

**PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA AUXILIAR NO PROJETO E  
MANEJO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO  
CONVENCIONAL**

**JOSÉ ROBERTO VICCINO**  
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.

**P I R A C I C A B A**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Agosto - 1996

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP**

Viccino, José Roberto

Programa de computador para auxiliar no projeto e manejo de sistema de irrigação por aspersão convencional / José Roberto Viccino. - - Piracicaba, 1996.

64p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996.

Bibliografia

1. Irrigação por aspersão - Manejo - Processamento de dados 2. Programa de computador - Desenvolvimento I. Título

CDD 631.7  
001.6425

**Ofereço esta obra a DEUS, de onde vim, onde estou, aonde vou.**

**Dedico**

**à Lerci, esposa e companheira, pela paciência, auxílio e amor, e  
à Roberta, minha filha, presente que recebi de Deus.**

## AGRADECIMENTOS

**Aos meus pais, pela oportunidade do estudo e da vida**

Ao Prof. Tarlei pela orientação, companheirismo e incentivo

Ao Prof. Frizzone pelas sugestões, auxílio e amizade

Ao Prof. Rubens pelo auxílio e amizade

Ao Prof. Nilson Vilanova pelas sugestões

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, pelo acolhimento e amizade

Aos colegas do curso de Irrigação e Drenagem pela convivência fraterna e construtiva.

A meu irmão João Ricardo, pelo inestimável auxílio, sem o qual este trabalho ficaria muito mais árduo.

Aos jovens Tarcísio e Daniel pela colaboração oportuna.

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS .....   | viii |
| LISTA DE TABELAS .....   | ix   |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....  | x    |
| RESUMO .....   | xiii |
| SUMMARY .....  | xiv  |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 1    |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....   | 2    |
| 2.1. Uniformidade .....  | 2    |
| 2.1.1 Fatores que interferem na distribuição da água pelo aspersor ..... | 4    |
| 2.1.1.1. Quanto ao aspersor.....   | 4    |
| 2.1.1.2. Fatores do sistema .....  | 4    |
| 2.1.1.3. Clima .....   | 4    |
| 2.1.1.4. Manejo .....  | 4    |
| 2.2. Dimensionamento hidráulico .....                                    | 5    |
| 2.2.1. Dimensionamento e escolha dos componentes .....                   | 5    |
| 2.2.1.1. Aspersor .....  | 5    |
| 2.2.1.2. Dimensionamento das linhas.....                                 | 6    |
| 2.2.1.2.1. Linha principal .....   | 6    |
| 2.2.1.2.2. Linha lateral .....   | 7    |
| 2.2.1.3. Acessórios .....  | 10   |
| 2.2.1.4. Motobomba .....   | 10   |
| 2.3. Tipos de sistemas de irrigação por aspersão convencional .....      | 10   |
| 2.3.1. Portátil .....  | 10   |

|   |    |
|---|----|
| 2.3.2. Semiportátil .....   | 10 |
| 2.3.3. Fixo-portátil .....  | 11 |
| 2.3.4. Fixo-permanente .....  | 11 |
| 2.4. Manejo da irrigação .....  | 11 |
| 2.4.1. Acompanhamento da umidade do solo através de tensiometria .....        | 12 |
| 2.4.2. Acompanhamento da umidade do solo através de modelos climatológicos .. | 13 |
| 2.5. <i>Softwares</i> já desenvolvidos na área .....                          | 14 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 17 |
| 3.1. Dimensionamento de componentes hidráulicos .....                         | 17 |
| 3.1.1. Linha principal.....   | 19 |
| 3.1.1.1. Custo fixo anual .....   | 19 |
| 3.1.1.2. Custo anual variável.....  | 20 |
| 3.1.2. Linha lateral.....   | 20 |
| 3.1.2.1. Cálculo do comprimento máximo da linha lateral.....                  | 23 |
| 3.1.2.2. Procedimento para cálculo da perda de carga na linha lateral.....    | 24 |
| 3.1.3. Tubulação de sucção .....  | 28 |
| 3.1.4. Conjunto motobomba .....   | 28 |
| 3.1.5. <i>Lay-out</i> .....   | 29 |
| 3.2. Manejo .....   | 33 |
| 4. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA .....  | 35 |
| 4.1. Introdução .....   | 35 |
| 4.2. Instalação .....   | 35 |
| 4.3. Apresentação do programa .....   | 36 |
| 4.3.1. Dimensionamento .....  | 36 |
| 4.3.1.1. Dimensionamento da linha principal.....                              | 38 |
| 4.3.1.1.1. Entrada dos dados .....  | 38 |
| 4.3.1.1.2. Saída dos resultados.....  | 39 |
| 4.3.1.2. Dimensionamento da linha lateral .....                               | 40 |
| 4.3.1.2.1. Entrada dos dados.....   | 40 |

|   |    |
|---|----|
| 4.3.1.2.2. Saída dos resultados.....                | 40 |
| 4.3.1.3. Dimensionamento do conjunto motobomba..... | 42 |
| 4.3.1.3.1. Entrada dos dados.....                   | 42 |
| 4.3.1.3.2. Saída dos resultados.....                | 43 |
| 4.3.1.4. <i>Lay-out</i> .....                       | 43 |
| 4.3.1.4.1. Entrada dos dados.....                   | 43 |
| 4.3.1.4.2. Saída dos resultados.....                | 45 |
| 4.3.2. Manejo .....                                 | 45 |
| 4.3.2.1. Janela dos dados da cultura .....          | 45 |
| 4.3.2.2. Janela do balanço hídrico .....            | 47 |
| 4.3.2.3. Janela planilha .....                      | 48 |
| 4.3.3. Banco de aspersores .....                    | 48 |
| 4.3.3.1. Introdução .....                           | 48 |
| 4.3.3.2. Cadastro .....                             | 50 |
| 4.3.3.3. Consulta .....                             | 50 |
| 5. EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO .....                      | 52 |
| 5.1. Introdução .....                               | 52 |
| 5.2. Dados disponíveis .....                        | 52 |
| 5.3. Resultados .....                               | 54 |
| 5.3.1. Linha lateral .....                          | 55 |
| 5.3.2. <i>Lay-out</i> .....                         | 56 |
| 5.3.3. Linha principal .....                        | 56 |
| 5.3.4. Motobomba .....                              | 58 |
| 5.3.5. Disposição do equipamento na área .....      | 58 |
| 6. SUGESTÕES PARA APRIMORAMENTO DO PROGRAMA.....    | 59 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                    | 60 |
| ANEXO .....   | 63 |

## LISTA DE FIGURAS

| Figura |   | Página   |
|--------|---|----------|
| 1      | Organograma estrutural do programa .....                                    | 18       |
| 2      | Fluxograma para dimensionamento da linha principal .....                    | 21, 22   |
| 3      | Desenho esquemático da linha lateral .....                                  | 23       |
| 4      | Fluxograma para dimensionamento da linha lateral .....                      | 25,26,27 |
| 5      | Fluxograma para dimensionamento da motobomba.....                           | 30       |
| 6      | Fluxograma auxílio ao <i>lay-out</i> .....                                  | 32       |
| 7      | Tela para entrada dos parâmetros econômicos da linha principal.....         | 37       |
| 8      | Tela de entrada dos parâmetros hidráulicos da linha principal.....          | 37       |
| 9      | Tela para entrada das características do aspersor.....                      | 41       |
| 10     | Tela para entrada das características da tubulação da linha lateral.....    | 41       |
| 11     | Tela para entrada de parâmetros de dimensionamento da motobomba             | 44       |
| 12     | Tela para entrada dos parâmetros de dimesnionamento do <i>lay-out</i> ..... | 44       |
| 13     | Tela para dados da cultura.....   | 46       |
| 14     | Tela para entrada dos dados diários.....                                    | 46       |
| 15     | Planilha dos dados diários.....   | 49       |
| 16     | Tela para cadastro das características de aspersores.....                   | 49       |
| 17     | Cadastro de aspersores.....   | 51       |
| 18     | Cadastro do fabricante.....   | 51       |
| 19     | Tela para consulta dos aspersores armazenados no banco de dados....         | 51       |
| 20     | Desenho esquemático da área.....  | 54       |
| 21     | Disposição final do equipamento.....  | 58       |



## LISTA DE TABELAS

| Tabela |  | Página |
|--------|--|--------|
| 1      | Aumento da perda de carga e espaçamento entre acopladores .....                          | 9      |
| 2      | Coeficiente do tanque “classe A” .....   | 15     |
| 3      | Custo da tubulação .....   | 53     |
| 4      | Comprimento máximo, número de saídas e perda de carga de diâmetros da linha lateral..... | 55     |
| 5      | Valores de dimensionamento da linha lateral fornecido pelo programa..                    | 55     |
| 6      | Número de laterais, número de posições irrigadas e horas trabalhadas no dia.....         | 56     |
| 7      | Comprimento dos trechos da linha principal .....   | 57     |
| 8      | Combinação de diâmetros que resultou em menor custo total anual .....                    | 57     |
| 9      | Característica da tubulação em cada trecho da linha principal.....                       | 57     |

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha, m, n$  = parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão;

$\theta_a$  = umidade atual,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ;

$\Delta h_f$  = variação da perda decarga admissível ao longo da linha;

$\Psi_{ma}$  = potencial mátrico atual;

$\theta_{pmp}$  = umidade do ponto de murchamento permanente,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ;

$\theta_r$  = umidade residual,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ;

$\theta_s$  = umidade de saturação,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ;

$A$  = área molhada,  $\text{m}^2$ ;

$AD$  = água disponível, mm;

$C$  = investimento inicial, u.m.;

$C$  = coeficiente de Hazen-Williams;

$CAF$  = custo fixo anual, u.m.;

$Ccva$  = custo de energia anual, u.m.;

$Ccvh$  = custo da energia em cv.hora, u.m.;

$CUC$  = Coeficiente de uniformidade de Christiansen;

$CUD$  = Coeficiente da uniformidade de distribuição;

$D$  = diâmetro da tubulação, m;

$d_g$  = densidade global,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$dP$  = variação de pressão

$E_b$  = eficiência da bomba;

$E_{f_{mb}}$  = eficiência do conjunto motobomba;

- $E_{tc}$  = evapotranspiração da cultura, mm;
- $E_{tm}$  = evapotranspiração no período, mm;
- $E_{to}$  = evapotranspiração de referência, mm;
- $E_v$  = perda de água no período, mm;
- $f$  = coeficiente de atrito;
- $f_c$  = fator cultural;
- FRC = fator de recuperação do capital;
- $g$  = módulo da aceleração da gravidade,  $m/s^2$ ;
- $h$  = altura da coluna de mercúrio, cm;
- $H_a$  = altura do aspersor, m;
- $h_c$  = altura da coluna de água, cm;
- $hf$  = perda de carga, m;
- HFA = horas de funcionamento do sistema no ano;
- $H_{man}$  = altura manométrica total, mca;
- $H_{ps}$  = pressão de serviço do aspersor, mca;
- $H_r$  = altura geométrica de recalque, m;
- $H_s$  = altura geométrica de sucção, m;
- $i$  = taxa anual de juros;
- $I$  = irrigação efetuada, mm;
- $j$  = perda de carga unitária, m/m;
- $K$  = rugosidade relativa;
- $k_c$  = coeficiente cultural;
- $k_p$  = coeficiente do tanque classe A;
- $L$  = comprimento da tubulação, m;
- $\bar{m}$  = média de 25% dos pluviômetros que receberam menor lâmina d'água, mm;
- $n$  = número de pluviômetros;
- $n_u$  = vida útil do equipamento, anos;
- $P$  = precipitação de um aspersor, mm/h;

$P_{cv}$  = potência fornecida pela bomba;

$P_e$  = precipitação efetiva, mm;

$P_{eixo}$  = potência no eixo da bomba, cv;

PS = pressão de serviço, mca;

$P_u$  = potência útil, cv;

$P_{ul}$  = pressão no último aspersor, mca;

Q = vazão no trecho considerado da linha principal, L/s;

$q_n$  = vazão nominal do aspersor, m<sup>3</sup>/h;

$Q_u$  = vazão do último aspersor, m<sup>3</sup>/h;

$R_e$  = número de Reynolds;

$U_{cc}$  = teor de água no solo na capacidade de campo, g H<sub>2</sub>O/100g solo;

$U_{pmp}$  = teor de água no solo no ponto de murchamento permanente, g H<sub>2</sub>O/100g solo;

v = velocidade, m/s;

VIB = velocidade de infiltração básica do solo, mm/h;

x = lâmina média, mm;

$x_i$  = Lâmina coletada no i-ésimo coletor, mm;

z = profundidade, cm;

$z_e$  = profundidade efetiva do sistema radicular, cm;

## **PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA AUXILIAR NO PROJETO E MANEJO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

Autor: José Roberto Viccino

Orientador: Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

### **RESUMO**

Os recursos de informática, atualmente disponíveis, são uma poderosa ferramenta para ser utilizada na área de irrigação. Devido a cada vez maiores, capacidade de armazenamento de dados, velocidade de processamento e confiabilidade dos sistemas, espera-se um incremento na utilização desses recursos. A constante melhoria desses recursos nos obriga a atualizações de programas desenvolvidos a fim de que possam ser incorporadas as recentes melhorias da tecnologia computacional.

Seguindo essa linha, é objetivo deste trabalho o desenvolvimento de um programa de computador para ser utilizado como ferramenta auxiliar nos projetos de irrigação por aspersão convencional. Foi utilizada a linguagem de programação VISUAL BASIC, a qual dispõe de recursos característicos do ambiente WINDOWS (MICROSOFT).

O programa desenvolvido, contém rotinas para auxiliar no planejamento da disposição do equipamento, dimensionamento hidráulico (linha lateral, principal, sucção e motobomba), manejo da irrigação (balanço hídrico) e um banco de dados para cadastro e consulta de aspersores. A perda de carga ao longo da linha lateral foi estimada através da somatória da perda de carga em cada trecho, determinada pelo espaçamento entre aspersores. O dimensionamento da linha principal baseou-se no critério econômico. As equações de Hazen-Williams e de Darcy-Weisbach são opções para a estimativa da perda de carga no dimensionamento das tubulações.

# COMPUTER PROGRAM AS AN AID TO DESIGN AND MANAGEMENT OF CONVENTIONAL SPRINKLER IRRIGATION

Author: José Roberto Viccino

Adviser: Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

## SUMMARY

At The present time, computer technology is a powerful tool to be used in the irrigation engineering. Better use these resources is awaited due larger data store capabilities, run velocity and hardware faithfulness. The constant improvement of these resources, force us to upgrade the programs already developed to take advantage of the recents computer-technology improvements.

Follow this trend, it is objective of this work, the development of a computer program to be applied as an auxiliary tool in conventional sprinkler irrigation project. It was utilized the VISUAL BASIC programing language, that has incorporated resources of Windows (MICROSOFT) environment.

In this program, it has been included routines to hydraulic design ( lateral, principal, suction and pump), management irrigation ( water balance) and also an interative database of sprinkler performance parameters. Head loss along the lateral line will be calculated by summing individual head loss in each section, based on the sprinkler spacing and last sprinkler pressure. Hazen-Williams and Darcy-Weisbach equations are options to calculate the head loss in the pipes.

## 1. INTRODUÇÃO

Os avanços da informática nos últimos anos permitiu aos engenheiros e pesquisadores o desenvolvimento de "*softwares*" cada vez mais sofisticados. Grande capacidade de armazenamento de dados e alta velocidade de processamento, que antes só estavam disponíveis a centros de pesquisas, estão agora ao alcance de qualquer pessoa. Com a utilização das atuais linguagens de programação, houve sensível melhoria na apresentação e facilidade de uso dos programas desenvolvidos. Com isso um programa que estava disponível, devido a complexidade de uso, ao próprio criador, ficou acessível a todos aqueles que possuam um mínimo conhecimento de informática.

Em projetos de irrigação por aspersão, o uso de recursos de informática para cálculo de dimensionamento de tubulação, previsão de custos, avaliação de sistemas, manejo, facilita na elaboração de planilhas necessárias para implantação e manutenção do sistema. A rapidez e minimização do erro, bem como a simulação de diversas situações através de modelos, mostra a vantagem da utilização destes recursos.

O presente trabalho constituiu-se no desenvolvimento de um programa de computador, para auxiliar em projetos de sistema de irrigação por aspersão convencional, permanente, portátil ou semiportátil. O programa inclui ainda um módulo para manejo da irrigação o qual permite o acompanhamento da umidade do solo em várias culturas simultaneamente através do balanço hídrico e tendo-se como estimativa da evapotranspiração de referência o tanque classe A. Um banco de dados está disponível para cadastro e consulta de aspersores. As características que podem ser armazenadas neste banco de dados são: fabricante, modelo do aspersor, material de fabricação, diâmetro dos bocais, espaçamento, pressão de serviço, vazão nominal e precipitação.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

O sistema de irrigação convencional é um sistema pelo qual a água é fornecida as plantas de forma análoga a chuva através de aspersores. É um sistema bastante utilizado no Brasil por sua grande versatilidade para adaptação nas mais diferentes formas de relevo e formato da área, e também relativamente baixa necessidade de água . Por isso é empregado em uma grande variedade de cultura e largamente utilizado pelos irrigantes nacionais.

Heermann & Kohl (1983), define como objetivo da irrigação a aplicação uniforme da água sobre a área de uso das culturas.

Segundo Olitta (1989) O sistema de irrigação por aspersão permite um perfeito controle da lâmina aplicada e um ajuste bastante rígido às condições de solo-clima-planta. Sua principal limitação corresponde às situações de vento muito forte e constante bem como da qualidade da água utilizada que pode prejudicar o sistema quando existe muitas impurezas ou sais dissolvidos.

### **2.1. UNIFORMIDADE**

O aspersor, através de um bocal, emite um jato de água o qual é fracionado em gotas que caem a diferentes distâncias. Gotas maiores tendem a cair a maiores distâncias que as menores. A análise do perfil de distribuição de água, mostra a não uniformidade de distribuição da água na superfície do solo. Essa desuniformidade de distribuição leva a existência de regiões com diferenças de umidade e o fornecimento igual de água às plantas torna-se comprometido. Deste modo, costuma-se fazer a sobreposição da área mo-



lhada de aspersores adjacentes. A combinação do melhor espaçamento entre aspersores é então estudada a fim de se obter uma alta uniformidade. A uniformidade com que a água distribui-se pela superfície do solo é um dos principais fatores para o desenvolvimento adequado da cultura irrigada. Na implantação de um sistema de irrigação por aspersão convencional deve-se procurar obter uma maior uniformidade possível de acordo com as condições do local e do clima.

Christiansen (1942), propôs um método para quantificar essa uniformidade através de dados obtidos de ensaio utilizando um aspersor e coletores dispostos em malha retangular ao seu redor. O coeficiente de Christiansen, como ficou conhecido, é calculado pela seguinte fórmula:

$$CUC = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

em que,

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen

$x_i$  - lâmina coletada no i-ésimo coletor

$\bar{x}$  - lâmina média

n - número de pluviômetros.

Merrian & Keller (1978) apresenta um outro índice, denominado Uniformidade de Distribuição, para quantificar a uniformidade de distribuição de água, calculado por:

$$CUD = \frac{\bar{m}}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

em que,

CUD - Uniformidade de distribuição

$\bar{m}$  - média de 25% dos pluviômetros que receberam menor lâmina d'água

## 2.1.1 Fatores que interferem na distribuição da água pelo aspersor

### 2.1.1.1. Quanto ao aspersor:

- *Diâmetro dos bocais*
- *Número de bocais*
- *Ângulo de emissão de jato*
- *Tipo de bocais*
- *Velocidade de rotação*
- *Pressão no bocal*

### 2.1.1.2. Fatores do Sistema

- *Espaçamento*
- *Altura da Haste*
- *Estabilidade da Haste*
- *Variações na pressão*

### 2.1.1.3. Clima

- *Velocidade do Vento*
- *Umidade Relativa*
- *Temperatura*

### 2.1.1.4. Manejo

- *Tempo de irrigação*
- *Velocidade de deslocamento das laterais*
- *Alinhamento das laterais com a haste*

## 2.2. Dimensionamento hidráulico

Segundo Withers & Vipond (1978), o projeto de um sistema de irrigação por aspersão consiste na seleção de uma rede de tubos para transmitir a água aos aspersores, a uma pressão desejada. Os tópicos que são abrangidos num projeto são: *1. A distribuição do sistema, 2. Seleção dos aspersores e dos bocais, 3. Projeto e número das linha laterais, 4. Projeto da linha principal e, 5. Seleção do conjunto motobomba.*

### 2.2.1. Dimensionamento e escolha dos componentes

Os seguintes componentes fazem parte de um sistema de irrigação por aspersão convencional portátil: *aspersores, tubulações, conjunto motobomba e acessórios.* Pode-se ainda acrescentar os componentes do sistema elétrico e as instalações de alvenaria. O interesse do projetista se relaciona com o dimensionamento da tubulação ( diâmetro, comprimento), motobomba (tipo, capacidade e potência) e a escolha do tipo do aspersor de acordo com os parâmetros e critérios do projeto. A seleção e o dimensionamento dos componentes deve basear-se em dados obtidos da investigação das características do solo, relevo, clima, cultura, entre outros.

#### 2.2.1.1. Aspersor

Os aspersores podem ser classificados quanto a pressão de serviço, conforme Bernardo (1989), nas quatro categorias assim descritas:

- a) Muito baixa - de 4 a 10 mca
- b) baixa - de 10 a 20 mca
- c) Média - de 20 a 40 mca
- d) Aspersores gigantes ou canhão hidráulico - de 40 a 80 mca

Segundo Heermann & Kohl (1983) o sistema de aspersão deve ser projetado para aplicar água a uma taxa inferior a taxa de infiltração de água no solo para prevenir a for-

mação de *runoff*. Sendo necessário o conhecimento do padrão de distribuição de água por um único aspersor sem a influência do vento.

O principal parâmetro de escolha do aspersor para o projeto é a precipitação, (**P**), a qual é obtida a partir da vazão (**q**) que passa pelos bocais e a área molhada (**A**), calculada pela multiplicação do espaçamento entre aspersores pelo espaçamento entre laterais, A precipitação pode ser obtida através de:

$$P_{(mm/h)} = \frac{q_{(m^3/h)}}{A_{(m^2)}} \cdot 1000 \quad (3)$$

Para evitar-se escoamento superficial, a precipitação de um aspersor não deve ser maior que a velocidade de infiltração básica do solo, **VIB**. O número de aspersores utilizados depende do espaçamento entre eles e do comprimento da linha lateral.

#### 2.2.1.2. Dimensionamento das linhas

A tubulação é a estrutura responsável pela condução da água da motobomba até os aspersores ou da fonte de água até a motobomba. São construídos de *cimento amianto, aço, ferro fundido, PVC e aço zincado*. São vendidos no comércio em barras com comprimento de 6 m.

Addink (1983), recomenda que para sistemas fixo a velocidade da água dentro das tubulações de PVC, polietileno e cimento-amianto não deve exceder 2,25 m/s, sendo que a maioria dos fabricantes não recomendam velocidade acima de 1,6 m/s.

De acordo com a função podemos separar dois tipos de tubulação: *a linha principal e a linha lateral*.

##### 2.2.1.2.1. Linha Principal:

É a tubulação que conduz a água da motobomba até as linhas laterais. Pode ser construída de um diâmetro ou pela combinação de vários. A utilização de tubos com vá-

rios diâmetros decorre do fato de existir trechos da linha principal com diferentes vazões e conseqüentemente seria desnecessário e antieconômico utilizar o mesmo diâmetro em toda a extensão da linha . Com isso em mente, devemos selecionar, dentre uma série de diâmetros aqueles, que combinados entre si , nos dá o menor custo anual total.

#### 2.2.1.2.2. Linha lateral:

Tem a função de conduzir a água até os aspersores. São fabricadas de alumínio ou de PVC. Em sistemas semi-portáteis, onde as laterais são móveis, existem conexões para engate rápido.

Diversas equações podem ser utilizadas para o dimensionamento das tubulações, entre elas a equação de Hazen-Williams<sup>1</sup> pode ser usada para determinação da perda de carga para diâmetros maiores que 50 mm e número de Reynolds superior a 100.000, ou seja:

$$J = 6,806 \frac{V^{1,852}}{D^{1,167} C^{1,852}} \quad (4)$$

em que,

J - perda de carga , m/m

V - velocidade, m/s

D - diâmetro da tubulação, m

C - coeficiente que depende do tipo do material do tubo

A equação de Hazen-Williams é uma fórmula prática que foi determinada a partir da análise estatística de milhares de dados, e tem sido largamente utilizada pelos projetistas, inclusive nas situações que fogem dos limites de sua aplicação, porque na maioria das vezes o rigor pretendido nos resultados não é crítico.

Nos casos onde a precisão é importante a equação de Darcy-Weisbach deve ser a

<sup>1</sup> Manual de hidráulica . Azevedo Neto, G.A. Alvarez. Vol I. 7ª edição. 1982

preferida por levar a melhores resultados visto que é uma equação teórico-prática, podendo ser utilizada para água ou outro líquido a quaisquer temperatura e diâmetros de tubulação maiores ou menores que a anterior.

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (5)$$

em que,

L - comprimento da tubulação, m

g - módulo da aceleração da gravidade,  $m/s^2$

f - coeficiente de atrito

O coeficiente de atrito (**f**), para regime de escoamento turbulento, depende do número de Reynolds, do diâmetro e da rugosidade da parede interna da tubulação. Colebrook<sup>1</sup> propôs uma equação semi-empírica para estimativa desse fator. Nota-se que (**f**) está implícito, implicando em solução iterativa.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{R_e \sqrt{f}} \right] \quad (6)$$

em que,

k - rugosidade relativa, m/m

$R_e$  - número de Reynolds

Keller & Bliesner (1990), relatam um ensaio onde foi utilizado tubos plásticos de 13 mm e vazão de 0,01 a 0,20 l/s, correspondendo a número de Reynolds variando de 3.000 a 20.000 Quando os pontos foram plotados no diagrama de Moody seguiram a curvatura das linhas dadas pela fórmula (5) em vez das linhas dos coeficientes C. Pelos resultados concluíram que a Equação de Darcy-Weisbach representam melhor a perda de

carga em tubulações de pequenos diâmetros que a fórmula de Hazen-Williams.

Heermann & Kohl (1983), recomenda o uso da equação de Darcy-Weisbach para cálculo da perda de carga nas tubulações, pois não introduz pequenos erros quando existe alguma variação nos diâmetros dos tubos, como ocorre quando se utiliza as outras equações comumente utilizadas em projetos. Segundo ele, em tubulações com acoplamento deve-se acrescentar a perda de carga segundo a tabela 1.

Tabela 1. Aumento da perda de carga e espaçamento entre acopladores.

| Espaçamento entre acopladores (m) | Aumento hf % |
|-----------------------------------|--------------|
| 8                                 | 12           |
| 11                                | 9            |
| 17                                | 6            |

Fonte: Jensen M.E. 1983

Para projeto de uma linha lateral deverá ser conhecido o número, a pressão e a vazão de funcionamento dos aspersores. O cálculo da perda de carga em uma linha de múltiplas saídas pode ser feito calculando a perda de carga em cada trecho utilizando a vazão que passa por ele ou pelo método de Christiansen (1942), o qual utiliza o fator  $F$ . Este fator relaciona a perda de carga em condutos com saídas laterais e condutos sem saídas laterais. Para o procedimento de cálculo, Christiansen considerou que a descarga de cada aspersor é a média da descarga de todos os aspersores. Mas, como a pressão ao longo de uma linha lateral varia numa forma não linear, e conseqüentemente, a vazão, o resultado não será tão preciso como quando se usa o método trecho a trecho.

Normalmente, para o dimensionamento da linha lateral, considera-se uma variação de pressão máxima de 20 % da pressão de serviço (P.S.), para uma lateral em nível, o que corresponde a uma variação de 10 % na vazão. Essa variação é obtida por:

$$dP = 0,20 \times P.S \quad (7)$$

em que,

dP - variação de pressão, mca

### 2.2.1.3. Acessórios

Os acessórios são necessários para a interligação dos vários componentes do sistema, como as curvas, tê, redução, cruzeta, registro, tampão, braçadeira, válvulas, tubo de subida, etc.. Também podem ser construídos com os diversos materiais constituintes da tubulação.

### 2.2.1.4. Motobomba

A motobomba é o componente que impulsiona a água nas tubulações a uma pressão e vazão adequada. Constitui-se de um motor e uma bomba. O motor pode ser elétrico ou diesel, sendo o primeiro mais comum, mas em situações de dificuldade de obtenção de energia elétrica de boa qualidade o último é utilizado. Dentre os diversos tipos de bombas utilizadas a do tipo centrífuga é mais empregada.

## 2.3. Tipos de sistemas de irrigação por aspersão convencional

Keller & Bliesner (1990), relaciona os seguintes tipos de sistema de irrigação por aspersão convencional:

### 2.3.1. Portátil

Como seu próprio nome indica, constitui de componentes que são translocáveis inclusive o conjunto motobomba. Procura-se, nesses sistemas, adotar materiais leves e resistentes ao transporte e as conexões são do tipo acoplamento rápido.

### 2.3.2. Semiportátil

Nesse sistema têm-se as linha principais fixas e as linhas laterais móveis, é um dos sistemas mais utilizados no Brasil.



### 2.3.3. Fixo portátil

As tubulações são suficientes para irrigar todo o campo, não sendo necessárias mudanças das tubulações. O sistema funciona por setores; enquanto se irriga uma parcela a outra fica ociosa. Isto é feito para se evitar alto custo de equipamento e energia, devido a grandes motobomba e infra-estrutura, sendo justificável seu uso em situações de carência de mão-de-obra e culturas mais rentáveis. As instalações são removidas após o término do ciclo da cultura.

### 2.3.4. Fixo permanente

Nesse caso tanto as linha laterais como a principal são enterradas de forma permanente no campo. Esse sistema é usado em regiões de carência de mão-de-obra. É de elevado custo inicial. Como no caso anterior, o funcionamento das linhas laterais é em rodízio. Além destes existem outros, mas são poucos usados e para condições específicas.

## 2. 4. Manejo da irrigação

Segundo Dourado Neto et al. ( 1991), o fundamento básico do controle da irrigação é a visualização do sistema agrícola como um todo, considerando a relação solo, planta e atmosfera entre si e com o meio que o cerca.

O manejo da irrigação, numa abordagem prática, consiste em se acompanhar a umidade do solo em um campo de cultura, e assim se determinar a lâmina d'água de reposição necessária para manter a água no solo a um nível que proporcione produtividade ótima para as plantas.

A água disponível às plantas no início de um período é estimado por:

$$AD = \frac{(U_{cc} - U_{pmp})}{10} \cdot d_g \cdot z_e \cdot f \quad (8)$$

em que,

AD - água disponível às plantas, mm

$U_{cc}$  - teor de água no solo na capacidade de campo, g H<sub>2</sub>O/100g solo

$U_{pmp}$  - teor de água no solo no ponto de murcha permanente, g H<sub>2</sub>O/100g solo

$d_g$  - densidade global, g/cm<sup>3</sup>

$z_e$  - profundidade efetiva do sistema radicular, cm

f - fator que depende da cultura e evapotranspiração

O monitoramento do teor de água no solo pode ser feito por parâmetros do solo ou indiretamente, por dados climáticos. Dentre os do primeiro caso pode-se citar os seguintes métodos: da estufa, blocos de resistência elétrica, capacitivos, tensiômetros, sonda de nêutrons, etc.

#### 2.4.1. Acompanhamento da umidade do solo através de tensiometria

O tensiômetro é um aparelho muito usado para este fim, é de baixo custo e simples construção. Estima-se o teor de água no solo pela leitura das tensões numa curva pré-calibrada do solo em questão. A seguinte equação permite o cálculo do potencial mátrico, ( $\Psi_m$ ), do solo quando se utiliza um tensiômetro com manômetro de mercúrio:

$$\psi_m = -12,6h + h_c + z \quad (9)$$

em que,

h - altura da coluna de mercúrio, cm

$h_c$  - altura da cuba ao solo, cm

z - profundidade de instalação do tensiômetro, cm

Van Genuchten (1980), propôs a seguinte equação que relaciona o teor da água do solo com a tensão:

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s + \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot |\psi_{ma}|)^n\right]^m} \quad (10)$$

em que,

$\theta_a$  - umidade atual ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

$\theta_r$  - umidade residual ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ):  $\theta_r = \theta_{\text{pmp}}$

$\theta_s$  - umidade de saturação ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

$\alpha, m, n$  - parâmetros empíricos determinados através da análise de regressão

$\psi_{ma}$  - potencial mátrico atual

Segundo Vieira (1983) as seguintes dificuldades estão relacionadas com o tensiômetro:

- a) necessidade de utilização de dois aparelhos para cobrir a profundidade do solo irrigado
- b) desuniformidade de dados, necessitando baterias de aparelhos
- c) necessidade de reposição de água frequente
- d) estreita faixa de leitura (até 0,8 atm).

#### 2.4.2. Acompanhamento da umidade do solo através de modelos climatológicos

O monitoramento da umidade do solo a partir de dados de clima é feita pela estimativa da quantidade de água evapotranspirada.

Existem vários modelos teóricos para se estimar a evapotranspiração, dentre os quais, pode-se utilizar, para fins de manejo de irrigação, o do tanque “classe A”.

Doorembos & Pruitt (1979) descrevem a metodologia para estimativa da evapotranspiração de uma cultura através do tanque classe A. Este consiste em um tanque de aço galvanizado com diâmetro de 1,21 m e profundidade de 25,5 cm. Deve ser instalado em estrado de madeira de 10 cm de altura e no centro de um gramado. Deve ainda ser

preenchido com água até 5 cm da borda superior. Para medida da evaporação é instalado um micrômetro no tanque dentro de um poço tranquilizador.

O coeficiente do tanque, ( $k_p$ ) é estimado a partir de parâmetros climáticos e de construção; como a velocidade do vento, umidade relativa e bordadura respectivamente, conforme observa-se na Tabela 2.

A estimativa do valor de referência da evapotranspiração  $Et_o$  é dado por:

$$Et_o = E_v \cdot K_p \quad (11)$$

em que,

$E_v$  - água evaporada do tanque no período, mm

$K_p$  - coeficiente do tanque classe A

A estimativa de evapotranspiração da cultura,  $Et_m$  é feita por:

$$Et_m = Et_o \cdot K_c \quad (12)$$

em que,

$K_c$  - coeficiente da cultura

## 2.5 Softwares já desenvolvidos na área

Com o lançamento dos computadores pessoais (PC's), no final da década de setenta, os pesquisadores e engenheiros dispunham de uma poderosa ferramenta para auxiliar nos projetos de sistemas nas mais diversas áreas. Juntamente com as linguagens de programação de alto nível, como o FORTRAN, BASIC e o PASCAL, liberou-se da exigência de conhecimentos profundos de informática, fazendo com que o projetista se concentrasse no seu trabalho e conseqüentemente os programas tornaram-se mais interativos e fáceis de se usar. Com a constante evolução da informática, é de se esperar atualizações constantes de programas já produzidos.

Tabela 2 Coeficiente do Tanque classe A

| vento<br>km/dia     | Bordadura | Umidade Relativa % |           |           |
|---------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------|
|                     | m         | < 40               | 40-70     | >70       |
| leve<br>< 75        | 1         | 0,55-0,70          | 0,65-0,80 | 0,75-0,85 |
|                     | 10        | 0,60-0,65          | 0,70-0,75 | 0,80-0,85 |
|                     | 100       | 0,55-0,70          | 0,65-0,80 | 0,75-0,85 |
| moderado<br>175-425 | 1         | 0,50-0,65          | 0,60-0,75 | 0,67-0,80 |
|                     | 10        | 0,55-0,60          | 0,65-0,70 | 0,70-0,65 |
|                     | 100       | 0,50-0,65          | 0,60-0,75 | 0,65-0,80 |
| forte<br>425-700    | 1         | 0,45-0,60          | 0,50-0,65 | 0,60-0,70 |
|                     | 10        | 0,50-0,55          | 0,55-0,60 | 0,65-0,65 |
|                     | 100       | 0,45-0,60          | 0,50-0,65 | 0,60-0,70 |
| muito forte<br>>700 | 1         | 0,40-0,50          | 0,45-0,60 | 0,50-0,65 |
|                     | 10        | 0,45-0,45          | 0,55-0,50 | 0,60-0,55 |
|                     | 100       | 0,50-0,40          | 0,60-0,45 | 0,65-0,50 |

Fonte: DOOREMBOS & PRUITT (1976)

Gomide (1979), Desenvolveu um programa para cálculo de vários parâmetros de uniformidade, num ensaio de avaliação de aspersores com disposição de pluviômetros em malha. O programa foi desenvolvido na linguagem LP1 em computador de grande porte. As rotinas de programação eram introduzidas a partir de cartões perfurados.

Maia (1994), utilizando-se da linguagem PASCAL, desenvolveu um programa para dimensionamento e manejo da irrigação localizada. Pode-se por meio dele, dimensionar as linha laterais, de derivação, principal e motobomba. Métodos: hidráulico, econômico e estatístico estão disponíveis.

Hernandez et al. (1995) desenvolveram um software, com a linguagem PASCAL para fazer o balanço hídrico com a utilização de diversos métodos de determinação da evapotranspiração de referência.

Moreira & Torres Filho (1993), desenvolveram um sistema agroclimático para acompanhamento das culturas irrigadas (SAACI). Neste programa pode-se fazer o manejo da irrigação nas culturas usando os métodos do tanque “classe A” e Penman modificado para estimativa da evapotranspiração de referência.

Van Lier & Dourado Neto (1991), Desenvolveram na linguagem de programação quickBASIC, o programa BHídrico o qual permite elaborar o balanço hídrico com variação do Kc e da profundidade do sistema radicular da cultura, para qualquer distribuição

de dados climáticos disponível, usando o método de Thornthwaite modificado.

Faria (1993), no estudo da uniformidade de aplicação de água e aspectos econômicos em projetos de irrigação por aspersão, desenvolveu um algoritmo computacional para simular as sobreposições das precipitações dos aspersores em vários espaçamentos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O programa foi desenvolvido na linguagem de programação VISUAL BASIC. A escolha desta linguagem foi motivada pela ótima apresentação final conseguida, baseada em janelas, menus suspensos e no uso do mouse, característico de ambiente WINDOWS, oferecendo ao usuário uma maneira simples e objetiva de manusear o programa. VISUAL BASIC é uma linguagem de programação dirigida a eventos. Diferente das linguagens tradicionais onde o fluxo de processamento do programa é sequencial (o programa exibe a saída de acordo com as entradas do usuário), VISUAL BASIC executa os códigos de processamento na medida em que acontece uma ação do usuário como: clicar e arrastar com o *mouse* ou pressionar uma tecla.

O programa apresentado neste trabalho contém três funções básicas: dimensionamento de estruturas hidráulicas, manejo de sistemas por aspersão convencional e criação de um banco de dados de aspersores nacionais. O organograma estrutural do programa pode ser visualizado na Figura 1.

#### 3.1. Dimensionamento de componentes hidráulicos

As estruturas a serem dimensionadas por este programa, presentes num sistema de irrigação por aspersão convencional são as seguintes: linha principal, linha lateral, tubulação de sucção e conjunto motobomba.

Para estimativa da perda de carga na tubulação foram utilizadas as equações (4) e (5), conforme seja a escolha do usuário.

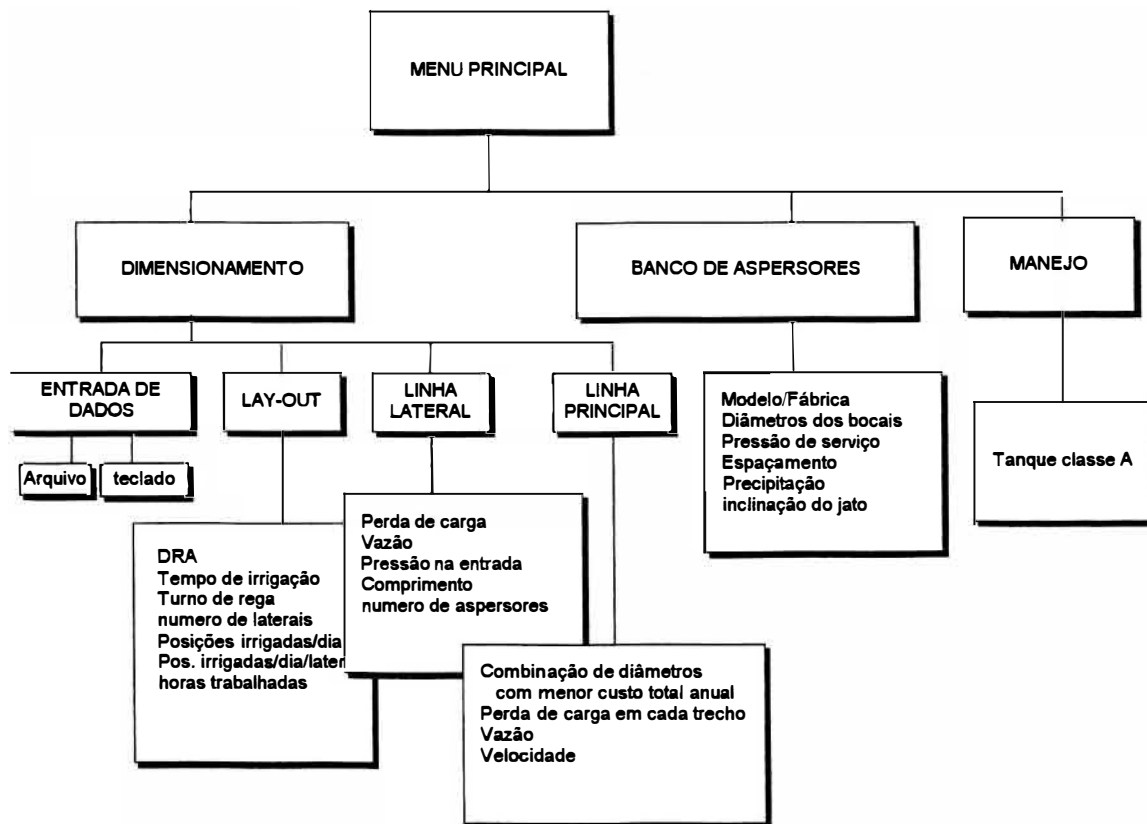


Figura 1. Organograma estrutural do programa ASPRO



Neste item do programa, também estão disponíveis rotinas para o processamento de informações sobre o lay-out do sistema, como turno de rega, tempo de irrigação, número de linha laterais.

### 3.1.1. Linha principal

A linha principal é dimensionada levando em conta o aspecto econômico, visto ser um componente crítico com relação ao custo. O método aplicado para este fim é o método das tentativas, conforme descrito por Bernardo (1989). Simplificadamente, este método consiste em se combinar diâmetros de tubulações que geram menor custo anual total. Este custo é calculado pela soma do custo fixo anual e do custo variável anual. O primeiro refere-se ao custo de aquisição do equipamento enquanto que o segundo ao custo de operação e manutenção.

#### 3.1.1.1. Custo fixo anual (CAF)

Obtém-se aplicando, ao investimento inicial ( $C$ ), o fator de recuperação do capital ( $FRC$ ), considerando nulo o valor de resgate, conforme a fórmula:

$$CAF = C \cdot FRC \quad (13)$$

O fator de recuperação do capital é obtido da seguinte maneira:

$$FRC = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (14)$$

em que

$i$  - taxa anual de juros, em decimal

$n$  - vida útil do equipamento, em anos

### 3.1.1.2. Custo anual variável (Ccva)

Este custo é determinado considerando o número de horas de funcionamento do sistema no ano (**HFA**), o custo da energia em R\$/cv-hora (**Ccvh**), a eficiência do conjunto motobomba (**EFmb**) e a potência requerida pela bomba (**Pcv**). Estas variáveis são relacionadas usando-se as seguintes fórmulas:

$$Ccva = \frac{HFA \cdot Ccvh}{EFmb} \cdot Pcv \quad (15)$$

$$Pcv = \frac{Q \cdot Hf}{75} \quad (16)$$

em que,

Q - vazão no trecho, l/s

Hf - perda de carga no trecho, mca

A saída mostrará os diâmetros, que quando combinados, apresentem menor custo total anual, bem como a perda de carga total, o custo dessa perda de carga anual, o custo fixo anual e o custo total anual em forma de planilha.

O fluxograma para o dimensionamento da linha principal é mostrado na Figura 2.

### 3.1.2. Linha lateral

Optou-se por dimensionar a linha lateral pelo critério técnico e utilização de somente um diâmetro em toda a extensão da linha. Por ser uma tubulação com múltiplas saídas preferiu-se aqui utilizar o método de cálculo da perda de carga *trecho a trecho*. Para oferecer opção de decisão ao projetista, neste programa são apresentadas duas formas de saída de resultado. A primeira delas fornece o comprimento máximo de uma linha lateral em

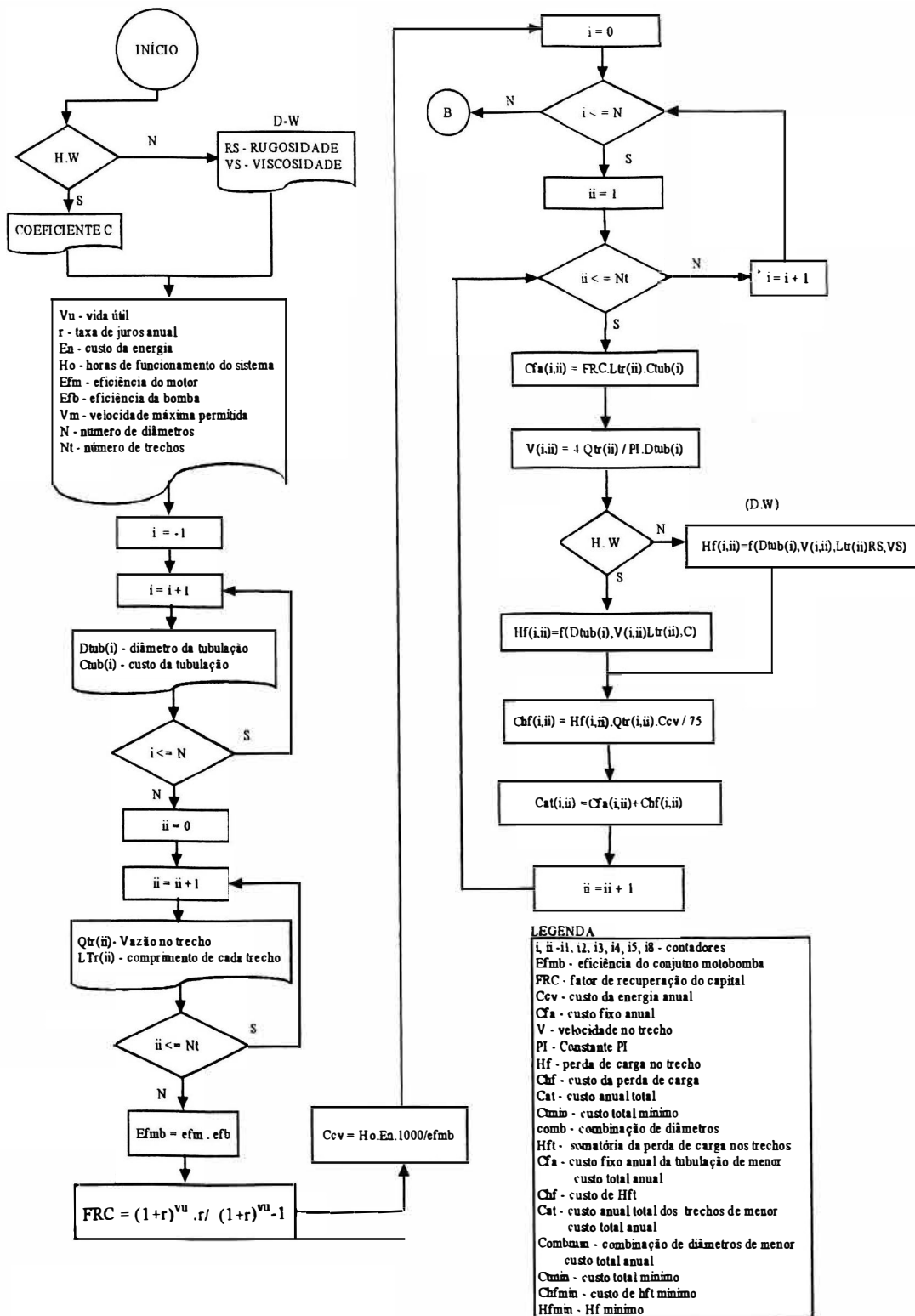


Figura 2. Fluxograma do dimensionamento da linha principal

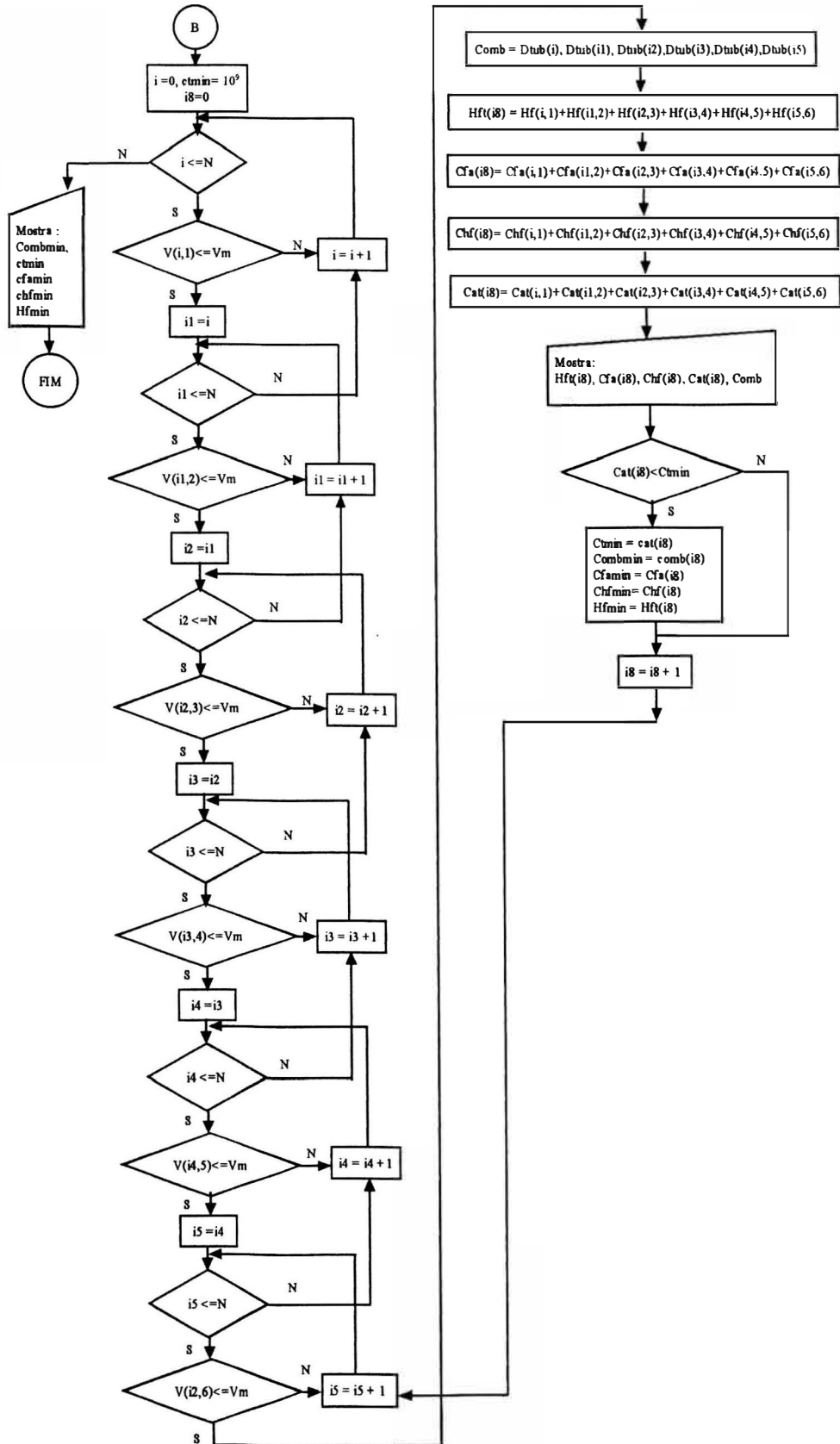


Figura 2. Continuação

vários diâmetros comerciais, levando em consideração o espaçamento, a pressão de serviço e a vazão nominal do aspersor, em situação de inclinação nula do terreno. A segunda opção fornece, conforme feita a escolha do comprimento e do diâmetro desejado da linha lateral, a perda de carga e a pressão no início da linha. A pressão e vazão de cada aspersor na linha lateral em nível também é mostrada.

### 3.1.2.1. Cálculo do comprimento máximo da linha lateral.

Uma das características dos computadores é a capacidade de realizar tarefas repetitivas. Assim, calcula-se sucessivamente, a partir do final da linha lateral, a perda de carga que ocorre em cada trecho entre aspersores, até que a soma da perda de carga nos trechos se iguale a variação de pressão admitida na linha. e determina-se o comprimento máximo da tubulação somando o comprimento dos trechos (Figura 3).

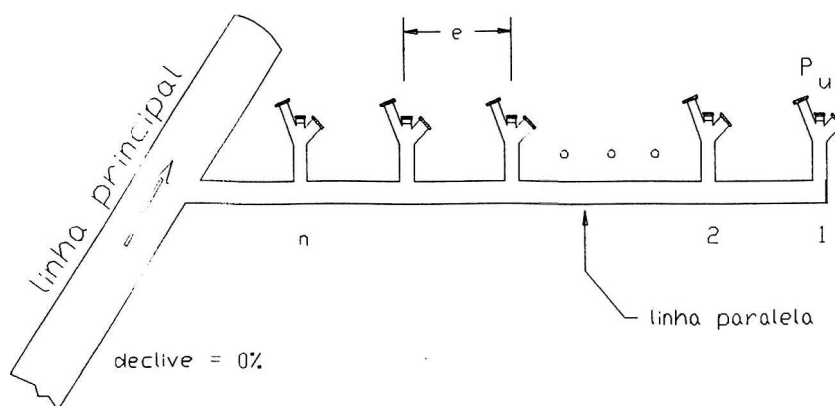


Figura. 3. Desenho esquemático da linha lateral

Para tanto é necessário conhecer a pressão e a vazão do último aspersor as quais foram estimadas assumindo-se que um quarto da perda de carga ocorre na metade final da tubulação. Posicionando o aspersor que trabalha à pressão de serviço no meio da linha e subtraindo um quarto da perda de carga permitida é estimado a pressão de trabalho do

último aspersor, para um linha lateral em nível, conforme a fórmula:

$$P_u = PS - 0,25.(PS \cdot \Delta hf) \quad (17)$$

em que,

$P_u$  - pressão no último aspersor, em mca

PS - pressão de serviço, em mca

$\Delta hf$  - variação da pressão admissível ao longo da linha, em decimal

A vazão do último aspersor é calculada por:

$$Q_u = Q \sqrt{\frac{PS}{P_u}} \quad (18)$$

em que,

$Q_u$  - vazão no último aspersor, em m<sup>3</sup>/s

Q - vazão nominal do aspersor, em m<sup>3</sup>/s

O comprimento da linha deverá ser um múltiplo do espaçamento entre aspersores. Considerando ainda a possibilidade do primeiro aspersor se localizar à metade do espaçamento entre aspersores, a perda de carga total da linha será sempre igual ou menor que a perda de carga máxima permitida. Quando a perda de carga for menor, será a mais próxima possível do limite. O fluxograma da Figura 4 permite avaliar a metodologia computacional desenvolvida para se efetuar essa tarefa.

### 3.1.2.2. Procedimento para cálculo da perda de carga na linha lateral.

Assim como no processo anterior, quando se utiliza o método de cálculo da perda de carga *trecho a trecho*, é necessário ter-se como ponto de partida, a pressão no último

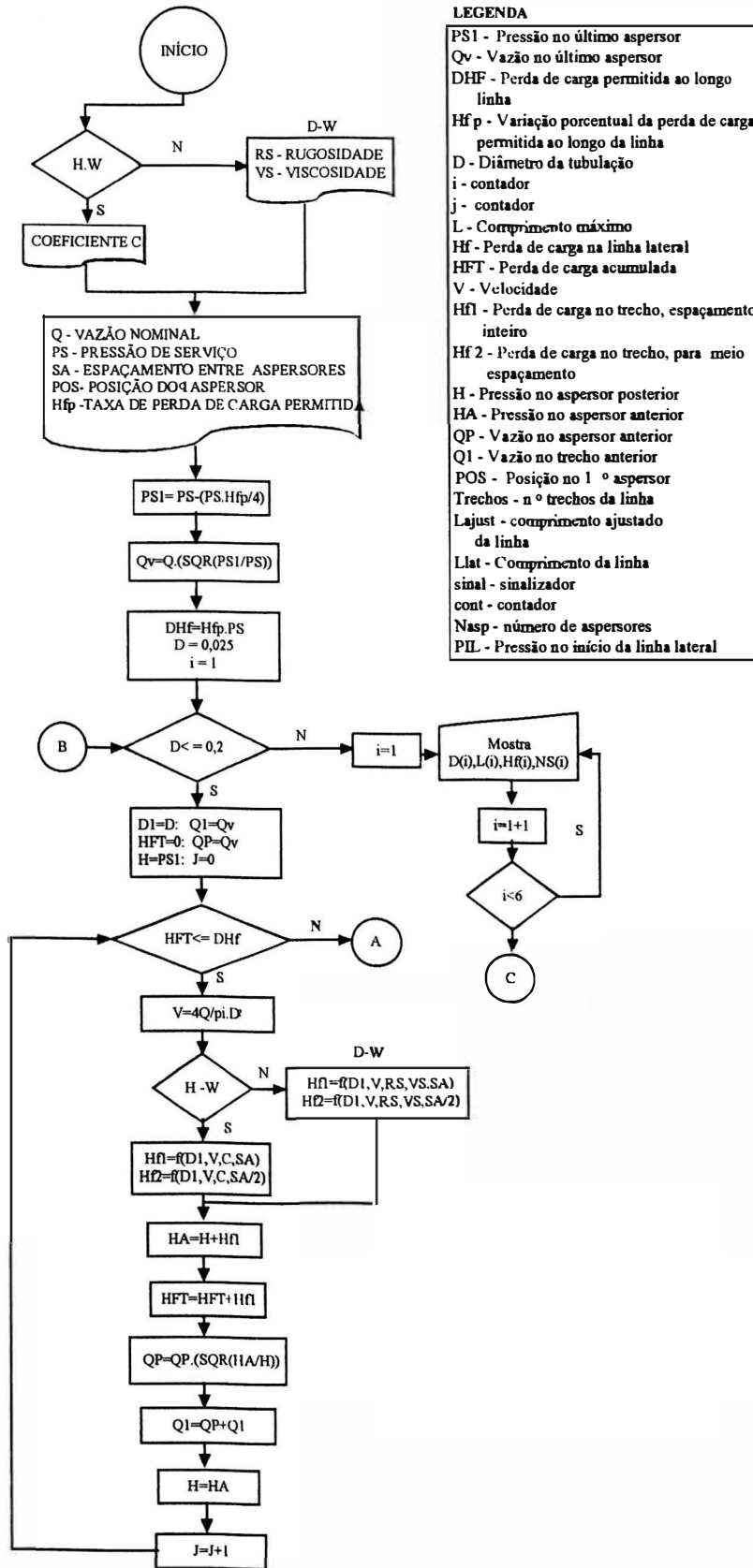


Figura 4. Fluxograma do dimensionamento da linha lateral

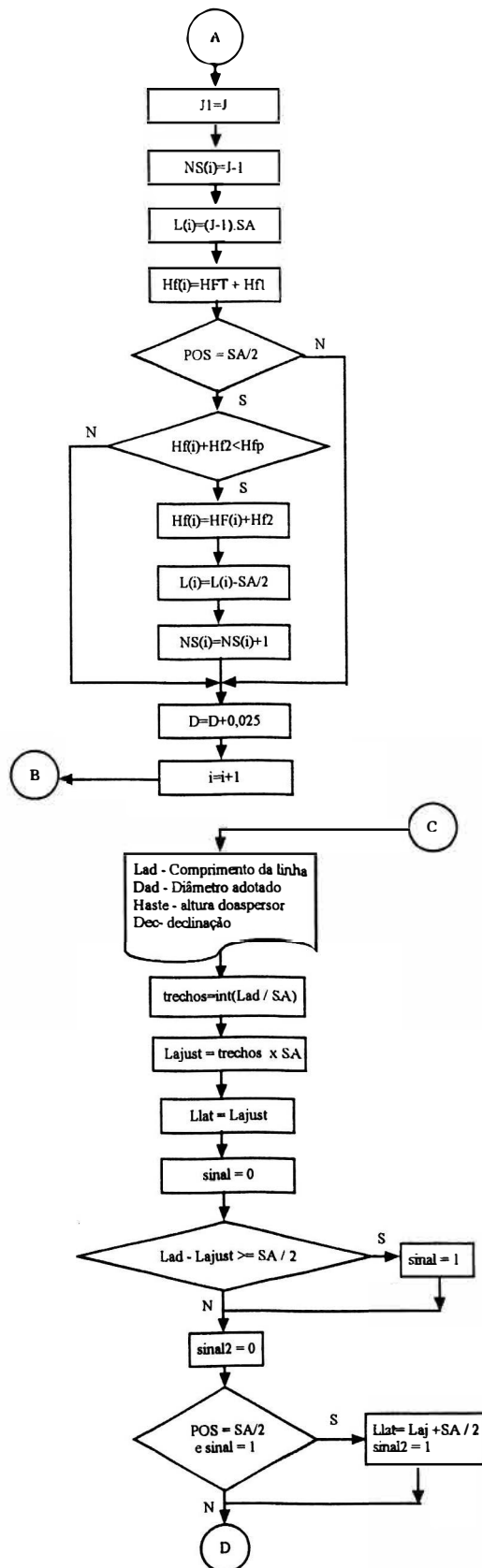


Figura 4. Continuação



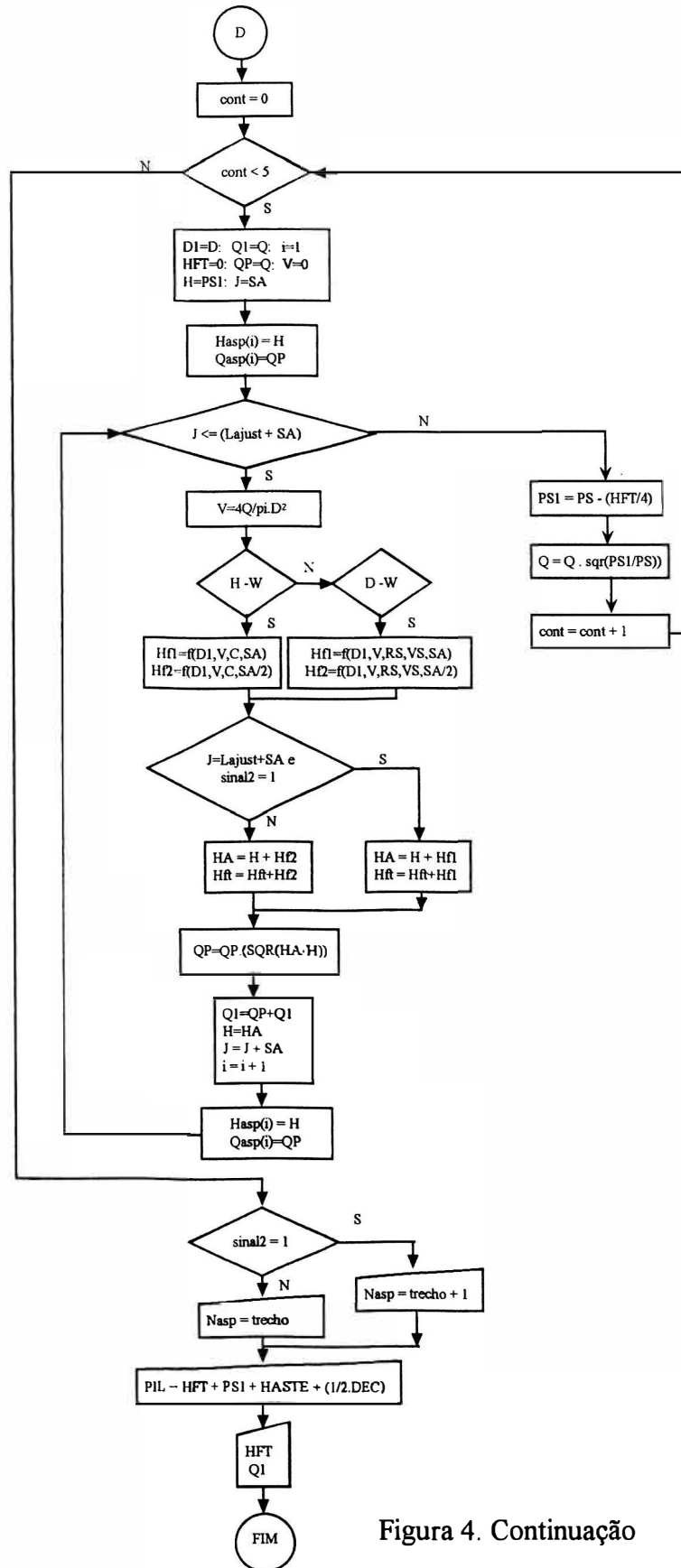


Figura 4. Continuação

aspersor. Como é desconhecido a perda de carga da linha, aplicar-se-á as equações (17) e (18) dentro de uma solução iterativa através de um mecanismo computacional repetitivo.

Para início do laço assumiu-se a mesma variação da pressão adotada no cálculo do comprimento máximo da tubulação. Para cada passagem do laço, a nova perda de carga calculada vai sendo utilizada na estimativa da pressão do último aspersor até que a diferença da perda de carga obtida entre os dois últimos laços seja inferior a 0,01%.

### 3.1.3 Tubulação de sucção

Utiliza-se da equação (4) para estimativa da perda de carga

### 3.1.4 Conjunto motobomba

Para dimensionamento da motobomba foram usadas as fórmulas:

a) Potência útil

$$P_u = \frac{Q \cdot H_{man}}{75} \quad (19)$$

em que,

$P_u$  - potência útil, cv

$Q$  - vazão total do sistema, l/s

$H_{man}$  - altura manométrica total, mca

b) Potência necessária no eixo da bomba

$$P_{eixo} = \frac{P_u}{\epsilon_b} \quad (20)$$

em que,

$P_{eixo}$  - potência necessária no eixo da bomba, cv

$\epsilon_b$  - eficiência da bomba, decimal

c) Potência do motor necessária

$$P_m = \frac{P_{\text{eixo}}}{\varepsilon_m} \quad (21)$$

em que,

$\varepsilon_m$  - Eficiência do motor, decimal

d) Altura manométrica total

$$H_{\text{man}} = H_s + H_r + H_f + H_{ps} + H_a \quad (22)$$

em que,

$H_s$  - altura geométrica de sucção, m

$H_r$  - altura geométrica de recalque, m

$H_f$  - perda de carga em toda a tubulação, mca

$H_{ps}$  - pressão de serviço do aspersor, mca

$H_a$  - altura do aspersor, m

A sequência de dimensionamento do conjunto motobomba pode ser visualizado na Figura 5, a qual mostra o fluxo de programação.

### 3.1.5. Lay-out

Para cálculo do número de laterais necessárias ao projeto, tempo de operação da lateral e frequência de irrigação usou-se a metodologia descrita a seguir:

a) Estimativa da água disponível às plantas: foi utilizada a equação (8).

b) Frequência da irrigação (Tr):

$$Tr = \frac{AD}{E_{tm}} \quad (23)$$

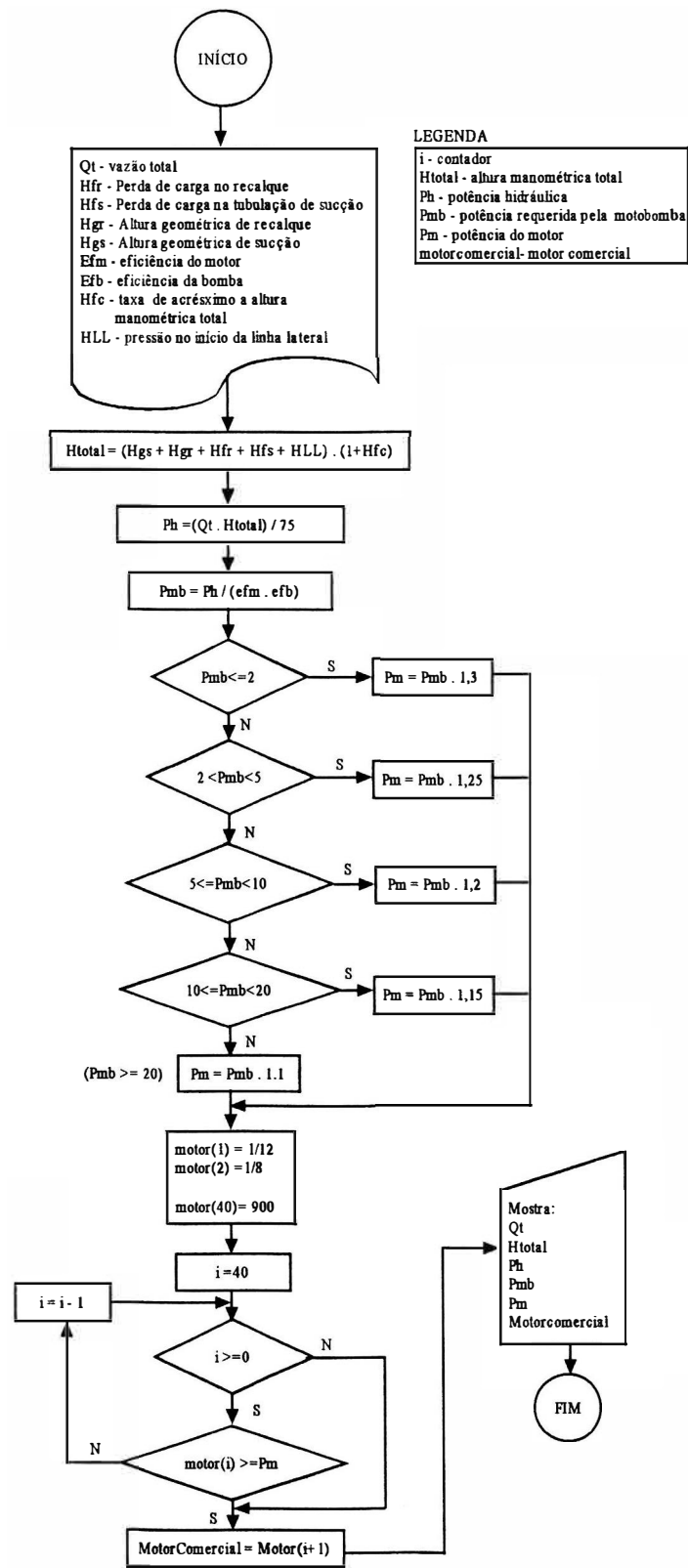


Figura 5. Fluxograma para dimensionamento da motobomba

em que,

AD - água Disponível às plantas, mm

Etm - evapotranspiração máxima da cultura, mm/dia

c) Tempo de irrigação,  $T_i$ :

$$T_i = \frac{Tr \cdot Etm}{ef \cdot P_{asp}} \quad (24)$$

em que,

ef - eficiência da irrigação

$P_{asp}$  - precipitação do aspersor, mm/h

d) Posições irrigadas por dia (PID)

$$PID = \frac{nP}{Tr} \cdot 2 \quad (25)$$

em que,

nP - número de posições existentes na linha principal

e) Número de laterais necessárias, (LN)

$$LN = \frac{PID}{PLD} \quad (26)$$

em que,

PID - número de posições a serem irrigadas por dia

PLD - número de posições irrigadas por cada lateral por dia

O método computacional desenvolvido para realizar as tarefas acima poder ser visualizado na Figura 6.

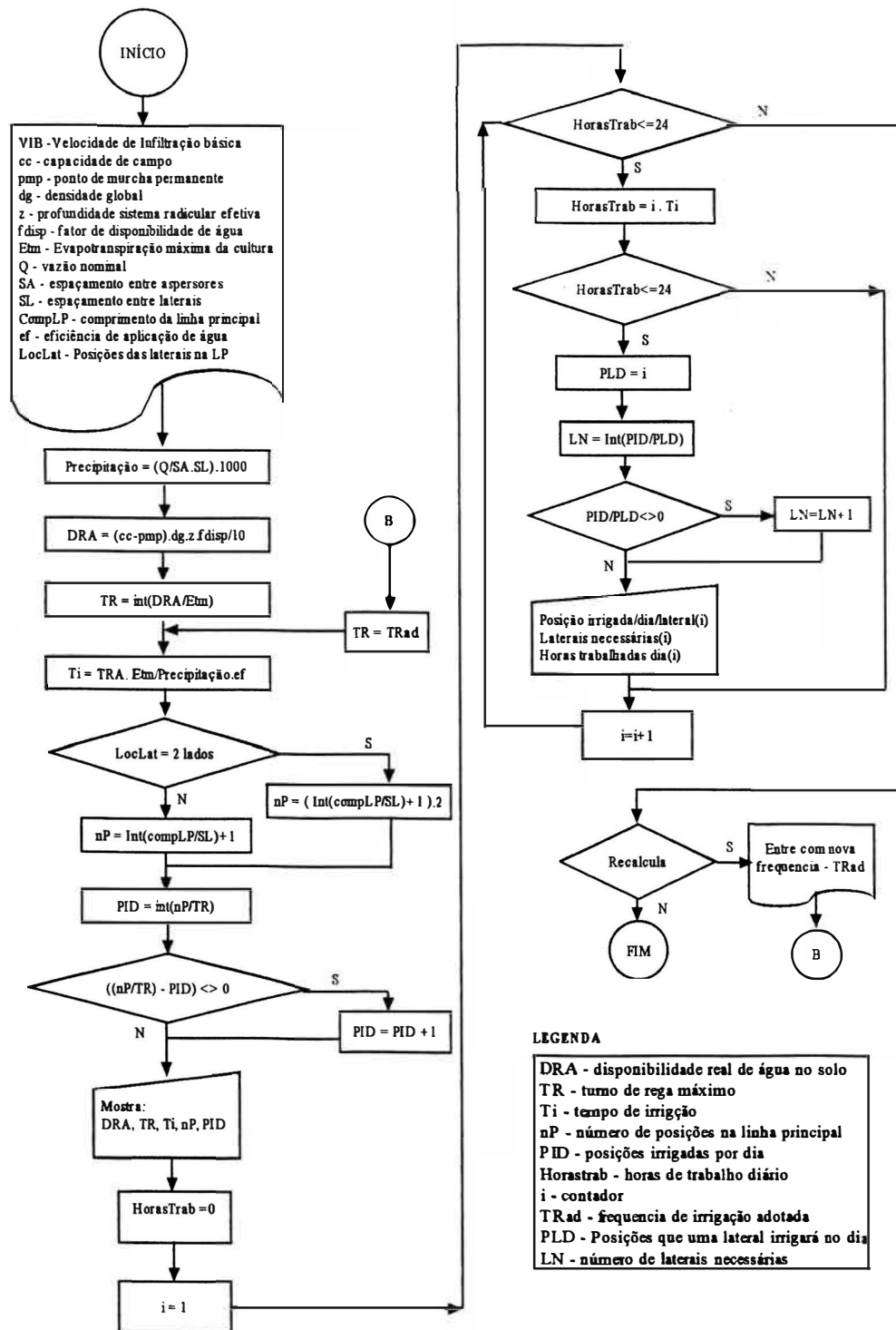


Figura 6. Fluxograma auxílio ao lay-out

### 3.2. Manejo

O controle da irrigação será feito através do *balanço hídrico*. O nível de água no solo será estimado considerando-se as perdas por evapotranspiração e entrada pela precipitação e irrigação.

Para se fazer o balanço hídrico será necessário fornecer dados diários do clima a fim de se compor a planilha de controle de irrigação. Para tanto o programa apresentará ao usuário uma tabela, com as entradas em branco que deverão ser preenchidas. As colunas serão nomeadas com os parâmetros da metodologia utilizada, conforme os itens a seguir.

- velocidade do vento (km/dia)
- umidade relativa (%)
- evapotranspiração diária (mm)
- precipitação

Com as entradas diárias dos parâmetros, o programa calculará as perdas por evapotranspiração e a adição de água pela chuva. A fórmula a seguir mostra o procedimento de cálculo adotado.

$$AD = AD_{\text{inicial}} - ET_m + P + I \quad (27)$$

em que,

AD - água disponível, mm

ET<sub>m</sub> - evapotranspiração no período, mm

P - precipitação efetiva, mm

I - Irrigação, mm

Entretanto o monitoramento do teor de água no solo pela contabilização das saídas e entradas pode levar a valores de umidade incorretos devido a: 1<sup>o</sup>. imprecisão nas metodologias de estimativa da evapotranspiração e 2<sup>o</sup>. considerar que houve infiltração total

da água da chuva e das irrigações, pois na realidade parte da água infiltra-se no solo e parte escorre superficialmente. Devido a esse fato deve ser feita a realização de uma correção periódica do teor de água no solo com a utilização de um método de determinação direta da umidade do solo como o uso do tensiômetro e fórmula de Van Genuchten ou através de pesagem e secamento em estufas.



## 4. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

### 4.1. Introdução

O programa “ASPRO” é um aplicativo específico para ser utilizado em projeto e no manejo de sistemas de irrigação por aspersão convencional por profissionais qualificados. Não é necessário conhecimentos prévios de informática. Somente alguns conceitos básicos de operação de microcomputadores e de software como o Windows devem ser conhecidos. Como o programa foi desenvolvido para ser executado em ambiente Windows, todas as facilidades para manipulação dos programas nele instalado, as quais são inerentes a esse ambiente, estão disponíveis para o programa “ASPRO”, como o uso do *mouse*, janelas de diálogo, *interface* gráfica e ícones intuitivos. Deste modo, as operações de acesso a arquivo e entrada de dados são mais simples.

### 4.2. Instalação

O programa “ASPRO” foi desenvolvido em um computador tipo IBM PC, sendo necessário um do mesmo tipo para executar o programa.

A versão que é apresentada neste trabalho está gravada em três disquetes de instalação de 1,44 MegaBytes, 3,5”. Antes de utilizar o software, deve proceder a sua instalação, pois não é possível executar o programa direto dos disquetes. Instala-se seguindo os seguintes passos:

- 1 - Introduz-se o disco 1, Rotulado “ASPRO - Disco 1”, na unidade de disco flexível de 3,5”,

- 2 - Executa-se o programa WINDOWS, se já não tiver feito, digitando *win* a partir do prompt do DOS;
- 3 - Dentro do gerenciador de arquivos do Windows, acesse o disco 1;
- 4 - Na listagem que aparece na janela do gerenciador aponte e execute o arquivo Setup;
- 5 - Introduza os disquetes seguintes conforme o programa de instalação exija;
- 6 - Responda as perguntas que são mostradas na tela.

Se tudo correu bem, o programa está instalado, caso contrário, existe algum problema com os disquetes, substitua-os e reinstale.

#### 4.3. Apresentação do programa

Ao se executar o programa ASPRO, aparece a tela de apresentação. Pressionando-se qualquer tecla ou clicando o mouse, esta tela é substituída pela tela principal do programa, a qual apresenta o menu principal e as três opções de utilização: Dimensionamento; Manejo e Banco de aspersores. Para acesso a esses módulos deve-se clicar, com o mouse, a palavra correspondente ou pressionar a tecla Alt mais a letra grifada na palavra. A seguir são descritas essas alternativas de uso do programa.

##### 4.3.1 Dimensionamento

Esta opção acessa as rotinas para o dimensionamento da linha lateral, linha principal, tubulação de sucção, conjunto motobomba e do auxílio ao lay-out. A tela desta opção pode ser observada na Figura 7. Apresenta um menu com as opções de acesso a arquivo, saída do módulo, escolha da fórmula de cálculo das tubulações, velocidade máxima permitida, eficiência de aplicação de água e cálculo da perda de carga utilizando a fórmula de Hazen-Williams. Além do menu visualiza-se uma tela dividida em duas partes com dois fichários intitulados: *dados necessários* e *resultados*. No fichário *dados*

ASPRO: Dimensionamento

Arquivo Hf Aspersores Opções

Dados necessários:      Resultados:

Solo/Cultura    Aspersor    Lateral    Principal    MB      Principal    Lay-out    Lateral    MB

Taxa de juros anual (%)   

Vida útil da tubulação (anos)   

Custo da energia (um/CVh)   

Horas funcionamento anual   

Custo da tubulação   

Dados Econômicos    Dados hidráulicos

Lay-out    Principal   

Lateral    MB    Fecha

Combinção de diâmetros que gera menor custo total

Diâmetros (mm)

Hf total (mca)

Custo fixo anual (u.m.)

Custo de Hf (u.m.)

Custo total anual (u.m.)

Característica da tubulação em cada trecho

Figura 7. Tela para entrada dos parâmetros econômicos da linha principal.

ASPRO: Dimensionamento

Arquivo Hf Aspersores Opções

Dados necessários:      Resultados:

Solo/Cultura    Aspersor    Lateral    Principal    MB      Principal    Lay-out    Lateral    MB

Comp. da linha principal (m)   

Coefficiente C - HW   

Rugosidade (m)   

Viscos. da água (m<sup>2</sup>/s)   

Comprimento e vazão dos trechos da linha principal   

Dados Econômicos    Dados hidráulicos

Lay-out    Principal   

Lateral    MB    Fecha

Combinção de diâmetros que gera menor custo total

Diâmetros (mm)

Hf total (mca)

Custo fixo anual (u.m.)

Custo de Hf (u.m.)

Custo total anual (u.m.)

Característica da tubulação em cada trecho

Figura 8. Tela de entrada dos parâmetros hidráulicos da linha principal.

*necessários* estão contidas seis fichas para entrada de dados das rotinas de dimensionamento dos componentes listados acima neste parágrafo. A ficha referente aos dados da linha principal está subdividida em outras duas. No fichário *resultados* aparecem as quatro fichas com os resultados do dimensionamento, que foram processados após serem pressionados os botões respectivos localizados na parte inferior esquerda da tela, logo abaixo do fichário da entrada de dados, como pode ser visto na Figura 7.

#### 4.3.1.1. Dimensionamento da linha principal

##### 4.3.1.1.1. Entrada dos dados

Para o dimensionamento da linha principal, o usuário deverá selecionar, do fichário *dados necessários* à ficha *Principal*, a qual contém duas outras fichas: *dados hidráulicos* e *dados econômicos* (Figuras 7 e 8). Nestas últimas estão as caixas de textos nas quais serão introduzidas os valores de entrada. Selecionando-se a ficha *dados hidráulicos* aparece as seguintes caixas e botão:

- Comprimento da linha principal, m
- rugosidade, m (caso a fórmula seja de Darcy-Weisbach)
- viscosidade da água,  $m^2/s$  (caso a fórmula seja a de Darcy-Weisbach)
- Coeficiente C- HW
- trechos (botão)

O dado, comprimento da linha principal, é utilizado nas rotinas de auxílio ao *lay-out*. Os dados de rugosidade, viscosidade e coeficiente C, são utilizados para cálculo da perda de carga na tubulação da linha principal.

O botão *trechos* acessa uma janela para entrada dos dados referentes a comprimento de cada trecho da linha principal e sua respectiva vazão. Este programa permite que até seis trechos sejam processados.

Selecionando-se a ficha *dados econômicos* podem ser introduzidos os dados econômicos

através das caixas de textos e do botões intitulados:

- vida útil, anos
- taxa de juros, decimal
- custo da energia, \$/cv
- horas de funcionamento anual
- Custo da tubulação (botão)

Com esses dados, serão calculados: fator de recuperação de capital FRC, custo anual da energia, custo fixo anual e custo anual total.

O botão custo da tubulação acessa a janela para entrada dos custos por unidade de comprimento de cada diâmetro comercial a ser testado nas combinações dos trechos da linha principal.

#### 4.3.1.1.2. Saída dos resultados

Para o processamento desses dados e serem visualizados os resultados, é necessário pressionar o botão rotulado “Principal” ou pressionar simultaneamente as teclas alt + p. Imediatamente após esse ato, a ficha *principal* do fichário *Resultados* tomará a frente da tela, exibindo uma tabela contendo as combinações dos diâmetros, a perda de carga e os custos calculados, conforme se pode ver no lado direito da figura 7 e 8. Na parte inferior deste mesmo fichário é mostrado as características hidráulicas dos trechos da linha principal.

Pelo botão, que também aparece nesta ficha, pode ser visualizado a tabela que mostra todos os resultados das combinações dos diâmetros. Se a tabela for maior que a tela pode mostrar, aparecerá barras de rolamento vertical e horizontal para total visualização.

Abaixo da tabela mostrada na ficha estão os resultados da combinação de diâmetros que geraram menor custo anual total, o qual é a melhor opção de escolha. O valor da perda de carga também é mostrado nas Figuras 7 e 8.

#### 4.3.1.2. Dimensionamento da linha lateral

##### 4.3.1.2.1. Entrada de dados

Devem ser utilizadas duas fichas do fichário *dados necessários*: a ficha *aspersor*, a qual contém as características do aspersor utilizado no projeto, e a ficha *lateral* que apresenta as características da tubulação a ser usada como linha lateral (Figuras 9 e 10 respectivamente). A ficha *aspersor* possui as seguintes caixas de entradas:

- Pressão de serviço (P.S), mca
- Vazão nominal, m<sup>3</sup>/h
- Precipitação, mm/h
- Espaçamento entre aspersores, m
- Espaçamento entre laterais, m

A ficha *lateral*, as seguintes:

- Altura da haste, m
- Perda de carga permitida, %
- Coeficiente de HW ( se a fórmula for a de Hazen-Williams)
- Rugosidade, m ( se a fórmula for a de Darcy-Weisbach)
- Viscosidade da água, m<sup>2</sup>/s ( se a fórmula for a de Darcy-Weisbach)
- Opções de escolha do espaçamento inicial do primeiro aspersor

##### 4.3.1.2.2. Saída dos resultados

Para processamento dos dados e observação dos resultados, o botão *lateral* deve ser pressionado com o mouse, ou simultaneamente as teclas alt + L. Após esse procedimento a ficha *lateral* do fichário *resultados* ficará em destaque, conforme mostra a Figura 10, lado direito. Na parte superior desta ficha visualiza-se uma tabela com os diâmetros comerciais normalmente usados nos projetos de irrigação, o

ASPRO: Dimensionamento

Arquivo HI Aspersores Opções

**Dados necessários:**

Solo/Cultura: Aspersor Lateral Principal MB

Modelo:

PS, mca

Vazão Nominal, m<sup>3</sup>/h

Espaçamento

Entre aspersores, m

Entre laterais, m

Precipitação, mm/h

Lay-out Principal

Lateral MB  Fecha

**Resultados:**

Principal Lay-out Lateral MB

| Diâmetro (m)       | Comprimento máximo (m) | Número de saídas | Perda de Carga (m) |
|--------------------|------------------------|------------------|--------------------|
| [Empty table area] |                        |                  |                    |

Dados necessários

Comprimento Adotado (m):

Diâmetro adotado (mm):

Declive:  metros

Calcula

Activo: (+)

Declive: (-)

Resultado 1 Resultado 2

Número de Aspersores

Vazão na Lateral (L/s)

Perda de Carga na linha (mca)

Pressão no início da Lateral (mca)

Comprimento Ajustado (m)

Figura 9. Tela para entrada das características do aspersor

ASPRO: Dimensionamento

Arquivo HI Aspersores Opções

**Dados necessários:**

Solo/Cultura Aspersor Lateral Principal MB

Altura da haste, m

Perda de Carga Permitida, %

Coefficiente C - HW

Rugosidade, m

Viscosidade da água, m<sup>2</sup>/s

Primeiro aspersor a:

1/2 espaçamento  Esp. inteiro

Lay-out Principal

Lateral MB  Fecha

**Resultados:**

Principal Lay-out Lateral MB

| Diâmetro (m)       | Comprimento máximo (m) | Número de saídas | Perda de Carga (m) |
|--------------------|------------------------|------------------|--------------------|
| [Empty table area] |                        |                  |                    |

Dados necessários

Comprimento Adotado (m):

Diâmetro adotado (mm):

Declive:  metros

Calcula

Activo: (+)

Declive: (-)

Resultado 1 Resultado 2

|                      |                      |                      |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Pressões e vazões para linha lateral em nível

Figura 10. Tela para entrada das características da tubulação da linha lateral

comprimento máximo da linha, o número de saídas e a perda de carga em todo o comprimento da linha para cada um desses diâmetros. Estes valores dependerão diretamente da variação de pressão admitida no projeto.

Abaixo dessa tabela, existe a opção do usuário selecionar o comprimento e o respectivo diâmetro da tubulação que melhor se ajusta ao lay-out pretendido no projeto que se está trabalhando. A declividade da linha também será exigida caso exista. Então pressiona-se com o mouse o botão *calcula* que está ao lado dessas caixas de texto para que o resultado apareça nas caixas que estão na parte inferior do fichário *resultados*, conforme a Figura 10.

O programa irá fornecer os seguintes resultados após essa operação: número de aspersores da linha, vazão na linha lateral, perda de carga total da linha lateral, pressão no início da linha lateral e o comprimento ajustado. Se o comprimento fornecido pelo usuário for diferente do múltiplo do espaçamento dos aspersores, será automaticamente recalculado e assim o comprimento ajustado pode ser igual ou não ao comprimento fornecido. Neste fichário poderá ser visualizado a pressão e a vazão dos aspersores distribuídos ao longo da linha lateral.

#### 4.3.1.3. Dimensionamento do conjunto motobomba

##### 4.3.1.3.1. Entrada de dados

Os dados exigidos para o dimensionamento da motobomba estão na ficha *motobomba* do fichário *dados necessários* (Figura 11), contidos nas seguintes caixas de entrada:

- Vazão total, l/s
- Pressão no início da linha lateral, mca
- Hf sucção, m
- Hf recalque, m



- Altura geométrica de sucção, m
- Altura geométrica de recalque, m
- Eficiência do motor, %
- Eficiência da bomba, %

#### 4.3.1.3.2. Saída dos resultados

As rotinas para cálculo do conjunto motobomba são realizadas com o pressionamento do botão *MB* pelo mouse, e os resultados aparecerão na ficha *MB* do fichário *Resultados*, conforme mostra o lado direito da Figura 11, que são: altura manométrica total, potência hidráulica, potência no eixo da bomba, potência do motor e o motor comercial.

#### 4.3.1.4. Lay-out

##### 4.3.1.4.1. Entrada de dados

As rotinas desta opção do programa são para auxiliar no lay-out do equipamento e os dados de entrada estão contidos principalmente na ficha *Solo / Planta* (Figura 12), embora utilize dados de outras fichas. As caixas de entrada da ficha *solo* são:

- Umidade na capacidade de campo,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$
- Umidade no ponto de murchamento permanente,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$
- Densidade global do solo,  $\text{g}/\text{cm}^3$
- Velocidade de infiltração básica -VIB,  $\text{mm}/\text{h}$

Da ficha *planta*:

- Cultura
- Profundidade do sistema radicular, cm
- fator de disponibilidade, f
- Etm, mm

ASPRO: Dimensionamento

Arquivo Hf Aspersores Opções

Dados necessários:

Solo/Cultura **Aspersor** Lateral Principal MB

Vazão total (L/s)

Pressão início L. Lateral, m

Hf recalque, m

Hf sucção (m)

Perda de carga localizada, m

Altura geométrica de sucção, m

Altura geométrica de recalque, m

Eficiência do motor, %

Eficiência da Bomba, %

Lay-out Principal

Lateral MB

Fecha

Resultados:

Principal Lay-out Lateral MB

Vazão total (L/s)

Altura Manométrica total (m)

Potência hidráulica (CV)

Potência exigida pela bomba (CV)

Potência do motor (cv)

Recomendado

Comercial

Figura 11. Tela para entrada dos parâmetros de dimensionamento da motobomba

ASPRO: Dimensionamento

Arquivo Hf Aspersores Opções

Dados necessários:

Solo/Cultura **Aspersor** Lateral Principal MB

Solo

Capac. campo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ ):

P. M. Permanente ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ ):

Densidade Global ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ):

Veloc. Infil. Básica - VIB ( $\text{mm}/\text{h}$ )

Cultura

Cultura:

Prof. Sist. Rad. (cm):

Fator de dispon. - f:

Etm (mm):

Lay-out Principal

Lateral MB

Fecha

Resultados:

Principal Lay-out Lateral MB

Disponib. Real de água (mm):

Turno de rega máximo (dias):

Tempo para irrigar/posição / hora)

Número de posições:

Posições irrigadas / dia

Turno de rega adotado (dias):

Redimensiona

Posições laterais necessárias Horas trabalhadas

| Posições laterais necessárias | Horas trabalhadas    |
|-------------------------------|----------------------|
| <input type="text"/>          | <input type="text"/> |

Figura 12. Tela para entrada dos parâmetros de dimensionamento do lay-out

#### 4.3.1.4.2. Saída dos resultados

Pressionando o botão Lay-out ou simultaneamente alt + A, inicia-se o processamento dessas rotinas. Os resultados aparecerão na ficha *Lay-out* do fichário *Resultados*, Figura 12. Existirá opção para recalcular, caso o usuário decida alterar valores apresentados pelo programa. Na ficha de saída do lay-out os seguintes dados serão apresentados: disponibilidade real de água, mm; turno de rega máximo, dias; tempo gasto na irrigação, horas; número de posições exigidas na linha principal; posições irrigadas no dia. Na parte inferior desta ficha apresenta-se uma tabela com o resultado das necessidades quanto ao número de laterais necessárias e horas de serviço diário, de acordo com as posições irrigadas no dia por cada lateral.

#### 4.3.2 Manejo

##### 4.3.2.1. Janela dos dados da cultura

Ao acessar a opção de Manejo, o programa apresenta a janela conforme mostra a Figura 13. Nesta janela devem ser fornecidos os dados a respeito da cultura que será acompanhada pelo balanço hídrico. Pode-se visualizar os seguintes controles:

a) Caixas de entrada

- Cultura;
- Variedade/Cultivar;
- Data do plantio/semeadura;
- Área cultivada, ha;
- Produtor;
- Propriedade;
- DRA, mm;

**Entrada de dados para novo balanço**

Cultura:

Variedade/ cultivar:

Data do plantio/semeadura:

Área cultivada (ha):

Produtor:

Propriedade:

DRA (mm):

db1

Figura 13. Tela para dados da cultura

**Balanço hídrico**

Data de Plantio Label1 Área Label1

Cultura Label1 Cultivar Label1

Cultura-DB1   Correção da umidade inicial do solo

DRA

**Entrada de dados climáticos diários**

| Data<br>(dd/mm/aa) | ET <sub>o</sub><br>(mm) | Kc | prec.<br>(mm) | Irrig.<br>(mm) | ET <sub>m</sub><br>(mm) | AFDi<br>(mm) | AFDf<br>(mm) |
|--------------------|-------------------------|----|---------------|----------------|-------------------------|--------------|--------------|
| 12/12/12           |                         |    |               |                |                         |              |              |

Reserva

Caso seja início de balanço digite a "AFDi" diretamente na caixa de correção da umidade

Figura 14. Tela para entrada dos dados climáticos diários

#### b) Botões

- Novo;
- Salva;
- Balanço;
- Excluí;
- Fecha
- Botão de acesso a janela para calcular a disponibilidade real de água

#### c) Controle de navegação

A disponibilidade real da água pode facilmente ser calculada através da janela própria, acessada pelo botão rotulado com uma seta. Nesta janela são exigidos dados do solo: umidade de capacidade de campo; umidade do ponto de murchamento permanente; densidade global; profundidade do sistema radicular e fator f.

O controle de navegação permite a visualização de todas as culturas armazenadas no banco de dados .

Através dos botões localizados na parte inferior da janela é possível introduzir novos dados, gravar e excluir dados.

O botão *balanço* abre a janela do balanço hídrico.

#### 4.3.2.2. Janela balanço hídrico

Após serem introduzidas as informações a respeito da cultura que será acompanhada pelo balanço hídrico na janela específica, deve-se proceder a entrada diária dos dados do clima, na janela do balanço hídrico, como é mostrado na Figura 14.

Existem dois controles de navegação: aquele situado mais acima na janela serve para selecionar a cultura dentre aquelas armazenadas que terá os valores do clima diário introduzido. O segundo controle de navegação permite visualizar um a um todos os dados diários já introduzidos para a cultura selecionada pelo controle anterior.

Para inserir um novo valor, é fundamental que seja pressionado o botão rotulado

*novo*, e logo após ter digitado os valores, pressionar o botão *salva* para que seja incluído no arquivo de armazenamento.

O botão *planilha* carrega a janela da tabela do balanço hídrico.

#### 4.3.2.3. Janela planilha

Nesta janela pode-se visualizar todos os dados diários armazenados de uma cultura selecionada pelo controle de navegação.

Se existir mais dados do que a janela possa mostrar, barras de rolamento vertical e horizontal aparecerão para permitir a visualização sequencial de todos os registros diários armazenados. Na Figura 15 pode-se observar essa planilha

#### 4.3.3. Banco de aspersores

##### 4.3.3.1. Introdução

O banco de dados de aspersores foi desenvolvido para realizar três funções: consulta, cadastro e manutenção. As características que serão armazenadas são as seguintes:

- Fabricante
- Modelo do aspersor
- Material de construção
- Diâmetro dos bocais, mm
- Espaçamento recomendado pelo fabricante, m
- Pressão de serviço, m.c.a.
- Vazão, m<sup>3</sup>/h
- Precipitação

Data de Plantio Label1      Área Label1  
 Cultura Label1      Cultivar Label1

| data | precipitação (mm) | ETo (mm) | kc | ETm (mm) | irrigação (mm) | AFDi (mm) | AFDf (mm) |
|------|-------------------|----------|----|----------|----------------|-----------|-----------|
|      |                   |          |    |          |                |           |           |

Figura 15. Planilha dos dados diários

Entrada das características dos aspersores

Aspersor  ...

Diâmetro dos bocais, mm

Espaçamento, m x m

| Pressão, mca | Vazão, m³/h | Precipitação, mm/h |
|--------------|-------------|--------------------|
|              |             |                    |

Figura 16. Tela para cadastro das características de aspersores

O programa contém janelas próprias para consulta e cadastro, que poderão ser acessadas independentemente de diversas partes do programa.

#### 4.3.3.2. Cadastro

O cadastro de novos aspersores é feito através da janela *características*, figura 16, a qual possui a entrada para as informações listadas anteriormente, exceto com relação ao fabricante, modelo do aspersor e material de construção.

Cada novo modelo de aspersor a ser armazenado deve ser feito acessando a janela intitulada *aspersor*, figura 17, através do botão com três pontos, situado ao lado da caixa de lista tipo *drop down*. Esta janela possui, também, botão com três pontos ao lado da caixa de listas para cadastro da fábrica, figura 18, através da janela *fabrica*.

Após o cadastro do aspersor e da fábrica, estes estarão disponíveis na caixa de lista da janela *característica e aspersor* respectivamente, ou seja, só é feita a inclusão de novo aspersor ou novo fabricante se não estiver disponível na caixa de lista.

Estas três janelas possuem semelhantes controles e funções. A cada nova *características*, *aspersor* ou *fabrica* a serem armazenados, deve ser pressionado primeiro o botão *novo* ou *adiciona*, seguido pela introdução dos dados e na sequência pressionar o botão *salvar*, para que os valores introduzidos sejam gravados no banco de dados.

As janelas possuem o controle de navegação para visualização sequencial nos registros armazenados.

#### 4.3.3.3. Consulta

Pressionando o botão *consulta* da janela *característica*, abre-se a janela do mesmo nome, figura 19. Nesta janela as características de cada aspersor são apresentadas em uma tabela, mostrando os diâmetros disponíveis para um modelo selecionado e a diversas possibilidades de pressão de serviço.

Um controle de navegação situado na parte inferior da janela permite a visualização sequencial dos modelos dos aspersores gravados no banco de dados.



Aspersor

Fábrica DBCombo1

Adiciona Fechar

Modelo

Salva entrada

Material

Apaga registro

Figura 17. Cadastro de aspersores

Fábrica

Fábrica

Adiciona Fechar

Salva entrada

Apaga registro

Figura 18. Cadastro das fábricas

Aspersor

Modelo:

Fábrica:

Procura aspersor

Aspersor 1

SAI

Características

| Diametro | Pressao | Vazao | Espacamento | Precipitacao |
|----------|---------|-------|-------------|--------------|
|          |         |       |             |              |

Figura 19. Tela para consulta dos aspersores armazenados no banco de dados

## 5. EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO

### 5.1. Introdução

Para exemplificar o uso do programa ASPRO, bem como mostrar sua utilidade, é apresentado a seguir um projeto de dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão convencional.

Será utilizada a fórmula de Hazen-Williams para cálculo da perda de carga nas tubulações. O primeiro aspersor está situado a metade do espaçamento entre laterais.

Este é um exemplo hipotético, mas servirá para mostrar como manusear o programa.

### 5.2. Dados disponíveis:

a) cultura:

cultura: feijão

Etm: 4 mm

profundidade efetiva do sistema radicular: 25 cm

b) solo

umidade na capacidade de campo: 27 g/100g

umidade no ponto de murchamento permanente: 15 g/100g

velocidade de infiltração básica: 7,5 mm/h

densidade global: 1,4 g/cm<sup>3</sup>

fator de disponibilidade de água no solo (f): 0,6

c) aspersor

modelo: XX-25

pressão de serviço: 35 mca

vazão nominal: 3,0 m<sup>3</sup>/h

Diâmetro dos bocais: 5,6 x 3,2

espaçamento recomendado: 18 m entre aspersores, 24 m entre laterais

precipitação: 6,94 mm/h

altura de funcionamento: 0,50 m

d) tubulação

hf permitido 20% da PS

Velocidade máxima: 1,8 m/s

material: PVC (PN 80) - Coef. C ( Hazen-Williams) = 150

Tabela 3 Custo da tubulação.

| Diâmetro<br>(mm) | u.m./m<br>Preços de out/96 |
|------------------|----------------------------|
| 150              | 13,00                      |
| 125              | 9,50                       |
| 100              | 7,50                       |
| 75               | 4,00                       |
| 50               | 2,00                       |

e) outros

taxa de juro anual: 12 %

vida útil do equipamento: 15 anos

custo da energia: R\$ 0,50 /cv.hora

horas de funcionamento do sistema: 1.200 horas / ano

eficiência do motor: 96 %

eficiência da bomba: 67 %

eficiência de aplicação de água: 82 %

f) área (figura 20)

largura da área: 210 m

comprimento 450 m

altura geométrica de recalque: 3 m

altura geométrica de sucção: 1,5 m

g) Desenho esquemático da área

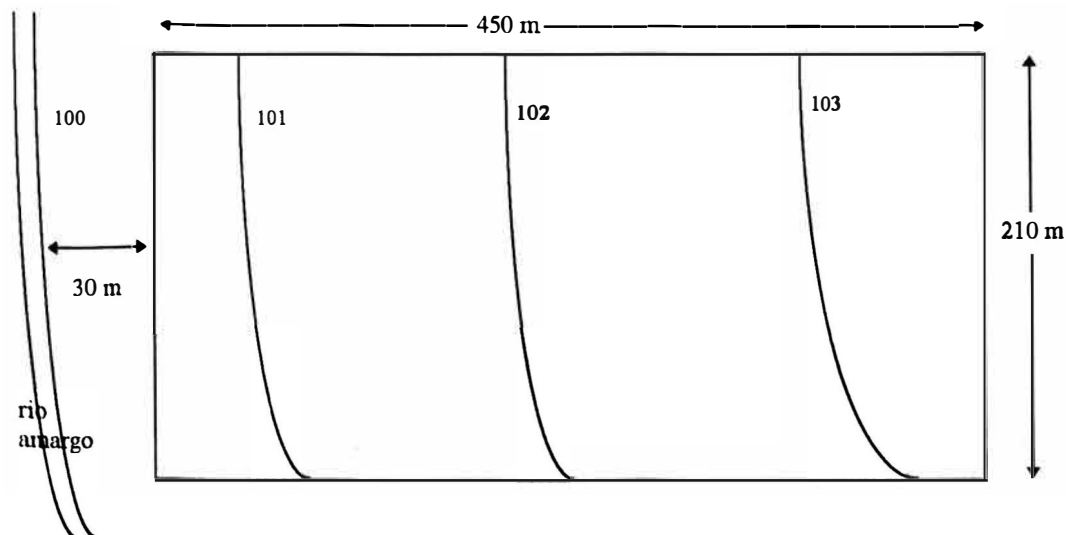


Figura 20. Esquema da área

### 5.3. Resultados

Após serem introduzidos os dados disponíveis, nas respectivas caixas de entrada e executadas as rotinas específicas de processamento desses dados, o programa apresentou os seguintes resultados:

### 5.3.1. linha lateral

Os comprimentos máximos da tubulação obtidos após processamento são vistos na tabela 4.

Tabela 4. Comprimento máximo, número de saídas e perda de carga de diâmetro comerciais da linha lateral.

| Diâmetro<br>m | comprimento<br>máximo, m | número de<br>saídas | Perda de carga<br>mca |
|---------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| 0,150         | 818,00                   | 46                  | 6,92                  |
| 0,125         | 594,00                   | 33                  | 6,80                  |
| 0,100         | 405,00                   | 23                  | 6,91                  |
| 0,75          | 243,00                   | 14                  | 6,82                  |
| 0,050         | 117,00                   | 07                  | 6,85                  |
| 0,025         | 27,00                    | 02                  | 6,15                  |

Com os resultados visualizados na tabela 4, tal como é fornecido pelo programa, e as dimensões da área a ser irrigada (figura 20) foi selecionado uma tubulação com 99 m de comprimento e 50 mm de diâmetro. Este dados devem ser introduzidos no programa para que seja feita a estimativa da perda de carga na linha, o número de aspersores, a vazão total e a pressão no início da linha. Após o processamento obtêm-se os resultados mostrados na tabela 5.

Tabela 5. Valores de dimensionamento da linha lateral fornecido pelo programa

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| número de aspersores         | 6     |
| vazão total da linha lateral | 5,00  |
| perda de carga na linha      | 4,47  |
| pressão no início da linha   | 38,85 |
| comprimento ajustado         | 99,00 |

### 5.3.2. Lay-out

O comprimento da linha principal deve ser calculado de acordo com o espaçamento entre as laterais e o comprimento da área. Dividindo-se 450 por 24 obtém-se 18,75. Fazendo 18 x 24 tem-se o comprimento que é 432 m. A diferença de 18 metros será distribuída de forma que 9 m seja a distância do início da linha com o limite inferior da área irrigada e 9 m a distância do final da linha com limite superior da área.

Os resultados obtidos são os seguintes:

DRA: 25,2 mm

turno de rega máximo: 6 dias

tempo gasto na irrigação por posição: 4,22 horas

número de posições: 38

Posições irrigadas no dia: 7

Tabela 6. número de laterais, número de posições irrigadas e horas trabalhadas no dia

| Posições laterais/dia | laterais necessárias | horas trabalhadas/dia |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| 1                     | 7                    | 4,22                  |
| 2                     | 4                    | 8,43                  |
| 3                     | 3                    | 12,65                 |
| 4                     | 2                    | 16,87                 |
| 5                     | 2                    | 21,09                 |

### 5.3.3. Linha principal

No dimensionamento da linha principal foi feito a escolha de se utilizar 4 laterais, trabalhando simultaneamente, e com deslocamento rotacional. Isto resultará os seguintes comprimento de cada trecho e respectivas vazões.

Tabela 7. comprimento dos trechos da linha principal

| Comprimento (m) | Vazão (L/s) |
|-----------------|-------------|
| 135             | 20          |
| 96              | 15          |
| 120             | 10          |
| 120             | 5           |

A combinação de diâmetros que geraram menor custo anual total é mostrado a seguir:

Tabela 8 Combinação de diâmetros que resultou em menor custo total anual.

|                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| Diâmetros, mm           | 150 150 150 125 |
| Hf total, mca           | 1,81            |
| custo fixo anual, u.m.  | 837,34          |
| custo de hf, u.m.       | 449,27          |
| custo total anual, u.m. | 1286,61         |

Pela tabela 9, são mostrados os resultados das características hidráulicas em cada trecho da linha principal.

Tabela 9. Característica da tubulação em cada trecho da linha principal

| Trechos | Q (L/s) | L (m) | D (mm) | Hf (m) | V (m/s) |
|---------|---------|-------|--------|--------|---------|
| MB - A  | 20      | 135   | 150    | 0,99   | 1,13    |
| A - B   | 15      | 96    | 150    | 0,41   | 0,85    |
| B - C   | 10      | 120   | 150    | 0,24   | 0,57    |
| C - D   | 5       | 120   | 125    | 0,16   | 0,41    |

#### 5.3.4. Motobomba

Os resultados do dimensionamento da motobomba são os seguintes:

altura manométrica total: 45,16 mca

potência hidráulica: 12,04 cv

potência no eixo da motobomba: 18,72 cv

potência do motor recomendado: 21,53 cv

potência do motor comercial mais próximo: 25 cv

#### 5.3.5 Disposição do equipamento na área

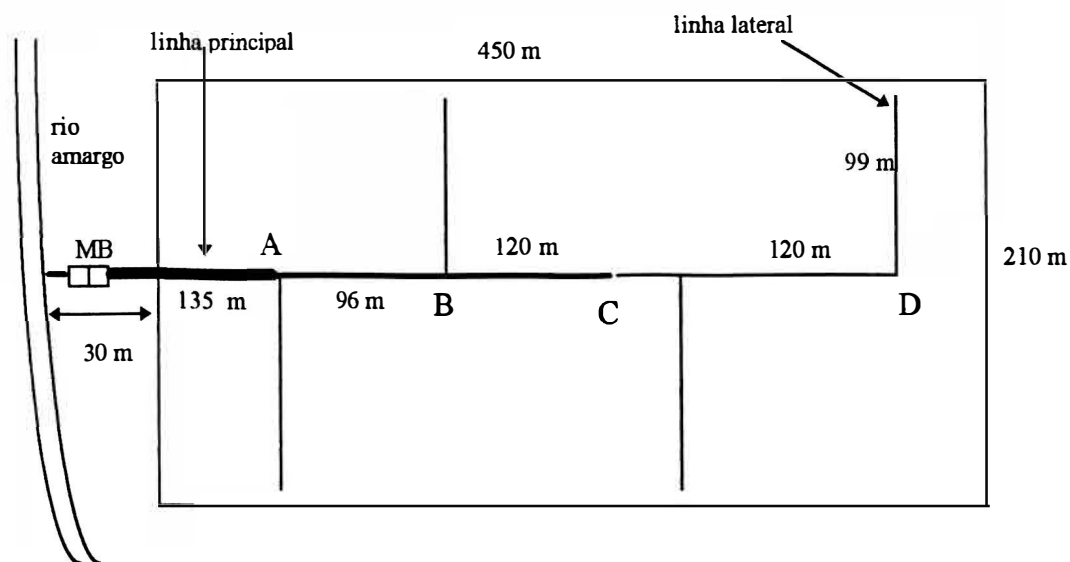


Figura 21. Disposição final do equipamento



## 6. SUGESTÃO PARA APRIMORAMENTO DO PROGRAMA

- 1.) Prover o programa com um *help*
- 2.) Prover o programa com tabela de coeficientes: Hazen-Williams, rugosidade, viscosidade
- 3.) Acrescentar um calculadora para cálculos rápidos
- 4.) Gerar gráficos
- 5.) Interligar com softwares de desenho para geração do lay-out
- 6.) gerar lista de materiais
- 7) Prover o programa com rotina para impressão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDINK, J.W.; KELLER, J.; PAIR, C.H., et al. Design and operation of sprinkler system. In: JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation system**. St. Joseph: ASAE, 1983. cap. 15, p. 621-629.
- AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. **Manual de hidráulica**. 7. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1982. v. I, 335p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 463p.
- CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 124p. (Bulletin, 670).
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. 194p.
- FARIA, J.E. Estudo da uniformidade e de sua influência na produção e na economia dos projetos de irrigação por aspersão através da simulação. São Carlos, 1993. 148p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GOMIDE, R.L. Determinação e análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por Aspersão. Viçosa. 1979. 87p. Dissertação ( M.S.) - Universidade Federal de Viçosa.
- HEERMANN, D.F.; KOHL, R.A. Fluid dynamics of sprinkler system. In: JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation system**. St. Joseph: ASAE, 1983. cap. 14, p. 583-584.

- HERNANDEZ, F.B.T.; LEMOS FILHO, M.A.F.; BUZETTI, S. **Software Hidrisa e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP, 1995. 45p. (Série Irrigação, 1).
- HOLZNER, S. **Visual basic for windows**: versão 3.0. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 674p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: AVI Publ., 1990. 652p.
- LOPEZ-SANCHEZ, J.L.P. **Fundamentos del calculo hidraulico en los sistemas de riego y de drenaje**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 398p.
- MAIA, L.A.F. Desenvolvimento de um software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada. Piracicaba, 1994. 158p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MICROSOFT CORPORATION. **Programmer's guide visual basic**: version 3.0. Redmond, 1993. 713p.
- MOREIRA, H.J.C.; TORRES FILHO, D.R. **S.A.A.C.I. Sistema agroclimático para o acompanhamento das culturas irrigadas**: manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 1993. 90p.
- OLITTA, A.F.L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1979. 267p.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**. v.44, p.892-897, 1980.
- VAN LIER, Q.J.; DOURADO NETO, D. **Balanço hídrico para culturas anuais e perenes**: software aplicativo. Piracicaba: ESALQ, 1991. 190p.
- VICTÓRIA, F.R.B. Avaliação de aspersores para operação em baixa pressão. Piracicaba, 1992. 130p. Dissertação (Mestrado.) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- VIEIRA, D.B. Projeto de irrigação por aspersão. In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. **Curso de elaboração de projetos de irrigação**. Brasília: PNI Fundação CTH, 1986. p. irrig..
- VILAS BOAS, M.A. Análise de métodos de amostragem da distribuição espacial de água de aspersores rotativos. Viçosa, 1994. 121p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Viçosa.
- WITHERS, B.; VIPOND, S. **El Riego**: diseño y práctica. Mexico: Diana, 1982. 350p.

**ANEXO**

**Disquetes de 3,5" com o programa**