

UNESP
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

UM MÉT. PARA ANÁLISE E PROJ. DE
ADUTORAS DE RECALQUE E DIST.
DE ÁGUA

Guaratinguetá
1995



1110000265



UNESP - Faculdade de Engenharia
de Guaratuba

UM MÉTODO PARA ANÁLISE E PROJETO DE ADUTORAS DE RECALQUE
DISCIPLINA: HIDROLOGIA

GRUPO DE PESQUISA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI EXAMINADA E APROVADA PARA A DEFESA DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA DE ENFERMAGEM

ESPECIALIDADE: ENFERMAGEM EM SAÚDE
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSMISSÃO DE ENERGIA

ORIENTADA POR: PROF. DR. CELSO EDUARDO TUNA

***"Um Método para Análise e
Projeto de Adutoras de Recalque
e Distribuição de Água"***

EXAMINADORA

CELSO EDUARDO TUNA

37

000265

Prof. Dr. JOSÉ UZELAI TEIRA

Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA

Março de 1993

"UM MÉTODO PARA ANÁLISE E PROJETO DE ADUTORAS DE RECALQUE E
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA"

CELSO EDUARDO TUNA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Nelson
Prof. Dr. NELSON MÚRCIA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

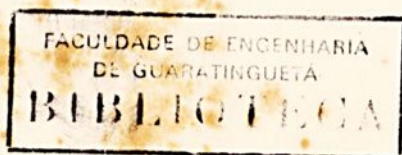
T628.14.001.63(043)
T926m

L. Carrocci
Prof. Dr. LUIZ ROBERTO CARROCCI
Orientador

J. Luz
Prof. Dr. JOSÉ LUZ SILVEIRA

000265

C. L. da Silva
Prof. Dr. CELSO LUIZ DA SILVA



Março de 1995

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade e sucesso.

Ao Prof. Dr. Luiz Roberto Carracci, por ter-me aceito como seu orientado e pela paciência e amizade dedicadas neste período de desenvolvimento deste trabalho.

Ao Eng. Levy Marcos Zaina de Oliveira, pela ajuda na realização da parte computacional.

A minha esposa pela tolerância e apoio dados na fase final deste trabalho.

Aos meus pais: *Vivaldo e Maria José*

À minha esposa *Sylvia*

Aos meus irmãos: *Fernando e Gustavo*

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA

2.1 - Definição

2.2 - A Deus pela oportunidade concedida

2.3 - Critérios de Projeto

2.4 - Previsão de População

2.5 - Ao Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci, por ter-me aceito como seu orientado e pela paciência e amizade dedicada neste período de desenvolvimento deste trabalho.

2.5.1 - Coeficiente do dia de maior consumo (k_1)

2.5.2 - Coeficiente da hora de maior demanda (k_2)

Ao Eng. Levy Marcos Zaina de Oliveira pela ajuda na realização da parte computacional.

2.7 - Valor de Projeto

2.8 - Linhas Adutoras

A minha esposa pela tolerância e apoio dado na fase final deste trabalho.

2.8.2 - Classificação das adutoras

2.8.3 - Adutoras por gravidade

2.8.3.1 - Dimensionamento das adutoras por gravidade

2.8.4 - Adutoras por recalque

2.8.5 - Materiais utilizados em adutoras

2.8.6 - Peças especiais e órgãos acessórios de proteção

2.9 - Reservatórios de Distribuição

2.9.1 - Capacidade e dimensionamento de reservatórios

2.10 - Redes de Distribuição de Água

2.10.1 - Generalidades

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA	
2.1 - Definição.....	4
2.2 - Componentes do Sistema.....	4
2.3 - Critérios de Projeto.....	4
2.4 - Previsão de População.....	5
2.5 - Consumo de Água.....	8
2.6 - Variações de Consumo.....	9
2.6.1 - Coeficiente do dia de maior consumo (k_1).....	9
2.6.2 - Coeficiente da hora de maior demanda (k_2).....	10
2.6.3 - Coeficiente de reforço (k_r).....	10
2.6.4 - Critérios para adoção dos coeficientes.....	10
2.7 - Vazão de Projeto.....	10
2.8 - Linhas Adutoras.....	11
2.8.1 - Definição.....	11
2.8.2 - Classificação das adutoras.....	12
2.8.3 - Adutoras por gravidade.....	12
2.8.3.1 - Dimensionamento das adutoras por gravidade.....	13
2.8.4 - Adutoras por recalque.....	19
2.8.5 - Materiais utilizados em adutoras.....	20
2.8.6 - Peças especiais e órgãos acessórios de proteção.....	21
2.9 - Reservatórios de Distribuição.....	23
2.9.1 - Capacidade e dimensionamento de reservatórios.....	24
2.10 - Redes de Distribuição de Água.....	24
2.10.1 - Generalidades.....	24



2.10.2 - Tipos de rede.....	25
2.10.3 - Dados para projeto de redes de distribuição.....	26
2.10.4 - Valores usuais relativos as redes de distribuição.....	26
2.10.5 - Vazão de distribuição.....	27
2.10.6 - Dimensionamento das redes malhadas.....	27
2.11 - Bombas.....	27
2.11.1 - Definição.....	27
2.11.2 - Classificação geral das bombas.....	28
2.11.3 - Bombas centrífugas.....	28
2.11.4 - Grandezas características.....	29
2.11.5 - Curvas características de bombas.....	31
2.11.6 - Associação da curva característica da bomba com a da tubulação.....	31
2.11.7 - Associação de bombas em paralelo.....	32
2.11.8 - Associação de bombas em série.....	33

DISTRIBUIÇÃO PELO MÉTODO DE HARDY-CROSS

CAPÍTULO 3 - PROGRAMA 1 - ANÁLISE E PROJETO DE ADUTORAS DE RECALQUE DE ÁGUA

3.1 - Introdução.....	35
3.2 - Sequência de Cálculo.....	35
3.2.1 - Cálculo da vazão de projeto Q e do diâmetro econômico aproximado, através da Fórmula de Bresse.....	35
3.2.2 - Determinação dos diâmetros comerciais.....	36
3.3.3 - Determinação dos dados físicos da adutora, dados do conjunto motor - bomba e dados referentes a amortização do investimento.....	36
3.3.4 - Cálculo do valor de C de Hazen-Williams.....	37
3.3.5 - Cálculo da velocidade de escoamento.....	37
3.3.6 - Cálculo da perda de carga unitária e ao longo da tubulação.....	37
3.3.7 - Cálculo das perdas localizadas.....	38
3.3.8 - Cálculo da perda de carga total.....	38



3.3.9 - Cálculo da altura manométrica total.....	38
3.3.10 - Cálculo da potência consumida.....	39
3.3.11 - Cálculo do dispêndio anual de energia.....	39
3.3.12 - Custo dos tubos e órgãos acessórios.....	39
3.3.13 - Cálculo do custo de 02 conjuntos motor + bomba.....	41
3.3.14 - Cálculo do custo total.....	41
3.3.15 - Cálculo da amortização anual do custo total.....	41
3.3.16 - Cálculo do dispêndio anual global.....	42
3.3.17 - Cálculo da curva da tubulação.....	42
3.4 - Exemplo de Aplicação e Resultados Obtidos.....	42
3.4.1 - Exemplo 1.....	42
3.4.2 - Exemplo 2.....	46

2.10 - Associação de bombas em paralelo..... 33

CAPÍTULO 4 - PROGRAMA 2 - CÁLCULO DAS VAZÕES DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO PELO MÉTODO DE HARDY-CROSS..... 33

4.1 - Introdução.....	52
4.2 - Fundamentos Hidráulicos do método.....	52
4.3 - O Método.....	53
4.4 - Exemplo de Aplicação e Resultados Obtidos.....	55

2.3 - Curva característica de tubulação do exemplo 2. $D = 250$, $L = 2340$, $C = 129$ 30

2.4 - Curva característica de tubulação do exemplo 3. $D = 250$, $L = 2340$, $C = 103$ 31

CAPÍTULO 5 - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES..... 51

5.1 - Método de Análise e Projeto de Adutoras de Recalque de Água.....	59
5.2 - Método de Análise e Projeto de Redes de Distribuição de Água.....	60
5.3 - Sugestões para trabalhos futuros.....	61

4.2 - Esquema de uma rede de distribuição..... 2

APÊNDICE A - LISTAGEM DO PROGRAMA 1.....	62
--	----

APÊNDICE B - LISTAGEM DO PROGRAMA 2.....	75
--	----

BIBLIOGRAFIA.....	89
-------------------	----

SIMBOLOGIA.....	92
-----------------	----



LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

2.1 - Curva de crescimento populacional.....	8
2.2 - Adutora por gravidade em conduto forçado.....	13
2.3 - Adutora por gravidade em conduto livre.....	13
2.4 - Adutora por gravidade em conduto livre (aqueduto) e forçado (sifões invertidos).....	13
2.5 - Rede em "espinha de peixe".....	25
2.6 - Rede em "grelha".....	26
2.7 - Rede malhada.....	26
2.8 - Curva característica de uma bomba.....	31
2.9 - Combinação de curva QxH da tubulação com curvas QxH de bombas.....	32
2.10 - Associação de bombas em paralelo.....	33
2.11 - Associação de bombas idênticas em série.....	33
2.12 - Associação de bombas diferentes em série.....	33
2.13 - Associação de bombas em série em relação a curva da tubulação.....	34

CAPÍTULO 3

3.1 - Curva característica da tubulação do exemplo 1, caso 2, $D = 400$, $L = 2340$, $C = 129$...	49
3.2 - Curva característica da tubulação do exemplo 2, $D = 250$, $L = 2340$, $C = 129$	50
3.1 - Curva característica da tubulação do exemplo 2, $D = 250$, $L = 2340$, $C = 102$	51

CAPÍTULO 4

4.1 - Nó de uma rede de distribuição.....	52
4.2 - Esquema de uma rede de distribuição.....	52
4.3 - Esquema da rede de distribuição do programa 2.....	55



LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

2.1 - Taxa de consumo de água adotado por entidades governamentais.....	9
2.2 - Densidade demográfica por hectare e por metro de via pública, em relação ao tipo de ocupação.....	11
2.3 - Valores de n de Manning.....	14
2.4 - Valores de n' de Bazin.....	15
2.5 - Limites máximos de velocidade em condutos livres.....	15
2.6 - Valores de C para a fórmula de Hazen-Williams.....	17
2.7 - Valores de C para tubos de ferro fundido usados.....	18
2.8 - Valores usuais relativos às redes de distribuição.....	26
2.9 - Rendimento de motores elétricos (valores médios).....	30
2.10 - Rendimento de bombas centrífugas (valores médios).....	30

CAPÍTULO 3

3.1 - Valores de K para as peças empregadas.....	38
3.2 - Custo dos tubos e órgãos acessórios assentados.....	40
3.3 - Dados do exemplo 1.....	43
3.4 - Resultados obtidos no caso 1.....	44
3.5 - Resultados obtidos no caso 2.....	45
3.6 - Resultados obtidos no exemplo 2.....	46
3.7 - Resultados obtidos para uma vazão de $350 \text{ m}^3/\text{h}$	47

CAPÍTULO 4

4.1 - Valores dos pontos de carregamento em litros/seg.....	56
4.2 - Valores de vazão dos trechos constitutivos dos anéis em litros/seg.....	56
4.3 - Dados construtivos da tubulação.....	57
4.4 - Resultados obtidos após 13 iterações.....	57
4.5 - Resultados obtidos após 10 iterações.....	58



RESUMO

Este trabalho tem por objetivo, desenvolver um método computacional para análise e projeto de adutoras de recalque e de redes de distribuição de água, sintetizando parte dos conhecimentos existentes a respeito do assunto, e dando uma visão geral de sistemas de abastecimento público de água.

O programa de análise e projeto de adutoras de recalque de água desenvolvido, determina o diâmetro econômico de uma linha de recalque, levando em consideração a população a ser abastecida, o custo das instalações e o custo energético. O programa também imprime o gráfico da curva característica da tubulação escolhida.

O segundo programa, é desenvolvido para análise e projeto de redes de distribuição de água, utilizando o Método de Hardy-Cross.

Os resultados obtidos demonstram que os programas elaborados se apresentam como uma alternativa vantajosa, de aplicação imediata, para o dimensionamento e estudo desses sistemas, visando um melhor aproveitamento dos recursos energéticos, hidráulicos e financeiros.



ABSTRACT

The objective of this work is to develop a computational method to study and design pump water pipelines and distributions systems networks. A synthesis was made of all the available information about this subject, given a global vision of public water supply systems.

The program developed for study and design pump water pipelines, calculate the optimum pipe size, upon the size of population, the costs of the instalations, and the pumping costs. The program, also shows grafically the performance of the choosen pipe diameter, making easier the work to find the best pump.

The second program, developed for hidraulic analysis and design of water distribution networks, using the Hard-Cross method, that can simulate many diferents configurations.

The results given, shows that both programs are a powerful tool to study these systems, looking for a better use of energetical, hidraulical and financial supports.



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O aumento do custo da energia ocorrido durante as duas últimas décadas, motivou todos os consumidores a reexaminarem as eficiências de suas operações. Para um sistema de abastecimento de água, este reexame praticamente consiste em verificar os rendimentos dos conjuntos de bombeamento. A redução da demanda normalmente requer modificações dos procedimentos de operação das estações de bombeamento.

A escolha do diâmetro econômico da tubulação, também é de fundamental importância para uma otimização do uso de energia. O dimensionamento do diâmetro ótimo dos tubos de um sistema de bombeamento, depende do custo da tubulação, do custo da bomba, e do custo da energia consumida. O custo dos tubos cresce com o aumento do seu diâmetro, mas a potência da bomba e por sua vez o seu custo energético diminuem com o aumento do diâmetro do tubo. Diâmetros pequenos custam menos, mas exigem mais das bombas para fornecerem o mesmo volume de água.

O diâmetro mais econômico é aquele que possui o menor custo operacional anual, que é resultante da soma da amortização anual do custo total das instalações (tubos assentados + conjunto motor-bomba) e o custo anual do consumo de energia.

Inúmeros trabalhos computacionais tem sido desenvolvidos atualmente para determinar os parâmetros ideais de um sistema de bombeamento, dentre eles podemos citar os seguintes:

1) Brion e Mays [4], apresentam uma metodologia baseada em solucionar um problema não linear de larga escala, para otimização de estações de bombeamento em sistemas de distribuição de água, visando a redução de custos nas operações;

2) Ormsbee, Walski, Chase e Sharp [16], simulando um reservatório e diversas linhas de recalque, conseguiram uma economia de energia de até 6.7%;

3) Tarquin e Dowdy [21], desenvolveram um estudo investigando as diversas possibilidades de economia, através da seleção de bombas e suas combinações, analisando suas curvas e as das tubulações envolvidas, chegando a uma redução de 9.2% nos custos energéticos de bombeamento;



4) Jowitt e Germanopoulos [9], analisando a demanda energética, a eficiência das bombas, a estrutura da tarifa elétrica, o perfil da demanda, as características hidráulicas e as manobras na linha de recalque para os reservatórios, finalizaram com uma economia de 15.6% com a aplicação do método;

5) Tighe, Privette e Miles [23], desenvolveram um programa computacional que calcula a potência adicional necessária e o seu custo para utilizar diâmetros menores em sistemas de irrigação, para que se possa com rapidez computar os custos de diversas configurações.

Uma análise do sistema de distribuição de água também é necessária para se obter um melhor aproveitamento energético. Estes sistemas são projetados para fornecer água para consumidores domésticos, comerciais, industriais e para combate a incêndios. Possuem uma complexa rede de tubos de diversos diâmetros, estações de bombamento, reservatórios elevados, hidrantes, válvulas, medidores de vazão e demais ocorrências.

De acordo com Lansey e Mays [11], existem hoje vários modelos de otimização de projeto de sistemas de distribuição e bombeamento de água a custo mínimo. No entanto todos estes modelos têm suas limitações na análise completa desses sistemas. As limitações podem ser divididas em três áreas: o tamanho do sistema, o número de condições de contorno, e o tipo de componentes projetado. Lansey e Mays [11] também desenvolveram o seu modelo, utilizando técnicas de programação não linear e simulação de sistemas hidráulicos. Chansler e Rowe [6] recomendam o uso de programas de microcomputadores para a solução de problemas de rede de distribuição, em particular um programa baseado no método de Hardy-Cross, envolvendo o comprimento da tubulação, seu diâmetro e a rugosidade das paredes internas.

O objetivo deste trabalho é apresentar primeiro um método computacional de dimensionamento do diâmetro de uma linha de recalque de água, para uma determinada população, determinando o custo das instalações, o custo energético e o dispêndio anual global, após verificar o diâmetro ótimo, o programa poderá imprimir o gráfico da curva característica da tubulação escolhida. O segundo programa faz uma análise de uma determinada rede de distribuição através do método de Hardy Cross.

Para o cálculo das perdas de carga ao longo da tubulação nos dois métodos, foi utilizada a fórmula de Hazen-Williams:

$$Q = 0,278531 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad (1.1)$$

que pode ser transformada na seguinte:

$$J = \frac{10,641 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad (1.2)$$

usada para tubos com diâmetro interno acima de 50 mm, onde C é o coeficiente que depende da natureza do material empregado na fabricação dos tubos, das condições de suas paredes internas e do seu diâmetro.

Para o cálculo das perdas localizadas foi utilizado o Teorema de Borda-Belanger, que tem como sua expressão final:

$$J = K \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (1.3)$$

sendo K um coeficiente obtido experimentalmente para cada caso.

Os custos de tubos obtidos são para aqueles de ferro fundido dúctil, pois são os mais utilizados nos sistemas de bombeamento de água.

Com a aplicação do primeiro método pode se determinar os custos das instalações, da energia consumida, a viabilidade do projeto através de diversas alternativas, assim como uma melhor escolha da bomba, ou das bombas a serem utilizadas, através da curva característica da tubulação. Podemos também analisar tubulações já existentes, traçando sua curva característica e verificando através desta o seu ponto ótimo de trabalho.

No segundo programa, a análise da rede de distribuição através do método de Hardy-Cross, está intimamente ligada a uma nova concepção dos sistemas distribuidores, a distribuição por anel, que se caracteriza por uma flexibilidade muito maior, pois a circulação da água pode efetuar-se em ambos os sentidos dos condutos, bem como uma distribuição mais equilibrada das pressões. Trata-se de um processo de tentativas diretas em que os valores são arbitrados previamente para as vazões, iniciando um cálculo iterativo de vazões corretivas.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA

2.1 - Definição

Sistema de abastecimento público de água é o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. Essa água fornecida pelo sistema deverá ser, sempre que possível, em quantidade suficiente e da melhor qualidade do ponto de vista físico, químico e bacteriológico.

2.2 - Componentes do Sistema

Um sistema de abastecimento público de água compreende diversas unidades, que são:

Captação de água: superficial ou subterrânea;

Adução e Subadução: de água bruta ou de água tratada;

Tratamento: aeração, floculação, decantação, filtração e cloração;

Reservação: reservatórios enterrados, semi-enterrados, apoiados ou elevados;

Distribuição: condutos principais, secundários, peças especiais e órgãos acessórios;

Estações elevatórias ou de recalque: adutoras de recalque, motores e bombas.

2.3 - Critérios de Projeto

Para Azevedo Netto [2], na implantação de um sistema de abastecimento público de água, faz-se necessária a elaboração de critérios que compreendem princípios, padrões e normas de concepção, desenvolvimento e avaliação de projetos com vistas a definição precisa das obras a serem empreendidas.

De acordo com a concepção feita, a orientação adotada e as bases de cálculo, conduzirão a um projeto de custo maior ou menor para a obra. Há casos em que esse custo excede as possibilidades econômicas da população a ser beneficiada, nestes casos deve se investigar todas as possibilidades de redução de custo, soluções mais econômicas, etc.



Portanto, para a elaboração de um projeto desta importância, deverão ser reunidos uma série de dados e elementos básicos que possibilitem um perfeito diagnóstico da localidade a ser abastecida. Dentre os quais podemos assinalar:

- a) período de alcance das obras a serem projetadas (entre 20 e 25 anos);
- b) etapas de construção das obras;
- c) quotas de consumo diário per-capita;
- d) volumes de água para fins industriais, quando muito significativos em relação aos volumes totais;
- e) coeficientes de variação de consumo, ou seja, dos dias de maior consumo (k_1), e da hora de maior demanda (k_2);
- f) número de horas de funcionamento de cada unidade do sistema;
- g) dados referentes a economia, densidade demográfica e crescimento populacional do local e da região;
- h) levantamento topográfico, do sistema de abastecimento de água eventualmente existente e sua capacidade, e das condições sanitárias da comunidade.
- i) determinação das características dos mananciais da região, disponíveis para fins de abastecimento público de água, ou seja, é absolutamente indispensável que se tenha a segurança necessária quanto ao manancial escolhido (qualidade e quantidade de água, nas condições atuais e nas futuras).

2.4 - Previsão de População

Em todo projeto de sistemas de abastecimento de água, os estudos iniciais sobre o crescimento da população a ser beneficiada são imperativos. Constituem eles a base para a fixação da capacidade das instalações ou órgãos a serem executados, tendo-se em vista sua vida útil, o seu financiamento e pagamento pela população presente e futura.

Os modelos de estimativa de populações futuras, utilizados na prática, são todos de caráter aproximado, pois constituem sempre métodos de extrapolação. O fundamento comum a todos os processos é a investigação das condições que ocorreram no passado e a hipótese de que os fatores de crescimento já verificados continuem a agir da mesma maneira no futuro.



Diversos critérios têm sido empregados para descrever crescimentos observados e para prever populações futuras. Para Yassuda e Nogami [15], destacam-se entre esses processos os chamados extrapolação gráfica, comparação, aritmético, geométrico e logístico.

O processo de *extrapolação gráfica* ou prolongamento manual consiste no ajustamento aos dados já observados de uma curva arbitrária, por uma técnica puramente gráfica, sem se procurar estabelecer a equação do fenômeno. As previsões de população futura são feitas pelo simples prolongamento ou extrapolação gráfica dessa curva.

O processo de *comparação* consiste em se aproveitar como indicação útil o crescimento já experimentado por outras cidades da região, de população maior e com características semelhantes. O método requer uma escolha criteriosa dessas cidades cujos desenvolvimentos anteriores servirão como elementos auxiliares para a extrapolação que se tem em vista.

No processo *aritmético* admite-se que a população varie linearmente com o tempo.

Procedimento de cálculo:

Obtêm-se os valores das populações P_1 e P_2 correspondentes a dois censos (anos T_1 e T_2);

Calcula-se o incremento populacional desse período:

$$r = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \quad (2.1)$$

Calcula-se então a população futura P_3 , correspondente à data futura T_3 :

$$P_3 = P_1 + P_1 \cdot r \cdot (T_3 - T_1) \quad (2.2)$$

No processo *geométrico* considera-se que os logaritmos da população venham a variar linearmente com o tempo, com o seguinte procedimento de cálculo:

Calcula-se a razão ou taxa de crescimento geométrico no período conhecido:

$$r_c = (P_2 / P_1)^{1 / (T_2 - T_1)} \quad (2.3)$$

Calcula-se a população futura P_3 :

$$P_3 = P_1 \cdot (r_c)^{T_3 - T_1} \quad (2.4)$$

Por meio de gráficos, com a representação do crescimento verificado até o presente pode-se de maneira muito simples, constatar a lei do crescimento já verificado. Assim, representando-se as datas dos recenseamentos nas abscissas e tomando-se os valores correspondentes da população em ordenadas ou, então, traçando-se os logaritmos dos valores da população em ordenadas pode-se visualizar as condições de linearidade.

Os critérios aritméticos e geométricos padecem da falha essencial de não admitirem um limite para o crescimento, exprimindo crescimento ilimitado. As condições de saturação dos meios urbanos é, contudo, uma realidade que o método seguinte procura levar em conta.

O processo *logístico* foi estabelecido a partir de considerações dos chamados coeficientes vitais (índices de natalidade e mortalidade), admitindo-se que o crescimento de uma população, inicialmente acelerado, passa por um período intermediário de equilíbrio e depois atinge uma fase de retardamento condicionada pela saturação. O emprego desse processo requer o conhecimento de um período suficientemente longo, abrangendo dados populacionais que permitam aplicar a formulação corretamente. Procedimento de cálculo:

Obtêm-se os valores das populações, P_0 , P_1 e P_2 , correspondentes a três datas anteriores, T_0 , T_1 e T_2 , estas normalmente em intervalos de 20 anos.

Adota-se, como curva de crescimento populacional, uma curva definida por esses três pontos e que obedeça a equação seguinte:

$$P = \frac{P_s}{1 + (2,718)^{a-b.T}} \quad (2.5)$$

onde a é um valor tal que para $T = a/b$ há uma inflexão na curva (fig. 2.1).

Faz-se a determinação dos três parâmetros, a , b e P_s através da resolução de um sistema de 3 equações nas 3 incógnitas, a , b e P_s , obtidas mediante introdução de cada um dos valores censitários referidos. A resolução deste sistema fica bastante simplificada quando os três pontos censitários forem cronologicamente equidistantes.

A aplicabilidade da curva logística, entretanto, fica na dependência de estar satisfeita a condição:

$$P_0 \cdot P_2 < (P_1)^2 \quad (2.6)$$

Em certas cidades, além da população residente, devem ser considerados os afluxos maciços de pessoas em determinados períodos. Esses estudos de previsão da população futura flutuante, são feitos por métodos análogos, àqueles utilizados para a população fixa.

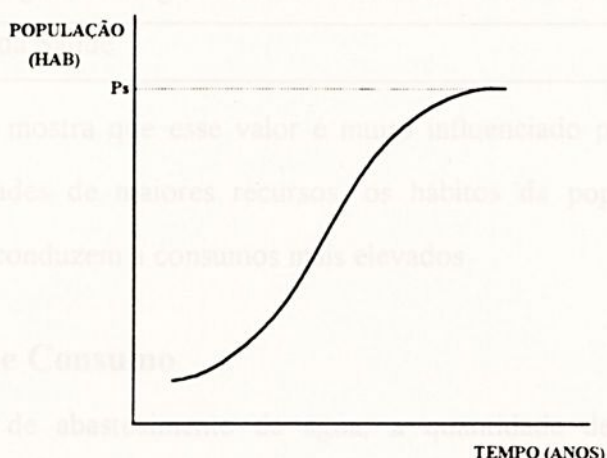


Fig. 2.1 - Curva de crescimento populacional (processo *logístico*)

Finalmente, também devemos salientar a importância da análise de como as futuras populações se distribuirão sobre a área da cidade.

As previsões de densidades demográficas são elaboradas com a aplicação dos métodos citados, em cada uma das áreas parciais em que a cidade se divide, devendo se observar fatores influentes como: condições topográficas, planos urbanísticos, preço de terrenos, facilidades de transporte e comunicações, hábitos e condições sócio-econômicas da população, existência de serviços de água, esgotos, águas pluviais, etc.

2.5 - Consumo de Água

Para estudo e avaliação dos consumos, tem sido norma considerar os vários usos da água, que são: consumo doméstico ou residencial, consumo comercial, consumo industrial, consumo público e perdas. Esse estudo tem como objetivo principal chegar a um valor médio de *consumo per capita*, que é expresso geralmente em litros por habitante por dia (l / hab.dia).

No Estado de São Paulo a quota mínima admitida nas cidades do interior, é de 200 litros diários por habitante. Em outros Estados tem sido muitas vezes adotado o valor de 150 litros diários per capita.

Tabela 2.1 - Normas para projeto adotadas por entidades governamentais

Norma da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo	300 l / hab.dia
Norma do Depto Nacional de Obras de Saneamento	150 l / hab.dia
Normas do Depto de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo DAEE	300 l / hab.dia
Norma do Ministério da Saúde	135 l / hab.dia

A experiência mostra que esse valor é muito influenciado pelo nível econômico das populações. Nas cidades de maiores recursos, os hábitos da população e o padrão das instalações sanitárias conduzem a consumos mais elevados.

2.6 - Variações de Consumo

Num sistema de abastecimento de água, a quantidade de água consumida varia continuamente em função do tempo, das condições climáticas, hábitos da população, sistema de fornecimento e cobrança (serviço medido ou não), custo da tarifa, etc

Há meses em que o consumo é maior, no verão por exemplo, e ainda dentro de um mesmo mês, existem dias em que a demanda de água assume valores maiores sobre os demais. Como se não bastasse, durante o dia, a vazão fornecida varia continuamente, superando o valor médio por volta do meio-dia. No período noturno, este valor cai abaixo da média. Portanto, podemos considerar as seguintes variações do consumo:

- a) variações mensais;
- b) variações diárias;
- c) variações horárias;
- d) variações instantâneas.

Assim sendo, verifica-se a necessidade de se estabelecer coeficientes que traduzam esta variação da vazão de consumo para o dimensionamento das diversas unidades de um sistema de abastecimento de água.

2.6.1 - Coeficiente do dia de maior consumo (k_1).

O coeficiente do dia de maior consumo (k_1) é a relação entre o valor do consumo máximo diário ocorrido em um ano e o consumo médio diário relativo a esse ano. No interior



do Estado de São Paulo têm sido adotado o valor de 1,25, e na Capital o DAEE adota o valor de 1,50 [15].

2.6.2 - Coeficiente da hora de maior demanda (k_2).

O coeficiente da hora de maior demanda (k_2) é obtido através de observações sistemáticas, de medidores instalados a jusante dos reservatórios de distribuição. O valor usualmente utilizado é 1,50 (DAEE).

2.6.3 - Coeficiente de reforço (Kr)

O coeficiente de reforço (Kr) é o produto da multiplicação dos dois coeficientes anteriormente definidos, ou seja:

$$Kr = k_1 \cdot k_2 \quad (2.7)$$

Os valores mais comuns estão compreendidos entre 1,8 e 2,6 (DAEE).

2.6.4 - Critérios para adoção dos coeficientes

Sempre que forem previstos reservatórios de distribuição com capacidade adequada, esses reservatórios serão capazes de suprir os volumes excedentes nas horas de grande consumo, de modo que as instalações situadas a montante não precisam ser dimensionadas com o coeficiente k_2 . Nessas condições apenas o sistema distribuidor seria calculado com a utilização dos dois coeficientes (k_1 e k_2).

Em casos especiais de flutuações repentinas e significativas de vazão, aplica-se mais um coeficiente, o de variação instantânea k_3 , tais casos geralmente ocorrem onde são inexistentes os reservatórios prediais.

2.7 - Vazão de Projeto

Diante do que já foi exposto, podemos então determinar a vazão de projeto do sistema de abastecimento de água através da seguinte fórmula:

$$QP = \frac{P \cdot Cp \cdot k_1 \cdot k_2}{3600 \cdot H} \quad (2.8)$$



Para o dimensionamento da rede incluindo-se as canalizações secundárias, é costume se basear no número de habitantes por metro linear de canalização.

As cidades brasileiras seguem um traçado em xadrez, obedecendo a relações de pequena variação entre a extensão das vias públicas e a área urbana, em torno de 150 a 200 metros de vias públicas por hectare (DAEE). Conhecendo-se o valor da densidade demográfica da região, ou seja, o número de habitantes por hectare e a área em hectare a ser abastecida, determinamos o número de habitantes por metro linear de via pública, e por sua consequência o valor da vazão por metro linear de via pública.

Tabela 2.2 - Densidade demográfica em habitantes por hectare e em habitantes por metro de via pública, em relação ao tipo de ocupação.

TIPO DE OCUPAÇÃO	Dens. Demogr. Habs/Hectare	Habs / metro de via pública
Áreas periféricas, casas isoladas, lotes grandes	25 - 75	0,15 a 0,50
Casas isoladas, lotes médios e pequenos	50 - 100	0,30 a 0,70
Casas germinadas, predominando 1 pavimento	75 - 150	0,45 a 1,00
Casas germinadas, predominando 2 pavimentos	100 - 200	0,60 a 1,40
Prédios de apartamentos pequenos	150 - 300	0,90 a 2,00
Prédios de apartamentos altos	300 - 900	1,80 a 6,00
Áreas Comerciais	50 - 150	0,30 a 1,00
Áreas Industriais	25 - 75	0,15 a 0,50
DENSIDADE GLOBAL MEDIA	50 - 150	0,30 a 1,00

Fonte: AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de Hidráulica*. [1]

2.8 - Linhas Adutoras

2.8.1 - Definição

Adutoras são os condutos destinados a ligar as fontes de abastecimento de água bruta às estações de tratamento de água, situadas além das imediações dessas fontes, ou os condutos ligando estações de tratamento, situadas nas proximidades dessas fontes, a reservatórios que



alimentam as redes de distribuição. Há entretanto casos em que da adutora principal partem ramificações (subadutoras) para levar água a outros pontos fixos do sistema.

As adutoras são canalizações de importância vital para o abastecimento de cidades, na maioria dos casos são constituídas de uma só linha, conseqüentemente, qualquer interrupção que venham a sofrer, afetará o abastecimento à população, com grandes conseqüências.

2.8.2 - Classificação das adutoras

As adutoras podem ser classificadas da seguinte forma:

a) *Quanto a natureza da água transportada:*

- a.1) adutoras de água bruta;
- a.2) adutoras de água tratada.

b) *Quanto à energia para a movimentação da água:*

- b.1) adutoras por gravidade;
- b.2) adutoras por recalque;
- b.3) adutoras mistas, parte por recalque e parte por gravidade.

2.8.3 - Adutoras por gravidade

Nestes tipos a única energia de que se dispõe para a movimentação da água é a energia potencial, determinada pelas diferenças de cotas dos extremos do conduto e expressa em termos de declividade piezométrica.

A adução por gravidade pode ser feita em conduto forçado, em conduto livre ou aqueduto, ou ainda numa combinação de condutos forçados e livres. Cada uma dessas condições é estabelecida pela posição da linha piezométrica em relação ao eixo dos condutos ou à superfície da lâmina d'água nos escoamentos considerados. Para analisar as diferentes situações que estabelecem essas condições, observamos a figura abaixo, verificando as posições que as linhas ocupam em relação ao conduto.



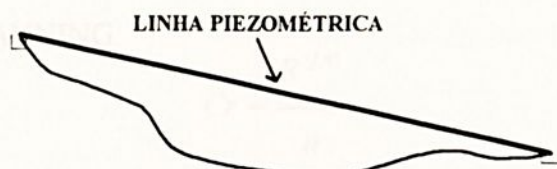


FIGURA 2.2

ADUTORA POR GRAVIDADE EM CONDUTO FORÇADO

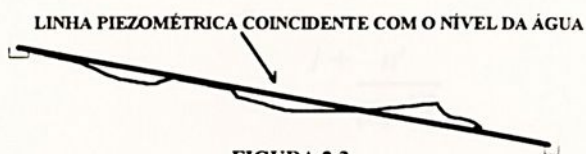


FIGURA 2.3

ADUTORA POR GRAVIDADE EM CONDUTO LIVRE

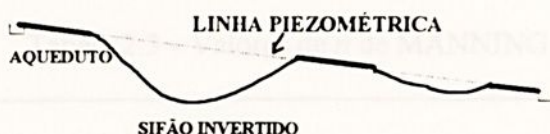


FIGURA 2.4

ADUTORA POR GRAVIDADE COM TRECHOS EM CONDUTO LIVRE (AQUEDUTO) E TRECHOS EM CONDUTO FORÇADO (SIFÕES INVERTIDOS).

2.8.3.1 - Dimensionamento das adutoras por gravidade

Para o dimensionamento das adutoras por gravidade são necessários os seguintes elementos:

- vazão de adução (Q);
- comprimento da tubulação (L);
- material do conduto, que determina a sua rugosidade;
- carga disponível, ou seja, diferença entre cotas existentes no trecho considerado.

A vazão de adução Q , é estabelecida em função da população a ser abastecida, da quota per-capita, dos coeficientes de variação de consumo e do número de horas de funcionamento do sistema, conforme demonstrado no item 2.7, equação 2.8, deste capítulo.

Para o cálculo de condutos livres, é geralmente empregada a fórmula de CHEZY.

$$V = Cr \cdot (R \cdot I)^{1/2} \quad (2.9)$$

O fator de resistência de CHEZY (Cr) é obtido experimentalmente em função do raio hidráulico R e da natureza das paredes do canal, definida por um coeficiente n :

$$Cr = Cr(R, n) \quad (2.10)$$

De acordo com MANNING:

$$Cr = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (2.11)$$

Baseando-se nos resultados de cerca de setecentas experiências, BAZIN propôs:

$$Cr = \frac{87}{1 + \frac{n'}{(R)^{1/2}}} \quad (2.12)$$

Os valores de n , para serem empregados com a fórmula de MANNING, constam na tabela 2.3 e os de n' de BAZIN na tabela 2.4.

Tabela 2.3 - Valores de n de MANNING

<i>Material das paredes</i>	<i>Valores de n</i>
Alvenaria de pedras brutas	0,020
Alvenaria de pedras retangulares	0,017
Alvenaria de tijolos sem revestimento	0,015
Alvenaria de tijolos, revestida	0,012
Canais de concreto, acabamento ordinário	0,014
Canais com revestimento muito liso	0,010
Canais de terra, em boas condições	0,025
Canais de terra, com plantas aquáticas	0,035
Canais irregulares e mal conservados	0,040
Conduitos de madeira aparelhada	0,011
Manilhas cerâmicas	0,013
Tubos de aço soldado	0,011
Tubos de concreto	0,013
Tubos de ferro fundido	0,012
Tubos de cimento amianto	0,011
Canais de concreto, com acabamento liso	0,012

Fonte: AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de Hidráulica*. [1].



Tabela 2.4 - Valores do coeficiente n' de BAZIN

<i>Categoria</i>	<i>Natureza das paredes</i>	<i>Valores de n'</i>
1ª	Paredes muito lisas (cimento liso ou madeira aparelhada)	0,06
2ª	Condutos comuns - coletores de esgotos	0,16
3ª	Alvenaria de pedra ordinária comum	0,46
4ª	Paredes mistas - partes revestidas e partes sem revestimento	0,85
5ª	Canais em terras	1,30
6ª	Canais com grande resistência ao escoamento	1,75

Fonte: AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de Hidráulica*. [1].

Em condutos livres são comumente adotados os valores limites da velocidade. Tais valores estão tabelados abaixo na tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Limites máximos de velocidade em condutos livres

<i>Natureza da parede</i>	<i>Velocidade limite</i> [m/s]
Terrenos arenosos	0,3
Saibro	0,4
Seixos	0,8
Materiais aglomerados consistentes	2,0
Alvenaria de tijolos	2,5
Rochas compactas	4,0
Concreto	4,5 a 5,0
Tubos cerâmicos	4,5 a 6,0

Fonte: OLIVEIRA, W. E. et alii. *Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água*. [15]



Em alguns casos é necessário que a velocidade satisfaça a certos *valores mínimos* quando se pretende evitar a deposição de materiais carregados pela água no conduto, sendo aceitos, geralmente, os valores seguintes:

- águas com suspensões finas: 0,30 m/s
- águas com areias finas : 0,45 m/s
- águas com matéria orgânica: 0,60 m/s

Existe também uma outra fórmula para se calcular o valor do coeficiente C_r de CHEZY desenvolvida por GANGUILLET e KUTTER, que é a seguinte:

$$C_r = \frac{1}{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{I}} \quad (2.13)$$

$$I + \left(23 + \frac{0,00155}{I} \right) \cdot \frac{n}{R^{1/2}}$$

O valor de n é o mesmo empregado na fórmula de Manning tabelado na tabela 2.3.

Para condutos forçados, no cálculo das adutoras por gravidade, utiliza-se mais correntemente a fórmula de HAZEN WILLIAMS, relacionada abaixo:

$$Q = 0,278531 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad (2.14)$$

que pode ser transformada na seguinte:

$$J = \frac{10,641 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad (2.15)$$

usada para tubos com diâmetro interno acima de 0,050 m, onde C é o coeficiente que depende da natureza do material empregado na fabricação dos tubos e das condições de suas paredes internas (tabela 2.6 e 2.7).

Através desta equação foram desenvolvidos ábacos e tabelas para uma maior facilidade de sua aplicação.



Tabela 2.6 - Valores de C para a fórmula de Hazen-Williams

<i>Tipo de tubo</i>	C
Aço corrugado (chapa ondulada)	60
Aço com juntas lock-bar, novos	130
Aço galvanizados (novos e em uso)	125
Aço rebitado, novos	110
Aço rebitado, em uso	85
Aço soldado, novos	120
Aço soldado, em uso	90
Aço soldado com revestimento especial, novos e em uso	130
Chumbo	130
Cimento-amianto	140
Cobre	130
Concreto, bom acabamento	130
Concreto, acabamento comum	120
Ferro fundido, novos	130
Ferro fundido, em uso (veja tabela 2.7)	90
Ferro fundido, tubos revestidos de cimento	130
Manilhas	110
Latão	130
Madeira, em aduelas	120
Tijolos, condutos bem executados	100
Vidro	140
Plástico	140

Fonte: AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de Hidráulica*. [1].



Tabela 2.7 - Valores do coeficiente C para tubos de ferro fundido usados

D	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	750	900
Anos												
0	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
10	106	108	109	110	110	110	111	112	112	112	113	113
15	96	100	102	103	103	103	104	104	105	105	106	106
20	88	93	94	96	97	97	98	98	99	99	100	100
25	81	86	89	91	91	91	92	92	93	93	94	94
30	75	80	83	85	86	86	87	87	88	89	90	90
35	70	75	78	80	82	82	83	84	85	85	86	86
40	64	71	74	76	78	78	79	80	81	81	82	83
45	60	67	71	73	75	76	76	77	77	78	78	79
50	56	63	67	70	71	72	73	73	74	75	76	76

Fonte: AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de Hidráulica*. [1].

Do ponto de vista hidráulico, o cálculo das tubulações forçadas consiste em determinar os quatro elementos: a vazão Q ; o diâmetro D ; a velocidade média de escoamento U ; e a perda de carga unitária J . Utilizamos, então, a equação da continuidade

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot U \quad (2.16)$$

e a fórmula de Hazen-Willians

$$J = \frac{10,641 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad (2.17)$$

Assim, dois dos citados elementos devem ser dados (ou arbitrados) para que sejam calculados os dois outros, deste modo, podemos então formular seis problemas práticos.



Em cinco problemas, a solução é facilmente obtida, principalmente com o auxílio de ábacos e tabelas. O problema em que são dados Q e J , é o característico dos sistemas de abastecimento de água porque a perda de carga unitária J é dado topográfico e a vazão Q é obtida pela previsão de população.

Com relação a determinação da velocidade de escoamento, devemos observar que do ponto de vista econômico, será interessante adotarmos velocidades média elevadas para então, empregarmos tubos de diâmetros menores. No entanto, velocidades elevadas causam ruídos, vibrações e até golpe de aríete quando houverem manobras de registros ou válvulas.

As velocidades baixas também causam problemas como a deposição de materiais e o encarecimento da tubulação. Nas redes de distribuição de água, adotam-se, geralmente, para o cálculo da velocidade máxima a seguinte expressão:

$$U_{m\acute{a}x} = 0,6 + 1,5 D \quad (2.18)$$

sendo D o diâmetro do tubo em metros, portanto $U_{m\acute{a}x}$ será expressa em metros por segundo.

Para águas que carregam materiais em suspensão, não convém adotar velocidades médias abaixo de 0,60 m/s [19].

2.8.4 - Adutoras por recalque

O conjunto constituído pelas canalizações e pelos meios mecânicos de elevação denomina-se sistema de recalque. Suas partes principais são:

- tubulação de sucção;
- conjunto moto-bomba;
- tubulação de recalque.

Hidraulicamente a sucção e o recalque funcionam em escoamento permanente uniforme e, por isto, os problemas a eles concernentes são resolvidos, basicamente, pela aplicação das equações de Bernoulli e da continuidade.

O dimensionamento das adutoras por recalque é um problema hidraulicamente indeterminado. Neste problema, são conhecidos a vazão Q , o comprimento da adutora L , o desnível a ser vencido Hg e o material de fabricação do conduto, que determina a rugosidade das paredes internas. Procura-se então, determinar o diâmetro necessário D da linha e a



potência P da bomba que vai gerar a pressão necessária para vencer o desnível indicado mais as perdas, na vazão desejada. Existem uma infinidade de pares de valores de D e P que permitem solucionar a questão, para a mesma vazão de bombeamento, partimos então para uma condição econômica de mínimo custo.

O recalque realizado com velocidades de escoamento muito baixas, seriam feitos com diâmetros relativamente grandes, implicando num custo elevado da tubulação e em menores dispêndios com energia elétrica pelo fato de se necessitar alturas manométricas menores. Inversamente, velocidades altas requerem diâmetros menores, de custo mais baixo, implicando entretanto em elevadas perdas de carga, aumentando a altura manométrica, e conseqüentemente exigindo um maior dispêndio de energia elétrica.

O problema da escolha do diâmetro nas adutoras por recalque apresenta, portanto, infinitas soluções do ponto de vista hidráulico. A indeterminação só é levantada admitindo-se uma outra condição, externa à hidráulica, que é evidentemente, a condição de mínimo custo das instalações e de dispêndio operacional (consumo de energia).

Este problema será estudado mais profundamente no próximo capítulo, com a utilização de um programa computacional desenvolvido exclusivamente para este fim.

2.8.5 - Materiais utilizados em adutoras

Devido às diferenças existentes entre os materiais e métodos de fabricação de tubos e acessórios, a aplicabilidade de cada tipo deverá ser estudada em cada caso, levando-se em conta as condições de funcionamento hidráulico da adutora, a pressão interna, a durabilidade do material, face às características do solo, às cargas externas e à natureza da água transportada. Deve se satisfazer a todos os requisitos desejados de resistência, durabilidade e economia.

Nas adutoras em conduto forçado funcionando por gravidade, utilizam-se atualmente os tubos de ferro fundido, de aço, de cimento-amianto, de concreto simples ou armado, e de plásticos (PVC). Para diâmetros internos de até 200 mm é mais utilizado os tubos de PVC, para diâmetros maiores, materiais mais resistentes são necessários, como o ferro fundido e o aço.



Nas adutoras de recalque, devido a maior ocorrência de golpes de aríete, tem sido preferidos os tubos de ferro fundido ou de aço, devido a maior resistência que oferecem à pressão interna.

Nas adutoras em conduto livre ou nos trechos em aqueduto de adutoras, que combinam condutos livres e forçados, é muito comum o emprego de canalizações à base de cimento. Nas grandes adutoras é usual a construção de seções especiais moldadas no próprio local.

O tubo de ferro fundido possuía dois pontos fracos, a tuberculização, que são incrustações na parede interna, causada quando a água transportada apresenta baixo PH, e a baixa resistência mecânica. O primeiro problema foi sanado através de revestimento interno de cimento. O segundo problema foi mais difícil de ser solucionado, pois a formação de grafite lamelar, cerca de 12% do volume fundido, dificultava a obtenção de uma resistência mecânica mais elevada, porém, era o grafite que proporcionava boa resistência à corrosão. A cristalização do grafite era a solução do problema.

Esta cristalização foi conseguida, em 1948 nos Estados Unidos, empregando adições de magnésio ao ferro fundido, processo este que se tornou universal. As propriedades adquiridas por este novo material foram tão surpreendentes que recebeu o nome de ferro dúctil, amplamente empregado atualmente [3].

A título de informação, o processo de centrifugação que revolucionou a indústria de tubos de ferro fundido, foi inventado no Brasil, em São Paulo, por Arens e De Lavaud no ano de 1914 [3].

2.8.6 - Peças especiais e órgãos acessórios de proteção

As principais peças e órgãos acessórios encontrados numa adutora são:

a) *válvulas ou registros de parada.*

Destinam-se a interromper o fluxo de água e são obrigatoriamente colocados na saída das bombas, seguindo a válvula de retenção. Na tubulação de entrada só se coloca o registro se a bomba trabalhar normalmente afogada. Outras são colocadas ao longo da linha, distribuídas em pontos convenientes para permitir o isolamento e esgotamento de trechos.



Também permite regular a vazão na operação de enchimento de linha, de modo gradual e assim evitar os golpes de ariete.

b) *válvulas ou registros de descarga.*

São colocadas nos pontos baixos das adutoras, em derivação a linha, para permitir a saída de água sempre que for necessário, por exemplo, para reparos, saída de ar, ou outras razões operacionais .

c) *válvulas redutoras de pressão.*

São dispositivos intercalados na rede para permitir uma diminuição permanente de pressão interna na linha, com função semelhante às caixas de quebra de pressão, com a diferença de que a água não entra em contato com a atmosfera e, portanto não há perda total de pressão.

d) *ventosas.*

São colocadas nos pontos elevados de tubulações e permitem a expulsão do ar durante o enchimento da linha ou do ar que normalmente se acumula nesses pontos. Por outro lado, as ventosas deixam penetrar o ar na tubulação quando esta está sendo descarregada, evitando o aparecimento de pressões internas negativas.

e) *válvulas de retenção.*

São dispositivos que permitem a passagem da água num só sentido e são instaladas nas proximidades da boca de saída das bombas. Devem ser robustas pois estão sujeitas a violentos golpes de ariete.

f) *válvula aliviadora de pressão ou válvula anti-golpe.*

É colocada no trecho inicial de adutoras de recalque, sujeitas a grandes pressões. Permite reduzir a pressão interna da tubulação, quando esta sofre a ação de golpes de arietes oriundos de paralização inesperada da bomba, ou de qualquer outra causa.

g) *válvula de pé.*

São instaladas na extremidade de trechos verticais de tubos de sucção de bombas não afogadas, com objetivo de impedir o retorno da água com a paralização do bombeamento, facilitando o seu reinício. Geralmente são acompanhadas de um crivo destinado a reter corpos estranhos.



h) *medidores hidráulicos.*

Os medidores hidráulicos comumente utilizados, são os manômetros e vacuômetros (permitem conhecer as alturas manométricas de sucção e recalque), e os medidores de vazão (venturis e placas de orifícios).

2.9 - Reservatórios de Distribuição

Os reservatórios de distribuição servem para propósitos múltiplos como:

- compensar as flutuações ou variações de consumo;
- assegurar uma reserva de água para combate a incêndios;
- fornecer água nos casos de interrupção de adução;
- regularizar pressões.

Vários critérios permitem classificar os reservatórios:

a) *De acordo com a posição em relação à rede distribuidora:*

- Reservatórios de montante;
- Reservatórios de juzante.

b) *De acordo com a posição em relação ao terreno:*

- Reservatórios enterrados;
- Reservatórios semi-enterrados;
- Reservatórios elevados.

c) *De acordo com a sua forma:*

- Reservatórios de seção retangular;
- Reservatórios de seção circular;
- Reservatórios de seção elíptica, etc.

d) *De acordo com o material de construção:*

- Reservatórios de concreto armado (comum ou protendido);
- Reservatórios de aço;
- Reservatórios de alvenaria, madeira, em terra com paredes revestidas, etc.



2.9.1 - Capacidade e dimensionamento de reservatórios

A capacidade a ser fixada para um reservatório é determinada em função das finalidades admitidas.

Se for considerada apenas a finalidade de compensar as variações de consumo, utiliza-se para o cálculo deste volume a seguinte expressão:

$$Cap = \frac{k_2 - 1}{\pi} \cdot Qtd \quad (2.19)$$

Para atender a finalidade de assegurar a reserva de água para combate a incêndios, deve-se considerar, a vazão mínima a ser garantida em um hidrante (normalmente entre 10 e 50 l/seg), e a duração prevista para o incêndio (de 3 a 6 horas).

Para fornecer água nos casos de interrupção em órgãos da captação, adução ou tratamento, deve-se considerar a vazão média de consumo normal e o intervalo de tempo previsto para a reparação do defeito e reinício do funcionamento do abastecimento, este tempo depende diretamente do tipo de acidente e da capacidade do serviço de água reparar o defeito.

No Brasil, geralmente têm sido adotado o critério de *Frühling* para o dimensionamento dos reservatórios, este critério determina que o reservatório deve ter capacidade suficiente para armazenar 33% do consumo diário, nos dias de maior consumo.

2.10 - Redes de Distribuição de Água

2.10.1 - Generalidades

A rede de distribuição de água é constituída por um conjunto de condutos enterrados nas vias públicas, junto aos edifícios, com função de conduzir água para os prédios e os pontos de consumo público. Esses condutos caracterizam-se pelas numerosas derivações (distribuição em marcha) e uma disposição "em rede", derivando daí o seu nome.

Na rede de distribuição distingue-se dois tipos de condutos, os *condutos principais* e os *condutos secundários*. Os condutos principais são as canalizações de maior diâmetro, responsáveis pela alimentação dos condutos secundários, estes de menor diâmetro, são os que

estão imediatamente em contato com os prédios a abastecer, e cuja alimentação depende diretamente deles.

O traçado dos condutos principais deve ser de preferência em ruas sem pavimentação, ou com pavimentação menos onerosa, ruas de menor intensidade de trânsito, próximo de grandes consumidores, e próximos das áreas e de edifícios que devem ser protegidos contra incêndio.

2.10.2 - Tipos de rede

Existem basicamente dois tipos de redes de condutos forçados: *redes ramificadas* e *redes malhadas*, classificadas de acordo com a disposição dos condutos principais.

As redes ramificadas podem ser em *espinha de peixe*, nas quais os condutos principais derivam de um conduto central e se dispõem de modo que lembram a espinha destes animais. Este tipo é muito usado em pequenas cidades, nas quais há uma principal para a qual convergem as demais vias públicas (fig.2.5) Outra modalidade de rede ramificada é a denominada *rede em grelha*, na qual os condutos principais são sensivelmente paralelos tendo uma de suas extremidades ligadas a outro conduto principal (fig.2.6).

Nas redes ramificadas, a circulação da água nos condutos tem sentido único. Nas redes malhadas, os condutos principais formam circuitos, ou anéis, lembrando a disposição em malha (fig 2.7). Este tipo de rede, geralmente, apresenta maior eficiência do que a ramificada, pois a circulação da água pode efetuar-se em ambos os sentidos dos condutos, numa eventual interrupção do escoamento em um trecho não ocasionará transtornos ao abastecimento das áreas à jusante, pois a água efetuará um caminho diferente através de outros condutos principais.

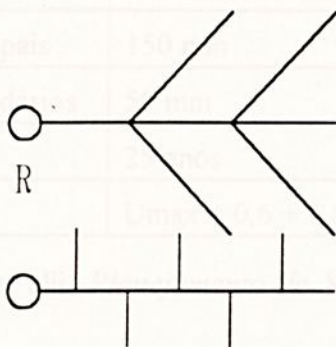


figura 2.5 - Rede em espinha de peixe

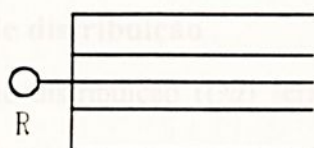


Figura 2.6 - Rede em grelha

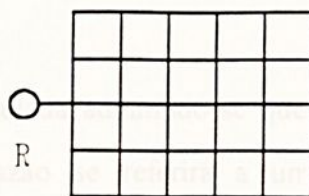


Figura 2.7 - Rede malhada

2.10.3 - Dados para projeto de redes de distribuição

Para o projeto de uma rede de distribuição existe a necessidade de se obter dados dos mais variados sobre a região a ser abastecida, dentre estes dados podemos destacar:

- Cidade*: perfeito conhecimento da cidade, áreas, logradouros, cursos d'água, estradas de ferro e rodagem, distritos residenciais, comerciais e industriais.
- População*: valores globais e sua distribuição através de densidades demográficas regionais e existência ou não de população flutuante.
- Topografia*: levantamento topográfico, para desenho de plantas com curvas de nível e equidistância de 1 metro.
- Rede existente*: dados de operação, construção e seu estado de conservação.

2.10.4 - Valores usuais relativos às redes de distribuição.

Os valores usuais utilizados nesses projetos estão tabelados em seguida:

Tabela 2.8 - Valores usuais relativos às redes de distribuição.

Quota per capita	$C = 200$ litros por habitante por dia
Coefficiente do dia de maior consumo	$k_1 = 1,25$
Coefficiente da hora de maior demanda	$k_2 = 1,50$
Pressão estática máxima	45 metros de coluna de água
Pressão estática mínima	15 metros de coluna de água
Diâmetro mínimo dos condutos principais	150 mm
Diâmetro mínimo dos condutos secundários	50 mm
Alcance do projeto	25 anos
Velocidade máxima dos tubos	$U_{m\acute{a}x} = 0,6 + 1,5 D$

Fonte: AZEVEDO NETTO, J. M. et alii. *Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água*. [2].

2.10.5 - Vazão de distribuição

A vazão de distribuição (Q_d) será calculada admitindo-se que os usuários possuem reservatórios (caixas d'água), portanto, a vazão se referirá a uma particular situação desfavorável, correspondente à hora de maior demanda do dia de maior consumo, que é determinada pela expressão:

$$Q_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot C_p \cdot P}{86400} \quad (2.20)$$

A vazão específica, a partir da qual são determinadas as vazões de dimensionamento, pode referir-se à extensão dos condutos da rede ou à área da cidade. No primeiro caso tem-se a vazão de distribuição em marcha (q_m):

$$q_m = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot C_p \cdot P}{86400 \cdot L} \quad (2.21)$$

A vazão de distribuição referida à área da cidade é utilizada quando se estuda a rede por método de tentativas diretas, principalmente, o método de Hardy-Cross. A vazão específica de distribuição (q_d) é dada por:

$$q_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot C_p \cdot P}{86400 \cdot A} \quad (2.22)$$

2.10.6 - Dimensionamento das redes malhadas

O dimensionamento das redes malhadas geralmente são calculadas pelo método de Hardy-Cross. Trata-se de um processo de tentativas diretas em que os valores são arbitrados previamente para as vazões, ele é particularmente indicado para o dimensionamento dos condutos principais. Este método será descrito no capítulo 4, com a utilização de um programa computacional para a otimização da sua aplicação.

2.11 - Bombas

2.11.1 - Definição

Bombas são as máquinas geratrizes, cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, ela transforma o trabalho mecânico que

recebe para seu funcionamento em energia, esta é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética.

2.11.2 - Classificação geral das bombas

Segundo classificação estabelecida pelo *Hydraulic Institute* [15], as bombas subdividem-se em duas grandes categorias:

1) *Bombas Cinéticas*, nas quais é importante o fornecimento de energia à água sob a forma de energia cinética, estão subdivididas em:

- a) *Centrífugas*, de fluxo radial, misto e axial;
- b) *Periféricas*, de único e de múltiplos estágios;
- c) *Especiais*, de ejetor, de injeção de gás, de ariete hidráulico e eletromagnéticas.

2) *Bombas de Deslocamento Direto*, nas quais uma ação de propulsão comprime a água, incrementando a sua energia de pressão. Estão também subdivididas em:

- a) *Com movimento alternado*, de pistão, de êmbolo e de diafragma;
- b) *Com movimento rotativo*, de rotor único (de palheta, de pistão, de membro flexível, de parafuso) e de rotor múltiplo (de engrenagem, de lóbulo, de pistão, de parafuso).

Os sistemas de abastecimento de água, na sua quase totalidade, empregam bombas centrífugas. Outros tipos ainda encontram aplicação na extração de poços, como as bombas de pistão e as de injeção de ar comprimido (air lift).

2.11.3 - Bombas Centrífugas

As bombas centrífugas destinam-se ao recalque de líquidos, em geral a posições mais elevadas, são de uso comum em captações com grande recalque, em elevatórias situadas junto a estações de tratamento, reservatórios, e de reforço de pressão ("booster"). Sua classificação é feita segundo vários critérios:

1) *Movimento do líquido*, sucção simples (rotor simples) e sucção dupla (rotor de dupla admissão).

2) *Admissão do líquido*, radial (tipos voluta e turbina), diagonal (tipo Francis) e helicoidal.



3) *Número de rotores (ou de estágios)*, um estágio (um só rotor) e estágios múltiplos (dois ou mais rotores).

4) *Tipo de rotor*, rotor fechado, rotor semifechado e rotor aberto.

5) *Posição do eixo*, vertical, horizontal e inclinado.

6) *Pressão*, baixa ($H_{man} \leq 15$ m), média (H_{man} de 15 a 50 m), e alta ($H_{man} \geq 50$ m).

2.11.4 - Grandezas características

A definição de uma bomba centrífuga é feita essencialmente através da *vazão* de bombeamento e da *altura manométrica total* capaz de ser produzida pela bomba, a essa vazão. Outras grandezas consideradas, são a *altura manométrica de sucção*, a *rotação*, a *potência absorvida* e a *eficiência*. Portanto, denominam-se:

H_g = altura geométrica, isto é, a diferença de nível;

H_s = altura de sucção, isto é, altura do eixo da bomba sobre o nível inferior da água na sucção;

H_r = altura de recalque, ou seja, altura do nível superior (reservatório), em relação ao eixo da bomba;

Portanto, $H_g = H_s + H_r$.

H_{man} = altura manométrica, que corresponde a soma da altura geométrica H_g mais as perdas de carga totais.

A rotação é caracterizada pela velocidade que a máquina de acionamento imprime à bomba. De acordo com essa velocidade, as bombas podem ser classificadas em bombas de alta rotação (3000 a 3600 rpm), média rotação (1500 a 1800) e baixa rotação (abaixo de 1200 rpm).

A eficiência é a relação existente entre os valores equivalentes à potência hidráulica da bomba devido a elevação da água e a potência exigida pela mesma numa determinada condição de funcionamento. Quanto mais apropriada for a bomba para um caso, o rendimento deverá ser maior. Inversamente, bombas dimensionadas para outras condições poderão cumprir a finalidade desejada, mas funcionarão com baixa eficiência, significando que exigirá maior

energia comparada com outra bomba de melhor rendimento. Este rendimento, por motivos construtivos, é mais elevado para as grandes máquinas.

Tabela 2.09 - Rendimento de motores elétricos (valores médios)

HP	0,5	0,75	1	1,5	2	3	5	10	20	30	50	100
η_m	64%	67%	72%	73%	75%	77%	81%	84%	86%	87%	88%	90%

Fonte: AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de Hidráulica*. [1].

Tabela 2.10 - Rendimento de bombas centrífugas (valores médios)

Q l/s	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	100	200
η_b	52%	61%	66%	68%	71%	75%	80%	84%	85%	87%	88%

Fonte: AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de Hidráulica*. [1].

A potência necessária para a bomba vencer a altura manométrica H_m e transportar a vazão Q é calculada pela expressão:

$$P_t = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_t} \quad (2.23)$$

Deve se salientar que a altura de sucção necessita ser calculada separadamente para verificar se a bomba terá condições de operar a vazão de projeto, sem sofrer danos. Se a altura de sucção for excessiva para determinada bomba, esta poderá estar sujeita à cavitação. É o desgaste anormal de partes vitais do rotor, causado pela formação seguida de destruição brusca de partículas de vapor d'água na massa líquida, naquelas condições. A cavitação produz vibrações e reduz a capacidade de bombeamento e, portanto, a eficiência da bomba.



2.11.5 - Curvas características de bombas

As curvas características de uma bomba relacionam graficamente, para diversos diâmetros de rotor, a vazão de bombeamento com a altura manométrica, a potência absorvida, o rendimento, e a máxima altura manométrica de sucção. São válidas para uma determinada rotação. Vide figura 2.8 [1].

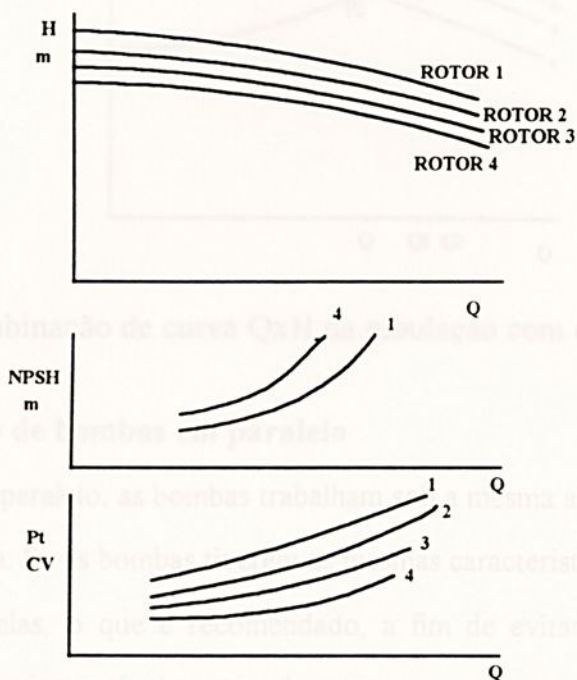


Fig. 2.8 - Curva Característica de uma bomba

2.11.6 - Associação da curva característica da bomba com a da tubulação

A análise do comportamento funcional de bombas centrífugas fica bastante facilitado conhecendo-se a curva característica da tubulação, que indica para cada vazão de bombeamento a correspondente altura manométrica total. Essa curva é obtida calculando-se as perdas de carga nas tubulações para várias vazões de escoamento. Somadas ao desnível geométrico, fornecem os pontos para o traçado da curva. Esta associação de curvas permitirá conhecer exatamente o ponto de funcionamento da bomba.

A figura 2.9 mostra que, para a vazão Q_1 , implica-se numa altura manométrica H_1 . Se a bomba tiver uma curva característica passando pelo mesmo ponto P definido por Q_1 e H_1 , ela satisfará exatamente as exigências do projeto. Uma outra bomba com curva B , por exemplo, poderá recalcar uma vazão $Q_2 > Q_1$, ou proporcionar uma elevação H_b acima da necessária para bombear a mesma vazão Q_1 , ocasionando, neste caso, desperdício de energia.

Por outro lado, uma bomba de curva C só poderá bombear para a mesma tubulação uma vazão $Q_3 < Q_1$.

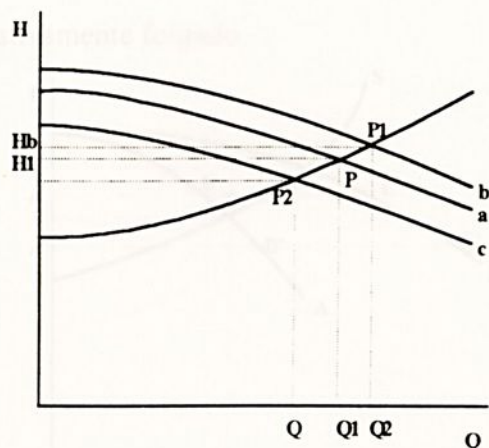


Figura 2.9 - Combinação de curva QxH da tubulação com curvas QxH de bombas

2.11.7 - Associação de bombas em paralelo

Operando em paralelo, as bombas trabalham sob a mesma altura manométrica total e as suas vazões se somam. Se as bombas tiverem as mesmas características a vazão total distribui-se igualmente entre elas, o que é recomendado, a fim de evitar correntes secundárias, no sentido da bomba de maior potência para a de menor.

Utiliza-se associação de bombas em paralelo quando há um aumento da demanda com o decorrer do tempo, ou quando não há no mercado, bombas que possam isoladamente atender a vazão de projeto.

Na figura 2.10, a curva A é a característica de uma das bombas e a $2A$ é a característica de duas máquinas iguais, operando em paralelo. A curva S é a característica do sistema de tubulação. A curva $2A$ resulta de A , fazendo-se $AB = BC$, $A'B' = B'C'$ e assim por diante, de modo que o ponto de trabalho de ambas situa-se em P' .

Através desta figura podemos observar que cada bomba, operando isoladamente, tem seu ponto de trabalho em P , fornecendo a vazão Q' . Em P' , a vazão total Q_t é maior do que Q' , porém menor do que $2Q'$. As bombas dividem igualmente a vazão recalçada, de maneira que cada contribui com $Q_a = Q_t / 2$. Também podemos concluir que o ponto de trabalho deslocou-se para cima e para a direita, caso uma das bombas pare de funcionar, a unidade que continuar operando terá o seu ponto de trabalho em P .



Obtém-se situações melhores, ou seja, um maior acréscimo de vazão, quando a curva das bombas for inclinada e a curva da tubulação for de ascensão suave. Isto se consegue quando o diâmetro for relativamente folgado.

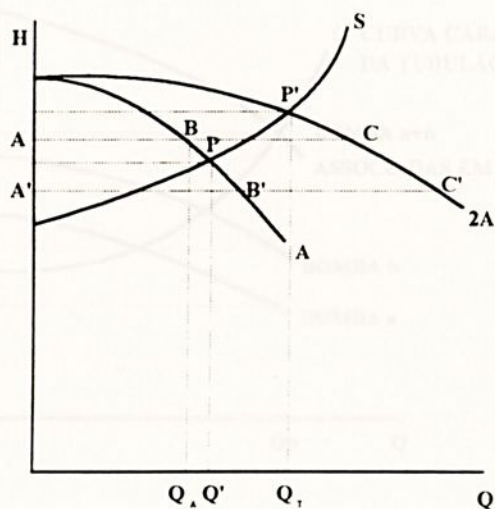


Figura 2.10

2.11.8 - Associação de bombas em série

Quando duas ou mais bombas operam em série, a vazão é a mesma para todas elas e as alturas manométricas se somam, como indicam as figuras 2.11 e 2.12.

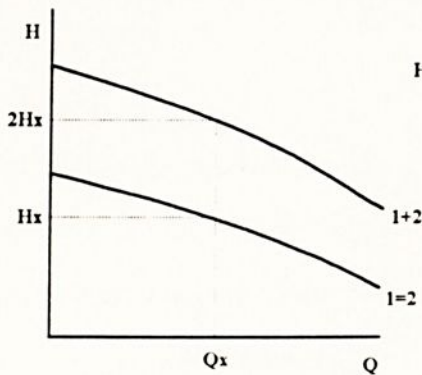


Figura 2.11

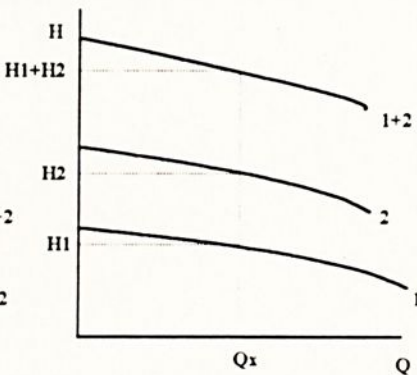


Figura 2.12

Na figura 2.11, a associação em série é feita com duas bombas iguais. Para a vazão Q_x , cada bomba trabalha sob altura manométrica H_x . Ambas, em série, recalcam para a altura $2H_x$. A fig. 2.12 mostra as curvas características de duas bombas diferentes trabalhando em série. Operando isoladamente, suas alturas manométricas são H_1 e H_2 , a altura manométrica total



será $H_1 + H_2$, para a vazão Q_x . A figura 2.13 mostra como essa associação se comporta comparando com a curva da tubulação, verifica-se que a vazão também aumenta.

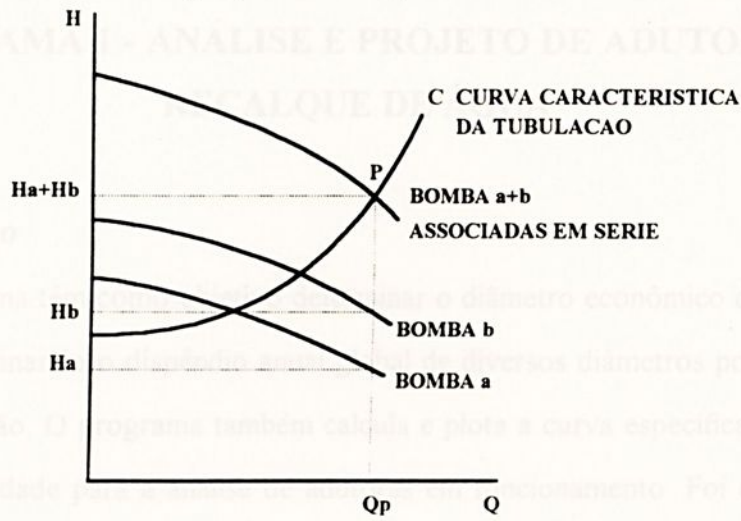


Figura 2.13

Esse sistema é empregado quando a estação elevatória deve atender a reservatórios em níveis ou distâncias diferentes, ou quando não há no mercado bombas capazes de atender a altura manométrica do projeto.

3.2.1 - Cálculo da vazão de projeto Q e do diâmetro econômico aproximado através da fórmula de Bresse.

Determinar

- a população a ser abastecida (P);
- o coeficiente de dia da maior consumo (K_1);
- o coeficiente da hora de maior consumo (K_2);
- o consumo per capita diário (C_p);
- o valor de K_3 da fórmula de Bresse;
- o número de horas de funcionamento do sistema por dia (H).

A partir desses dados de entrada, calcula-se

$$Q = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C_p \cdot P}{1000 \cdot 3600 \cdot H} \quad (3.1)$$

CAPÍTULO 3

PROGRAMA 1 - ANÁLISE E PROJETO DE ADUTORA DE RECALQUE DE ÁGUA

3.1 - Introdução

Este programa têm como objetivo determinar o diâmetro econômico de uma tubulação de recalque, determinando o dispêndio anual global de diversos diâmetros possíveis para uma determinada condição. O programa também calcula e plota a curva específica da tubulação, o que é de muita utilidade para a análise de adutoras em funcionamento. Foi desenvolvido em linguagem Clipper versão 87, o programa fonte possui 590 linhas, ao compilá-lo, o seu executável têm 264.760 bytes.

3.2 - Sequência de Cálculo

3.2.1 - Cálculo da vazão de projeto Q e do diâmetro econômico aproximado através da fórmula de Bresse.

Determinar:

- a) a população a ser abastecida (P);
- b) o coeficiente do dia de maior consumo (k_1);
- c) o coeficiente da hora de maior consumo (k_2);
- d) o consumo per capita diário (C_p);
- e) o valor de K_B da fórmula de Bresse;
- f) o número de horas de funcionamento do sistema por dia (H).

A partir destes dados de entrada, calcula-se:

$$Q = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot C_p \cdot P}{1000 \cdot 3600 \cdot H} \quad (3.1)$$

O programa após este cálculo, mostra o resultado na tela, solicitando a confirmação do mesmo ao usuário, que por sua vez pode alterar o valor da vazão de projeto. Em seguida calcula-se o valor do diâmetro econômico aproximado utilizando a *fórmula de Bresse*:

$$D = \frac{K_B \cdot H^{0,25} \cdot Q^{1/2}}{24^{0,25}} \quad (3.2)$$

$$DMM = D \cdot 1000 \quad (3.3)$$

O valor calculado é mostrado na tela.

3.2.2 - Determinação dos diâmetros comerciais

Este é um estudo comparativo, onde serão considerados apenas os diâmetros comerciais. Portanto, o usuário deve entrar com os valores de $D1$, $D2$ e $D3$ [mm], onde:

$D1$ = primeiro diâmetro comercial abaixo de $D2$

$D2$ = diâmetro comercial mais próximo de DMM

$D3$ = primeiro diâmetro comercial acima de $D2$

Os diâmetros comerciais, mostrados na tela em ordem crescente, são os seguintes:

50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 e 1200 [mm]

3.2.3 - Determinação dos dados físicos da adutora, dados do conjunto motor-bomba e dados referentes a amortização do investimento.

O usuário deve entrar com os seguintes dados:

- a) extensão da adutora (L), em metros;
- b) desnível geométrico (Hg), em metros;
- c) a idade da tubulação de ferro fundido (Ji), em anos;
- d) o número de registros de gaveta da adutora (NRG);
- e) o número de válvulas de retenção da adutora (NVR);
- f) o número de válvulas de pé com crivo da adutora ($NVPC$);
- g) o número de curvas de 11,25 graus da adutora ($NC11$);
- h) o número de curvas de 22,5 graus da adutora ($NC22$);



- i) o número de curvas de 45,0 graus da adutora (NC45);
- j) o número de curvas de 60,0 graus da adutora (NC60);
- k) o número de curvas de 90,0 graus da adutora (NC90);
- l) o rendimento médio do conjunto motor-bomba (η_t);
- m) o prazo em anos para a amortização (AN);
- n) a taxa de juros percentual anual (Tx).

Os cálculos a partir deste ponto serão efetuados para os três diâmetros comerciais escolhidos.

3.2.4 - Cálculo do valor de C de Hazen-Williams (7)

O valor de C de *Hazen-Williams* é calculado em função do diâmetro da tubulação de ferro fundido e a sua idade, através da seguinte fórmula:

$$C_n(D_n, J_i) = \frac{l}{0,00774 + J_i \cdot 0,0001079 \cdot e^{(4,304 - \ln D_n)^2 / 17,22}} \quad (3.4)$$

3.2.5 - Cálculo da velocidade de escoamento

É calculado através da seguinte fórmula:

$$V_n = \frac{4 \cdot Q}{3,14 \cdot (D_n / 1000)^2} \quad (3.5)$$

3.2.6 - Cálculo da perda de carga unitária e ao longo da tubulação

Utiliza-se a fórmula de *Hazen-Williams* (18):

$$J_n = \frac{10,641 \cdot Q^{1,85}}{C_n^{1,85} \cdot (D_n / 1000)^{4,87}} \quad (3.6)$$

$$JL_n = J_n \cdot L / 100 \quad (3.7)$$

3.2.7 - Cálculo das perdas localizadas

Partindo da expressão conhecida pelo nome de teorema de *Borda-Belanger* [12], chegamos a expressão geral que permite calcular as perdas de carga localizadas, em função de um coeficiente K obtido experimentalmente para cada caso.

$$PL_n = \frac{Kl \cdot V_n^2}{2 \cdot g} \quad (3.8)$$

Onde $Kl = \Sigma K$ e g é a aceleração da gravidade

A tabela a seguir apresenta os valores de K para as peças empregadas.

Tabela 3.1

Peça	K	Peça	K
Registro de gaveta	0,20	Curva de 60°	0,26
Válvula de retenção	2,75	Curva de 90°	0,4
Válvula de pé com crivo	2,50	Entrada de água em reservatório	1,0
Curva de 11,25°	0,03	Ampliação gradual	0,30
Curva de 22,5°	0,05	Redução gradual	0,20
Curva de 45°	0,20		

Fonte: Macintyre, A. J. *Bombas e Instalações de Bombeamento* [12]

3.2.8 - Cálculo da perda de carga total

A perda de carga total é a somatória da perda de carga ao longo da tubulação e as perdas localizadas.

$$JT_n = JL_n + PL_n \quad (3.9)$$

3.2.9 - Cálculo da altura manométrica total

A altura manométrica total é a soma da perda de carga total com o desnível geométrico, ao valor encontrado, acrescenta-se uma reserva de segurança de 5%.

$$HMT_n = (JT_n + Hg) \cdot 1,05 \quad (3.10)$$



3.2.10 - Cálculo da potência consumida

A potência necessária para transportar a vazão Q , vencendo a altura manométrica HMT , é dada pela expressão:

$$Pt_n = \frac{1000 \cdot Q \cdot HMT_n}{75 \cdot \eta_t} \quad (3.11)$$

Para calcularmos a potência consumida por dia em KWh, temos:

$$PCD_n = Pt_n \cdot 0,736 \cdot H \quad (3.12)$$

3.2.11 - Cálculo do dispêndio anual de energia

Para este cálculo utiliza-se a tabela da Eletropaulo, Grupo A - Alta Tensão, Subgrupo A4, tarifa convencional (valores em dólares americanos), onde:

Demanda = 3,58 US\$ / KWh

Consumo = 52,41 US\$ / MWh

Portanto têm-se:

$$DAE_n = PCD_n \cdot 365 \cdot 0,05241 + Pt_n \cdot 0,736 \cdot 12 \cdot 3,58 \quad (3.13)$$

3.2.12 - Custo dos tubos e órgãos acessórios

Os custos dos tubos e das peças foram fornecidos pelo fabricante em julho de 1994, os custos dos assentamentos foram coletados da TCPO 9 (tabela de composição de preços para orçamentos) [17].

Os tubos cotados são tubos de ferro fundido dúctil, com revestimento de cimento das paredes internas, protegendo-as da corrosão e conseqüentemente mantendo a sua rugosidade.

Portanto, através da tabela 3.2, para o diâmetro de 300 mm temos a seguinte equação para calcularmos o custo:

$$CT = 66,94.L + NC11 \cdot 120,31 + NC22 \cdot 128,58 + NC45 \cdot 165,42 + NC90 \cdot 208,99 + NRG \cdot 999,14 + NVR \cdot 1127,92 + NVPC \cdot 1020,66 \quad (3.14)$$

Tabela 3.2 - Custo dos tubos e órgãos acessórios assentados, em dólares americanos

(US\$)

DN	Tubo p/ metro	Registro de gaveta	Válvula de retenção	Curva 11.25°	Curva 22.5°	Curva 45°	Curva 90°	Válv.de pé c/ crivo
50	12.05	95.23	49.60	15.01	15.82	16.03	16.13	138.55
75	15.64	135.31	100.56	22.01	20.86	21.67	25.11	356.77
100	17.85	186.05	168.68	28.63	28.90	31.01	33.23	395.66
150	26.85	277.51	347.88	51.18	50.88	54.43	61.86	572.46
200	36.51	439.97	582.80	68.60	71.35	85.81	101.35	698.34
250	51.56	617.07	811.48	104.56	108.96	109.43	137.43	850.59
300	66.94	999.14	1.127.92	120.31	128.58	165.42	208.99	1.020.66
350	87.96	1.844.59	1.511.74	160.32	179.75	201.75	246.72	1.799.29
400	106.15	2.122.41	1.858.92	201.24	226.67	252.83	458.69	2.070.46
450	124.18	2.655.54	2.362.79	239.24	260.39	380.35	559.67	2.123.40
500	142.24	3.188.68	2.836.55	277.66	294.11	507.87	660.65	3.604.16
600	184.10	5.237.75	4.234.95	591.10	660.69	849.44	917.97	5.496.46
700	224.23	8.690.01	5.208.78	785.68	870.71	1.096.04	1.298.03	5.693.89
800	273.18	10.890.65	6.628.93	931.00	1.161.03	1.422.50	1.722.47	6.947.25
900	330.92	13.634.50	8.199.76	1.269.65	1.470.61	1.783.42	2.211.25	8.489.51
1000	388.37	16.533.54	9.917.85	1.279.88	1.754.45	2.177.45	2.765.35	10.320.71
1200	520.53	19.836.00	13.784.15	2.151.49	3.095.24	3.572.83	4.703.03	14.849.97



3.2.13 - Cálculo do custo de 02 conjuntos motor + bomba

Através de preços recolhidos dos dois maiores fabricantes de bombas e do maior fabricante de motores elétricos trifásicos do Brasil, chegou-se por meio de regressão linear, com erro máximo de US\$ 429,86, as seguintes composições de custos, em dólares americanos:

Para vazão acima de 1000 m³/h temos:

$$CMB_n = (Pt_n \cdot 26,98 + 84,17 + 10200) \cdot 2 \quad (3.15)$$

Para vazão entre 551 e 1000 m³/h temos:

$$CMB_n = (Pt_n \cdot 26,98 + 84,17 + 8500) \cdot 2 \quad (3.16)$$

Para vazão entre 301 e 550 m³/h temos:

$$CMB_n = (Pt_n \cdot 26,98 + 84,17 + 7500) \cdot 2 \quad (3.17)$$

Para vazão entre 101 e 300 m³/h temos:

$$CMB_n = (Pt_n \cdot 26,98 + 84,17 + 5500) \cdot 2 \quad (3.18)$$

Para vazão abaixo de 100 m³/h temos:

$$CMB_n = (Pt_n \cdot 26,98 + 84,17 + 2800) \cdot 2 \quad (3.19)$$

Em qualquer sistema de recalque de água, para abastecimento público, temos sempre dois conjuntos motor-bomba, um em operação e outro de reserva, por medida de segurança.

3.2.14 - Cálculo do custo total

$$CTMB_n = CT_n + CMB_n \quad (3.20)$$

3.2.15 - Cálculo do custo anual da amortização do custo total [8]

T_x = taxa de juros percentual anual

AN = prazo em anos para a amortização

$I_x = T_x/100$

$$ATMB_n = CTMB_n \cdot \frac{[Ix \cdot (1+Ix)^{AN}]}{[(1+Ix)^{AN} - 1]} \quad (3.21)$$

3.2.16 - Cálculo do dispêndio anual global

$$DAG_n = ATMB_n + DAE_n \quad (3.22)$$

O diâmetro que tiver o menor dispêndio anual global é logicamente o mais vantajoso para o sistema.

3.2.17 - Cálculo da curva da tubulação [19]

Determinado o diâmetro mais econômico para a adutora, calcula-se a sua curva característica através da seguinte fórmula:

$$H_{man} = H_g + \frac{10,641 \cdot L}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot Q^{1,85} + \frac{8 \cdot K_f}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \cdot Q^2 \quad (3.23)$$

3.3 - Exemplos de Aplicação e Resultados Obtidos

3.3.1 - Exemplo 1

Neste primeiro exemplo, vamos utilizar o programa para o caso de projeto de adutora de recalque de água. Vamos verificar o que é mais vantajoso: construirmos uma única adutora capaz de abastecer 100 mil habitantes ou construirmos duas adutoras com capacidade de abastecer 50 mil habitantes cada, com a vantagem de garantirmos em parte o abastecimento no caso de eventuais paradas no bombeamento de uma destas adutoras.

Caso 1 - Uma única adutora, população a ser abastecida de 100 mil habitantes.

Tabela 3.3 - Dados do exemplo 1

Coeficiente do dia de maior consumo (k_1)	1,25
Coeficiente da hora de maior consumo (k_2)	1,00
Consumo per capita diário (CPD)	250 litros
Valor de K da fórmula de Bresse (K)	1,20
Número de horas de funcionamento da bomba por dia (H)	24 horas
Extensão da adutora (L)	2340 metros
Desnível geométrico (HG)	61 metros
Idade da tubulação (J) para cálculo de C	0 (tubos novos)
Número de registros de gaveta (NRG) da adutora	8
Número de válvulas de retenção (NVR) da adutora	1
Número de válvulas de pé com crivo (NVPC) da adutora	0
Número de curvas de 11,25 graus (NC11) da adutora	12
Número de curvas de 22,50 graus (NC22) da adutora	10
Número de curvas de 45,00 graus (NC45) da adutora	8
Número de curvas de 90,00 graus (NC90) da adutora	6
Rendimento médio do conjunto motor-bomba (R)	0,65
Prazo (AN) para a amortização do custo total	10 anos
Taxa de juros anual (T)	12,00 %

Tabela 3.4 - Resultados obtidos do caso 1

Diâmetro [mm]	500	600	700
Valor de C de Hazen-Williams	129	129	129
Velocidade de escoamento [m/s]	1,84	1,28	0,94
Perda de carga unitária J [m/100m]	0,59	0,24	0,11
Perda de carga ao longo da tubulação JxL [m]	13,78	5,67	2,68
Perdas localizadas [m]	1,81	0,87	0,47
Perdas de carga total [m]	15,59	6,54	3,15
Altura manométrica total [m]	80,42	70,92	67,36
Potência consumida [CV]	596,68	526,19	499,73
Energia consumida por dia [KWh]	10.539,68	9294,62	8.827,27
Dispêndio anual com energia [US\$]	220.486,42	194.440,19	184.663,38
Custo total dos tubos assentados [US\$]	375.487,47	502.934,39	634.118,82
Custo de 02 conjuntos motor-bomba [US\$]	52.764,96	48.961,55	47.533,89
Custo total dos tubos + motor + bomba [US\$]	428.252,43	551.895,94	681.652,71
Amortização anual e juros do custo total [US\$]	75.793,90	97.676,84	120.641,73
DISPÊNDIO ANUAL GLOBAL [US\$]	296.280,32	292.117,03	305.305,12

Através dos resultados da tabela 3.4 podemos concluir que para o caso 1, o diâmetro de 600 mm é o mais econômico, com uma vazão de projeto (Q) de 1.302 m³/h, e um dispêndio anual global de US\$ 292.117,03.

Caso 2 - Duas adutoras, com capacidade de abastecer 50 mil habitantes cada.

Tabela 3.5 - Resultados obtidos do caso 2

Diâmetro [mm]	350	400	450
Valor de C de Hazen-Williams	129	129	129
Velocidade de escoamento [m/s]	1,88	1,44	1,14
Perda de carga unitária J [m/100m]	0,93	0,48	0,27
Perda de carga ao longo da tubulação JxL [m]	21,72	11,33	6,39
Perdas localizadas [m]	1,89	1,11	0,69
Perdas de carga total [m]	23,60	12,44	7,08
Altura manométrica total [m]	88,83	77,11	71,48
Potência consumida [CV]	329,53	286,05	265,16
Energia consumida por dia [KWh]	5.820,86	5.052,82	4.683,87
Dispêndio anual com energia [US\$]	121.770,26	105.703,21	97.985,01
Custo total dos tubos assentados [US\$]	228.910,52	276.685,56	326.063,91
Custo de 02 conjuntos motor-bomba [US\$]	34.949,89	32.603,70	31.476,64
Custo total dos tubos + motor + bomba [US\$]	263.860,41	309.289,26	357.540,55
Amortização anual e juros do custo total [US\$]	46.699,11	54.739,30	63.279,02
DISPÊNDIO ANUAL GLOBAL [US\$]	168.469,38	160.442,51	161.264,03

Concluimos portanto que para o caso 2, o diâmetro mais econômico é o de 400 mm, com uma vazão de 651 m³/h e um dispêndio anual de US\$ 160.442,51 para cada adutora, totalizando US\$ 320.885,02 anuais para 1302 m³/h.

Portanto, podemos observar um acréscimo de 9,85 % no custo anual, equivalente a US\$ 28.767,99, para que se tenha duas adutoras ao invés de apenas uma. Nestes casos, usualmente se escolhe a segunda opção, pois a garantia de se ter o fornecimento de água mantido por uma das adutoras, compensa este acréscimo de custo.



3.3.2 - Exemplo 2

Neste exemplo, utilizaremos o programa para análise de uma adutora existente, e verificaremos a possibilidade de conservação de energia neste sistema de recalque.

Uma adutora de ferro fundido, com vários anos de uso ($C = 100$) operava com uma vazão de $260 \text{ m}^3/\text{h}$, utilizando um motor de 150 CV. Para se aumentar a vazão, foi trocado o motor de 150 CV por um de 250 CV, aumentando a sua vazão para $350 \text{ m}^3/\text{h}$. Utilizando os mesmos dados da adutora do exemplo 1, temos então os seguintes resultados:

Tabela 3.6 - Resultados obtidos no exemplo 2

Diâmetro [mm]	250	250	250
Vazão de projeto [m^3/h]	260	350	350
Valor de C de Hazen-Williams	102	102	129
Velocidade de escoamento [m/s]	1,47	1,98	1,98
Perda de carga unitária J [m/100m]	1,35	2,34	1,52
Perda de carga ao longo da tubulação $J \times L$ [m]	31,56	54,69	35,46
Perdas localizadas [m]	1,16	2,09	2,09
Perdas de carga total [m]	32,71	56,78	37,56
Altura manométrica total [m]	98,40	123,67	103,48
Potência consumida [CV]	145,77	246,64	206,38
Energia consumida por dia [KWh]	2.574,96	4.356,71	3.645,45
DISPÊNDIO ANUAL COM ENERGIA [US\$]	53.867,25	91.140,89	76.261,60

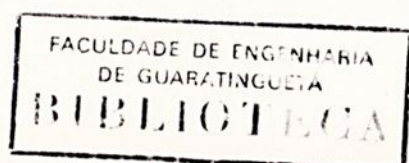
Através dos resultados da tabela 3.6, na primeira e segunda coluna podemos verificar que na troca do motor de 150 CV por um de 250 CV, houve um aumento de 69,20 % no consumo de com energia, para um aumento de 34,60 % na vazão.

Na terceira coluna, mostramos o resultado obtido se o tubo de 250 mm passasse por uma limpeza interna com aplicação de revestimento, aumentando o seu valor de C de Hazen-Williams para 129. Com isso, para uma mesma vazão de 350 m³/h, devido a menor resistência das paredes internas do tubo, necessitaríamos de uma potência de 200 CV, ao invés de 250 CV, portanto haveria um aumento de 41,57 % no consumo de energia, o que é razoável para um aumento de 34,60 % na vazão.

Outra alternativa é a troca da tubulação, pelo diâmetro econômico para a vazão de 350 m³/h, e comparando o seu dispêndio anual global com o dispêndio anual com energia do sistema de 250 mm de diâmetro e 350 m³/h de vazão. Aplicando o método temos os seguintes resultados:

Tabela 3.7 - Resultados obtidos para uma vazão de 350 m³/h

Diâmetro [mm]	250	300	350
Valor de C de Hazen-Williams	129	129	129
Velocidade de escoamento [m/s]	1,98	1,38	1,01
Perda de carga unitária J [m/100m]	1,52	0,62	0,29
Perda de carga ao longo da tubulação JxL [m]	35,46	14,59	6,89
Perdas localizadas [m]	2,09	1,01	0,54
Perdas de carga total [m]	37,56	15,60	7,43
Altura manométrica total [m]	103,48	80,43	71,86
Potência consumida [CV]	206,38	160,41	143,30
Energia consumida por dia [KWh]	3.645,45	2.833,44	2.531,26
Dispêndio anual com energia [US\$]	76.261,60	59.274,65	52.953,18
Custo total dos tubos assentados [US\$]	130.442,78	171.067,46	228.910,52
Custo de 02 conjuntos motor-bomba [US\$]	26.304,47	23.823,95	22.900,85
Custo total dos tubos + motor + bomba [US\$]	156.747,25	194.891,41	251.811,37
Amortização anual e juros do custo total [US\$]	27.741,78	34.492,69	44.566,62
DISPÊNDIO ANUAL GLOBAL [US\$]	104.003,38	93.767,35	97.519,80



Analisando os resultados tabelados, concluímos que o diâmetro de 300 mm é o mais econômico para a vazão de 350 m³/h, com um dispêndio anual global de US\$ 93.767,35. Houve uma redução de 1.523,27 KW.h/dia no consumo de energia. Utilizando uma tubulação antiga de 250 mm temos um gasto anual de US\$ 91.140,89 só com energia, trocando-se a tubulação por uma de 300 mm gastaria-se quase o mesmo valor, sendo que após dez anos de uso o investimento inicial já estaria pago, reduzindo o dispêndio para US\$ 59.274,65 anuais.

Figura 3.1 - Curva característica de tubulação do exemplo 1, caso 2

$$D = 400 \text{ mm} \quad L = 2340 \text{ m} \quad C = 120$$

Curva Carac Tubul. D= 400mm L= 2340m C=129
Altura Manometrica H[m] x Vazao Q[m³/h] KT=10.5

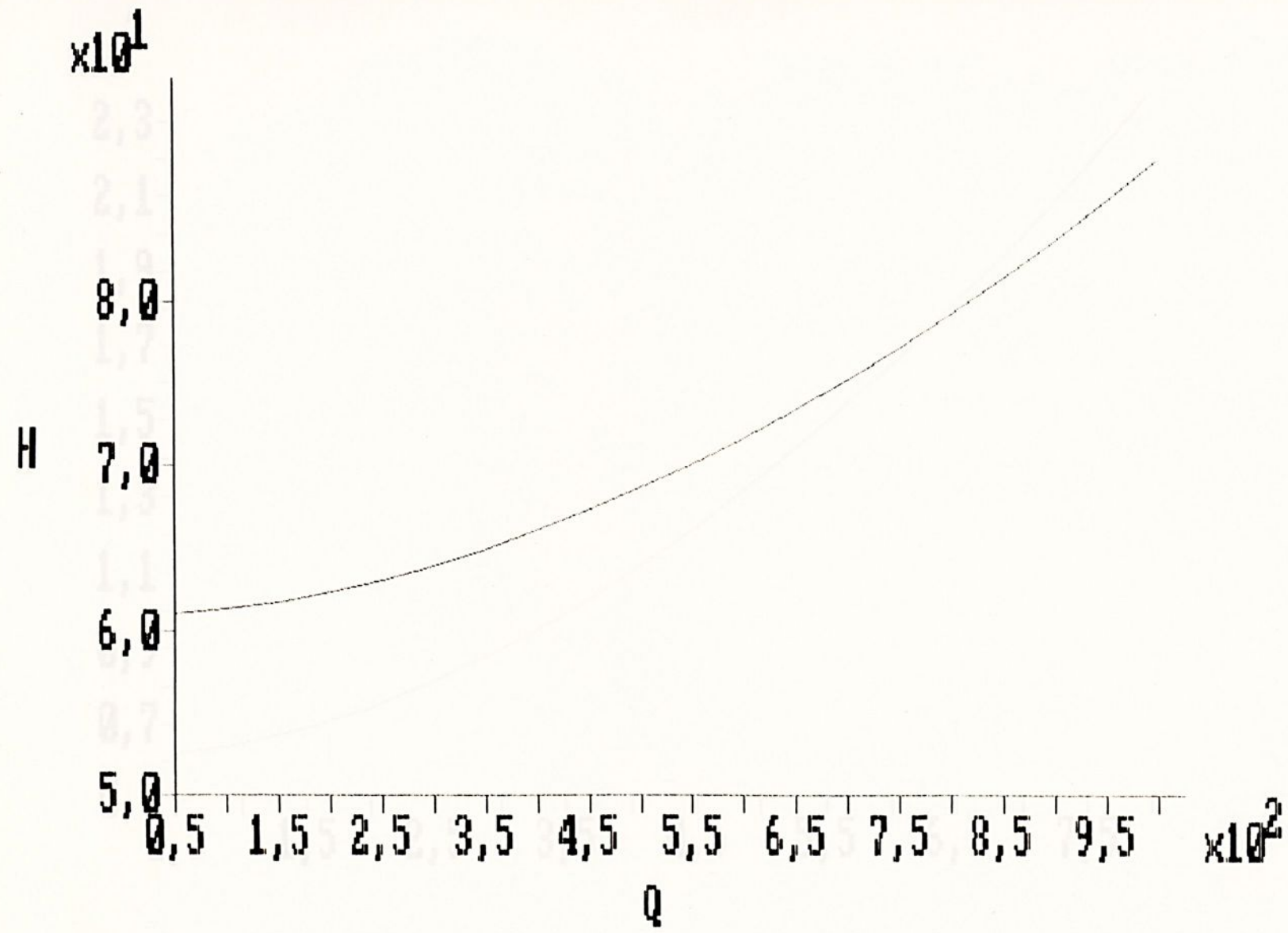


Figura 3.1 - Curva característica da tubulação do exemplo 1, caso 2

D = 400 mm L = 2340 m C = 129



Curva Carac Tubul. D= 250mm L= 2340m C=129
Altura Manometrica H[M] x Vazao Q[m³/h] KI=10.5

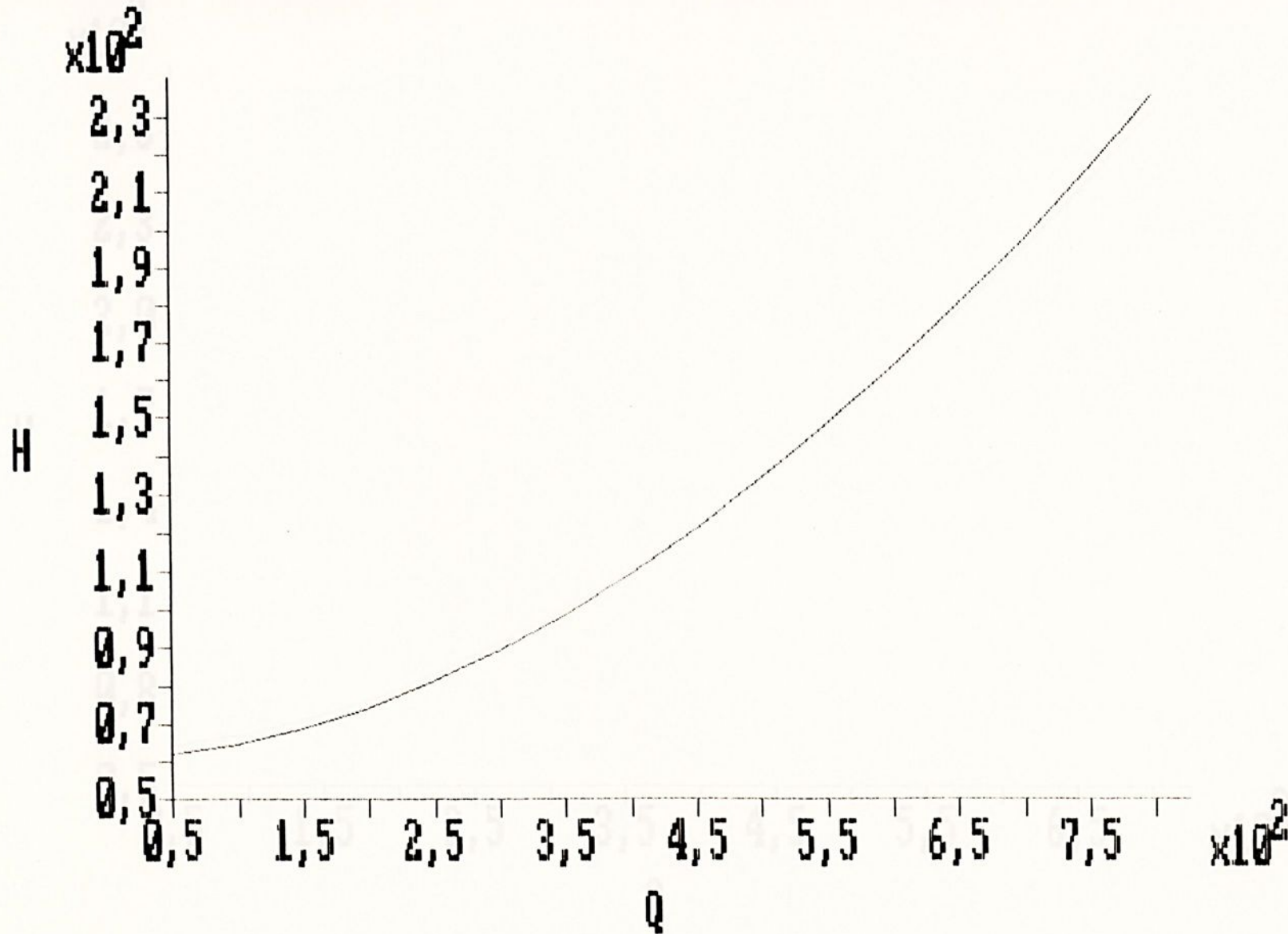


Figura 3.2 - Curva característica da tubulação do exemplo 2

D = 250 mm L = 2340 m C = 129



Curva Carac Tubul. D= 250mm L= 2340m C=102
 Altura Manometrica H[M] x Vazao Q[M³/h] KT=10.5

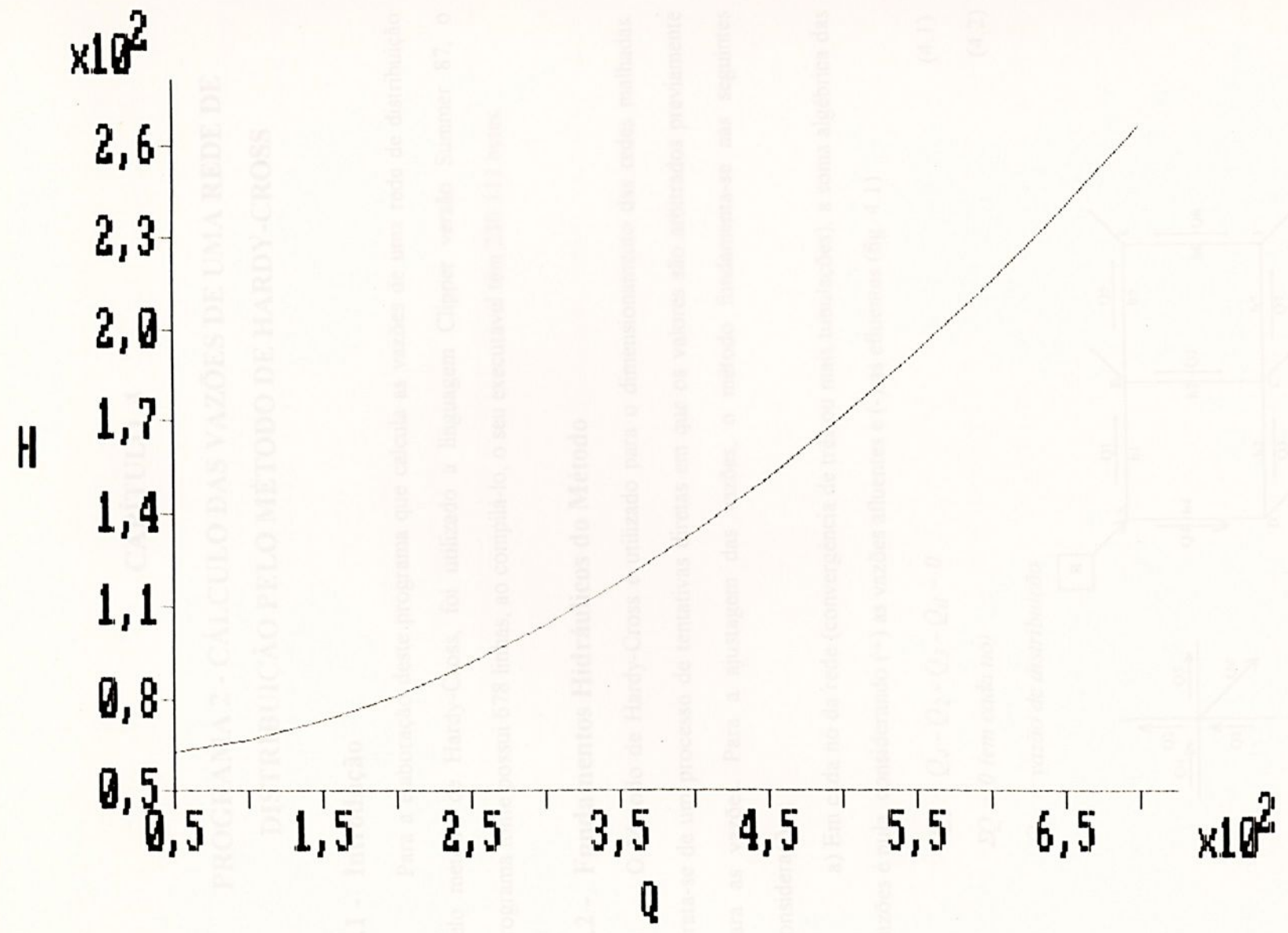


Figura 3.3 - Curva característica da tubulação do exemplo 2

D = 250 mm L = 2340 m C = 102

CAPÍTULO 4

PROGRAMA 2 - CÁLCULO DAS VAZÕES DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO PELO MÉTODO DE HARDY-CROSS

4.1 - Introdução

Para a elaboração deste programa que calcula as vazões de uma rede de distribuição pelo método de Hardy-Cross, foi utilizado a linguagem Clipper versão Summer 87, o programa fonte possui 678 linhas, ao compilá-lo, o seu executável têm 230.113 bytes.

4.2 - Fundamentos Hidráulicos do Método

O Método de Hardy-Cross é utilizado para o dimensionamento das redes malhadas. Trata-se de um processo de tentativas diretas em que os valores são arbitrados previamente para as vazões. Para a ajustagem das vazões, o método fundamenta-se nas seguintes considerações:

a) Em cada nó da rede (convergência de três ou mais tubulações), a soma algébrica das vazões é nula, considerando (+) as vazões afluentes e (-) as efluentes (fig. 4.1):

$$Q_1 - Q_4 - Q_2 - Q_3 - Q_d = 0 \quad (4.1)$$

$$\Sigma Q = 0 \text{ (em cada nó)} \quad (4.2)$$

Q_d = vazão de distribuição

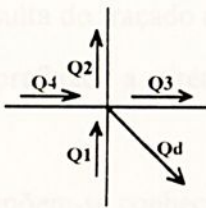


fig. 4.1

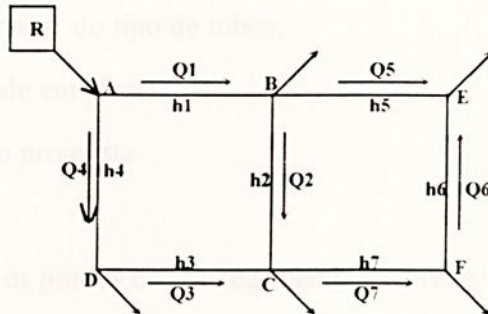


fig. 4.2

b) Em um circuito fechado (anel) qualquer da rede, a soma algébrica das perdas de carga é nula, considerando (+) as perdas de carga coincidentes e (-) as perdas de carga contrárias a um prefixado sentido de caminamento no anel (fig 4.2).

$$\text{Anel I: } \Sigma h = h_1 + h_2 - h_3 - h_4 = 0 \quad (4.3)$$

$$\text{Anel II: } \Sigma h = h_5 - h_6 - h_7 - h_2 = 0 \quad (4.4)$$

Deste modo, essas são as condições necessárias e suficientes para que a distribuição das vazões e as perdas de carga que provocam, coincidam com as que se verificarão na rede em pleno funcionamento.

c) Para efeito de projeto, pode-se admitir, com precisão satisfatória, que a distribuição de água em marcha seja substituída por tomadas localizadas em pontos fictícios isolados, adequadamente situados na canalização. Nestas condições, consideramos uma vazão uniforme escoando em cada trecho de canalização.

d) A perda de carga total, ao longo de um trecho de comprimento L e diâmetro D , para uma vazão uniforme Q , pode ser expressa pela fórmula de Hazen-Williams:

$$h = r_i \cdot Q^{1,85} \quad (4.5)$$

$$\text{onde } r_i = 10,641 \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87} \cdot L \quad (4.6)$$

4.3 - O Método

a) Em cada anel da rede supõe-se conhecido o fator r_i de cada trecho. Assim adotando-se a fórmula de Hazen-Williams, supõem-se conhecidos os valores de C , L e D de cada trecho.

C resulta da escolha preliminar do tipo de tubos;

L resulta do traçado da rede em planta;

D é prefixado a critério do projetista.

b) Supõem-se conhecidos os pontos de "carregamentos" da rede, isto é:

1) os pontos de entrada de água na rede - pontos que chegam as canalizações provenientes de reservatórios ou adutoras;

2) os pontos de saída de água na rede - pontos isolados distribuidores, ficticiamente localizados, no caso da distribuição em marcha.

c) Supõem-se conhecidos os valores dos "carregamentos", isto é:

1) as vazões de alimentação da rede, fornecidas pelos reservatórios ou pelas adutoras - são os valores resultantes de estudos do consumo global do sistema;

2) as vazões de saída da rede nos pontos isolados distribuidores - são os valores resultantes do estudo da distribuição em marcha.

d) Partindo-se dos pontos de alimentação da rede, atribui-se uma vazão de escoamento a cada um dos trechos dos anéis da rede, respeitando-se sempre a condição: $\Sigma Q = 0$

e) Fixa-se, para efeito de cálculo, um sentido de caminamento nos anéis. Calcula-se a perda de carga total, h , em cada trecho do anel. Faz-se, em cada anel, a somatória: Σh .

f) Se em todos os anéis, for obtido $\Sigma h = 0$, então a rede, posta em funcionamento, terá realmente os valores de vazões, inicialmente imaginado.

g) Normalmente, a primeira tentativa de distribuição das vazões conduz a $\Sigma h \neq 0$, sendo necessário ajustar as vazões, adicionando à vazão de cada trecho, a vazão corretiva ΔQ . Notemos que as vazões em cada trecho são afetadas dos mesmos sinais adotados para as perdas de carga correspondentes, h .

A vazão corretiva ΔQ é calculada por:

$$\Delta Q = \frac{-(\Sigma h)}{1,85 \cdot \Sigma(h/Q)} \quad (4.7)$$



Em um anel, introduzindo-se desse modo a correção de vazão, ΣQ tende a se anular, sem se alterar a condição preestabelecida de que $\Sigma Q = 0$ em cada nó.

h) Com as vazões compensadas assim obtidas, recalcula-se o valor de Σh . Deste, resulta uma nova vazão de compensação, ΔQ , e conseqüentemente, uma nova distribuição de vazão nos trechos. Repetem-se as tentativas até se obter um valor de Σh próximo de zero. Tem-se, então, a distribuição de vazão procurada.

i) Conhecidos os diâmetros e vazões de cada trecho, resultam, imediatamente, as correspondentes velocidades de escoamento. Se em algum trecho, a velocidade resultante for excessiva, faz-se uma modificação criteriosa de diâmetro, aumentando-os, e então calculam-se novamente as vazões.

4.4 - Exemplo de Aplicação do Método e Resultados Obtidos

O programa 2 aplica o método para a seguinte rede de condutos principais:

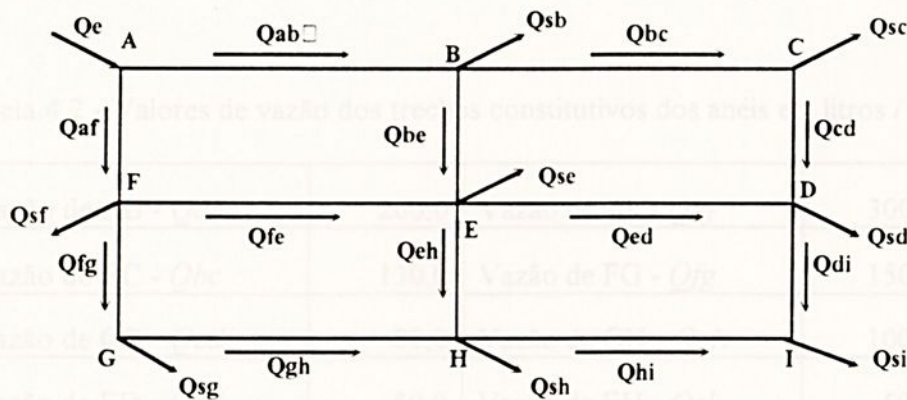


fig. 4.3

a) Rede de distribuição com os condutos principais conforme a figura 4.3

b) Determinando os valores dos seguintes pontos de carregamento:

Tabela 4.1 - Valores dos pontos de carregamento em litros / seg.

Vazão de entrada Q_e	500,0	Vazão de saída em E - Q_{se}	20,0
Vazão de saída em B - Q_{sb}	50,0	Vazão de saída em F - Q_{sf}	50,0
Vazão de saída em C - Q_{sc}	50,0	Vazão de saída em G - Q_{sg}	50,0
Vazão de saída em D - Q_{sd}	100,0	Vazão de saída em H - Q_{sh}	100,0

O valor da vazão de saída em I, Q_{si} , é resultado da subtração da vazão de entrada Q_e , pela somatória das vazões de saída. Portanto:

$$Q_{si} = Q_e - \sum Q_s \quad (4.8)$$

$$Q_{si} = 80 \text{ l/s}$$

c) Com estes valores de vazão dos pontos de "carregamento" da rede, atribui-se uma vazão de escoamento a quatro trechos constitutivos dos anéis da rede, que são:

$$Q_{ab} = 200 \text{ l/s} \quad Q_{fe} = 100 \text{ l/s} \quad Q_{be} = 20 \text{ l/s} \quad Q_{ed} = 50 \text{ l/s}$$

Os outros valores de vazão nos trechos da rede são calculados pelo programa, respeitando, em cada nó, a condição: $\sum Q = 0$. Resultando, então os seguintes valores:

Tabela 4.2 - Valores de vazão dos trechos constitutivos dos anéis em litros / seg.

Vazão de AB - Q_{ab}	200,0	Vazão de AF - Q_{af}	300,0
Vazão de BC - Q_{bc}	130,0	Vazão de FG - Q_{fg}	150,0
Vazão de CD - Q_{cd}	80,0	Vazão de GH - Q_{gh}	100,0
Vazão de ED - Q_{ed}	50,0	Vazão de EH - Q_{eh}	50,0
Vazão de BE - Q_{be}	20,0	Vazão de HI - Q_{hi}	50,0
Vazão de FE - Q_{fe}	100,0	Vazão de DI - Q_{di}	30,0

d) determinam-se, em seguida, os dados construtivos da tubulação:

Tabela 4.3 - Dados construtivos da tubulação

Trecho	Extensão [m]	Diâmetro [mm]	Trecho	Extensão [m]	Diâmetro [mm]
AB	1000	500	AF	1500	600
BC	1000	400	FG	1500	450
CD	1500	300	GH	1000	300
ED	1000	300	EH	1500	250
BE	1500	300	HI	1000	250
FE	1000	350	DI	1500	250
Valor de C de Hazen-Williams dos tubos utilizados na rede					100

e) Resultados obtidos após 13 iterações, (até $\Sigma h < 0.1$):

Tabela 4.4

Trecho	Diâm. [mm]	L [m]	Vazão [l/s]	h [m]	V [m/s]	Umáx. [m/s]
AB	500	1000	215,4	3,63	1,10	1,35
BC	400	1000	115,6	3,40	0,92	1,20
CD	300	1500	65,6	7,25	0,93	1,05
ED	300	1000	75,5	6,27	1,07	1,05
BE	300	1500	49,8	4,36	0,70	1,05
FE	350	1000	91,8	4,25	0,95	1,13
AF	600	1500	284,6	3,75	1,01	1,50
FG	450	1500	142,8	4,25	0,90	1,28
GH	300	1000	92,8	9,19	1,31	1,05
EH	250	1500	46,2	9,21	0,94	0,98
HI	250	1000	39,0	4,49	0,79	0,98
DI	250	1500	41,0	7,40	0,84	0,98



Através da tabela 4.4, verificamos que os trechos ED e GH, estão com suas velocidades de escoamento acima da recomendada. A velocidade máxima de escoamento recomendada é calculada através da equação 2.18.

f) Portanto, aumentamos o diâmetro desses dois trechos e calculamos novamente, após mais 10 iterações, chegamos aos seguintes resultados:

Tabela 4.5 Resultados obtidos após 10 iterações:

Trecho	Diâm. [mm]	L [m]	Vazão [l/s]	h [m]	V [m/s]	Umáx.[m/s]
AB	500	1000	207,4	3,38	1,06	1,35
BC	400	1000	105,9	2,89	0,84	1,20
CD	300	1500	55,9	5,39	0,79	1,05
ED	350	1000	84,3	3,63	0,88	1,13
BE	300	1500	51,6	4,65	0,73	1,05
FE	350	1000	89,5	4,06	0,93	1,13
AF	600	1500	292,6	3,94	1,03	1,50
FG	450	1500	153,1	4,83	0,96	1,28
GH	350	1000	103,1	5,27	1,07	1,13
EH	250	1500	36,7	6,04	0,75	0,98
HI	250	1000	39,8	4,67	0,81	0,98
DI	250	1500	40,2	7,12	0,82	0,98

Observamos, agora que as velocidades dos trechos estão dentro das recomendadas, finalizando, portanto, o cálculo da distribuição das vazões pelo Método de Hardy-Cross. Sendo conhecido a cota piezométrica do ponto de alimentação da rede (ponto A), as cotas do terreno nos demais pontos, e os valores de h de cada trecho (tabelado), podemos calcular as cotas piezométricas e as pressões disponíveis nos diversos pontos da rede.



Capítulo 5

Conclusões e Sugestões

5.1 - Método de Análise e Projeto de Adutoras de Recalque de Água

A aplicação deste método com o auxílio do microcomputador, facilita muito o trabalho do projetista, pois em quase todos os livros e manuais de hidráulica, este método é recomendado para o dimensionamento de adutoras de recalque.

O programa computacional é de aplicação imediata, contém todas as informações necessárias para se calcular, com uma precisão satisfatória, os custos envolvidos na construção e operação do sistema. Possibilita também, que se simule condições de operação existentes, para que se possa avaliar sua eficiência, e também verificar as economias possíveis de energia, alterando apenas algum ou alguns parâmetros. O tempo computacional necessário é baixíssimo, os resultados são obtidos imediatamente após a entrada dos dados.

Analisando os valores envolvidos no cálculo dos custos dos tubos e órgãos acessórios, tabela 3.2, verificou-se um sensível aumento do custo quando leva-se em conta o diâmetro, a partir de 600 mm. Isto ocorre, porque a partir deste diâmetro, as peças são feitas sob encomenda, dificuldades na manufatura devido ao aumento de seu tamanho e peso, encarecem os processos de fabricação e assentamentos. Tal aumento têm grande influência no cálculo do diâmetro econômico.

Outro fator importante, utilizado no levantamento de custos operacionais do sistema de bombeamento, é o custo da energia elétrica. Foi utilizado, para efeito de cálculo do dispêndio anual de energia, a tarifa convencional da Eletropaulo, na qual o preço de consumo do KWh em dólares americanos é de US\$ 0,05241. Este valor está dentro dos utilizados em outros países. Por exemplo, nos EUA e na França o Kwh custa US\$ 0,05, na Inglaterra US\$ 0,06, na Alemanha US\$ 0,08 e no Japão US\$ 0,18 [13].

A Eletropaulo também possui uma outra tarifa, além da Convencional, que é a tarifa Horo-Sazonal. Esta é uma tarifa de valor variável, ou seja, ela é mais cara que a Convencional nos horários de maior consumo, e mais barata nos horários de menor consumo. Para



exemplificar, temos nos horários de "pico" um valor de até US\$ 0,06205 (ponta seca) por KWh, e nos outros horários de "baixa" um valor de US\$ 0,0295 (fora de ponta seca). Estes valores também variam com a época do ano, os acima citados são para o período das secas. No período das chuvas o valor do KWh é de US\$ 0,05742 para ponta úmida e de US\$ 0,02607 para fora de ponta úmida. Esta política tarifária, nos dá possibilidades de obter um menor custo energético, fugindo do uso da energia nos horários de ponta.

O gráfico da curva característica da tubulação, gerado pelo programa, mostra claramente o aumento exponencial da altura manométrica, devido ao aumento da vazão, e consequentemente da velocidade e da potência consumida pelo sistema. Portanto, está demonstrado através dos exemplos, que a velocidade empregada em uma adutora de recalque, para termos um melhor aproveitamento, não só do recurso energético, mas também do financeiro, deve estar entre 1,20 a 1,50 m/s. Segundo Paschoal Silvestre [19], a velocidade média das instalações de recalque situa-se entre 0,60 e 2,40 m/s.

Para estes valores de velocidades, obtemos o valor médio de K da fórmula de Bresse igual a 1, confirmando o que se aplica na teoria para tubos de ferro fundido.

Este gráfico também nos auxilia para uma melhor escolha da bomba a ser utilizada, comparando a curva da bomba com a da tubulação, definimos exatamente o seu ponto de trabalho, com isso, podemos alcançar um melhor rendimento do conjunto motor-bomba.

5.2 - Método de Análise e Projeto de Redes de Distribuição de Água

O método propicia, para o formato físico apresentado, a determinação rápida de uma melhor distribuição das vazões, a escolha do melhor diâmetro para o escoamento da água com velocidades compatíveis, e a mínima perda de carga nos diversos trechos. No caso de termos outros componentes do sistema hidráulico, que não sejam as tubulações, podemos tratá-los substituindo esses componentes por comprimento equivalente de conduto.

Para a sua aplicação ao estudo de grandes redes, sempre que houver conveniência, estas podem ser divididas em setores, pois o formato físico apresentado possibilita esta interligação.



O presente método, como o anterior, também é de aplicação direta no projeto e no estudo de casos existentes de redes de distribuição de água.

5.3 - Sugestões para trabalhos futuros

Alguns aspectos complementares merecem um estudo pormenorizado. Assim seguem-se para trabalhos futuros, os seguintes temas:

a) No caso das adutoras de recalque:

- 1) A utilização de tubos manufaturados com outros materiais como por exemplo, o plástico (PVC) e o aço.
- 2) A aplicação da tarifa Horo-Sazonal para o cálculo do dispêndio energético.
- 3) A ampliação do número de tipos de órgãos acessórios da tubulação.

b) No caso da aplicação do Método de Hardy-Cross:

- 1) Outros formatos físicos mais complexos da rede.
- 2) Uma análise das cotas piezométricas dos pontos de "carregamento" da rede, verificando se estão dentro dos valores recomendados.



APÊNDICE A

LISTAGEM DO PROGRAMA 1

ANÁLISE E PROJETO DE ADUTORA DE RECALQUE DE ÁGUA



* DETERMINAR O DIAMETRO DE RECALQUE DE UMA ADUTORA DE FERRO FUNDIDO
* E A POTENCIA DO CONJUNTO MOTO-BOMBA

SET TALK OFF
SET BELL OFF
SET STATUS OFF
SET SCOREB OFF
SET DATE BRIT:

*
store 0 to F,K,L,K1,K2,KT,I,J1,J2,J3,JL1,JL2,JL3,JT1,JT2,JT3,H
store 0 to CPD,D1,D2,D3,H6,C,NR6,NVR,NVPC,NC11
store 0 to NC22,NC45,NC90,AN,T,R,J

*
CLEAR
SET COLOR TO W/B

@ 04, 03 say
@ 05, 03 say
@ 06, 03 say
@ 07, 03 say
@ 08, 03 say
@ 09, 03 say
@ 10, 03 say
@ 11, 03 say
@ 12, 03 say
@ 13, 03 say

TESE DE MESTRADO - DEPTO DE TRANSMISSAO E CONVERSAD DE ENERGIA

CALCULO DO DIAMETRO ECONOMICO DE RECALQUE DE UMA ADUTORA DE
FERRO FUNDIDO E PLOTAGEM DA CURVA CARACTERISTICA DA TUBULACAO

ALUNO: CELSO EDUARDO TUNA

MARCO/1995

*
@ 17, 03 say
@ 18, 03 say
@ 19, 03 say

APORTE QUALQUER TECLA PARA INICIAR O PROGRAMA

INKEY(0)

*
* DADOS INICIAIS
*

DO WHILE .T.
DO WHILE .T.

SET COLOR TO W-/N

clear

SET COLOR TO B/W

@ 02, 03 say

@ 03, 03 say

@ 04, 03 say

SET COLOR TO B/W, W+/B

@ 05, 03 say

@ 06, 03 say

@ 07, 03 say

@ 08, 03 say

@ 09, 03 say

@ 10, 03 say

@ 11, 03 say

@ 12, 03 say

@ 13, 03 say

@ 14, 03 say

@ 15, 03 say

@ 16, 03 say

@ 17, 03 say

@ 18, 03 say

@ 19, 03 say

@ 20, 03 say

SET COLOR TO B/W

@ 03, 18 say CALCULO DA VAZAO DE PROJETO QF [#3/s]

```

SET COLOR TO B/W, W+/E
@ 05, 05 say ' POPULACAO A SER ABASTECIDA -----> ' get P pict "999999"
@ 07, 05 say ' COEFICIENTE DO DIA DE MAIOR CONSUMO K1, '
@ 08, 05 say ' ONDE 1 < K1 < 2, 0 USUAL Eh K1=1.25 -----> ' get K1 pict "9.99"
      valid (K1) >= 1 .and. K1 <=2)
@ 10, 05 say ' COEFICIENTE DA HORA DE MAIOR CONSUMO K2, '
@ 11, 05 say ' ONDE 1 < K2 < 2, USUAL Eh K2=1.5 -----> ' get K2 pict "9.99"
      valid (K2) >= 1 .and. K2 <=2)
@ 13, 05 say ' CONSUMO PER CAPITA DIARIO EM LITROS/HAB/DIA, '
@ 14, 05 say ' ONDE 0 USUAL Eh CPD=250 -----> ' get CPD pict "999"
@ 16, 05 say ' VALOR DE K DA FORMULA DE BRESSE, '
@ 17, 05 say ' ONDE 0.75 < K < 1.4, -----> ' get K pict "9.99"
      valid (K) >= 0.75 .and. K <=1.4)
@ 19, 05 say ' NUMERO DE HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA POR DIA -----> ' get H pict "99"
read

```

```

***
*** DETERMINACAO DA VAZAO DE PROJETO (QP)
***

```

$$QP = (K1 * K2 * CPD * P) / (1000 * 3600 * H)$$

$$QPM3H = QP * 3600$$

```
SET COLOR TO W/N
```

```
CLEAR
```

```
SET COLOR TO B/W, W+/B
```

```

@ 01, 03 say '
@ 02, 03 say '
@ 03, 03 say '
@ 04, 03 say '
@ 05, 03 say '
@ 06, 03 say '
@ 07, 03 say '
@ 08, 03 say '

```

```

@ 01, 14 say ' -----
@ 02, 14 say ' VAZAO DE PROJETO CALCULADO QP= ' + STR(QPM3H,5,0) + " M3/H"
@ 03, 14 say ' OU ' + STR(QP,5,3) + " M3/S"
SN = "S"
@ 04, 14 say ' CONFIRMA A VAZAO DE PROJETO, S/N ? ' GET SN PICT "!" VALID SN $ "SN"
READ
IF SN = "N"
  @ 06, 14 say ' DETERMINE A NOVA VAZAO QP [M3/H] --> ' GET QPM3H PICT "9999"
  READ
  QP = QPM3H / 3600
ENDIF

```

```
*** DETERMINACAO DO DIAMETRO ECONOMICO APROXIMADO
```

```
*** DP = K * ((H/24) ** 0.25) * SQRT(QP), ONDE K DEPENDE DA VELOCIDADE DE RECALQUE
```

```
*** CALCULO DO DIAMETRO ECONOMICO APROXIMADO
```

$$DP = K * ((H/24) ** 0.25) * SQRT(QP)$$

$$DPMM = DP * 1000$$

```

@ 07, 14 say ' DIAMETRO APROXIMADO CALCULADO DP= ' + STR(DPMM,5,0) + " MM"
@ 08, 14 say ' -----

```

```
*** DETERMINACAO DOS DIAMETROS COMERCIAIS
```

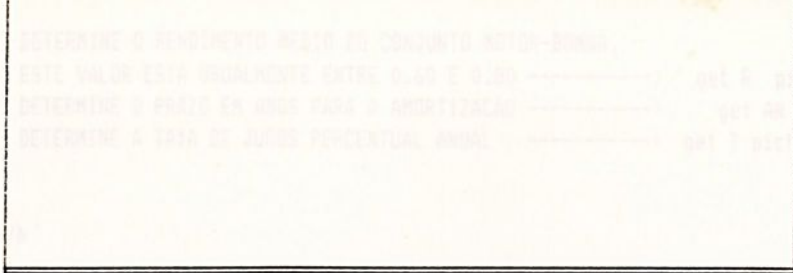
```

@ 08, 03 say '
@ 09, 03 say '
@ 10, 03 say '
@ 11, 03 say '
@ 12, 03 say '

```



@ 13, 03 say
@ 14, 03 say
@ 15, 03 say
@ 16, 03 say
@ 17, 03 say
@ 18, 03 say
@ 19, 03 say
@ 20, 03 say
@ 21, 03 say



@ 09, 05 say ' NESTE ESTUDO COMPARATIVO SERAO CONSIDERADOS OS DIAMETROS COMERCIAIS,'
@ 10, 05 say ' PORTANTO, ESCOLHA DA SEGUINTE FORMA:'
@ 12, 05 say ' D2 = DIAMETRO COMERCIAL MAIS PROXIMO DE DP'
@ 13, 05 say ' D1 = 1o DIAMETRO COMERCIAL ABAIXO DE D2'
@ 14, 05 say ' D3 = 1o DIAMETRO COMERCIAL ACIMA DE D2'
@ 16, 05 say ' DIAMETROS COMERCIAIS EM ORDEM CRESCENTE [mm]'
@ 18, 05 say ' 50 75 100 150 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000 1200'
@ 20, 05 say ' DETERMINE OS DIAMETROS D1, D2, D3 -----> ' get D1 pict "9999"
@ 20, 57 get D2 pict "9999"
@ 20, 64 get D3 pict "9999"

read

SET COLOR TO W/N

clear

SET COLOR TO B/W

@ 01, 03 say

@ 02, 03 say

@ 03, 03 say



SET COLOR TO B/W, W+/B

@ 04, 03 say

@ 05, 03 say

@ 06, 03 say

@ 07, 03 say

@ 08, 03 say

@ 09, 03 say

@ 10, 03 say

@ 11, 03 say

@ 12, 03 say

@ 13, 03 say

@ 14, 03 say

@ 15, 03 say

@ 16, 03 say

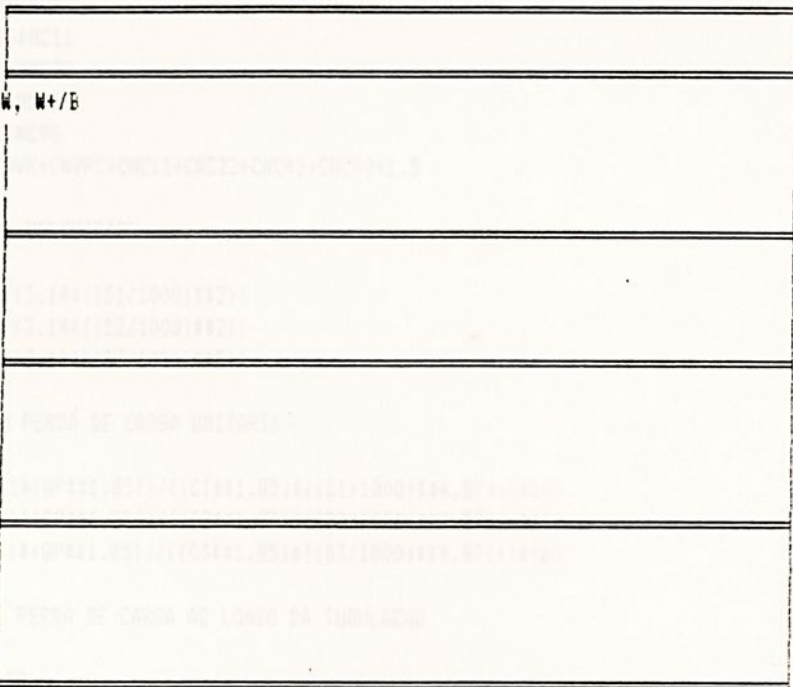
@ 17, 03 say

@ 18, 03 say

@ 19, 03 say

@ 20, 03 say

@ 21, 03 say



SET COLOR TO B/W

@ 02, 18 say ' ENTRE AGORA COM OS DADOS DA ADUTORA'

SET COLOR TO B/W, W+/B

@ 04, 05 say ' EXTENSAO DA ADUTORA (metros) -----> ' get L pict "99999"

@ 05, 05 say ' DETERMINE O DESNIVEL GEOMETRICO HG(m) -----> ' get HG pict "999"

@ 06, 05 say ' DETERMINE A IDADE DA TUBULACAO PARA O CALCULO DE C -----> ' get J pict "99"

@ 08, 05 say ' DETERMINE O NUMERO DE REGISTROS DE GAVETA DA ADUTORA --> ' get NRG pict "99"

@ 09, 05 say ' DETERMINE O NUMERO DE VALVULAS DE RETENCAO DA ADUTORA --> ' get NVR pict "99"

@ 10, 05 say ' DETERMINE O NUMERO DE VALVULAS PE C/ CRIVO DA ADUTORA --> ' get NVPC pict "99"

@ 12, 05 say ' DETERMINE O NUMERO DE CURVAS DE 11,25 GRAUS DA ADUTORA -> ' get NC11 pict "99"

@ 13, 05 say ' DETERMINE O NUMERO DE CURVAS DE 22,50 GRAUS DA ADUTORA -> ' get NC22 pict "99"

@ 14, 05 say ' DETERMINE O NUMERO DE CURVAS DE 45,00 GRAUS DA ADUTORA -> ' get NC45 pict "99"

@ 15, 05 say ' DETERMINE O NUMERO DE CURVAS DE 90,00 GRAUS DA ADUTORA -> ' get NC90 pict "99"



@ 17, 05 say ' DETERMINE O RENDIMENTO MEDIO DO CONJUNTO MOTOR-BOMBA,'
 @ 18, 05 say ' ESTE VALOR ESTA USUALMENTE ENTRE 0.60 E 0.80 -----> ' get R pict "9.99"
 @ 19, 05 say ' DETERMINE O PRAZO EM ANOS PARA A AMORTIZACAO -----> ' get AN pict "99"
 @ 20, 05 say ' DETERMINE A TAXA DE JUROS PERCENTUAL ANUAL -----> ' get T pict "99.99"

READ

SET COLOR TO W/N

CLEAR

DI1 = D1/25

DI2 = D2/25

DI3 = D3/25

SET DECIMALS TO 15

LN1 = LOG(DI1)

LN2 = LOG(DI2)

LN3 = LOG(DI3)

E1 = ((4.304 - LN1) ** 2) / 17.22

E2 = ((4.304 - LN2) ** 2) / 17.22

E3 = ((4.304 - LN3) ** 2) / 17.22

C1 = 1 / (0.00774 + J * 0.0001079 * EXP(E1))

C2 = 1 / (0.00774 + J * 0.0001079 * EXP(E2))

C3 = 1 / (0.00774 + J * 0.0001079 * EXP(E3))

CNRG=0.2*NRG

CNVR=2.50*NVR

CNVPC=4.00*NVPC

CNC11=0.03*NC11

CNC22=0.05*NC22

CNC45=0.2*NC45

CNC90=0.4*NC90

KT=CNRG+CNVR+CNVPC+CNC11+CNC22+CNC45+CNC90+1.5

*** CALCULO DA VELOCIDADE

V1=(4*QP)/(3.14*((D1/1000)**2))

V2=(4*QP)/(3.14*((D2/1000)**2))

V3=(4*QP)/(3.14*((D3/1000)**2))

*** CALCULO DA PERDA DE CARGA UNITARIA

J1=((10.641*(QP**1.85))/((C1**1.85)*((D1/1000)**4.87)))**100

J2=((10.641*(QP**1.85))/((C2**1.85)*((D2/1000)**4.87)))**100

J3=((10.641*(QP**1.85))/((C3**1.85)*((D3/1000)**4.87)))**100

*** CALCULO DA PERDA DE CARGA AO LONGO DA TUBULACAO

JL1=J1*L/100

JL2=J2*L/100

JL3=J3*L/100

*** CALCULO DAS PERDAS DE CARGAS LOCALIZADAS AO LONGO DA TUBULACAO

PL1=(KT*(V1**2))/(2*9.81)

PL2=(KT*(V2**2))/(2*9.81)

PL3=(KT*(V3**2))/(2*9.81)

*** CALCULO DA PERDA DE CARGA TOTAL

JT1=JL1+PL1

JT2=JL2+PL2

JT3=JL3+PL3



*** CALCULO DA ALTURA MANOMETRICA TOTAL

HMT1=(HG+JT1)*1.05

HMT2=(HG+JT2)*1.05

HMT3=(HG+JT3)*1.05

*** CALCULO DA POTENCIA CONSUMIDA

PC1=(1000*QP*HMT1)/(75*R)

PC2=(1000*QP*HMT2)/(75*R)

PC3=(1000*QP*HMT3)/(75*R)

*** CALCULO DA POTENCIA CONSUMIDA POR DIA EM KWh

PCD1=PC1*0.736*H

PCD2=PC2*0.736*H

PCD3=PC3*0.736*H

*** CALCULO DO DISPENDIO ANUAL COM ENERGIA

DAE1 = PCD1*365*0.05241 + PC1*0.736*3.58*12

DAE2 = PCD2*365*0.05241 + PC2*0.736*3.58*12

DAE3 = PCD3*365*0.05241 + PC3*0.736*3.58*12

*** CALCULO DO CUSTO TOTAL DOS TUBOS ASSENTADOS

DO CASE

CASE (D1 = 50)

CT1=12.05*L + NC11*15.01 + NC22*15.82 + NC45*16.03 + NC90*16.13 + NRG*95.23 + NVR*49.6 + NVPC*138.55

CT2=15.64*L + NC11*22.01 + NC22*20.86 + NC45*21.67 + NC90*25.11 + NRG*135.31 + NVR*100.56 + NVPC*356.77

CT3=17.85*L + NC11*28.63 + NC22*28.90 + NC45*31.01 + NC90*33.23 + NRG*186.05 + NVR*168.98 + NVPC*395.66

CASE (D1 = 75)

CT1=15.64*L + NC11*22.01 + NC22*20.86 + NC45*21.67 + NC90*25.11 + NRG*135.31 + NVR*100.56 + NVPC*356.77

CT2=17.85*L + NC11*28.63 + NC22*28.90 + NC45*31.01 + NC90*33.23 + NRG*186.05 + NVR*168.98 + NVPC*395.66

CT3=26.85*L + NC11*51.18 + NC22*50.88 + NC45*54.43 + NC90*61.86 + NRG*277.51 + NVR*347.88 + NVPC*572.46

CASE (D1 = 100)

CT1=17.85*L + NC11*28.63 + NC22*28.90 + NC45*31.01 + NC90*33.23 + NRG*186.05 + NVR*168.98 + NVPC*395.66

CT2=26.85*L + NC11*51.18 + NC22*50.88 + NC45*54.43 + NC90*61.86 + NRG*277.51 + NVR*347.88 + NVPC*572.46

CT3=36.51*L + NC11*68.60 + NC22*71.35 + NC45*85.81 + NC90*101.35 + NRG*439.97 + NVR*582.80 + NVPC*698.34

CASE (D1 = 150)

CT1=26.85*L + NC11*51.18 + NC22*50.88 + NC45*54.43 + NC90*61.86 + NRG*277.51 + NVR*347.88 + NVPC*572.46

CT2=36.51*L + NC11*68.60 + NC22*71.35 + NC45*85.81 + NC90*101.35 + NRG*439.97 + NVR*582.80 + NVPC*698.34

CT3=51.56*L + NC11*104.56 + NC22*108.96 + NC45*109.43 + NC90*137.43 + NRG*617.07 + NVR*811.48 + NVPC*850.59

CASE (D1 = 200)

CT1=36.51*L + NC11*68.60 + NC22*71.35 + NC45*85.81 + NC90*101.35 + NRG*439.97 + NVR*582.80 + NVPC*698.34

CT2=51.56*L + NC11*104.56 + NC22*108.96 + NC45*109.43 + NC90*137.43 + NRG*617.07 + NVR*811.48 + NVPC*850.59

CT3=66.94*L + NC11*120.31 + NC22*128.58 + NC45*165.42 + NC90*208.99 + NRG*999.14 + NVR*1127.92 + NVPC*1020.66

CASE (D1 = 250)

CT1=51.56*L + NC11*104.56 + NC22*108.96 + NC45*109.43 + NC90*137.43 + NRG*617.07 + NVR*811.48 + NVPC*850.59

CT2=66.94*L + NC11*120.31 + NC22*128.58 + NC45*165.42 + NC90*208.99 + NRG*999.14 + NVR*1127.92 + NVPC*1020.66

CT3=87.96*L + NC11*160.32 + NC22*179.75 + NC45*201.75 + NC90*246.72 + NRG*1844.59 + NVR*1511.74 + NVPC*1799.29

CASE (D1 = 300)

CT1=66.94*L + NC11*120.31 + NC22*128.58 + NC45*165.42 + NC90*208.99 + NRG*999.14 + NVR*1127.92 + NVPC*1020.66

CT2=87.96*L + NC11*160.32 + NC22*179.75 + NC45*201.75 + NC90*246.72 + NRG*1844.59 + NVR*1511.74 + NVPC*1799.29

CT3=106.15*L + NC11*201.24 + NC22*226.67 + NC45*252.83 + NC90*458.69 + NRG*2122.41 + NVR*1858.92 + NVPC*2070.46

CASE (D1 = 350)

CT1=87.96*L + NC11*160.32 + NC22*179.75 + NC45*201.75 + NC90*246.72 + NRG*1844.59 + NVR*1511.74 + NVPC*1799.29

CT2=106.15*L + NC11*201.24 + NC22*226.67 + NC45*252.83 + NC90*458.69 + NRG*2122.41 + NVR*1858.92 + NVPC*2070.46

CT3=124.18*L + NC11*239.24 + NC22*260.39 + NC45*380.35 + NC90*559.67 + NRG*2655.54 + NVR*2362.79 + NVPC*2123.40

CASE (D1 = 400)

CT1=106.15*L + NC11*201.24 + NC22*226.67 + NC45*252.83 + NC90*458.69 + NRG*2122.41 + NVR*1858.92 + NVPC*2070.46



CT2=124.18*L + NC11*239.24 + NC22*260.39 + NC45*380.35 + NC90*559.67 + NRG*2655.54 + NVR*2362.79 + NVPC*2123.40
 CT3=142.24*L + NC11*277.66 + NC22*294.11 + NC45*507.87 + NC90*660.65 + NRG*3188.68 + NVR*2836.55 + NVPC*3604.16
 CASE (D1 = 450)
 CT1=124.18*L + NC11*239.24 + NC22*260.39 + NC45*380.35 + NC90*559.67 + NRG*2655.54 + NVR*2362.79 + NVPC*2123.40
 CT2=142.24*L + NC11*277.66 + NC22*294.11 + NC45*507.87 + NC90*660.65 + NRG*3188.68 + NVR*2836.55 + NVPC*3604.16
 CT3=184.10*L + NC11*591.10 + NC22*660.69 + NC45*849.44 + NC90*917.97 + NRG*5237.75 + NVR*4234.95 + NVPC*5496.46
 CASE (D1 = 500)
 CT1=142.24*L + NC11*277.66 + NC22*294.11 + NC45*507.87 + NC90*660.65 + NRG*3188.68 + NVR*2836.55 + NVPC*3604.16
 CT2=184.10*L + NC11*591.10 + NC22*660.69 + NC45*849.44 + NC90*917.97 + NRG*5237.75 + NVR*4234.95 + NVPC*5496.46
 CT3=224.23*L + NC11*785.68 + NC22*870.71 + NC45*1096.04 + NC90*1298.03 + NRG*8690.01 + NVR*5208.78 + NVPC*5693.89
 CASE (D1 = 600)
 CT1=184.10*L + NC11*591.10 + NC22*660.69 + NC45*849.44 + NC90*917.97 + NRG*5237.75 + NVR*4234.95 + NVPC*5496.46
 CT2=224.23*L + NC11*785.68 + NC22*870.71 + NC45*1096.04 + NC90*1298.03 + NRG*8690.01 + NVR*5208.78 + NVPC*5693.89
 CT3=273.18*L + NC11*931.00 + NC22*1161.03 + NC45*1422.50 + NC90*1722.47 + NRG*10890.65 + NVR*6628.93 + NVPC*6947.25
 CASE (D1 = 700)
 CT1=224.23*L + NC11*785.68 + NC22*870.71 + NC45*1096.04 + NC90*1298.03 + NRG*8690.01 + NVR*5208.78 + NVPC*5693.89
 CT2=273.18*L + NC11*931.00 + NC22*1161.03 + NC45*1422.50 + NC90*1722.47 + NRG*10890.65 + NVR*6628.93 + NVPC*6947.25
 CT3=330.92*L + NC11*1269.65 + NC22*1470.61 + NC45*1783.42 + NC90*2211.25 + NRG*13634.50 + NVR*8199.76 + NVPC*8489.51
 CASE (D1 = 800)
 CT1=273.18*L + NC11*931.00 + NC22*1161.03 + NC45*1422.50 + NC90*1722.47 + NRG*10890.65 + NVR*6628.93 + NVPC*6947.25
 CT2=330.92*L + NC11*1269.65 + NC22*1470.61 + NC45*1783.42 + NC90*2211.25 + NRG*13634.50 + NVR*8199.76 + NVPC*8489.51
 CT3=388.37*L + NC11*1279.88 + NC22*1754.45 + NC45*2177.45 + NC90*2765.35 + NRG*16533.54 + NVR*9917.85 + NVPC*10320.7
 CASE (D1 = 900)
 CT1=330.92*L + NC11*1269.65 + NC22*1470.61 + NC45*1783.42 + NC90*2211.25 + NRG*13634.50 + NVR*8199.76 + NVPC*8489.51
 CT2=388.37*L + NC11*1279.88 + NC22*1754.45 + NC45*2177.45 + NC90*2765.35 + NRG*16533.54 + NVR*9917.85 + NVPC*10320.7
 CT3=520.53*L + NC11*2151.49 + NC22*3095.24 + NC45*3572.83 + NC90*4073.03 + NRG*19836.00 + NVR*13784.15 + NVPC*14849.9

ENDCASE

*** CALCULO DO CUSTO DO MOTOR+BOMBA

CMB1=(PC1*26.98+84.17+10200)*2
 CMB2=(PC2*26.98+84.17+10200)*2
 CMB3=(PC3*26.98+84.17+10200)*2
 IF(QPM3H <= 1000)
 CMB1=(PC1*26.98+84.17+8500)*2
 CMB2=(PC2*26.98+84.17+8500)*2
 CMB3=(PC3*26.98+84.17+8500)*2
 ENDIF
 IF(QPM3H <= 550)
 CMB1=(PC1*26.98+84.17+7500)*2
 CMB2=(PC2*26.98+84.17+7500)*2
 CMB3=(PC3*26.98+84.17+7500)*2
 ENDIF
 IF(QPM3H <= 300)
 CMB1=(PC1*26.98+84.17+5500)*2
 CMB2=(PC2*26.98+84.17+5500)*2
 CMB3=(PC3*26.98+84.17+5500)*2
 ENDIF
 IF(QPM3H <= 100)
 CMB1=(PC1*26.98+84.17+2800)*2
 CMB2=(PC2*26.98+84.17+2800)*2
 CMB3=(PC3*26.98+84.17+2800)*2
 ENDIF

*** CALCULO DO CUSTO TOTAL DOS TUBOS+MOTORES+BOMBAS

CTMB1=CT1+CMB1
 CTMB2=CT2+CMB2
 CTMB3=CT3+CMB3

*** CALCULO DA AMORTIZACAO ANUAL E JUROS REFERENTES A TUBOS E MOTORES+



*** BOMBAS

I=T/100

ATMB1=CTMB1*(I*((1+I)**AN))/(((1+I)**AN)-1)

ATMB2=CTMB2*(I*((1+I)**AN))/(((1+I)**AN)-1)

ATMB3=CTMB3*(I*((1+I)**AN))/(((1+I)**AN)-1)

*** CALCULO DO DISPENDIO ANUAL GLOBAL

DAG1=ATMB1+DAE1

DAG2=ATMB2+DAE2

DAG3=ATMB3+DAE3

*** FORMATAÇÃO DA SAÍDA DOS RESULTADOS

SET COLOR TO B/W

clear

SET COLOR TO W/R

@ 00, 10 say 'RESULTADOS OBTIDOS - QUADRO COMPARATIVO QP = M3/H

@ 00, 57 say str(QPM3H,4)

SET COLOR TO B/W

@ 02, 00 say 'DIAMETRO [mm]>

@ 03, 00 say 'TUBOS DE FERRO FUNDIDO COM .. ANOS DE USO'

@ 04, 00 say 'VALOR DO COEFICIENTE C DE HAZEN-WILLIAMS...>

@ 05, 00 say 'VELOCIDADE DE ESCOAMENTO [m/s]>

@ 06, 00 say 'PERDA DE CARGA UNITARIA J [m/100m]>

@ 07, 00 say 'PERDA DE CARGA AO LONGO DA TUBULACAO JxL .>

@ 08, 00 say 'PERDAS LOCALIZADAS>

@ 09, 00 say 'PERDA DE CARGA TOTAL [m]>

@ 10, 00 say 'ALTURA MANOMETRICA TOTAL [m]>

@ 11, 00 say 'POTENCIA CONSUMIDA [CV]>

@ 12, 00 say 'ENERGIA CONSUMIDA POR DIA [kWh]>

@ 13, 00 say 'DISPENDIO ANUAL COM ENERGIA [\$].....>

@ 14, 00 say 'CUSTO TOTAL DOS TUBOS ASSENTADOS [\$]>

@ 15, 00 say 'CUSTO DE 2 CJTOS MOTOR+BOMBA [\$]>

@ 16, 00 say 'CUSTO TOTAL DOS TUBOS+MOTOR+BOMBA [\$]>

@ 17, 00 say 'AMORTIZACAO ANUAL E JUROS DO CUSTO TOTAL...>

@ 19, 00 say 'DISPENDIO ANUAL GLOBAL [\$]>

@ 02, 48 say D1 pict '99999'

@ 03, 27 say str(J,2)

@ 04, 48 say C1 pict '99999'

@ 05, 46 say V1 pict '99999.99'

@ 06, 46 say J1 pict '99999.99'

@ 07, 46 say JL1 pict '99999.99'

@ 08, 46 say PL1 pict '99999.99'

@ 09, 46 say JT1 pict '99999.99'

@ 10, 46 say HMT1 pict '99999.99'

@ 11, 46 say PC1 pict '99999.99'

@ 12, 46 say PCD1 pict '99999.99'

@ 13, 44 say DAE1 pict '9999999.99'

@ 14, 44 say CT1 pict '9999999.99'

@ 15, 44 say CMB1 pict '9999999.99'

@ 16, 44 say CTMB1 pict '9999999.99'

@ 17, 44 say ATMB1 pict '9999999.99'

@ 19, 44 say DAG1 pict '9999999.99'

@ 02, 60 say D2 pict '99999'

@ 04, 60 say C2 pict '99999'

@ 05, 58 say V2 pict '99999.99'

@ 06, 58 say J2 pict '99999.99'



```

@ 07, 58 say JL2 pict '99999.99'
@ 08, 58 say PL2 pict '99999.99'
@ 09, 58 say JT2 pict '99999.99'
@ 10, 58 say HMT2 pict '99999.99'
@ 11, 58 say PC2 pict '99999.99'
@ 12, 58 say PCD2 pict '99999.99'
@ 13, 56 say DAE2 pict '9999999.99'
@ 14, 56 say CT2 pict '9999999.99'
@ 15, 56 say CMB2 pict '9999999.99'
@ 16, 56 say CTMB2 pict '9999999.99'
@ 17, 56 say ATMB2 pict '9999999.99'
@ 19, 56 say DAG2 pict '9999999.99'

```

```

@ 02, 72 say D3 pict '99999'
@ 04, 72 say C3 pict '99999'
@ 05, 70 say V3 pict '99999.99'
@ 06, 70 say J3 pict '99999.99'
@ 07, 70 say JL3 pict '99999.99'
@ 08, 70 say PL3 pict '99999.99'
@ 09, 70 say JT3 pict '99999.99'
@ 10, 70 say HMT3 pict '99999.99'
@ 11, 70 say PC3 pict '99999.99'
@ 12, 70 say PCD3 pict '99999.99'
@ 13, 68 say DAE3 pict '9999999.99'
@ 14, 68 say CT3 pict '9999999.99'
@ 15, 68 say CMB3 pict '9999999.99'
@ 16, 68 say CTMB3 pict '9999999.99'
@ 17, 68 say ATMB3 pict '9999999.99'
@ 19, 68 say DAG3 pict '9999999.99'

```

```

SN = "N"
@ 21, 00 say "FINALIZA COM GRAFICO DA CURVA DA TUBULACAO, S/N ? " GET SN PICT "!" VALID SN $ "SN"
READ
IF SN = "S"
EXIT
ENDIF

```

```

ENDDO
D = D2
C = C2
@ 22, 00 say "DETERMINE O DIAMETRO DA TUBULACAO PARA O GRAFICO..." GET D PICT '99999'
@ 23, 00 say "DETERMINE O VALOR DE C DA TUBULACAO P/ O GRAFICO..." GET C PICT '99999'
READ

```

```

declare titulo[2], ident[2]
declare vetx[10], vety[10]

```

```

titulo[1] = "Curva Carac Tubul. D="+STR(D,4)+"mm L="+STR(L,5)+"m C="+STR(C,3)+"
titulo[2] = "Altura Manometrica H[m] x Vazao Q[m3/h] KT="+STR(KT,4,1)+"
ident[1] = "N"

```

```

! 'a', 'b', e 'd' sao os coeficintes do polinomio.
A = (10.641 * L) / ((C**1.85) * ((D/1000)**4.87) * (3600**1.85))
B = (KT / (2*9.81)) * 16 / ((3.14**2) * ((D/1000)**4) * (3600**2))

```

```

xmin = 50
xmax = 1000
passox = 50
passoy = 10
ymin = H6 - 10
ymax = -1000000
lpt = 1

```



```
SET COLOR TO W/K
```

```
clear screen
```

```
SET COLOR TO B/W, W+/B
```

```
@ 05, 12 say
```

```
@ 06, 12 say
```

```
@ 07, 12 say
```

```
@ 08, 12 say
```

```
@ 09, 12 say
```

```
@ 10, 12 say
```

```
@ 11, 12 say
```

```
@ 12, 12 say
```

```
@ 13, 12 say
```

```
@ 14, 12 say
```

```
@ 15, 12 say
```

```
@ 06,16 say "HG [m] = "
```

```
@ 06,26 say HG pict "999"
```

```
@ 08,16 say "XMIN " get xmin pict "9999"
```

```
@ 09,16 say "XMAX " get xmax pict "9999"
```

```
@ 10,16 say "YMIN " get ymin pict "9999"
```

```
@ 11,16 say "PASSO X" get passoX pict "9999"
```

```
@ 12,16 say "PASSO Y" get passoY pict "9999"
```

```
@ 14,16 say "Qual porta de saida? (LPT1 = 1, LPT2 = 2) " get lpt pict "99"
```

```
read
```

```
! corrige extremos em x
```

```
if xmax < xmin
```

```
  x = xmin
```

```
  xmin = xmax
```

```
  xmax = x
```

```
endif
```

```
npto = (xmax-xmin)/passox + 1
```

```
declare vetx[npto], vety[npto]
```

```
x = xmin
```

```
for i = 1 to npto
```

```
  vetx[i] = x
```

```
  vety[i] = ( A * X**1.85 + B * X**2 + HG )
```

```
  if vety[i] > ymax
```

```
    ymax = vety[i]
```

```
  endif
```

```
  if vety[i] < ymin
```

```
    ymin = vety[i]
```

```
  endif
```

```
  x = x + passox
```

```
next
```

```
BC_INIC(0, 1)                    && entra no contexto CLBC
```

```
BC_GDREFZ(1, 1, 1, 0)            && define as linhas de referencia de
```

```
  && zeros
```

```
BC_GABJAN(0, 0, 1, 1, 1, 0)      && abre janela para grafico
```

```
BC_GDLEGE(1, 0.020, 0.040, 0.0, 0)
```

```
BC_GDTITU(1, 0.020, 0.040, 0.0, 0)
```

```
BC_GDIDEN(1, 0.015, 0.040, 0.0, 0)
```

```
! desenha eixos
```

```
BC_GEIXOS(xmin, ymin, xmax, ymax, passox, passoY, ident, ident, :
```

```
  "G", "H", 1)
```

```
BC_GLINHA(titulo, npto, vetx, vety, 1, 0) && desenha grafico de linha
```

```
inkey(0)
```



```

BC_GFEJAN()                && fecha janela de graficos
BC_FIM(0)                   && sai do contexto CLBC
SET COLOR TO B/W, W+/B
@ 05, 05 say '
@ 06, 05 say '
@ 07, 05 say '
@ 06, 21 say "ESC SAI, OUTRA TECLA IMPRIME O GRAFICO "
TECLA = INKEY(0)
IF TECLA <> 27
    declare vetat[8]        && vetor de atributos para a inicializacao
                             && da controladora (de impressora).

    vetat[1] = 7            && numero de parametros a serem configurados
    vetat[2] = 0            && nao rodado
    vetat[3] = 80           && numero de colunas da area util do papel
    vetat[4] = 1            && numero de paginas da area util do papel
    vetat[5] = 1            && impressao com densidade dupla
    vetat[6] = 0            && modo normal (nao negativo)
    vetat[7] = lpt           && porta de comunicacao (1 = LPT1, 2 = LPT2)
    vetat[8] = 9            && tamanho de uma pagina de papel (em polegadas)

    BC_INIC(0, 1)           && entra no contexto CLBC
    BC_GDREFZ(1, 1, 1, 0)   && define as linhas de referencia de
                             && zeros

    BC_INICTR(60, vetat)
    BC_GABJAN(0, 0, 1, 1, 1, 0) && abre janela para grafico

    BC_GDLEGE(1, 0.020, 0.040, 0.0, 0)
    BC_GDTITU(1, 0.020, 0.040, 0.0, 0)
    BC_GDIDEN(1, 0.015, 0.040, 0.0, 0)

    * desenha eixos
    BC_BEIXOS(xmin, ymin, xmax, ymax, passoX, passoY, ident, ident, ;
              "Q", "H", 1)

    BC_GLINHA(titulo, npto, vetx, vety, 1, 0) && desenha grafico de linha
    inkey(0)
    vetat[1] = 0
    BC_INICTR(11, vetat)
    BC_GFEJAN()              && fecha janela de graficos
    BC_FIM(0)                 && sai do contexto CLBC
ENDIF
SET COLOR TO B/W, W+/B
SN = "N"
@ 07, 05 say '
@ 08, 05 say '
@ 09, 05 say '
*INKEY(0)
@ 08, 21 SAY "GRAVA O ULTIMO RESULTADO ?" GET SN PICT "!" VALID SN $ "SN"
READ
@ 08, 21 SAY SPACE(33)

IF SN = "S"
    VARG = SPACE(20)
    @ 08, 08 SAY "INFORME O NOME DO ARQUIVO A SER CRIADO. ARG.:"
        GET VARG PICT"@"

    READ
    IF LASTKEY() <> 27
        CRIA_SAIDA(VARG)
    ENDIF
ENDIF
@ 08, 07 SAY SPACE(67)

```

```

SN = "R"
@ 08, 21 SAY "(R)ETORNA OU (F)INALIZA R/F ?" GET SN PICT "!" VALID SN $ "RF"
READ
IF SN = "F"
  EXIT
ENDIF
ENDDO
RETURN

```

```

-----
FUNCTION CRIA_SAIDA
PARAMETER ARQUIVO

```

```

SET PRINT TO &VARQ
SET CONSOLE OFF
SET PRINT ON

```

```

? ' ARQUIVO: ' + ARQUIVO

```

```

? ''
? ' POPULACAO A SER ABASTECIDA -----> '+STR(P,7)+'''
? ' COEFICIENTE DO DIA DE MAIOR CONSUMO K1 -----> ' +STR(K1,4,2)+'''
? ' COEFICIENTE DA HORA DE MAIOR CONSUMO K2 -----> ' +STR(K2,4,2)+'''
? ' CONSUMO PER CAPITA DIARIO EM LITROS/HAB/DIA -----> ' +STR(CPD,4)+'''
? ' VALOR DE K DA FORMULA DE BRESSE -----> ' +STR(K,4,2)+'''
? ' NUMERO DE HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA POR DIA -----> ' +STR(H,2)+'''

```

```

? ''
? ' VAZAO DE PROJETO QP EM M3/H -----> ' +STR(QPM3H,4)+'''
? ''
? ' D1 =' +STR(D1,4)
? ' D2 =' +STR(D2,4)
? ' D3 =' +STR(D3,4)

```

```

? ''
? ' EXTENSAO DA ADUTORA (metros) -----> '+STR(L,5)+'''
? ' DESNIVEL GEOMETRICO HG(m) -----> ' +STR(HG,3)+'''
? ' IDADE DA TUBULACAO PARA O CALCULO DE C -----> ' +STR(J,2)+'''
? ' NUMERO DE REGISTROS DE GAVETA DA ADUTORA --> ' +STR(NRG,2)+'''
? ' NUMERO DE VALVULAS DE RETENCAO DA ADUTORA --> ' +STR(NVR,2)+'''
? ' NUMERO DE VALVULAS PE C/ CRIVO DA ADUTORA --> ' +STR(NVPC,2)+'''
? ''
? ' NUMERO DE CURVAS DE 11,25 GRAUS DA ADUTORA -> ' +STR(NC11,2)+'''
? ' NUMERO DE CURVAS DE 22,50 GRAUS DA ADUTORA -> ' +STR(NC22,2)+'''
? ' NUMERO DE CURVAS DE 45,00 GRAUS DA ADUTORA -> ' +STR(NC45,2)+'''
? ' NUMERO DE CURVAS DE 90,00 GRAUS DA ADUTORA -> ' +STR(NC90,2)+'''

```

```

? ''
? ' RENDIMENTO MEDIO DO CONJUNTO MOTOR-BOMBA ---> ' +STR(R,4,2)+'''
? ' PRAZO EM ANOS PARA A AMORTIZACAO -----> ' +STR(AN,2)+'''
? ' TAXA DE JUROS PERCENTUAL ANUAL -----> ' +STR(T,5,2)+'''

```

```

? ''
? ' KT = ' +STR(KT,5,2)

```

```

? ''
? ' DIAMETRO [mm] .....> ' +STR(D1,4)+' ' +STR(D2,4)+' ' +STR(D3,4)+'''
? ''
? ' VALOR DO COEFICIENTE C DE HAZEN-WILLIAMS...> ' +STR(C1,3)+' ' +STR(C2,3)+' ' +STR(C3,3)+'''
? ' VELOCIDADE DE ESCOAMENTO [M/S].....> ' +STR(V1,6,2)+' ' +STR(V2,6,2)+' ' +STR(V3,6,2)+'''
? ' PERDA DE CARGA UNITARIA J [m/100m] .....> ' +STR(J1,6,2)+' ' +STR(J2,6,2)+' ' +STR(J3,6,2)+'''
? ' PERDA DE CARGA AO LONGO DA TUBULACAO JxL .> ' +STR(JL1,6,2)+' ' +STR(JL2,6,2)+' ' +STR(JL3,6,2)+'''
? ' PERDAS LOCALIZADAS .....> ' +STR(PL1,6,2)+' ' +STR(PL2,6,2)+' ' +STR(PL3,6,2)+'''

```



```

? ' PERDA DE CARGA TOTAL [m] .....> ' +STR(JT1,6,2)+' ' +STR(JT2,6,2)+' ' +STR(JT3,6,2)+'
? ' ALTURA MANOMETRICA TOTAL [m] .....> ' +STR(HMT1,6,2)+' ' +STR(HMT2,6,2)+' ' +STR(HMT3,6,2)+'
? ' POTENCIA CONSUMIDA [CV] .....> ' +STR(PC1,10,2)+' ' +STR(PC2,10,2)+' ' +STR(PC3,10,2)+'
? ' ENERGIA CONSUMIDA POR DIA [KWh] .....> ' +STR(PCD1,10,2)+' ' +STR(PCD2,10,2)+' ' +STR(PCD3,10,2)+'
? ' DISPENDIO ANUAL COM ENERGIA [$].....> ' +STR(DAE1,10,2)+' ' +STR(DAE2,10,2)+' ' +STR(DAE3,10,2)+'
? ' CUSTO TOTAL DOS TUBOS ASSENTADOS [$] .....> ' +STR(CT1,10,2)+' ' +STR(CT2,10,2)+' ' +STR(CT3,10,2)+'
? ' CUSTO DE 2 CJTOS MOTOR+BOMBA [$] .....> ' +STR(CMB1,10,2)+' ' +STR(CMB2,10,2)+' ' +STR(CMB3,10,2)+'
? ' CUSTO TOTAL DOS TUBOS+MOTOR+BOMBA [$] .....> ' +STR(CTMB1,10,2)+' ' +STR(CTMB2,10,2)+' ' +STR(CTMB3,10,2)+'
? ' AMORTIZACAO ANUAL E JUROS DO CUSTO TOTAL...> ' +STR(ATMB1,10,2)+' ' +STR(ATMB2,10,2)+' ' +STR(ATMB3,10,2)+'
? ' DISPENDIO ANUAL GLOBAL [$] .....> ' +STR(DAG1,10,2)+' ' +STR(DAG2,10,2)+' ' +STR(DAG3,10,2)+'
? ''
? ''
? ''

```

```

? ' EQUACAO DA CURVA CARACTERISTICA DA TUBULACAO'
? ' D[m] = ' +STR(D,4)
? ' C = ' +STR(C,4)
? ' H (Q) = ' +STR(A,10,8)+' * Q**1.85 +' +STR(B,10,8)+' * Q**2 +' +STR(HG,5,1)+'
? ''
? ''
? ''

```

```

? ' + DTDC( DATE() ) + ' - ' + TIME()

```

```

SET PRINT OFF
SET PRINT TO
SET CONSOLE ON
RETURN( "" )

```

LISTAGEM DO PROGRAMA 2

CÁLCULO DAS VAZÕES DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO PELO
MÉTODO DE HARDY-CROSS



```
#####
### Tese de mestrado - Deste Energia      11111
### CALCULO DAS VAZÕES DE UMA REDE DE    11111
### DISTRIBUIÇÃO PELO MÉTODO DE HARDY-CROSS. 11111
#####
### FILE NAME: WCD9.PYS
### BY: Celso Eduardo Tona
### DATE: 01/11/1994
```

```
GET TALK OFF
SET BELL OFF
SET STATUS OFF
SET SCORED OFF
SET DATE PRINT
```

APÊNDICE B

```
set key 20 to help
```

```
store 0 to Da, Dab, Dc, Dd, De, Df, Dg, Dh, Di, Dj, Dk, Dl, Dm, Dn, Do, Dp
store 0 to Saa, Sba, Sbc, Sbd, Sbe, Sbf, Sbg, Sbh, Sbi, Sbj, Sbk, Sbl, Sbm, Sbn, Sbo
store 0 to Sga, Sgb, Sgc, Sgd, Sge, Sgf, Sgg, Sgh, Sgi, Sgj, Sgk, Sgl, Sgm, Sgn, Sgo
store 0 to Lga, Lgb, Lgc, Lgd, Lge, Lgf, Lgg, Lgh, Lgi, Lgj, Lgk, Lgl, Lgm, Lgn, Lgo
```

LISTAGEM DO PROGRAMA 2

```
CLIM
```

```
ACABADO
```

```
*****
```

CÁLCULO DAS VAZÕES DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO PELO MÉTODO DE HARDY-CROSS

```
do telapn
```

```
l.....
```

```
calcula ("WCD")
```

```
# 21, 05 say
```

```
# 22, 05 say
```

```
# 23, 05 say
```

APORTE NUMÉRICO PARA INICIAR O PROGRAMA

```
INICIO:
```

```
postscreen (105,60,2377)(ajustes)
```

```
do while 1
```

```
do while 1
```

```
DEICOLOR ("a", "a")
```

```
# 04, 13 say
```

```
# 05, 13 say
```

```
# 06, 13 say
```

```
# 07, 13 say
```

```
# 08, 13 say
```

```
# 09, 13 say
```

```
# 10, 13 say
```

```
# 11, 13 say
```

```
# 12, 13 say
```

```
# 13, 13 say
```

```
# 14, 13 say
```

```
# 15, 13 say
```

```
# 16, 13 say
```

ENTRADA COM OS VALORES DE VAZÃO ADOTADO SOLICITADOS:

VAZÃO DE ENTRADA DE 1 (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE A (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE B (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE C (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE D (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE E (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE F (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE G (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE H (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE I (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE J (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE K (l/s)	-----
VAZÃO DE SAÍDA DE L (l/s)	-----



```

#####
*** Tese de mestrado - Depto Energia      ****
*** CALCULO DAS VAZÕES DE UMA REDE DE    ****
*** DISTRIBUIÇÃO PELO MÉTODO DE HARDY-CROSS. ****
#####
*** FILE NAME: HC20.PRG
*** BY: Celso Eduardo Tuna
*** DATE: 02/11/1994

```

```

SET TALK OFF
SET BELL OFF
SET STATUS OFF
SET SCOREB OFF
SET DATE BRIT

```

set key 28 to help

```

store 0 to Qe, Qsb, Qsc, Qsd, Qse, Qsf, Qsg, Qsh, Qsi, Qab, Qbc, Qcd, Qed, Qbe, Qfe
store 0 to Qaf, Qfg, Qgh, Qeh, Qhi, Qdi, Dab, Dbc, Dcd, Ded, Dbe, Dfe, Daf
store 0 to Dfg, Dgh, Deh, Dhi, Ddi, Lab, Lbc, Lcd, Led, Lbe, Lfe, Laf, Lfg
store 0 to Lfg, Lgh, Leh, Lhi, Ldi, C, Contador

```

CLEAR

do tela00

!-----

TelAntes = savescreen(05,00,23,79)

Cabec = savescreen(00,00,05,79)

do tela99

!-----

setcolor("W/B")

@ 21, 08 say

@ 22, 08 say

@ 23, 08 say

APERTE QUALQUER TECLA PARA INICIAR O PROGRAMA

INKEY(0)

restscreen (05,00,23,79,TelAntes)

do while .T.

do while .T.

SETCOLOR("B/W,W/B")

@ 04, 13 say

@ 05, 13 say

@ 06, 13 say

@ 07, 13 say

@ 08, 13 say

@ 09, 13 say

@ 10, 13 say

@ 11, 13 say

@ 12, 13 say

@ 13, 13 say

@ 14, 13 say

@ 15, 13 say

@ 16, 13 say

ENTRE COM OS VALORES DE VAZAO ABAIXO SOLICITADOS:

```

VAZAO DE ENTRADA Qe [1/s] ----->
VAZAO DE SAIDA EM B Qsb [1/s] ----->
VAZAO DE SAIDA EM C Qsc [1/s] ----->
VAZAO DE SAIDA EM D Qsd [1/s] ----->
VAZAO DE SAIDA EM E Qse [1/s] ----->
VAZAO DE SAIDA EM F Qsf [1/s] ----->
VAZAO DE SAIDA EM G Qsg [1/s] ----->
VAZAO DE SAIDA EM H Qsh [1/s] ----->
VAZAO DE SAIDA EM I Qsi [1/s] ----->

```



```

@ 07, 55 get Qe pict "9999.9"
@ 08, 55 get Qsb pict "9999.9"
@ 09, 55 get Qsc pict "9999.9"
@ 10, 55 get Qsd pict "9999.9"
@ 11, 55 get Qse pict "9999.9"
@ 12, 55 get Qsf pict "9999.9"
@ 13, 55 get Qsg pict "9999.9"
@ 14, 55 get Qsh pict "9999.9"
read

```

```

if lastkey() = 27
  SETCOLOR("W/N")
  clear
  return
endif

```

```

if (Qsb + Qsc + Qsd + Qse + Qsf + Qsg + Qsh) >= Qe
  SAVE SCREEN TO TEMP
  COR_XX = setcolor()
  setcolor("W/R")
  @ 20, 13 to 23,65
  @ 21, 14 say ' ATENCAO: VAZQES DE SAIDA MAIORES QUE A ENTRADA '
  @ 22, 14 say ' VERIFIQUE OS VALORES .... <Enter> '
  inkey(0)
  restore screen from TEMP
  setcolor(COR_XX)
  loop
endif

```

```

SETCOLOR("W/B,W/B")
Qsi = Qe - Qsb - Qsc - Qsd - Qse - Qsf - Qsg - Qsh
@ 15, 55 say Qsi pict "9999.9"

```

```

SETCOLOR("B/W,W/B")

```

```

@ 17, 13 say ' VAZAO DO TRECHO AB [1/s] ----->
@ 18, 13 say ' VAZAO DO TRECHO FE [1/s] ----->
@ 19, 13 say ' VAZAO DO TRECHO BE [1/s] ----->
@ 20, 13 say ' VAZAO DO TRECHO ED [1/s] ----->
@ 21, 13 say '

```

```

@ 17, 55 get Qab pict "9999.9"
@ 18, 55 get Qfe pict "9999.9"
@ 19, 55 get Qbe pict "9999.9"
@ 20, 55 get Qed pict "9999.9"
read

```

```

Qaf = Qe - Qab
Qfg = Qaf - Qfe - Qsf
Qgh = Qfg - Qsg
Qbc = Qab - Qbe - Qsb
Qcd = Qbc - Qsc
Qeh = Qfe + Qbe - Qed - Qse
Qhi = Qgh + Qeh - Qsh
Qdi = Qcd + Qed - Qsd

```

```

SETCOLOR("W/RB")

```

```

if Qab <= 0
  vazao_err("Qab")
  loop

```



```

endif
if Qbc <= 0
    vazao_err("Qbc")
    loop
endif
if Qcd <= 0
    vazao_err("Qcd")
    loop
endif
if Qed <= 0
    vazao_err("Qed")
    loop
endif
if Qbe <= 0
    vazao_err("Qbe")
    loop
endif
if Qfe <= 0
    vazao_err("Qfe")
    loop
endif
if Qaf <= 0
    vazao_err("Qaf")
    loop
endif
if Qfg <= 0
    vazao_err("Qfg")
    loop
endif
if Qgh <= 0
    vazao_err("Qgh")
    loop
endif
if Qeh <= 0
    vazao_err("Qeh")
    loop
endif
if Qhi <= 0
    vazao_err("Qhi")
    loop
endif
if Qdi <= 0
    vazao_err("Qdi")
    loop
endif
endif

```

```

setcolor("W/N")
@ 04, 00 CLEAR TO 24, 79

```

```

SETCOLOR("N/B6,W/B")

```

```

@ 06, 03 say
@ 07, 03 say VAZAO DE AB Qab [1/s] --> VAZAO DE AF Qaf [1/s] -->
@ 08, 03 say VAZAO DE BC Qbc [1/s] --> VAZAO DE FG Qfg [1/s] -->
@ 09, 03 say VAZAO DE CD Qcd [1/s] --> VAZAO DE GH Qgh [1/s] -->
@ 10, 03 say VAZAO DE ED Qed [1/s] --> VAZAO DE EH Qeh [1/s] -->
@ 11, 03 say VAZAO DE BE Qbe [1/s] --> VAZAO DE HI Qhi [1/s] -->
@ 12, 03 say VAZAO DE FE Qfe [1/s] --> VAZAO DE DI Qdi [1/s] -->
@ 13, 03 say
@ 14, 03 say
@ 15, 03 say

```



```

@ 07, 30 say Qab pict "9999.9"
@ 08, 30 say Qbc pict "9999.9"
@ 09, 30 say Qcd pict "9999.9"
@ 10, 30 say Qed pict "9999.9"
@ 11, 30 say Qbe pict "9999.9"
@ 12, 30 say Qfe pict "9999.9"
@ 07, 68 say Qaf pict "9999.9"
@ 08, 68 say Qfg pict "9999.9"
@ 09, 68 say Qgh pict "9999.9"
@ 10, 68 say Qeh pict "9999.9"
@ 11, 68 say Qhi pict "9999.9"
@ 12, 68 say Qdi pict "9999.9"

```

```

SN = "N"
@ 14, 25 say " VALORES DE VAZAO OK S/N ? " GET SN PICT "!" VALID SN $ "SN"
READ
@ 14, 30 clear to 14,60

```

```

if SN = "S"
  exit
endif
enddo

```

```

setcolor("W/N")
@ 05, 00 CLEAR TO 24, 79

```

```

SETCOLOR("N/B6,W/B")

```

```

@ 05, 01 say
@ 06, 01 say
@ 07, 01 say
@ 08, 01 say
@ 09, 01 say
@ 10, 01 say
@ 11, 01 say
@ 12, 01 say
@ 13, 01 say
@ 14, 01 say
@ 15, 01 say
@ 16, 01 say
@ 17, 01 say
@ 18, 01 say
@ 19, 01 say
@ 20, 01 say
@ 21, 01 say
@ 22, 01 say
@ 23, 01 say

```

ENTRE COM OS DADOS DA TUBULACAO ABAIXO SOLICITADOS:	
EXTENSAO DO TRECHO AB [■] --->	EXTENSAO DO TRECHO AF [■] --->
EXTENSAO DO TRECHO BC [■] --->	EXTENSAO DO TRECHO FG [■] --->
EXTENSAO DO TRECHO CD [■] --->	EXTENSAO DO TRECHO GH [■] --->
EXTENSAO DO TRECHO ED [■] --->	EXTENSAO DO TRECHO EH [■] --->
EXTENSAO DO TRECHO BE [■] --->	EXTENSAO DO TRECHO HI [■] --->
EXTENSAO DO TRECHO FE [■] --->	EXTENSAO DO TRECHO DI [■] --->
DIAMETRO DO TRECHO AB [■] -->	DIAMETRO DO TRECHO AF [■] -->
DIAMETRO DO TRECHO BC [■] -->	DIAMETRO DO TRECHO FG [■] -->
DIAMETRO DO TRECHO CD [■] -->	DIAMETRO DO TRECHO GH [■] -->
DIAMETRO DO TRECHO ED [■] -->	DIAMETRO DO TRECHO EH [■] -->
DIAMETRO DO TRECHO BE [■] -->	DIAMETRO DO TRECHO HI [■] -->
DIAMETRO DO TRECHO FE [■] -->	DIAMETRO DO TRECHO DI [■] -->

```

VValido = 0

```

```

do while VValido = 0
  @ 06, 34 get Lab pict "99999"
  @ 09, 34 get Lbc pict "99999"
  @ 10, 34 get Lcd pict "99999"
  @ 11, 34 get Led pict "99999"
  @ 12, 34 get Lbe pict "99999"
  @ 13, 34 get Lfe pict "99999"

  @ 08, 73 get Laf pict "99999"
  @ 09, 73 get Lfg pict "99999"
  @ 10, 73 get Lgh pict "99999"
  @ 11, 73 get Leh pict "99999"
  @ 12, 73 get Lhi pict "99999"

```



```
@ 13, 73 get Ldi pict "9999"  
  
@ 15, 35 get Dab pict "9999"  
@ 16, 35 get Dbc pict "9999"  
@ 17, 35 get Dcd pict "9999"  
@ 18, 35 get Ded pict "9999"  
@ 19, 35 get Dbe pict "9999"  
@ 20, 35 get Dfe pict "9999"
```

```
@ 15, 74 get Daf pict "9999"  
@ 16, 74 get Dfg pict "9999"  
@ 17, 74 get Dgh pict "9999"  
@ 18, 74 get Deh pict "9999"  
@ 19, 74 get Dhi pict "9999"  
@ 20, 74 get Ddi pict "9999"
```

Contador = 0

```
@ 22, 07 say ' DETERMINE O VALOR DE C DA FORMULA DE HAZEN-WILLIANS -> ' get C pict "999"  
read
```

```
VValido = Lab*Lbc*Lcd*Led*Lbe*Lfe*Laf*Lfg*Lgh*Leh*Lhi*Ldi  
VValido = VValido *Dab*Dbc*Dcd*Ded*Dbe*Dfe*Daf*Dfg*Dgh*Deh*Dhi*Ddi  
VValido = VValido *C
```

```
if VValido = 0  
  SAVE SCREEN TO TEMP  
  COR_X = setcolor()  
  setcolor("W/R")  
  @ 21, 13 to 24,65  
  @ 22, 14 say ' ATENCAO: VALORES DEVEM SER POSITIVOS '  
  @ 23, 14 say ' (EXTENSAO) (DIAMETROS) (C) ...<Enter> '  
  inkey(0)  
  restore screen from TEMP  
  setcolor(COR_X)  
  loop  
endif
```

enddo

do while .T.

```
Jab = (10641 * ((ABS(Qab/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Dab/1000)**4.87))  
Jbc = (10641 * ((ABS(Qbc/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Dbc/1000)**4.87))  
Jcd = (10641 * ((ABS(Qcd/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Dcd/1000)**4.87))  
Jed = (10641 * ((ABS(Qed/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Ded/1000)**4.87))  
Jbe = (10641 * ((ABS(Qbe/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Dbe/1000)**4.87))  
Jfe = (10641 * ((ABS(Qfe/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Dfe/1000)**4.87))  
Jaf = (10641 * ((ABS(Qaf/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Daf/1000)**4.87))  
Jfg = (10641 * ((ABS(Qfg/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Dfg/1000)**4.87))  
Jgh = (10641 * ((ABS(Qgh/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Dgh/1000)**4.87))  
Jeh = (10641 * ((ABS(Qeh/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Deh/1000)**4.87))  
Jhi = (10641 * ((ABS(Qhi/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Dhi/1000)**4.87))  
Jdi = (10641 * ((ABS(Qdi/1000))**1.85)) / (C**1.85 * ((Ddi/1000)**4.87))
```

```
Hab = Jab * Lab /1000  
Hbc = Jbc * Lbc /1000  
Hcd = Jcd * Lcd /1000  
Hed = Jed * Led /1000  
Hbe = Jbe * Lbe /1000  
Hfe = Jfe * Lfe /1000  
Haf = Jaf * Laf /1000  
Hfg = Jfg * Lfg /1000  
Hgh = Jgh * Lgh /1000
```



```
Heh = Jeh * Leh / 1000
Hhi = Jhi * Lhi / 1000
Hdi = Jdi * Ldi / 1000
```

```
Contador = Contador + 1
```

```
SomaHI = Hab + Hbe - Hfe - Haf
SomaHII = Hbc + Hcd - Hed - Hbe
SomaHIII = Hfe + Heh - Hgh - Hfg
SomaHIV = Hed + Hdi - Hhi - Heh
SomaH = ABS(SomaHI) + ABS(SomaHII) + ABS(SomaHIII) + ABS(SomaHIV)
```

```
if SomaH > 0.1
```

```
Rab = Hab / Qab
Rbc = Hbc / Qbc
Rcd = Hcd / Qcd
Red = Hed / Qed
Rbe = Hbe / Qbe
Rfe = Hfe / Qfe
Raf = Haf / Qaf
Rfg = Hfg / Qfg
Rgh = Hgh / Qgh
Reh = Heh / Qeh
Rhi = Hhi / Qhi
Rdi = Hdi / Qdi
```

```
SomaRI = Rab + Rbe + Rfe + Raf
SomaRII = Rbc + Rcd + Red + Rbe
SomaRIII = Rfe + Reh + Rgh + Rfg
SomaRIV = Red + Rdi + Rhi + Reh
```

```
DQI = - (SomaHI / (1.85 * SomaRI))
DQII = - (SomaHII / (1.85 * SomaRII))
DQIII = - (SomaHIII / (1.85 * SomaRIII))
DQIV = - (SomaHIV / (1.85 * SomaRIV))
```

```
Qab = Qab + DQI
Qbc = Qbc + DQII
Qcd = Qcd + DQII
Qed = Qed - DQII + DQIV
Qbe = Qbe + DQI - DQII
Qfe = Qfe - DQI + DQIII
Qaf = Qaf - DQI
Qfg = Qfg - DQIII
Qgh = Qgh - DQIII
Qeh = Qeh + DQIII - DQIV
Qhi = Qhi - DQIV
Qdi = Qdi + DQIV
```

```
LOOP
```

```
else
```

```
exit
```

```
endif
```

```
enddo
```

```
!
! CALCULO DAS VELOCIDADES DE ESCOAMENTO
!
```

```
Vab = (4 * ABS((Qab/1000))) / (3.1416 * (Dab/1000)**2)
Vbc = (4 * ABS((Qbc/1000))) / (3.1416 * (Dbc/1000)**2)
Vcd = (4 * ABS((Qcd/1000))) / (3.1416 * (Dcd/1000)**2)
Ved = (4 * ABS((Qed/1000))) / (3.1416 * (Ded/1000)**2)
Vbe = (4 * ABS((Qbe/1000))) / (3.1416 * (Dbe/1000)**2)
```



$V_{fe} = (4 \cdot \text{ABS}((Q_{fe}/1000))) / (3.1416 \cdot (D_{fe}/1000)^{2.5})$
 $V_{af} = (4 \cdot \text{ABS}((Q_{af}/1000))) / (3.1416 \cdot (D_{af}/1000)^{2.5})$
 $V_{fg} = (4 \cdot \text{ABS}((Q_{fg}/1000))) / (3.1416 \cdot (D_{fg}/1000)^{2.5})$
 $V_{gh} = (4 \cdot \text{ABS}((Q_{gh}/1000))) / (3.1416 \cdot (D_{gh}/1000)^{2.5})$
 $V_{eh} = (4 \cdot \text{ABS}((Q_{eh}/1000))) / (3.1416 \cdot (D_{eh}/1000)^{2.5})$
 $V_{hi} = (4 \cdot \text{ABS}((Q_{hi}/1000))) / (3.1416 \cdot (D_{hi}/1000)^{2.5})$
 $V_{di} = (4 \cdot \text{ABS}((Q_{di}/1000))) / (3.1416 \cdot (D_{di}/1000)^{2.5})$

! CALCULO DAS VELOCIDADES MAXIMAS DE CADA TRECHO

$U_{maxab} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{ab}/1000)$
 $U_{maxbc} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{bc}/1000)$
 $U_{maxcd} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{cd}/1000)$
 $U_{maxeo} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{ed}/1000)$
 $U_{maxbe} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{be}/1000)$
 $U_{maxfe} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{fe}/1000)$
 $U_{maxaf} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{af}/1000)$
 $U_{maxfg} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{fg}/1000)$
 $U_{maxgh} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{gh}/1000)$
 $U_{maxeh} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{eh}/1000)$
 $U_{maxhi} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{hi}/1000)$
 $U_{maxdi} = 0.6 + (1.5 \cdot D_{di}/1000)$

SETCOLOR("W/RB,N/GR")

@ 00, 01 say
 @ 01, 01 say
 @ 02, 01 say
 @ 03, 01 say
 @ 04, 01 say
 @ 05, 01 say
 @ 06, 01 say
 @ 07, 01 say
 @ 08, 01 say
 @ 09, 01 say
 @ 10, 01 say
 @ 11, 01 say
 @ 12, 01 say
 @ 13, 01 say
 @ 14, 01 say
 @ 15, 01 say
 @ 16, 01 say
 @ 17, 01 say
 @ 18, 01 say
 @ 19, 01 say
 @ 20, 01 say
 @ 21, 01 say
 @ 22, 01 say
 @ 23, 01 say
 @ 24, 01 say

Resultados Finais apos ... iteracoes C = ...					
Qe [l/s]:	Qsd [l/s]:	Qsg [l/s]:			
Qsb [l/s]:	Qse [l/s]:	Qsh [l/s]:			
Qsc [l/s]:	Qsf [l/s]:	Qsi [l/s]:			
D [mm]	L[m]	Q[l/s]	h[m]	V[m/s]	UMAX[m/s]
TRECHO AB:					
TRECHO BC:					
TRECHO CD:					
TRECHO ED:					
TRECHO BE:					
TRECHO FE:					
TRECHO AF:					
TRECHO FG:					
TRECHO GH:					
TRECHO EH:					
TRECHO HI:					
TRECHO DI:					

SETCOLOR("N/RB,W/B")

@ 01, 47 say str(Contador,3)
 @ 01, 69 say str(C,3)
 @ 03, 17 say Qe pict "9999.9"
 @ 04, 17 say Qsb pict "9999.9"
 @ 05, 17 say Qsc pict "9999.9"
 @ 03, 40 say Qsd pict "9999.9"
 @ 04, 40 say Qse pict "9999.9"
 @ 05, 40 say Qsf pict "9999.9"
 @ 03, 64 say Qsg pict "9999.9"
 @ 04, 64 say Qsh pict "9999.9"



@ 05, 64 say Qsi pict "9999.9"
@ 09, 14 say Dab pict "9999"
@ 10, 14 say Dbc pict "9999"
@ 11, 14 say Dcd pict "9999"
@ 12, 14 say Ded pict "9999"
@ 13, 14 say Dbe pict "9999"
@ 14, 14 say Dfe pict "9999"
@ 15, 14 say Daf pict "9999"
@ 16, 14 say Dfg pict "9999"
@ 17, 14 say Dgh pict "9999"
@ 18, 14 say Deh pict "9999"
@ 19, 14 say Dhi pict "9999"
@ 20, 14 say Ddi pict "9999"

@ 09, 25 say Lab pict "9999"
@ 10, 25 say Lbc pict "9999"
@ 11, 25 say Lcd pict "9999"
@ 12, 25 say Led pict "9999"
@ 13, 25 say Lbe pict "9999"
@ 14, 25 say Lfe pict "9999"
@ 15, 25 say Laf pict "9999"
@ 16, 25 say Lfg pict "9999"
@ 17, 25 say Lgh pict "9999"
@ 18, 25 say Leh pict "9999"
@ 19, 25 say Lhi pict "9999"
@ 20, 25 say Ldi pict "9999"

@ 09, 33 say Qab pict "9999.9"
@ 10, 33 say Qbc pict "9999.9"
@ 11, 33 say Qcd pict "9999.9"
@ 12, 33 say Qed pict "9999.9"
@ 13, 33 say Qbe pict "9999.9"
@ 14, 33 say Qfe pict "9999.9"
@ 15, 33 say Qaf pict "9999.9"
@ 16, 33 say Qfg pict "9999.9"
@ 17, 33 say Qgh pict "9999.9"
@ 18, 33 say Qeh pict "9999.9"
@ 19, 33 say Qhi pict "9999.9"
@ 20, 33 say Qdi pict "9999.9"

@ 09, 44 say Hab pict "99.99"
@ 10, 44 say Hbc pict "99.99"
@ 11, 44 say Hcd pict "99.99"
@ 12, 44 say Hed pict "99.99"
@ 13, 44 say Hbe pict "99.99"
@ 14, 44 say Hfe pict "99.99"
@ 15, 44 say Haf pict "99.99"
@ 16, 44 say Hfg pict "99.99"
@ 17, 44 say Hgh pict "99.99"
@ 18, 44 say Heh pict "99.99"
@ 19, 44 say Hhi pict "99.99"
@ 20, 44 say Hdi pict "99.99"

! @ 11, 52 say VELOCIDADE [m/s]
@ 09, 52 say Vab pict "999.99"
@ 10, 52 say Vbc pict "999.99"
@ 11, 52 say Vcd pict "999.99"
@ 12, 52 say Ved pict "999.99"
@ 13, 52 say Vbe pict "999.99"
@ 14, 52 say Vfe pict "999.99"



```
@ 15, 52 say Vaf pict "999.99"  
@ 16, 52 say Vfg pict "999.99"  
@ 17, 52 say Vgh pict "999.99"  
@ 18, 52 say Veh pict "999.99"  
@ 19, 52 say Vhi pict "999.99"  
@ 20, 52 say Vdi pict "999.99"
```

```
! @ !!, 66 say ' VELOC.MAX. [m/s]'  
@ 07, 66 say Umaxab pict "999.99"  
@ 10, 66 say Umaxbc pict "999.99"  
@ 11, 66 say Umaxcd pict "999.99"  
@ 12, 66 say Umaxed pict "999.99"  
@ 13, 66 say Umaxbe pict "999.99"  
@ 14, 66 say Umaxfe pict "999.99"  
@ 15, 66 say Umaxaf pict "999.99"  
@ 16, 66 say Umaxfg pict "999.99"  
@ 17, 66 say Umaxgh pict "999.99"  
@ 18, 66 say Umaxeh pict "999.99"  
@ 19, 66 say Umaxhi pict "999.99"  
@ 20, 66 say Umaxdi pict "999.99"
```

```
! TrechOk = .I.
```

```
TrechOk = .F.
```

```
if (Umaxab < Vab)
```

```
@ 09, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxbc < Vbc)
```

```
@ 10, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxcd < Vcd)
```

```
@ 11, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxed < Ved)
```

```
@ 12, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxbe < Vbe)
```

```
@ 13, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxfe < Vfe)
```

```
@ 14, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxaf < Vaf)
```

```
@ 15, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxfg < Vfg)
```

```
@ 16, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxgh < Vgh)
```

```
@ 17, 74 say '!!'
```

```
TrechOk = .F.
```

```
endif
```

```
if (Umaxeh < Veh)
```



```

@ 18, 74 say '##'
TrechOk = .F.
endif
if (Umaxhi < Vhi)
@ 19, 74 say '##'
TrechOk = .F.
endif
if (Umaxdi < Vdi)
@ 20, 74 say '##'
TrechOk = .F.
endif

if TrechOk
@ 22, 02 say ' VELOCIDADE SE ENCONTRA DENTRO DOS LIMITES RECOMENDADOS ! <Enter> '
else
@ 22, 02 say ' RECALCULE AUMENTANDO O DIAMETRO DO(S) TRECHO(S) (##) ..<Enter> '
endif

```

```

INKEY(0)
@ 23, 02 say space(70)

SN = "N"
@ 23, 25 say "Grava o ultimo resultado ?" GET SN PICT "!" VALID SN $ "SN"
READ
@ 23, 02 say space(70)

```

```

IF SN = "S"
varq = space(20)
@ 23, 05 say "Informe o nome do arquivo a ser criado. arq.:";
GET varq PICT "@"

read
if lastkey() <> 27
cria_saida(varq)
endif
ENDIF

```

```

@ 23, 02 say space(76)

```

```

SN = "R"
@ 23, 22 say " (R)ETORNA OU (F)INALIZA R/F ? " GET SN PICT "!" VALID SN $ "RF"
READ

```

```

setcolor("W/N")
CLEAR

```

```

IF SN = "F"
EXIT
ENDIF

```

```

restscreen (00,00,05,79,Cabec)

```

```

ENDDO

```

```

RETURN

```

```

|-----|
proc tela00
|-----|
COR_00 = setcolor()
setcolor("W+/R")
@ 00, 08 say '
@ 01, 08 say ' |          CALCULO DAS VAZÕES DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO          |

```



```
@ 02, 08 say ' MÉTODO de HARDY-CROSS - teclé <F1> para ver o esquema
@ 03, 08 say
```

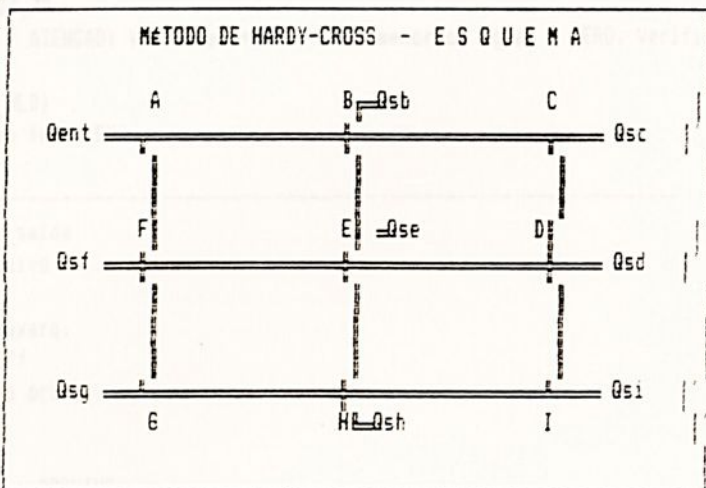
```
setcolor(COR_00)
return
```

```
proc tela99
```

```
TELAVEIG = savescreen(05,00,20,79)
```

```
COR_0LD = setcolor()
setcolor("N/BG")
setcolor("B/W")
```

```
@ 05, 08 say
@ 06, 08 say
@ 07, 08 say
@ 08, 08 say
@ 09, 08 say
@ 10, 08 say
@ 11, 08 say
@ 12, 08 say
@ 13, 08 say
@ 14, 08 say
@ 15, 08 say
@ 16, 08 say
@ 17, 08 say
@ 18, 08 say
@ 19, 08 say
@ 20, 08 say
```



```
setcolor(COR_0LD)
return
```

```
proc HELP
PARAMETERS xx,yy,zz
```

```
COORDx= row()
COORDY= col()
```

```
set key 28 to
```

```
! XX = PROGRAMA
! YY = LINHA
! ZZ = GET
```

```
TelHELP = savescreen(05,00,24,79)
```

```
do tela99
```

```
COR_0LD = setcolor()
setcolor("W/B")
```

```
@ 21, 08 say
@ 22, 08 say
@ 23, 08 say
INKEY(0)
```

APORTE QUALQUER TECLA PARA RETORNAR TELA ANTERIOR

```
restscreen (05,00,24,79,TelHELP)
```



```
setcolor(COR_OLD)
```

```
@ COORDX, COORDY say ""
```

```
set key 26 to help  
return
```

```
-----  
function vazao_err  
parameter TEXTO
```

```
save screen to TEMP
```

```
COR_OLD = setcolor()  
setcolor("W/R")  
@ 22, 00 to 24,79  
@ 23, 01 say " ATENÇÃO: Valor de "+TEXTO+" eh menor ou igual a ZERO. Verifique as vazoes. <Enter> "  
inkey(0)  
setcolor(COR_OLD)  
restore screen from TEMP
```

```
-----  
function cria_saida  
parameter arquivo
```

```
set print to &varq.  
set console off  
#set device to print  
set print on
```

```
? "Arquivo: " + ARGUIVO
```

```
? ""  
? "          RESULTADOS OBTIDOS APOS "+STR(contador,3) +" ITERACOES          C = "+STR(c,3)
```

```
? "Qe [1/s] = "+ STR(Qe,6,1)
```

```
? ""  
? "Qsb [1/s] = "+ STR(Qsb,6,1) +"          Qsf [1/s] = "+ STR(Qsf,6,1)
```

```
? "Qsc [1/s] = "+ STR(Qsc,6,1) +"          Qsg [1/s] = "+ STR(Qsg,6,1)
```

```
? "Qsd [1/s] = "+ STR(Qsd,6,1) +"          Qsh [1/s] = "+ STR(Qsh,6,1)
```

```
? "Qse [1/s] = "+ STR(Qse,6,1) +"          Qsi [1/s] = "+ STR(Qsi,6,1)
```

```
? ""  
? " TRECHO DIAMETRO[mm] EXTENSAO[m] VAZAO[1/s] h [m] VELOC.[m/s] VELOC.MAX.[m/s]"  
? ""
```

```
? " AB "+str(Dab,4)+" "+str(Lab,5)+" "+str(Qab,6,1)+" "+str(Hab,5,2)+" "+str(Vab,5,2)+"
```

```
cr(Umaxab,5,2)
```

```
? " BC "+str(Dbc,4)+" "+str(Lbc,5)+" "+str(Qbc,6,1)+" "+str(Hbc,5,2)+" "+str(Vbc,5,2)+"
```

```
cr(Umaxbc,5,2)
```

```
? " CD "+str(Dcd,4)+" "+str(Lcd,5)+" "+str(Qcd,6,1)+" "+str(Hcd,5,2)+" "+str(Vcd,5,2)+"
```

```
cr(Umaxcd,5,2)
```

```
? " ED "+str(Ded,4)+" "+str(Led,5)+" "+str(Qed,6,1)+" "+str(Hed,5,2)+" "+str(Ved,5,2)+"
```

```
cr(Umaxed,5,2)
```

```
? " BE "+str(Dbe,4)+" "+str(Lbe,5)+" "+str(Qbe,6,1)+" "+str(Hbe,5,2)+" "+str(Vbe,5,2)+"
```

```
cr(Umaxbe,5,2)
```

```
? " FE "+str(Dfe,4)+" "+str(Lfe,5)+" "+str(Qfe,6,1)+" "+str(Hfe,5,2)+" "+str(Vfe,5,2)+"
```

```
cr(Umaxfe,5,2)
```

```
? " AF "+str(Daf,4)+" "+str(Laf,5)+" "+str(Qaf,6,1)+" "+str(Haf,5,2)+" "+str(Vaf,5,2)+"
```

```
cr(Umaxaf,5,2)
```

```
? " FG "+str(Dfg,4)+" "+str(Lfg,5)+" "+str(Qfg,6,1)+" "+str(Hfg,5,2)+" "+str(Vfg,5,2)+"
```

```
cr(Umaxfg,5,2)
```

```
? " GH "+str(Dgh,4)+" "+str(Lgh,5)+" "+str(Qgh,6,1)+" "+str(Hgh,5,2)+" "+str(Vgh,5,2)+"
```

```
cr(Umaxgh,5,2)
```

```
? " EH "+str(Deh,4)+" "+str(Leh,5)+" "+str(Qeh,6,1)+" "+str(Heh,5,2)+" "+str(Veh,5,2)+"
```

```
cr(Umaxeh,5,2)
```


BIBLIOGRAFIA

- 1 - AZEVEDO NETTO, J. M., ALVAREZ, G. A. *Manual de Hidráulica*. 7.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1982. 2v.
- 2 - AZEVEDO NETTO, J. M. et alli. *Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná & Organização Pan-Americana da Saúde, 1973. 281p.
- 3 - BABBITT, H. E., DOLAND, J. J., CLEASBY, J.L. *Abastecimento de Água*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1973. 592p.
- 4 - BRION, L. M. , MAYS, L. W. Methodology for Optimal Pump Operation of Pumping Stations in Water Distribution Systems. *Journal of hydraulic Engineering*. v.117, n.11, p1551-1569, November 1991.
- 5 - CHADWICK, A., MORFETT, J. *Hydraulics in Civil Engineering*. London: Alen & Unwin Ltd., 1986. 492p.
- 6 - CHANSLER J. M. , ROWE, D. R. Microcomputer Analysis of Pipe Networks. *WATER / Engineering & Management*. p36-39, July 1990.
- 7 - GREEN, R.D. An Easy Method to Calculate the Hazen-Williams' Coeficiente C. *Pipe Line Industry*. p37-39, December 1989.
- 8 - HESS, G. et alli. *Engenharia Econômica*. 4.ed. Rio de Janeiro: Forum Editora Ltda, 1974. 273p.
- 9 - JOWITT, P. W. , GERMANOPOULOS, G. Optimal Pump Scheduling in Water-Supply Networks. *Journal of Water Resources Planning and Managemet*. v.118, n.4, p406-422, July/August. 1992.



- 10 - LACKOWITZ, G. W. , PETRETTI, P. J. Improving Energy Efficiency Through Computer Modeling. *Journal AWWA*. p510-515, October 1983.
- 11 - LANSEY, K. E. , MAYS, L. W. Optimization Model for Water Distribution System Design. *Journal of hydraulic Engineering*. v.115, n.10, p1401-1418, October 1989.
- 12 - MACINTYRE, A.J. *Bombas e Instalações de Bombeamento*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1980. 667p.
- 13 - MARTIN, Jean-Marie. *A Economia Mundial da Energia*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1992. 135p.
- 14 - MISAWA, T. et alii. *Construção de Sistemas de Distribuição de Água*. São Paulo: CETESB, 1975, 294p.
- 15 - OLIVEIRA, W. E. et alii. *Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água*. 2.ed. São Paulo: CETESB, 1976. 2v.
- 16 - ORMSBEE, L. E. et alii Methodology for Improving Pump Operation Efficiency. *Journal of Water Resources Planning and Management*. v.115, n.2, p148-164, March 1989.
- 17 - PINI, PUBLICAÇÕES TÉCNICAS. *Tabela de Composição de Preços para Orçamento*. 9.ed. São Paulo: Editora PINI Ltda, 1989.
- 18 - RAMALHO, J. A. A. *CLIPPER : Guia de Referência Básica*. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1988. 169p.
- 19 - SILVESTRE, P. *Hidráulica Geral*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 316p.
- 20 - STREETER, V. L., WYLIE, E.B. *Mecânica dos Fluidos*. 7.ed. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1982. 585p.



21 - TARQUIN, A. J. , DOWDY, J. Optimal Pump Operation in Water Distribution. *Journal of Hydraulic Engineering*. v.115, n.2, p158-168, February 1989.

22 - TELLES, P. C. S. *Tubulações Industriais*. Rio de Janeiro: Livro Técnico S.A. e Editora da Universidade de São Paulo, 1968. 445p.

23 - TIGHE, D. , PRIVETTE, C. V. , MILES, G. E. Additional Power Required to Use Smaller PVC Irrigation Pipe. *Applied Engineering in Agriculture*. v.4, n.1, p34-38, March 1988.

24 - VIDAL, A.G.R. *CLIPPER - Versão Summer 87*. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1989. 2v.

CMB custo de dois conjuntos motor-bomba [US\$]

CT custo dos tubos assentados [US\$]

CTMB custo dos tubos assentados + motores + bombas [US\$]

D diâmetro [m]

DMM diâmetro [mm]

DAE desperdício anual de energia [US\$]

DAG desperdício anual global [US\$]

g aceleração da gravidade [m/s²]

h perda de carga ao longo de um trecho [m]

H número de horas de funcionamento do sistema por dia [h]

Hg altura geométrica [m]

Hman altura manométrica [m]

Hr altura de recalque [m]

i declividade do canal ou conduto [m/m]

J perda de carga unitária [m/m]

Jr idade da tubulação [anos]

JL perda de carga ao longo da tubulação [m]

JT perda de carga total [m]

K coeficiente de perda localizada []



SIMBOLOGIA

<i>A</i>	área	[hec]
<i>AN</i>	unidade de tempo (prazo) para a amortização da dívida	[anos]
<i>ATMB</i>	amortização anual do custo total de tubos + motores + bombas	[US\$]
<i>b</i>	razão de crescimento da população	[]
<i>C</i>	coeficiente de rugosidade das paredes do tubo	[]
<i>Cp</i>	taxa de consumo per capita	[l.hab./dia]
<i>Cr</i>	fator de resistência de Chezy	[]
<i>Cap</i>	volume total do reservatório	[litros]
<i>CMB</i>	custo de dois conjuntos motor-bomba	[US\$]
<i>CT</i>	custo dos tubos assentados	[US\$]
<i>CTMB</i>	custo dos tubos assentados + motores + bombas	[US\$]
<i>D</i>	diâmetro	[m]
<i>DMM</i>	diâmetro	[mm]
<i>DAE</i>	dispêndio anual de energia	[US\$]
<i>DAG</i>	dispêndio anual global	[US\$]
<i>g</i>	aceleração da gravidade	[m/s ²]
<i>h</i>	perda de carga ao longo de um trecho	[m]
<i>H</i>	número de horas de funcionamento do sistema por dia	[h]
<i>Hg</i>	altura geométrica	[m]
<i>Hman</i>	altura manométrica	[m]
<i>Hr</i>	altura de recalque	[m]
<i>I</i>	declividade do canal ou conduto	[m/m]
<i>J</i>	perda de carga unitária	[m/m]
<i>Ji</i>	idade da tubulação	[anos]
<i>JL</i>	perda de carga ao longo da tubulação	[m]
<i>JT</i>	perda de carga total	[m]
<i>K</i>	coeficiente de perda localizada	[]



k_1	coeficiente do dia de maior consumo	[]
k_2	coeficiente da hora de maior demanda	[]
k_3	coeficiente de variação instantânea	[]
K_B	coeficiente da fórmula de Bresse	[]
k_r	coeficiente de reforço	[]
K_t	somatória de todos os coeficientes de perda localizada	[]
L	extensão da rede	[m]
n	coeficiente de Manning	[]
n'	coeficiente de Bazin	[]
$NC11$	número de curva de 11,25 graus	[]
$NC22$	número de curva de 22,50 graus	[]
$NC45$	número de curva de 45,00 graus	[]
$NC90$	número de curva de 90,00 graus	[]
NRG	número de registros de gaveta	[]
$NVPC$	número de válvulas de pé com crivo	[]
NVR	número de válvulas de retenção	[]
P	população	[hab]
PCD	potência consumida por dia	[KWh]
PL	perdas localizadas	[m]
P_s	valor de saturação da população	[hab]
P_t	potência	[CV]
Q	vazão	[m ³ /s]
q_d	vazão específica de distribuição	[l/s/hec]
Q_d	vazão de distribuição	[l/s]
q_m	vazão de distribuição em marcha	[l/s]
Q_P	vazão de projeto	[l/s]
Q_{td}	volume de água consumida em 24 horas	[m ³]
Q_e	vazão de entrada	[l/s]
Q_{sb}	vazão de saída em B	[l/s]



Q_{sc}	vazão de saída em C	[l/s]
Q_{sd}	vazão de saída em D	[l/s]
Q_{se}	vazão de saída em E	[l/s]
Q_{sf}	vazão de saída em F	[l/s]
Q_{sg}	vazão de saída em G	[l/s]
Q_{sh}	vazão de saída em H	[l/s]
Q_{si}	vazão de saída em I	[l/s]
Q_{ab}	vazão do trecho AB	[l/s]
Q_{bc}	vazão do trecho BC	[l/s]
Q_{cd}	vazão do trecho CD	[l/s]
Q_{ed}	vazão do trecho ED	[l/s]
Q_{be}	vazão do trecho BE	[l/s]
Q_{fe}	vazão do trecho FE	[l/s]
Q_{af}	vazão do trecho AF	[l/s]
Q_{fg}	vazão do trecho FG	[l/s]
Q_{gh}	vazão do trecho GH	[l/s]
Q_{eh}	vazão do trecho EH	[l/s]
Q_{hi}	vazão do trecho HI	[l/s]
Q_{di}	vazão do trecho DI	[l/s]
r	incremento populacional	[]
r_c	razão de crescimento geométrico	[]
R	raio hidráulico	[m]
T	tempo	[anos]
T_x	taxa de juros anual	[%]
U_{max}	velocidade máxima de escoamento dentro do tubo	[m/s]
V	velocidade de escoamento dentro do tubo	[m/s]
ΔQ	vazão corretiva	[m ³ /s]
η_b	rendimento da bomba	[]
η_t	rendimento global	[]



η_m rendimento do motor []
 δ peso específico do fluido bombeado [kgf/m³]



