\partial G}{\partial x}(x_m, y_m) \cdot (x - x_m) + \frac{\partial G}{\partial y}(x_m, y_m) \cdot (y - y_m) + \frac{1}{2!} \left[ \frac{\partial^2 G}{\partial x^2}(x_m, y_m) \cdot (x - x_m)^2 + 2 \cdot \frac{\partial^2 G}{\partial x \partial y}(x_m, y_m) \cdot (x - x_m) \cdot (y - y_m) + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2}(x_m, y_m) \cdot (y - y_m)^2 \right] \quad (65)$$

generalizando,

$$G(x_i, y_i) = G(x_m, y_m) + \frac{\partial G_i}{\partial x_i} (x_m, y_m) \cdot (x_i - x_m) + \frac{\partial G_i}{\partial y_i} (x_m, y_m) \cdot (y_i - y_m)^2 + \frac{1}{2!} \left[ \frac{\partial^2 G_i}{\partial x_i^2} (x_m, y_m) (x_i - x_m)^2 + \frac{\partial^2 G_i}{\partial y_i^2} (x_m, y_m) (y_i - y_m)^2 + 2 \frac{\partial^2 G_i}{\partial x_i \partial y_i} (x_m, y_m) (x_i - x_m) (y_i - y_m) \right] \quad (66)$$

## 2.2. Aproximações para expectativa e variância

$$\sum \frac{G(x_m, y_m)}{n} = \frac{\mu \cdot G}{n} \quad (67)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n} = G(x_m, y_m) + \frac{\partial G}{\partial x_i} (x_m, y_m) \cdot \frac{\sum (x_i - x_m)}{n} + \frac{\partial G}{\partial y_i} (x_m, y_m) \cdot \frac{\sum (y_i - y_m)}{n} + \frac{1}{2!} \left[ \frac{\partial^2 G}{\partial x_i^2} (x_m, y_m) \frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n} + \frac{\partial^2 G}{\partial y_i^2} (x_m, y_m) \frac{\sum (y_i - y_m)^2}{n} + \frac{2 \partial^2 G}{\partial x_i \partial y_i} (x_m, y_m) \frac{\sum (x_i - x_m) (y_i - y_m)}{n} \right] \quad (68)$$

sendo :

$$\rho = \frac{\sum (x_i - x_m) \cdot (y_i - y_m)}{\sqrt{\sum (x_i - x_m)^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - y_m)^2}}$$

onde,

$\rho$  - coeficiente de correlação entre “x” e “y”.

$$\sum (x_i - x_m) \cdot (y_i - y_m) = \rho \cdot \sqrt{\sum (x_i - x_m)^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - y_m)^2} \quad (69)$$

dividindo (69) por “n” tem :

$$\frac{\sum (x_i - x_m) \cdot (y_i - y_m)}{n} = \rho \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n}} \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_m)^2}{n}} \quad (70)$$

$\downarrow$   $\downarrow$   
 $V(x)$   $V(y)$

Sejam “x” e “y” variáveis aleatórias independentes, com  $Z = G(x,y)$ . Suponha-se que  $E(x) = x_m$  é a média de “x”,  $E(y) = y_m$  é a média de “y”,  $E(Z) = Z_m$  é a média de “Z”. Supondo-se que todas as derivadas parciais de “G” existem para  $(x_m, y_m)$ , a expectativa e a variância de “Z” podem ser obtidas da equação (65), no ponto  $(x_m, y_m)$ , para um e dois termos e substituindo (70) em (68), tem-se :

$$E(Z) = G(x_m, y_m) + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \cdot (x_m, y_m) \cdot V(x) + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} \cdot (x_m, y_m) \cdot V(y) \right] + \rho \sqrt{V(x)} \cdot \sqrt{V(y)} \cdot \frac{\partial^2 G}{\partial x \partial y} \cdot (x_m, y_m) \quad (71)$$

$$V(Z) \cong \left[ \frac{\partial G}{\partial x} \cdot (x_m, y_m) \right]^2 \cdot V(x) + \left[ \frac{\partial G}{\partial y} \cdot (x_m, y_m) \right]^2 \cdot V(y) + 2\rho \cdot \sqrt{V(x)} \cdot \sqrt{V(y)} \cdot \left[ \frac{\partial G}{\partial x} \cdot (x_m, y_m) \cdot \frac{\partial G}{\partial y} \cdot (x_m, y_m) \right] \quad (72)$$

### 2.3. Valor médio da vazão dos emissores - qm.

A expressão para o valor médio da vazão dos emissores foi obtida aplicando a equação  $q = K \cdot H^x$  na equação (71), considerando que “K” e “H” são variáveis aleatórias independentes, o que permite aceitar o coeficiente de correlação ( $\rho$ ) como nulo.

Para  $q = K \cdot H^x$ , sendo  $q = G(K, H)$ , tem-se :

$$q_m = K_m \cdot H_m^x + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 q}{\partial K^2} \cdot (K_m, H_m) \cdot V(K) + \frac{\partial^2 q}{\partial H^2} \cdot (K_m, H_m) \cdot V(H) \right] \quad (73)$$

onde,

$q_m$  - valor médio da variável  $q$ ;

$K_m$  - valor médio da variável  $K$ ;

$H_m$  - valor médio da variável  $H$ ;

$V(K)$  - variância da variável  $K$ ;

$V(H)$  - variância da variável  $H$ .

Sendo  $q = K \cdot H^x$ , tem-se :

$$\frac{\partial q}{\partial K} = H^x \implies \frac{\partial^2 q}{\partial K^2} = 0 \quad (74)$$

$$\frac{\partial q}{\partial H} = x \cdot K \cdot H^{x-1} \implies \frac{\partial^2 q}{\partial H^2} = x \cdot (x-1) \cdot K \cdot H^{x-2} \quad (75)$$

Substituindo (74) e (75) em (73), e desenvolvendo, tem-se :

$$q_m = K_m \cdot H_m^x + \frac{1}{2} \left[ \overset{0}{\cancel{0 \cdot V(K)}} + x(x-1) \cdot K_m \cdot H_m^{x-2} \cdot V(H) \right]$$

$$q_m = K_m \cdot H_m^x + 0,5 \cdot V(H) \cdot x(x-1) \cdot K_m \cdot H_m^{x-2} \quad (76)$$

Por definição, tem-se :

$$CV(H) = \frac{\sqrt{V(H)}}{H_m} \quad (77)$$

$$\text{logo,} \quad V(H) = [CV(H)]^2 \cdot H_m^2 \quad (78)$$

Substituindo (78) em (76), e desenvolvendo, tem-se

$$\begin{aligned}
 q_m &= K_m \cdot H_m^x + 0,5 \cdot [CV(H)]^2 \cdot H_m^2 \cdot K_m \cdot H_m^{x-2} \cdot x \cdot (x-1) \\
 q_m &= K_m \cdot H_m^x + 0,5 \cdot K_m \cdot H_m^x \cdot [CV(H)]^2 \cdot x \cdot (x-1) \\
 q_m &= K_m \cdot H_m^x \cdot [1 + 0,5 \cdot x \cdot [CV(H)]^2 \cdot (x-1)] \quad (79)
 \end{aligned}$$

#### 2.4. Variância da vazão dos emissores ao longo da linha lateral - V(q)

A variância da vazão dos emissores ao longo da linha lateral é obtida da equação (72), considerando  $G(x,y) = q(K,H)$  e  $\rho = 0$  :

$$V(q) = \left[ \frac{\partial q}{\partial K} \cdot (K_m, H_m) \right]^2 \cdot V(K) + \left[ \frac{\partial q}{\partial H} \cdot (K_m, H_m) \right]^2 \cdot V(H) \quad (80)$$

Substituindo (74) e (75) em (80), tem-se :

$$V(q) = H_m^{2x} \cdot V(K) + K_m^2 \cdot x^2 \cdot H_m^{2x-2} \cdot V(H) \quad (81)$$

O coeficiente de variação de fabricação é encontrado pela seguinte equação :

$$CV(K) = \frac{\sqrt{V(K)}}{K_m} \quad (82)$$

$$V(K) = [CV(K)]^2 \cdot K_m^2 \quad (83)$$

onde,

CV(K) - coeficiente de variação de "K", também chamado de coeficiente de variação de fabricação;

V(K) - variância de "K".

Substituindo (78) e (83) em (81) e desenvolvendo, tem-se :



$$\begin{aligned}
V(q) &= Hm^{2x} \cdot [CV(K)]^2 \cdot Km + Km^2 \cdot x^2 \cdot Hm^{2x-2} \cdot [CV(H)]^2 \cdot Hm^2 \\
V(q) &= Km^2 \cdot Hm^{2x} \cdot [CV(K)]^2 + Km^2 \cdot x^2 \cdot Hm^{2x} \cdot [CV(H)]^2 \\
V(q) &= Km^2 \cdot Hm^2 \cdot \{ [CV(K)]^2 + x^2 \cdot [CV(H)]^2 \}
\end{aligned} \tag{84}$$

## 2.5. Coeficiente de variação da vazão dos emissores ao longo da linha lateral -

### CV(q)

Por definição,

$$CV(q) = \frac{\sqrt{V(q)}}{qm} \tag{85}$$

Considerando que “K” e “H” são independentes, e substituindo (79) e (84) em (85), tem-se :

$$\begin{aligned}
CV(q) &= \frac{\sqrt{Km^2 \cdot Hm^{2x} \{ [CV(K)]^2 + x^2 \cdot [CV(H)]^2 \}}}{Km \cdot Hm^x \cdot \{ 1 + 0,5 \cdot x \cdot [CV(H)]^2 \cdot (x-1) \}} \\
CV(q)_t &= \frac{\sqrt{[CV(K)]^2 + x^2 \cdot [CV(H)]^2}}{1 + 0,5 \cdot x \cdot [CV(H)]^2 \cdot (x-1)}
\end{aligned} \tag{86}$$

O valor do denominador da equação (86), dentro dos limites usuais de “x” e CV(H), é aproximadamente igual a 1. O maior desvio ocorre para  $x = 0,5$ , para qualquer valor de CV(H). Por exemplo, para  $CV(H) = 0,05$  o valor de denominador é 0,9997 e para  $CV(H) = 0,20$  o seu valor é 0,9950. Dessa forma, a equação (86) pode ser simplificada como :

$$CV(q)_T = \sqrt{[CV(K)]^2 + x^2 \cdot [CV(H)]^2} \tag{87}$$

## 2.6. Variância da carga de pressão dos emissores ao longo da linha lateral - V(H)

Considerando um conjunto de observações  $H_1, H_2, \dots, H_n$ , com desvios em relação à média aritmética  $d=(H\ell-Hm)$ , a variância é definida como a média da soma dos quadrados dos desvios, isto é :

$$V(H) = \frac{1}{L} \cdot \sum_{\ell=0}^L (H\ell - Hm)^2 \quad (88)$$

A equação (88) pode ser reescrita na seguinte forma :

$$V(H) = \frac{1}{L} \int_0^L (H\ell - Hm) \cdot d\ell \quad (89)$$

Em particular, para uma condição de aclive da linha lateral, ou seja :

$$H\ell = H - \Delta H\ell - \Delta Z\ell \quad (90)$$

$$Hm = H - \Delta Hm - \Delta Zm \quad (91)$$

substituindo as equações (90) e (91) na equação (88) e procedendo-se a expansão dos termos da integral, obtém-se :

$$V(H) = \frac{1}{L} \int_0^L (H - \Delta H\ell - \Delta Z\ell - H + \Delta Hm + \Delta Zm)^2 d\ell$$

$$V(H) = \frac{1}{L} \int_0^L (\Delta Hm^2 - \Delta Hm \cdot \Delta H\ell - \Delta Hm \cdot \Delta Z\ell + \Delta Hm \cdot \Delta Zm - \Delta H\ell \cdot \Delta Hm + \Delta H\ell^2 +$$

$$\Delta H\ell \cdot \Delta Z\ell - \Delta H\ell \cdot \Delta Zm - \Delta Z\ell \cdot \Delta Hm + \Delta Z\ell \cdot \Delta H\ell - \Delta Z\ell \cdot \Delta Zm + \Delta Z\ell^2 + \Delta Zm \cdot \Delta Hm - \Delta Zm \cdot \Delta H\ell - \Delta Zm \cdot \Delta Z\ell + \Delta Zm^2) d\ell$$

$$V(H) = \underbrace{\frac{1}{L_0} \int_0^L (\Delta H_m - \Delta H \ell)^2 d\ell}_a + \underbrace{\frac{1}{L_0} \int_0^L (\Delta Z_m - \Delta Z \ell) d\ell}_b + \underbrace{\frac{2}{L_0} \int_0^L (\Delta H_m - \Delta H \ell) \cdot (\Delta Z_m - \Delta Z \ell) d\ell}_c$$

$$a) \frac{1}{L_0} \int_0^L (\Delta H_m - \Delta H \ell)^2 d\ell = \frac{1}{L_0} \int_0^L (\Delta H \ell)^2 d\ell - (\Delta H_m)^2 \quad (92)$$

Substituindo as equações (12) e (15) na equação (92) e resolvendo-se a integral, obtém-se :

$$\frac{1}{L_0} \int_0^L (\Delta H_m - \Delta H \ell)^2 d\ell = \frac{(m+1)^2}{(2m+3) \cdot (m+2)^2} \cdot (\Delta H)^2 \quad (93)$$

$$b) \frac{1}{L_0} \int_0^L (\Delta Z_m - \Delta Z \ell)^2 d\ell = \frac{1}{L_0} \int_0^L (\Delta Z \ell)^2 d\ell - (\Delta Z_m)^2 \quad (94)$$

Substituindo as equações (19) e (20) na equação (94) e resolvendo-se a integral, obtém-se :

$$\frac{1}{L_0} \int_0^L (\Delta Z_m - \Delta Z \ell)^2 d\ell = \frac{1}{12} (\Delta Z)^2 \quad (95)$$

$$c) \frac{2}{L_0} \int_0^L (\Delta H_m - \Delta H \ell) \cdot (\Delta Z_m - \Delta Z \ell) d\ell = \frac{2}{L_0} \int_0^L \Delta H_m (\Delta Z_m - \Delta Z \ell) d\ell + \frac{2}{L_0} \int_0^L \Delta H \ell (\Delta Z \ell - \Delta Z_m) d\ell$$

Como  $\frac{2}{L_0} \int_0^L \Delta H_m (\Delta Z_m - \Delta Z \ell) d\ell = 0$ , tem-se :

$$\begin{aligned} \frac{2}{L_0} \int_0^L (H_m - \Delta H \ell) \cdot (\Delta Z_m - \Delta Z \ell) d\ell &= \frac{2}{L_0} \int_0^L \Delta H \ell \cdot \Delta Z \ell d\ell - \\ 2 \cdot \Delta Z_m \frac{1}{L_0} \int_0^L \Delta H \ell d\ell &= \frac{(m+1)}{(m+2) \cdot (m+3)} \cdot (\Delta H) \cdot (\Delta Z) \end{aligned} \quad (96)$$

Dessa forma, a variância da carga de pressão ao longo da linha lateral pode ser expressa como :

$$V(H) = \frac{(m+1)^2}{(2m+3) \cdot (m+2)^2} \cdot (\Delta H)^2 + \frac{1}{12} (\Delta Z)^2 + \frac{(m+1)}{(m+2) \cdot (m+3)} \cdot (\Delta H) \cdot (\Delta Z) \quad (97)$$

A equação (97) foi obtida para linha lateral em aclave. Se as condições forem de declive, o último termo dessa equação será negativo. Se a tubulação estiver em nível, os dois últimos termos da equação (97) serão nulos.

## 2.7. Coeficiente de variação da carga de pressão ao longo da linha lateral -CV(H)

Considerando uma linha lateral em aclave, a carga média de pressão pode ser calculada pela expressão :

$$H_m = H \left[ \frac{m+1}{m+2} \cdot \Delta H + \frac{1}{2} \cdot \Delta Z \right] \quad (98)$$

O coeficiente de variação da carga de pressão é obtido pela relação

$$CV(H) = \frac{\sqrt{V(H)}}{H_m}, \text{ onde "H}_m\text{" é calculado pela equação (98) e V(H) pela equação (97).}$$

A equação (98) também permite calcular a pressão na entrada da lateral (H).

sendo,

V(H) - variância da carga de pressão.

## **APÊNDICE 2**

## EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE UM PROJETO DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA, UTILIZADO O SOFTWARE COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO.

### DADOS FORNECIDOS :

- Área : 12 ha (300m x 400m) (Figura 15);
- Solo : Arenoso
  - Ucc = 14 % (em peso);
  - Upmp = 8 %;
  - Da = 1,4 g/cm<sup>3</sup>;
- Cultura : Laranja
  - Ze = 100 cm;
  - f = 0,4;
  - P = 33 %;
  - Ep = 5 m;
  - El = 7 m;

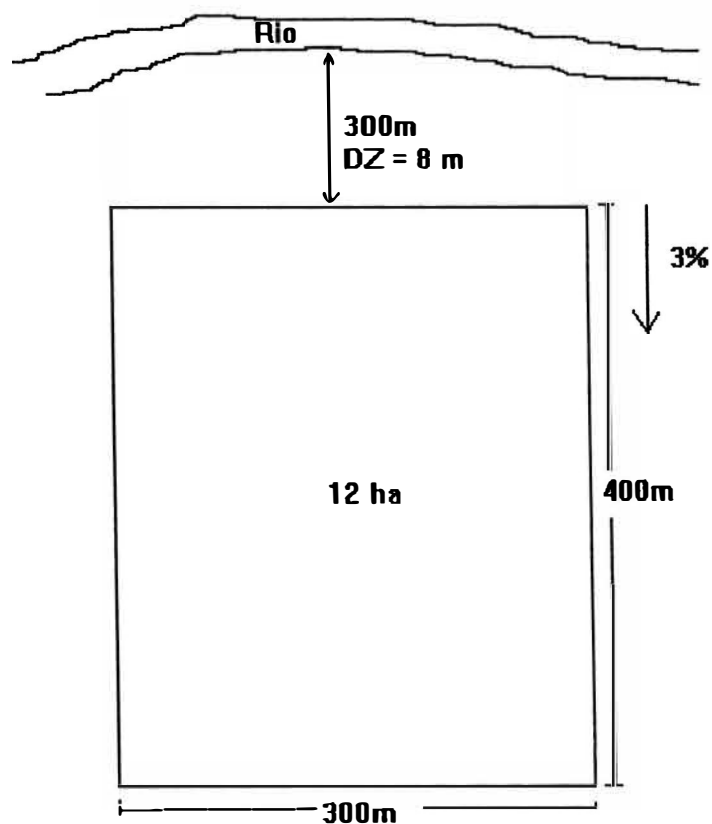


Figura 15 - Área do projeto.

Inicialmente, entra-se no módulo “sugestão de emissor”. A figura 16 mostra o relatório emitido pelo programa, contendo os dados de entrada e os resultados dos cálculos. Baseado nos resultados obtidos, optou-se pelo uso de um microaspersor por planta, cujo modelo escolhido foi o MA120-DANTAS, apresentando as seguintes características :  $q_{nom} = 80$  l/h;  $CV(k) = 2,7$  %;  $x = 0,54$ ;  $k = 18,54$ . De acordo com a equação característica do emissor, para uma variação de vazão máxima de 10 %, as pressões na sub-unidade não podem ser inferior a 13,6 mca, nem superior a 16,4 mca.

Em seguida, entra-se no módulo de dimensionamento das linhas laterais para encontrar o comprimento máximo da linha.

# - SUGESTAO DE GOTEJADOR E MICROASPERSOR:

# - DADOS DE ENTRADA:

Textura do solo.....: GROSSA  
 Umidade na capacidade de campo, em peso...: 14.00 %  
 Umid. no p. de murcha permanente, em peso...: 8.00 %  
 Densidade aparente do solo.....: 1.40 g/cm<sup>3</sup>  
 Prof. efetiva do sistema radicular.....: 100.00 cm  
 Fator de disp. de agua no solo(decimal)..: 0.40  
 Porcentagem de area molhada minima.....: 33.00 %  
 Eficiencia de aplicacao da irrigacao.....: 90.00 %  
 Espacamento entre plantas.....: 5.00 m  
 Espacamento entre linhas de plantio.....: 7.00 m  
 Tempo maximo de irrigacao desejado/dia...: 6.00 h

# - SUGESTAO DE GOTEJADOR:

Numero/planta.....: 153  
 Vazao minima.....: 0.47 l/h  
 Area molhada.....: 0.08 m<sup>2</sup>  
 Profundidade de molhamento.....: 13.65 cm  
 Atencao, nao e recomendado o uso de gotejadores !!!

# - SUGESTAO DE MICROASPERSOR:

Numero/ planta	Vazao minima (l/h)	Diametro molhado minimo (m)
0.5	143.73	5.42
1	71.87	3.83
2	35.93	2.71
3	23.96	2.21

Figura 16 - Tela gerada pelo programa com os resultados do módulo “sugestão de emissores”.

As figura 17, 18 e 19 mostram os resultados fornecidos pelos métodos de dimensionamento trecho a trecho, hidráulico e estatístico, respectivamente. Para que as linhas laterais fiquem em nível, elas seram colocadas no mesmo sentido do rio.

#	- DADOS DO EMISSOR:	
	- Expoente da equacao de fluxo do emissor.....:	0.5400
	- Constante da equacao de fluxo do emissor.....:	18.5400
	- Pressao minima de operacao admitida.....:	13.60 mca
	- Comp. equivalente/trecho.....:	0.106 m
	- Insercao do emissor.....:	SOBRE A LINHA
	- Diametro da conexao do emissor.....:	5.00 mm
#	- DADOS DA LINHA LATERAL:	
	- Diametro da linha.....:	16.00 mm
	- Condicao topografica.....:	em NÍVEL
	- Espacamento entre emissores na linha.....:	5.00 m
#	- RESULTADOS OBTIDOS:	
	- Comprimento maximo da linha lateral.....:	55.00 m
	- Numero de emissores na linha.....:	11 emissores
	- Pressao no inicio da linha.....:	15.70 mca
	- Pressao no final da linha.....:	13.60 mca
	- Menor pressao na linha.....:	13.60 mca
	- Local onde ocorre a menor pressao,do inicio...:	55.00 m
	- Menor vazao na linha.....:	75.90 l/h
	- Vazao do primeiro emissor.....:	82.01 l/h
	- Vazao do ultimo emissor.....:	75.90 l/h
	- Vazao total da linha em l/h.....:	855.19 l/h
	- Vazao total da linha em m <sup>3</sup> /h.....:	0.855m <sup>3</sup> /h
	- Perda de carga total na linha.....:	2.71 m
	- Velocidade maxima na linha.....:	1.30 m/s
#	- RESULTADOS OBTIDOS PARA O PROJETO:	
	- Comprimento de projeto.....:	50.00 m
	- Numero de emissores na linha.....:	10 emissores
	- Pressao no inicio da linha.....:	15.18 mca
	- Pressao no final da linha.....:	13.60 mca
	- Menor pressao na linha.....:	13.60 mca
	- Local onde ocorre a menor pressao,do inicio...:	50.00 m
	- Menor vazao na linha.....:	75.90 l/h
	- Vazao do primeiro emissor.....:	80.55 l/h
	- Vazao do ultimo emissor.....:	75.90 l/h
	- Vazao total da linha em l/h.....:	773.18 l/h
	- Vazao total da linha em m <sup>3</sup> /h.....:	0.773m <sup>3</sup> /h
	- Perda de carga total na linha.....:	2.10 m
	- Velocidade maxima na linha.....:	1.18 m/s

Figura 17 - Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha lateral pelo método trecho a trecho.



```

# - DADOS DO EMISSOR :
- Vazao nominal do emissor.....: 80.00 l/h
- Insercao do emissor.....: SOBRE
- Diametro da conexao do emissor "Sobre a linha"....: 5.00 mm

# - DADOS DA LINHA LATERAL :
- Condiçao topografica.....: em NÍVEL
- Diametro interno da linha.....: 16.00 mm
- Espacamento entre emissores na linha.....: 5.00 m
- Pressao no inicio da linha lateral.....: 15.20 mca
- Maxima variacao de pressao na linha lateral.....: 11.00 %

# - RESULTADOS OBTIDOS:
- Comprimento maximo da linha lateral.....: 50.00 m
- Numero de emissores na linha.....: 10
- Pressao media na lateral.....: 14.00 mca
- Local onde ocorre a pressao media, do inicio.....: 19.00 m
- Menor pressao na lateral.....: 13.56 mca
- Local onde ocorre a pressao minima, do inicio.....: 50.00 m
- Perda de carga na lateral.....: 1.64 mca
- Vazao total da lateral.....:800.00 l/h
- Tipo de Perfil.....: TIPO I

```

Figura 18 - Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha lateral pelo método hidráulico.

```

# - DADOS DO EMISSOR :
- Vazao nominal do emissor.....: 80.00 l/h
- Expoente da equacao de fluxo do emissor.....: 0.5400
- Constante da equacao de fluxo do emissor.....: 18.5400
- Coeficiente de variacao de fabricacao.....: 2.70 %

# - DADOS DA LINHA LATERAL :
- Disposicao da lateral no campo.....:em NÍVEL
- Inclinaçao.....: 0.00 %
- Espacamento entre emissores.....: 5.00 m
- Coeficiente de variacao de vazao.....: 5.60 %
- Diametro interno da linha lateral.....: 16.00 mm

# - RESULTADOS OBTIDOS :
- Comprimento maximo da linha lateral.....: 70.00 m
- Numero de emissores.....: 14
- Coeficiente de variacao de pressao.....: 9.07 %
- Pressao media de operacao.....: 15.02 m
- Perda de carga na lateral.....: 4.12 m
- Vazao total da lateral.....:1120.00 l/h

```

Figura 19 - Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha lateral pelo método estatístico.

Baseado nos resultados obtidos, dividiu-se a área em 6 sub-unidades, ficando as linhas laterais com comprimento de 50 m e a linha de derivação com 200 m (Figura 20).

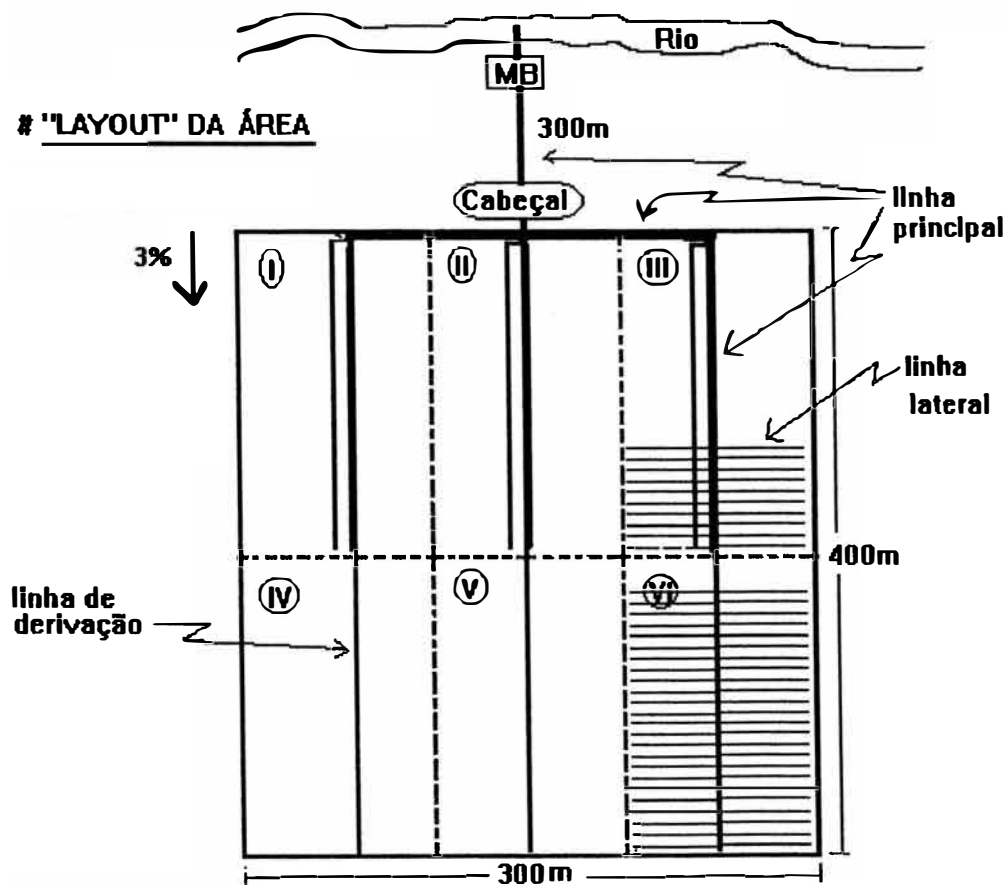


Figura 20 - "Layout" da área dividida em 6 sub-unidades.

Para o cálculo da linha de derivação, foi fornecido os seguintes dados : Total de nós : 28(200m/7m); Pnominal : 15,1 mca; So : 3 %; L1 : 2m; L : 7 m; Vazão dos nós(constante) :  $2 \cdot 773,18 \text{ l/h} = 1546,36 \text{ l/h}$ (Figura 17 - p/ 50 m); diâmetros(mm) : 103; 79; 54,6; 45,2; 35,6; 27,7. A figura 21, mostra os resultados fornecidos pelo programa. A seqüência de diâmetros fornecidas pelo programa, é hidraulicamente a mais correta, mais é muito complicada sua montagem (Figura 21). Para solucionar esse problema, é feita a mudança do diâmetro de alguns trechos (Tabela 5) e solicitado um novo cálculo da linha (Figura 22). É importante observar, que houve mudanças nas pressões dos nós, mas que a pressão mínima(15,12mca) ficou aproximadamente igual a pressão requerida na entrada das laterais(15,18mca) e a máxima(16,24mca) ficou abaixo da máxima permitida(16,4 mca).

Tabela 5 - Novos diâmetros dos trechos modificados da linha de derivação.

<b>TRECHO</b>	<b>Diâmetro calculado(mm)</b>	<b>Novo diâmetro(mm)</b>
3-4	79,00	103,00
5-6	79,00	103,00
7-8	79,00	103,00
17-18	54,60	79,00
18-19	79,00	54,60
19-20	79,00	54,60
24-25	54,60	45,20
27-28	45,20	35,60

# - DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE DERIVACAO.  
METODO : DIVISAO EM TRECHOS.

No	Cota do no	Pressao no no (m.c.a.)	Trecho	Comprimento (m)	Diametro (mm)
1	100.00	15.12	1- 2	2.00	103.00
2	99.94	15.21	2- 3	7.00	103.00
3	99.73	15.02	3- 4	7.00	79.00
4	99.52	15.12	4- 5	7.00	103.00
5	99.31	14.98	5- 6	7.00	79.00
6	99.10	15.10	6- 7	7.00	103.00
7	98.89	15.01	7- 8	7.00	79.00
8	98.68	15.14	8- 9	7.00	103.00
9	98.47	15.10	9-10	7.00	79.00
10	98.26	15.08	10-11	7.00	79.00
11	98.05	15.08	11-12	7.00	79.00
12	97.84	15.10	12-13	7.00	79.00
13	97.63	15.14	13-14	7.00	79.00
14	97.42	15.20	14-15	7.00	79.00
15	97.21	15.28	15-16	7.00	79.00
16	97.00	15.37	16-17	7.00	79.00
17	96.79	14.99	17-18	7.00	54.60
18	96.58	15.11	18-19	7.00	79.00
19	96.37	15.25	19-20	7.00	79.00
20	96.16	15.10	20-21	7.00	54.60
21	95.95	15.03	21-22	7.00	54.60
22	95.74	15.01	22-23	7.00	54.60
23	95.53	15.05	23-24	7.00	54.60
24	95.32	15.14	24-25	7.00	54.60
25	95.11	15.15	25-26	7.00	45.20
26	94.90	14.98	26-27	7.00	35.60
27	94.69	15.13	27-28	7.00	45.20
28	94.48	15.16	28-29	7.00	27.70

Pmax=15.37 mca; Pmin=14.98 mca - Variacao de pressao=2.57 %

Figura 21 - Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha de derivação.

# - DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE DERIVACAO.  
METODO : DIVISAO EM TRECHOS.

No	Cota do no	Pressao no no (m.c.a.)	Trecho	Comprimento (m)	Diametro (mm)
1	100.00	15.12	1- 2	2.00	103.00
2	99.94	15.21	2- 3	7.00	103.00
3	99.73	15.31	3- 4	7.00	103.00
4	99.52	15.41	4- 5	7.00	103.00
5	99.31	15.52	5- 6	7.00	103.00
6	99.10	15.64	6- 7	7.00	103.00
7	98.89	15.77	7- 8	7.00	103.00
8	98.68	15.90	8- 9	7.00	103.00
9	98.47	15.86	9-10	7.00	79.00
10	98.26	15.84	10-11	7.00	79.00
11	98.05	15.84	11-12	7.00	79.00
12	97.84	15.86	12-13	7.00	79.00
13	97.63	15.90	13-14	7.00	79.00
14	97.42	15.96	14-15	7.00	79.00
15	97.21	16.04	15-16	7.00	79.00
16	97.00	16.13	16-17	7.00	79.00
17	96.79	16.24	17-18	7.00	79.00
18	96.58	15.94	18-19	7.00	54.60
19	96.37	15.73	19-20	7.00	54.60
20	96.16	15.58	20-21	7.00	54.60
21	95.95	15.51	21-22	7.00	54.60
22	95.74	15.49	22-23	7.00	54.60
23	95.53	15.53	23-24	7.00	54.60
24	95.32	15.44	24-25	7.00	45.20
25	95.11	15.44	25-26	7.00	45.20
26	94.90	15.27	26-27	7.00	35.60
27	94.69	15.30	27-28	7.00	35.60
28	94.48	15.33	28-29	7.00	27.70

Pmax=16.24 mca; Pmin=15.12 mca - Variacao de pressao=6.88 %

Figura 22 - Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha de derivação com os novos diâmetros.

Calculada a linha de derivação, termina os cálculos da sub-unidade. Esses cálculos são válidos para todas as sub-unidades do projeto (Figura 23).

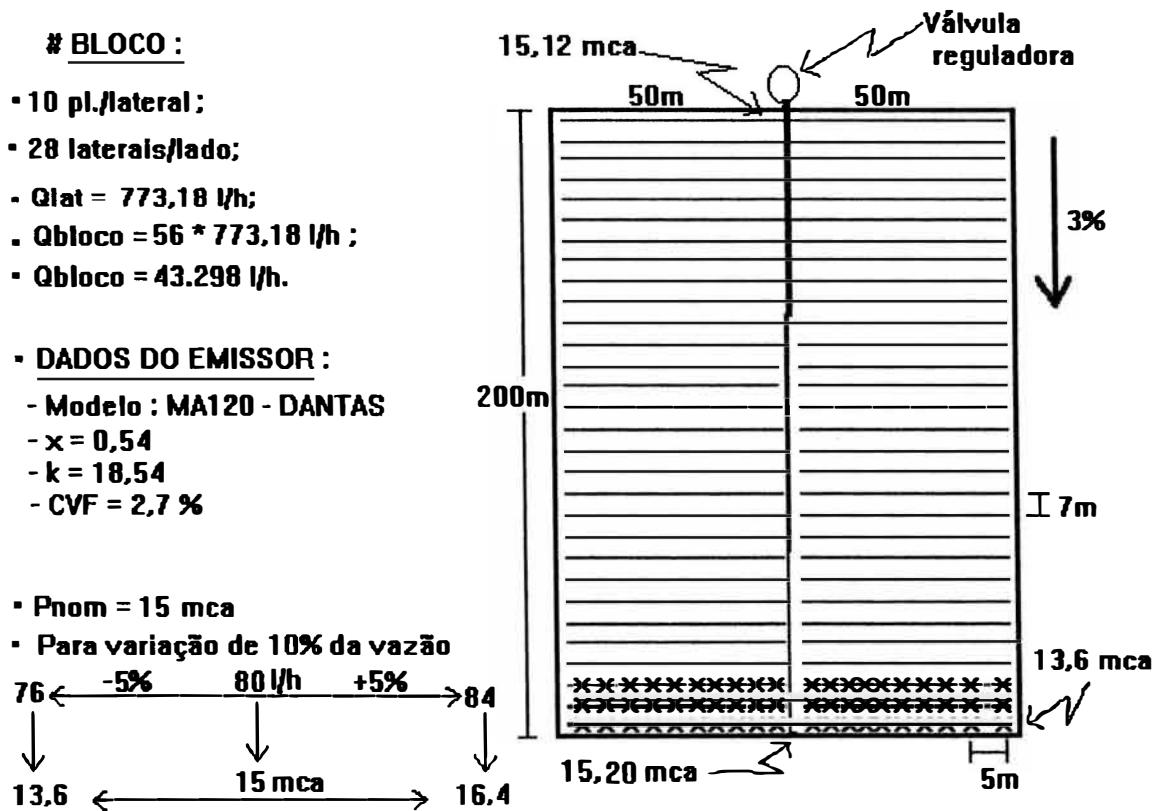


Figura 23 - "Layout" de uma sub-unidade.

Para o cálculo da linha principal, foram utilizados os seguintes dados de entrada: motor : elétrico; C = 120; No. de diâmetros : 5; distância da MB --> 1o. nó : 300 m; espaçamento : 300 m; VUT : 15 anos; TAJ : 12 %; rendimento da MB : 70 %; custo da energia : Um\$ 0,353 Kwh; vazão de cada nó : 12,03 l/s; No. de horas de funcionamento por ano : 2.100 /ano; os diâmetros envolvidos nos cálculos com seus respectivos preços, estão na tabela 6. A figura 24, mostra os resultados fornecidos pelo programa. A figura 25 mostra a distribuição da linha principal no campo.

# - DIMENSIONAMENTO DA LINHA PRINCIPAL.  
DIMENSIONAMENTO BASEADO NA ANALISE ECONOMICA.  
METODO DAS TENTATIVAS SIMPLIFICADO.

- Coeficiente de rugosidade(Eq. Hazen-Willians)....:120.00
- Taxa anual de juro.....: 12.00 %
- Vida util da tubulacao.....: 15.00 anos
- Fator de Recuperacao de Capital(FRC).....: 0.1468

Trecho	Comprimento (m)	Diametro (mm)	Custo R\$/100m	CFA R\$/100m	Hf m/100m	CHf R\$/100m	CT R\$/100m
MB- 1	300.00	150.00	5500.00	807.53	1.55	388.12	1195.66
1- 2	300.00	125.00	4700.00	690.07	1.05	130.63	820.70

Figura 24 - Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento da linha principal.

Tabela 6 - Diâmetros com seus respectivos preços para o cálculo da linha principal.

Diâmetro(mm)	Um\$/m
100	40,00
125	47,00
150	55,00
200	75,00
250	97,00

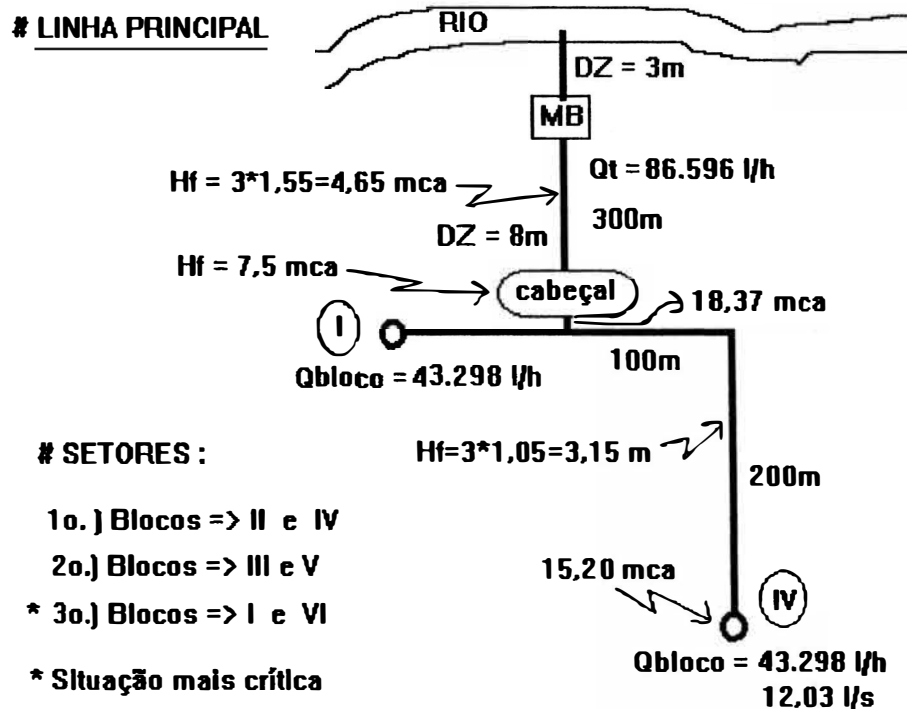


Figura 25 - Distribuição da linha principal no campo.

Para o cálculo do conjunto moto-bomba, foram utilizados os seguintes dados de entrada: Altura geométrica de sucção : 3 m; perdas contínua na sucção : 1 m; perdas localizadas na sucção : 0,5 m; altura geométrica no recalque(MB-->cabeçal) : 8 m; perdas contínua no recalque : 3,15; perdas localizadas no recalque : 1 m; pressão na entrada do cabeçal : 25,87 m; vazão bombeada : 86,60 m<sup>3</sup>/h; eficiência da bomba : 70 % (Figura 26).



# - ESCOLHA DO CONJUNTO MOTOBOMBA.

# - DADOS DA BOMBA ESCOLHIDA:

- Vazao bombeada.....:	86.60 m <sup>3</sup> /h
- Altura manometrica total.....:	42.52 mca
- Eficiencia da bomba.....:	70.00 %

# - ESCOLHA DO MOTOR:

- Potencia util.....:	13.64 cv
- Potencia absorvida.....:	19.48 cv
- Potencia do motor.....:	25.00 cv

Figura 26 - Tela gerada pelo programa com os resultados do dimensionamento do conjunto moto-bomba.

**EXEMPLO DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA  
DA LARANJA, UTILIZADO O SOFTWARE COMO  
FERRAMENTA DE AUXÍLIO.**

**DADOS DE ENTRADA :**

Ucc = 14 % (em peso); Upmp = 8 %; Ui = 13,3 %; Da = 1,4 g/cm<sup>3</sup>; Ze = 100 cm;

f = 0,4; P = 33 %; Ef = 90 %; Ee = 5 m; El = 7 m; q = 80 l/h.

Mês = novembro

DIA	ECA	Kp	Kc	PP	Lba	GC
3	2	0,7	0,8	0	0	85
4	2	0,7	0,8	10	0	85
5	3	0,7	0,8	0	0	85
6	3	0,7	0,8	0	0	85
7	3	0,7	0,8	0	0	85
8	3,5	0,7	0,8	0	0	85
9	3	0,7	0,8	0	0	85
10	3	0,7	0,8	0	10	85

# - DADOS DO BALANÇO HIDRICO  
ARQUIVO : laranja.DAT

Data	ECA (mm)	ETo (mm)	ETm (mm)	ETg (mm)	Lla+PP (mm)	DAi (mm)	DAf (mm)	Ex (mm)	Llr (mm)	Tlr (h)
3/11	2.00	1.40	1.12	1.12	0.00	4.09	2.97	0.00	9.02	3.95
4/11	2.00	1.40	1.12	1.12	10.00	2.97	11.09	0.76	0.00	0.00
5/11	3.00	2.10	1.68	1.68	0.00	11.09	9.41	0.00	1.87	0.82
6/11	3.00	2.10	1.68	1.68	0.00	9.41	7.73	0.00	3.73	1.63
7/11	3.00	2.10	1.68	1.68	0.00	7.73	6.05	0.00	5.60	2.45
8/11	3.50	2.45	1.96	1.96	0.00	6.05	4.09	0.00	7.78	3.40
9/11	3.00	2.10	1.68	1.68	0.00	4.09	2.41	0.00	9.64	4.22
10/11	3.00	2.10	1.68	1.68	9.00	2.41	9.73	0.00	1.51	0.66
11/11	3.50	2.45	1.96	1.96	0.00	9.73	7.77	0.00	3.69	1.61
12/11	3.50	2.45	1.96	1.96	0.00	7.77	5.81	0.00	5.87	2.57

Figura 27 - Tela gerada pelo programa com os resultados do manejo.

**ANEXO**

**DISQUETE DE 5 1/4" CONTENDO O SOFTWARE "IRRILOC"**