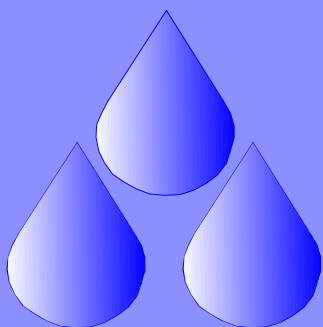


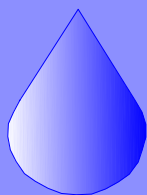
# PNCDA

PROGRAMA NACIONAL DE  
COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA

DOCUMENTOS TÉCNICOS DE APOIO



C O N T R O L E D A P R E S S ã O N A R E D E



Presidência da República  
Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano  
Secretaria de Política Urbana



# D1

SECRETÁRIO ESPECIAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO  
Ovídio de Angelis

COORDENAÇÃO TÉCNICA DOS TRABALHOS  
Pela FUPAM: Ricardo Toledo Silva  
Pela SEPURB: Cláudia Monique Frank de Albuquerque

ENTIDADES PARTICIPANTES DO PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA-PNCDA  
PROTOCOLOS DE COOPERAÇÃO FIRMADOS COM A SEPURB/SEDU/PR

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL - MMA  
Secretaria de Recursos Hídricos – SRH  
Secretaria de Meio Ambiente – SMA

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME  
Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético  
Eletrobrás/Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica - PROCEL

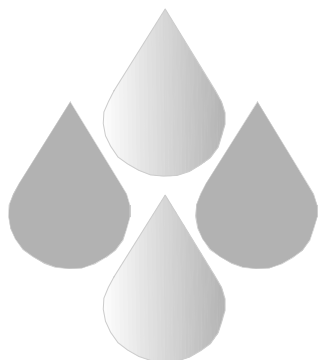
ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental  
ABIMAQ – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos  
ABNT/COBRACON – Associação Brasileira de Normas Técnicas/Comitê Brasileiro da Construção Civil  
AESBE – Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais  
ASFAMAS – Associação Brasileira de Fabricantes de Materiais e Equipamentos para Saneamento  
ASSEMAE – Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento  
EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
FUPAM – Fundação para a Pesquisa Ambiental  
FUSP – Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo  
INFURB-USP – Núcleo de Pesquisa em Informações Urbanas da Universidade de São Paulo  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

---

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCDA  
Esplanada dos Ministérios, Bloco A, 3º Andar, sala 305  
Brasília, DF - CEP 70.054-900  
Fone: (061) 315-1778, Fax: (061) 322-2024

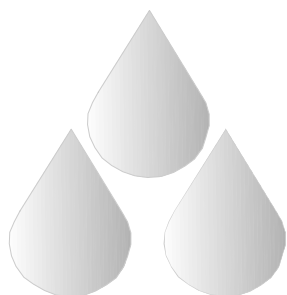
# PNCDA

PROGRAMA NACIONAL DE  
COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA



---

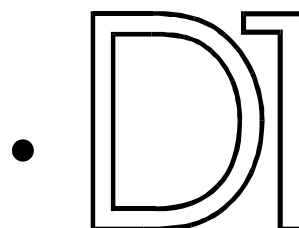
## CONTROLE DA PRESSÃO NA REDE



Paulo Massato Yoshimoto  
Jairo Tardelli Filho  
Guaraci Loreiro Sarzedas

Presidência da República  
Secretaria Especial de  
Desenvolvimento Urbano  
Secretaria de Política Urbana  
Brasília - 1999

DATA  
DOCUMENTOS  
TÉCNICOS  
DE APOIO



O Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água é financiado pela União, através de recursos do Orçamento Geral da União - O.G.U., e está sendo desenvolvido pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República - SEDU/PR, por intermédio de Convênio firmado com a Fundação para a Pesquisa Ambiental - FUPAM da Universidade de São Paulo.

Os Documentos Técnicos de Apoio, após uma versão preliminar, foram apresentados às diversas entidades e prestadores de serviços do Setor Saneamento, além de técnicos especialistas, participantes ou não do Programa, e somente concluídos graças aos comentários, críticas e sugestões enviados ao PNCDA ou discutidos em reuniões técnicas com a equipe da FUPAM e SEPURB/SEDU/PR.

A Coordenação do PNCDA agradece as diversas contribuições recebidas.

Participaram da elaboração deste Documento técnicos da SABESP.

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA	7
INTRODUÇÃO	11
1. CONCEITOS	13
1.1 A Relação Pressão x Volume do Vazamento	13
1.2 A vazão mínima noturna	16
2. CONTROLE DE PRESSÃO	19
2.1 Setorização	19
2.2 Válvulas Redutoras de Pressão (VRP's)	21
2.3 Booster de rede	31
3. GERENCIAMENTO	34
3.1 Controle da Rede	34
3.2 Cadastro/GIS	34
3.3 Softwares de Análise custo-benefício	34
3.4 Modelagem Matemática	35
3.5 Manutenção do Sistema	36
3.6 Abordagem Geral Integrada	37
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
5. BIBLIOGRAFIA	40



## **PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCD**

A criação do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCD, na esfera federal, vem ao encontro de uma antiga demanda do Setor Saneamento, delineada desde início da década de 1980 e sistematizada no “Seminário Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público” (anais publicados, 1986). O evento foi promovido pela então Secretaria de Saneamento do MDU, em articulação com o BNH e executado pelo IPT em colaboração com a USP, apoiados pela ABES, pela ASFAMAS e outras entidades do setor. O objetivo de articulação em âmbito nacional foi na época frustrado pelo fechamento do BNH, associado a um profundo desgaste da organização institucional do saneamento básico na esfera federal. No entanto, algumas iniciativas associadas àquele esforço permaneceram, especialmente na linha de pesquisa em componentes de baixo consumo de água, mediante parcerias entre instituições de pesquisa e fabricantes de aparelhos e equipamentos sanitários.

Em 1994, os estudos que deram origem à série “Modernização do Setor Saneamento” (MPO/ IPEA, 1995 a 1997, 9 vols.) apontaram enfaticamente para a necessidade de se incorporar – no âmbito federal – a coordenação de políticas e programas voltados à conservação e ao uso racional da água de abastecimento público. Em abril de 1997, em articulação com o Ministério do Meio-Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal e com o Ministério das Minas e Energia, o Ministério do Planejamento e Orçamento – por meio do Departamento de Saneamento da SEPURB – finalmente instituiu na esfera federal um programa de conservação e uso racional da água de abastecimento público. Trata-se portanto de um projeto de longa maturação, que sofreu os percalços de um longo período de abandono e que merece ser implementado com todo o cuidado, evitando a saída fácil da adoção irrefletida de soluções isoladas como se fossem respostas universais, por mais eficientes que estas possam se ter mostrado em casos específicos.

Na ocasião foram firmados protocolos de cooperação com entidades civis alinhadas com os objetivos do Programa e em setembro do mesmo ano foi celebrado um primeiro convênio com a Fundação para Pesquisa Ambiental – FUPAM, vinculada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. O convênio teve como escopo a realização de estudos especializados e à organização de um conjunto de Documentos Técnicos de Apoio – DTA às atividades do Programa, nas áreas de planejamento das ações de conservação, de tecnologia dos sistemas públicos de abastecimento de água e de tecnologia dos sistemas prediais de água e esgoto.

O Programa tem por objetivo geral promover uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas. Tem por objetivos específicos definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, concorrentes para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas.

Os 16 DTA's postos em discussão após a primeira rodada de consulta que se seguiu à Fase I do PNCD, refletem a retomada de estudos abrangentes na área e não devem ser vistos como peças acabadas de um programa burocrático. A inclusão do componente “Tecnologia dos Sistemas Públicos” incorpora parte do conteúdo de programas passados de melhoria operacional em controle de perdas no âmbito da conservação urbana de água. Esses conteúdos são agora associados a uma visão mais ampla de combate ao desperdício, segundo a qual se o objetivo de maior eficiência ao uso

da água é buscado em todas as fases de seu ciclo de utilização, desde a captação até o consumo final.

A Fase II do Programa, em 1998, inclui a produção de mais 4 DTA's, sua publicação e a implantação de um sistema de acesso via Internet. Os escopos das fases até agora definidas como objetos de convênio são esquematizados nas figuras 1 e 2, a seguir.

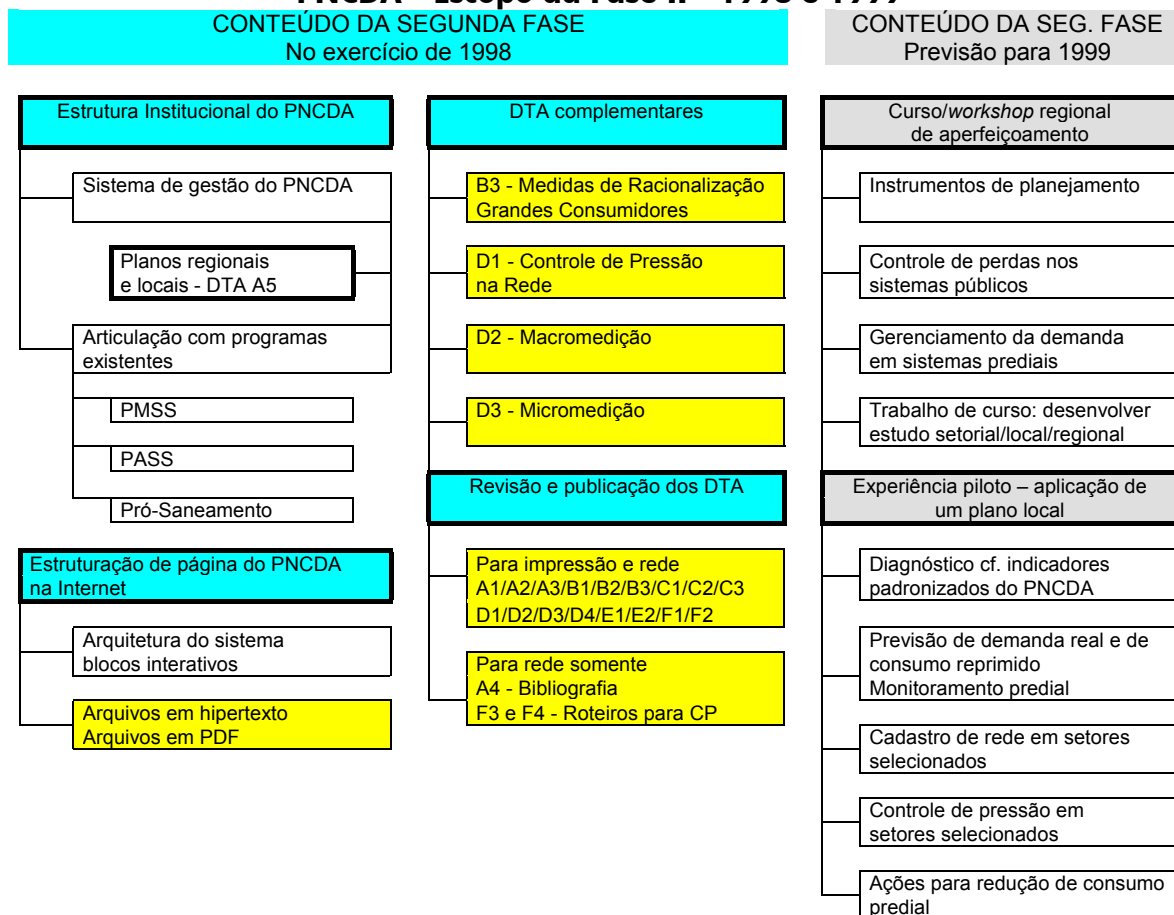
**FIGURA I**  
**PNCDA - Escopo da Fase I - 1997**  
**CONTEÚDO DA PRIMEIRA FASE**  
**Documentos Técnicos de Apoio – DTA**

Planejamento e Gestão Gerenciamento da Demanda	Conservação nos Sistemas Públicos	Conservação nos Sistemas Prediais
A1 - Apresentação do Programa	C1 - Recomendações Gerais e Normas de Referência	E1 - Caracterização/Monitor. do Consumo
A2 - Indicadores de Perdas nos SAA	C2 - Panorama dos Sistemas no País	E2 - Normalização/Qualidade
A3 - Caracterização da Demanda Urbana de Água	C3 - Elementos para Planejamento	F1 - Tecnologias Poupadoras
A4 - Bibliografia Anotada	D1 - Controle de Pressão na Rede	F2 - Produtos Poupadores: Fichas Técnicas
B1 - Elementos de Análise Econômica (Predial)	D2 - Macromedicação	F3* - Códigos Prática (roteiro) Instalações AF/AQ
B2 - Campanhas de Educação Pública	D3 - Micromedicação	F4* - Códigos Prática (roteiro) Ramais Prediais
B3 - Medidas de Racionalização Grandes Consumidores	D4 - Redução de Perdas e Trat. de Lodo em ETA	(*) Depois consolidados em DTA único para CP.

Obs.: Na Fase I os DTA B3, D1, D2 e D3 foram apenas conceituados, sem emissão de texto base.



**FIGURA II**  
**PNCDA - Escopo da Fase II - 1998 e 1999**



**Ovídio de Angelis**

Secretário Especial de Desenvolvimento Urbano/PR

**DTA – DOCUMENTO TÉCNICO DE APOIO D1**

**CONTROLE DE PRESSÃO NA REDE**

## INTRODUÇÃO

A diminuição das perdas físicas de água com a redução das pressões de operação da rede de distribuição é um fenômeno conhecido há muito tempo pelas companhias de saneamento e distribuição de água. Em 1980 foi publicado um extenso relatório sobre Controle de Pressão como parte da National Leakage Initiative – Inglaterra, que se tornou uma referência tradicional da relação entre pressão e volume de vazamento. Trata-se do “National Water Council Standing Committee Report nº 26, July 1980”, que será referenciado neste texto como Relatório 26. Em outubro de 1994, ele foi complementado pela publicação da WRC – Water Research Center denominada “Managing Water Pressure (Report G)”.

O efetivo controle de perdas físicas é feito através de quatro atividades complementares, a saber:

- gerenciamento de pressão;
- controle ativo de vazamentos;
- velocidade e qualidade dos reparos; e
- gerenciamento da infra-estrutura.

O gerenciamento de pressões procura minimizar as pressões do sistema e a faixa de duração de pressões máximas, enquanto assegura os padrões mínimos de serviço para os consumidores. Estes objetivos duais são atingidos pelo projeto específico e setorização dos sistemas de distribuição, pelo controle de bombeamento direto na rede (boosters) ou pela introdução de válvulas redutoras de pressão (VRP's).

O controle ativo de vazamentos se opõe ao controle passivo, que é, basicamente, a atividade de reparar os vazamentos apenas quando se tornam visíveis. A metodologia mais utilizada no controle ativo de vazamentos é a pesquisa de vazamentos não visíveis, realizada através da escuta dos vazamentos (por geofones mecânicos ou eletrônicos e correlacionadores). Essa atividade reduz o tempo de vazamento, ou seja, quanto maior for a frequência da pesquisa, maior será a taxa de vazão anual recuperada. Uma análise de custo-benefício pode definir a melhor frequência de pesquisa a ser realizada em cada área.

Desde o conhecimento da existência de um vazamento, o tempo gasto para sua efetiva localização e seu estancamento é um ponto chave do gerenciamento de perdas físicas. Entretanto é importante assegurar que o reparo seja bem realizado. Uma qualidade ruim do serviço irá fazer com que haja uma reincidência do vazamento horas ou dias após a repressurização da rede de distribuição.

A prática das três atividades mencionadas anteriormente já trazem melhorias à infra-estrutura. Portanto, a substituição de trechos de rede só deve ser realizada quando, após a realização das outras atividades, ainda se detectar índices de perdas elevados na área, pois o custo da substituição é muito oneroso.

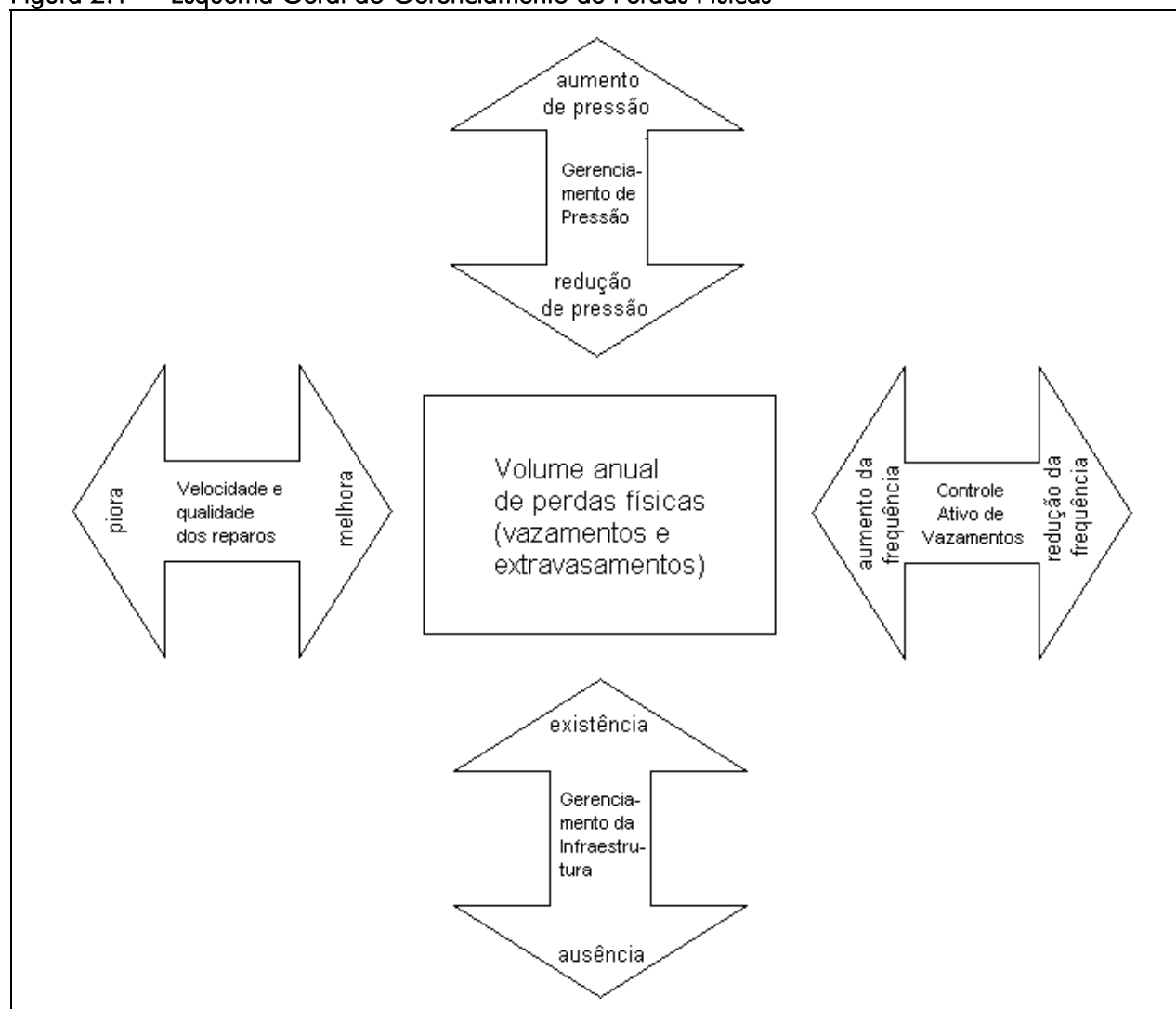
A Figura 2.1 assume que a dimensão do retângulo representa o volume de perdas físicas de um sistema de distribuição num ano, e que está sendo mantido aquele volume pela combinação das quatro atividades mencionadas. Se há um relaxamento de uma destas atividades, as dimensões do retângulo irão aumentar naquela direção. Inversamente, se o volume de perdas precisa ser reduzido, é

necessário incrementar os esforços e o custo anual de uma ou mais atividades afim de se reduzir as dimensões do retângulo.

O controle de pressão possibilita:

- reduzir o volume perdido em vazamentos, economizando recursos de água e custos associados;
- reduzir a freqüência de arrebentamentos de tubulações e conseqüentes danos que têm reparos onerosos, minimizando também as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público usuário de ruas e estradas;
- prover um serviço com pressões mais estabilizadas ao consumidor, diminuindo a ocorrência de danos às instalações internas dos usuários até a caixa d'água (tubulações, registros e bóias); e
- reduzir os consumos relacionados com a pressão da rede, como por exemplo, a rega de jardins.

**Figura 2.1 - Esquema Geral do Gerenciamento de Perdas Físicas**



Fonte: (2)

Quanto à priorização das ações é mostrada a Tabela 2.1, que apresenta uma sugestão de hierarquização das ações para o gerenciamento de vazamentos.

## 1. CONCEITOS

### 1.1 A relação Pressão X Volume do Vazamento

O Relatório 26 descreve os resultados de diversas experiências de controle de pressão efetuadas e apresenta uma curva empírica da relação entre pressão média noturna de uma zona de pressão (AZNP – Average Zone Night Pressure) e o índice de vazamento (Leakage Index) – Figura 3.1.

Tabela 2.1 - Prazos Indicativos das Opções de Gerenciamento de Vazamentos

OPÇÕES DE GERENCIAMENTO DE VAZAMENTOS	Prazo	Ações
POLÍTICA DE REPARO DE VAZAMENTOS	CURTO PRAZO	GERENCIAR A “CARTEIRA” EXISTENTE REDUZIR O TEMPO MÉDIO DE REPARO DE TODOS OS VAZAMENTOS
GERENCIAMENTO DE PRESSÃO	CURTO PRAZO	REDUZIR AS PRESSÕES EXCESSIVAS
	MÉDIO PRAZO	AUMENTAR EXTENSIVAMENTE A SETORIZAÇÃO FAZER UM REFINADO CONTROLE DE PRESSÃO
	LONGO PRAZO	REVISAR PADRÕES DOS SERVIÇOS
CONTROLE ATIVO DE VAZAMENTOS /INSPEÇÃO REGULAR	CURTO PRAZO	AUMENTAR A FREQUÊNCIA DE INSPEÇÃO
	MÉDIO PRAZO	MELHORAR A TECNOLOGIA DE DETECÇÃO
CONTROLE ATIVO DE VAZAMENTOS /DISTRITO PITOMÉTRICO/VAZÃO NOTURNA	CURTO PRAZO	AUMENTAR A FREQUÊNCIA DE COLETA DE DADOS AUMENTAR A FREQUÊNCIA DE INTERVENÇÃO
	MÉDIO PRAZO	COLETAR DADOS PELA TELEMETRIA
	LONGO PRAZO	OTIMIZAR OS TAMANHOS DOS DISTRITOS
MANUTENÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA	CURTO PRAZO	MELHORAR A QUALIDADE DOS REPAROS SUBSTITUIR OS TUBOS DEFEITUOSOS
	MÉDIO PRAZO	REVER ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS DOS TUBOS
		INTRODUZIR MANUTENÇÃO PREVENTIVA
	LONGO PRAZO	DETERMINAR ESTRATÉGIA DE SUBSTITUIÇÃO SELETIVA

Fonte: (2)

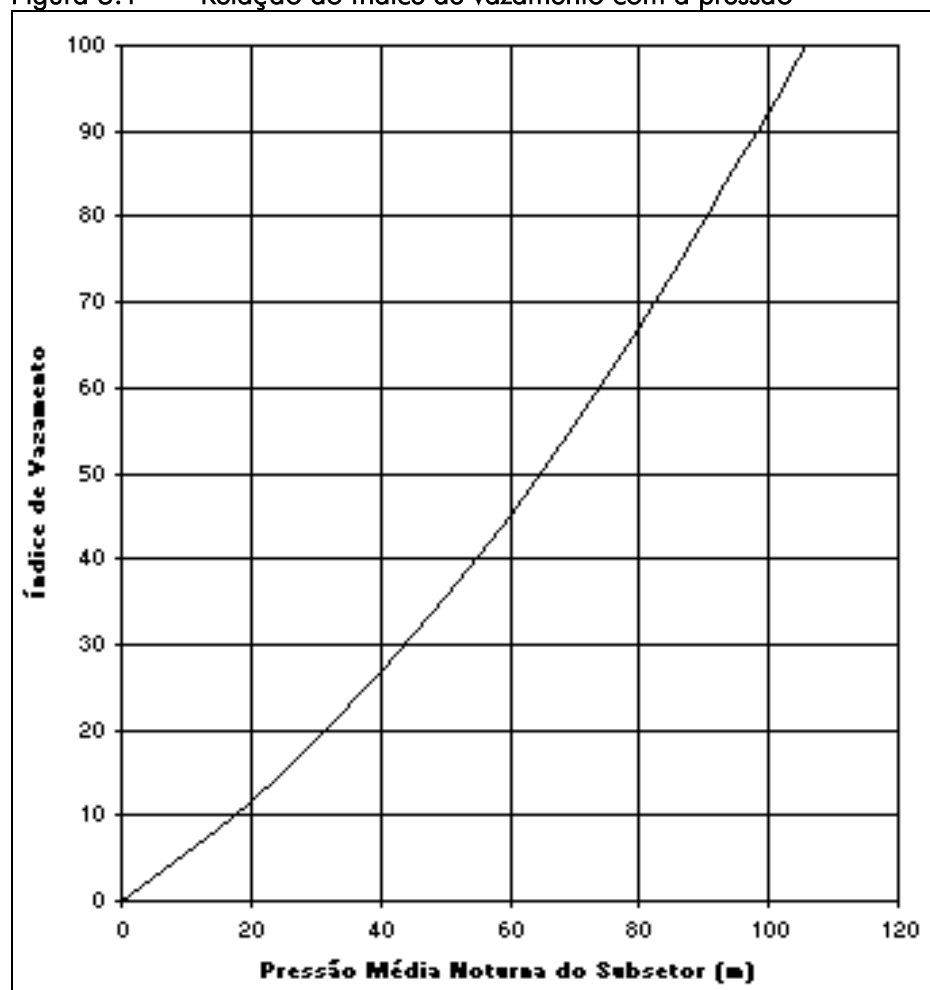
A equação da curva do gráfico resultante é a seguinte:

$$\text{Índice de vazamento (I.V.)} = 0,5 \text{ AZNP} + 0,0042 (\text{AZNP})^2$$

A definição dos termos utilizados na equação é apresentada a seguir:

- ♦ Índice de Vazamento: relacionado com a vazão noturna líquida, representada como a mínima vazão noturna menos os usos não-residenciais estimados (ou medidos). O índice avalia as perdas físicas em função da magnitude das pressões aplicadas.

Figura 3.1 - Relação do Índice de vazamento com a pressão



Fonte: (1)

- ♦ Pressão Média Noturna de um Subsetor (AZNP): num sistema ideal com uma topografia plana e uma disposição equitativa de consumidores, a pressão média noturna será a média da pressão mais baixa e da mais alta, na ocasião da mínima vazão noturna. No entanto, é recomendado que o método a ser adotado selecione um ponto específico do sistema para o controle de pressão, escolhido de tal forma que represente a pressão média noturna da região. O método leva em consideração a topografia, assim como a distribuição das ligações no subsetor. Levando em conta os baixos consumos durante a noite, a pressão média noturna será a uma média das pressão

máximas e mínimas da zona de pressão, registradas quando a demanda é mínima, geralmente no período das 3 às 4 horas da madrugada.

Em áreas com grandes diferenças altimétricas, a pressão média noturna é dada por :

$$AZNP = S \times \text{máxima pressão noturna} + (1-S) \times \text{mínima pressão noturna}$$

onde S é a proporção do sistema com pressões mais elevadas que a média das pressões noturnas mínima e máxima.

Há várias maneiras para o cálculo da pressão média e um método preciso é usar um modelo de análise de rede (descrito com mais detalhes adiante). Um método alternativo é instalar um número de registradores de pressão na área e usar os dados gerados, plotando contornos de pressão dentro de um mapa do sistema de distribuição.

A curva de pressão média noturna da região em relação a vazão noturna líquida foi levantada e sua equação foi estabelecida. As vazões foram transformadas em índice de vazamento com valores entre 0 a 100 pela fatoração dos coeficientes da equação quadrática. Esta relação é usada para prever um novo índice de vazamento comparado ao original pela mudança relativa na média da vazão noturna líquida original, que vai se tornar a nova vazão noturna líquida prevista, conforme a equação abaixo:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{vazão noturna} & & \text{vazão noturna} & & \text{índice de vazamento} & & \text{índice de vazamento} \\ \text{líquida} & & \text{líquida} & \times & \text{com a pressão} & / & \text{com a pressão} \\ \text{prevista} & = & \text{original} & & \text{reduzida} & & \text{original} \end{array}$$

Consequentemente, a redução na vazão noturna líquida pode ser obtida por subtração e pode ser convertida em quantidade diária. Para converter as taxas de vazão noturna em quantidades diárias é necessário tomar o montante de variações de pressão que ocorrem ao longo do período de 24 horas, pois a noite as pressões são mais elevadas que durante o dia. Para permitir essa conversão é conveniente definir o fator noite/dia – T (conforme o Relatório 26), ou seja:

$$\text{Vazamento diário total} = T \times \text{taxa de vazamento noturno.}$$

Nos experimentos realizados na Inglaterra, para a maioria das áreas com variações de pressão durante o dia de cerca de 10 mca, o fator T variou entre valores de 19 e 21 horas. Para uso geral, ou para aplicações sobre todo o sistema de distribuição, um fator de 20 horas é normalmente considerado suficientemente preciso, particularmente quando é admitida certa imprecisão.

Para a determinação do custo anual recuperado devido ao controle da pressão, é utilizada a seguinte expressão:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{custo} & & \text{redução} & & & & \\ \text{anual} & = & \text{na vazão} & \times & 20 & \times & 365 & \times & C \\ \text{R\$} & & & & & & & & \\ \text{recuperado} & & \text{líquida noturna} & & & & & & \end{array}$$

onde a vazão líquida noturna está em metros cúbicos por hora e C é o custo unitário (R\$/m<sup>3</sup>).

Os custos de controle de pressão são para a instalação e manutenção dos equipamentos de redução de pressão. Isto dependerá, em grande parte, do tipo de equipamento, o tamanho e o número de VRPs requeridas e o número de registros necessários para o isolamento da área de atuação.

Dentro do limite atual de conhecimento, o custo da instalação deveria ser amortizado em 5 anos. Assim:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Custo} & & \text{custo} & & \text{custo} \\ \text{anual de} & = & \text{da} & / & \text{anual de} \\ \text{controle de} & & \text{instalação} & 5 & \text{manutenção} \\ \text{pressão} & & & & \end{array}$$

Uma comparação do custo anual recuperado com o custo anual de controle de pressão para alcançar aquela recuperação permitirá a identificação do tipo de ação a ser tomada. Apenas com esta aplicação simplista não é possível dar qualquer diretriz de qual o tamanho total dos benefícios líquidos resultantes das perdas recuperadas antes do controle de pressão ser realmente realizado. Isto dependerá de cada um dos fatores envolvidos, como o tamanho da área de atuação e o custo de obtenção da recuperação.

Recentemente novas pesquisas foram desenvolvidas e novos conceitos empíricos estabelecidos, de modo a atualizar a equação do Relatório 26 e tornar mais precisa a estimativa de diminuição ou aumento das vazões noturnas com a pressão, bem como possibilitar uma melhor análise dos benefícios advindos do controle de pressão, já existindo softwares específicos para isso, como será visto adiante.

Verificou-se que tubos de materiais plásticos tem uma deformação na área de escape do fluído (furo ou trinca), com o aumento da pressão. Havendo aumento da área, conseqüentemente há um aumento do volume do vazamento.

Os resultados experimentais têm chegado à relação entre pressão e vazão da seguinte ordem:

$$Q_2 = Q_1 * (P_2/P_1)^n \quad \text{onde,}$$

$n = 0,5$  para furos em tubos rígidos;

$n = 2,5$  para furos em tubos flexíveis; e

$n = 1,15$  na média geral da rede de distribuição.

Nas condições gerais da rede de distribuição, então, uma diminuição de 10% na pressão implica em uma redução de 11,5% nas vazões dos vazamentos (aproximadamente pode-se dizer que a vazão aumenta ou diminui linearmente com a pressão).

### 1.2 A Vazão Mínima Noturna

A vazão mínima noturna é outro indicador da ocorrência de vazamentos no sistema, pois a proporção dos vazamentos em relação ao consumo legítimo (residenciais e não-residenciais) é maior. Ela geralmente ocorre no período entre 3 e 4 horas da madrugada. Seus componentes estão definidos na Figura 3.2.

A SABESP, através da contratação de serviços de consultoria técnica para determinação da relação entre perdas físicas e variação de pressão na rede (8), obteve, pela realização de experimentos em um



distrito pitométrico da capital de São Paulo, índices-padrão que foram comparados com índices utilizados na Inglaterra.

A Tabela 3.1 mostra esses índices e os valores recomendados para utilização na RMSP.

**Tabela 3.1 - Valores-Padrão para componentes do Consumo Noturno**

	Padrão na Inglaterra	Valor obtido no D.P. da RMSP	Valor recomendado para RMSP
Perdas após a caixa d'água	0,50 l/econ./h	0,425 l/econ./h	0,425 l/econ./h
Uso noturno residencial	0,60 l/hab./h	0,10 l/hab./h	0,10 l/hab./h
Uso noturno não residencial	8,0 l/ñ res./h	0,6 l/ñ res./h	(1)

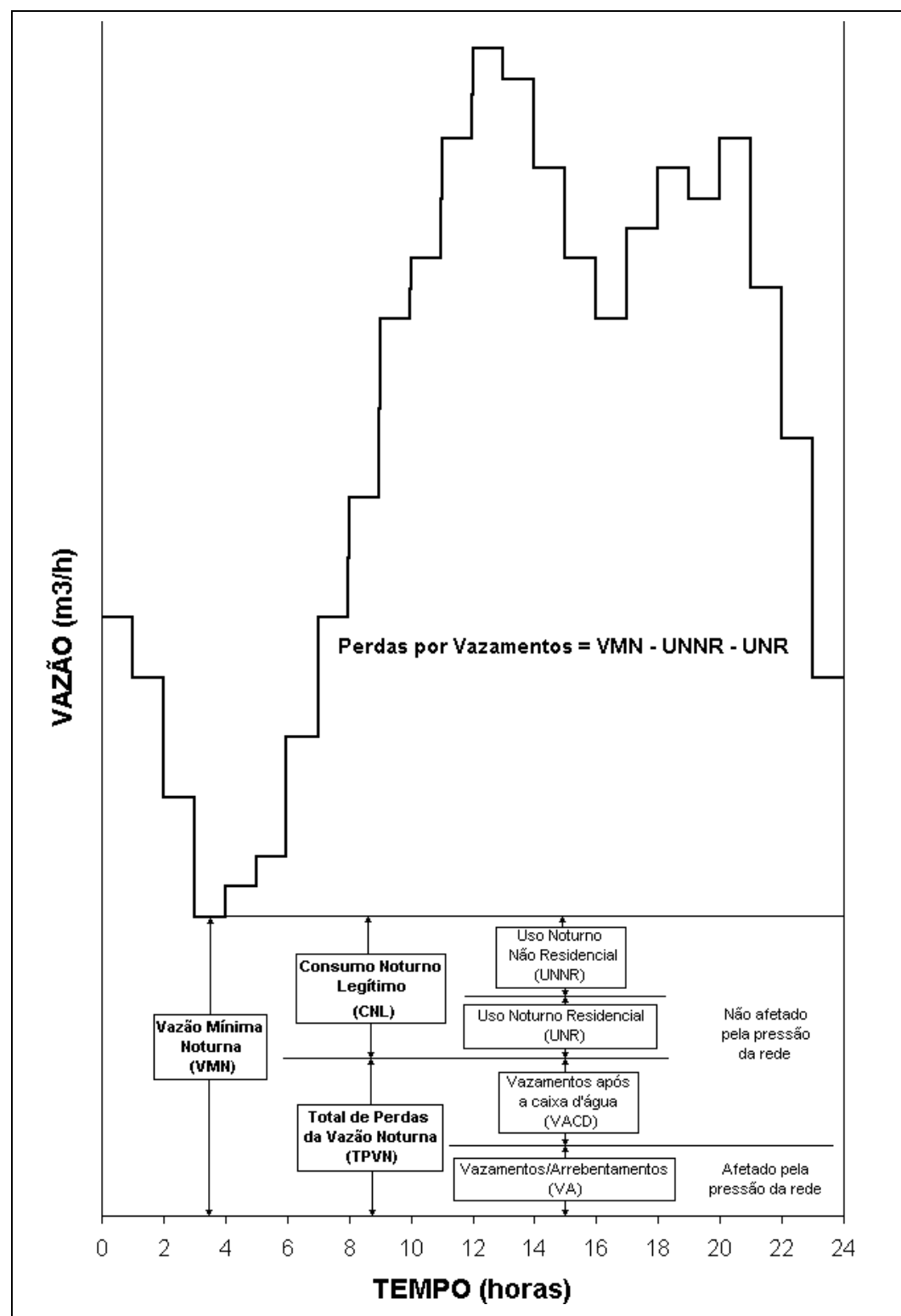
(1) Na RMSP recomenda-se que seja obtido setor a setor ou zona de pressão.

Fonte: (8)

Verifica-se uma grande diferença entre o índice-padrão de consumo noturno não residencial inglês e o obtido no Distrito Pitométrico da RMSP, onde foi constatado um número baixo de economias não residenciais com consumo noturno. A heterogeneidade da ocupação de comércio e indústria com funcionamento noturno, verificada na RMSP, levou à recomendação da obtenção desse valor para cada área a ser estudada, através de medições de vazão noturna nesses imóveis.

A diferença encontrada entre os dois índices de consumo noturno residencial é explicado pelo fato dos hábitos noturnos dos ingleses serem bem diferentes dos brasileiros.

Figura 3.2 - Componentes da Vazão Mínima Noturna



Fonte:(4)

## 2. CONTROLE DE PRESSÃO

### 2.1 Setorização

Cada setor de abastecimento é definido pela área suprida por um reservatório de distribuição (apoiado, semi-enterrado ou enterrado), destinado a regularizar as variações de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição. O abastecimento de rede por derivação direta de adutora ou por recalque com bomba de rotação fixa é altamente condenável, pois o controle de pressões torna-se praticamente impossível diante das grandes oscilações de pressão decorrentes de tal situação.

Caso o reservatório se situe dentro da área desse setor, na setorização clássica é necessária a existência de um reservatório elevado, cuja principal função é condicionar as pressões nas áreas de cotas topográficas mais altas que não podem ser abastecidas pelo reservatório principal. Nesse caso, temos o setor dividido em zonas de pressão, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem a limites prefixados. Segundo a Norma Técnica NBR 12218/1994 a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa (10 mca). Valores fora dessa faixa podem ser aceitos desde que justificados técnica e economicamente.

Para que o setor todo possa ser abastecido por apenas um reservatório é necessário que o mesmo seja elevado ou se localize fora do setor, ficando numa cota de pelos menos 10 metros acima da cota mais elevada do setor.

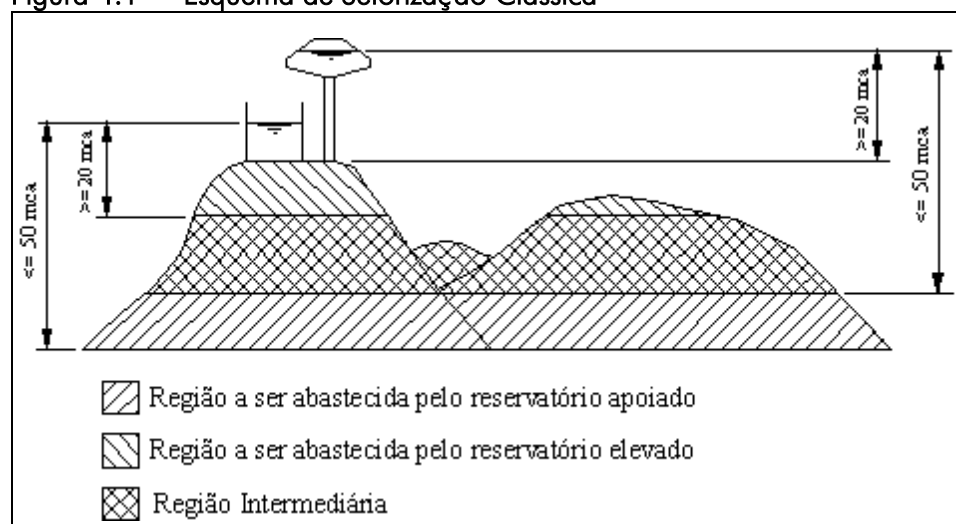
Na implantação de um sistema de abastecimento, pela setorização clássica, a definição das zonas de pressão é feita tomando como base a limitação da pressão estática máxima em 50 mca no ponto mais baixo da zona de pressão e a limitação da pressão dinâmica mínima em 10 mca no ponto crítico da zona de pressão. O ponto crítico é aquele, dentro da zona de pressão, onde se verifica a menor pressão dinâmica, isto é, o ponto mais elevado ou o mais distante. Com o passar do tempo o ponto crítico pode se deslocar devido ao aumento de rugosidade em função da idade da tubulação, tendendo a se localizar inicialmente no ponto mais alto da zona de pressão e futuramente nos pontos mais distantes em relação ao referencial de pressão (reservatório, booster ou VRP). Ele é utilizado para se estimar o potencial de redução de pressão da área, além de ser um ponto de controle do abastecimento. A mínima pressão aceitável neste ponto pode variar entre as companhias de água, entretanto, em muitas áreas, a pressão mínima das redes de distribuição, de 10 a 15 metros de carga, manterá o abastecimento de forma satisfatória.

Considerando-se uma região abastecida por um reservatório apoiado e um elevado e uma variação de pressão dinâmica máxima de 10 mca, podemos demarcar a área de influência dos reservatórios através das curvas de nível que definam pressões estáticas de 20 mca e 50 mca, para ambos reservatórios.

A Figura 4.1 demonstra que isso irá definir uma área intermediária, que tanto pode ser abastecida pelo reservatório apoiado (pressões mais próximas de 20 mca) como pelo reservatório elevado (pressões mais próximas de 50 mca). Como, para a redução de perdas físicas, é interessante submeter a rede a baixas pressões, a maior parte dessa área deve ser abastecida pelo reservatório apoiado, o

que reduz também a vazão recalcada para o reservatório elevado, trazendo, assim, redução no consumo de energia elétrica.

**Figura 4.1 - Esquema de Setorização Clássica**



Verifica-se que, na setorização clássica, o desnível geométrico máximo deve ser de 50 metros. Em regiões de topografia mais acidentada é necessária a utilização de um reservatório intermediário. Os altos custos de implantação (em áreas consolidadas o custo do terreno torna-se muito caro) e manutenção de reservatórios (principalmente os elevados) levam à utilização de equipamentos como bombas de rotação variável e válvulas redutoras de pressão, para o controle de pressão no setor, mantendo-se como função básica do reservatório a regularização de variações horárias de demanda e reserva de incêndio.

O setor de abastecimento, muitas vezes, sofre contínuas mudanças em relação ao seu limite, principalmente pelas variações de população. Isso implica em ter alguns locais da rede sendo isolados por registros de bloqueio, cuja estanqueidade geralmente é colocada em dúvida. Portanto é recomendado minimizar o quanto possível a utilização de registros como delimitador de setor de abastecimento e zonas de pressão, através da utilização de "cap".

A rede primária, geralmente com diâmetros superiores a 100 mm, não deve conter ligações a ela e a configuração tipo "espinha de peixe" possibilita um melhor controle de vazões nos trechos, embora circuitos fechados favoreçam um equilíbrio maior de pressões no sistema, havendo a tendência de eliminação de circuitos fechados, quando da implantação de boosters e VRP's. Já os condutos secundários devem formar rede malhada, evitando-se ao máximo pontos cegos.

Conforme a NBR 12218/1994, a velocidade mínima nas tubulações deve ser de 0,6 m/s, e a máxima, de 3,5 m/s. O limite máximo de 3,5 m/s pode resultar em perda de carga relativamente alta, na rede primária, caso ela seja extensa. Considera-se que uma velocidade máxima em torno de 2 m/s deva ser utilizada para a rede primária, o que permitirá operar o sistema com pressões mais estáveis.

A rugosidade da tubulação é o fator crítico, com relação às perdas de carga distribuídas. Valores de coeficiente C de Hazen-Williams entre 90 e 140 são aceitáveis, conforme a idade e o material da tubulação. Na prática, considerando o diâmetro nominal da tubulação, podem ser encontrados valores de C menores que 50, ou seja, a incrustação é tão grande que há significativa alteração no

diâmetro interno da tubulação. Isso ocorre com certa frequência em tubulações de ferro fundido com idade superior a 40 anos. Principalmente na rede primária, valores baixos levam à necessidade de substituição desses trechos ou um reforço da rede.

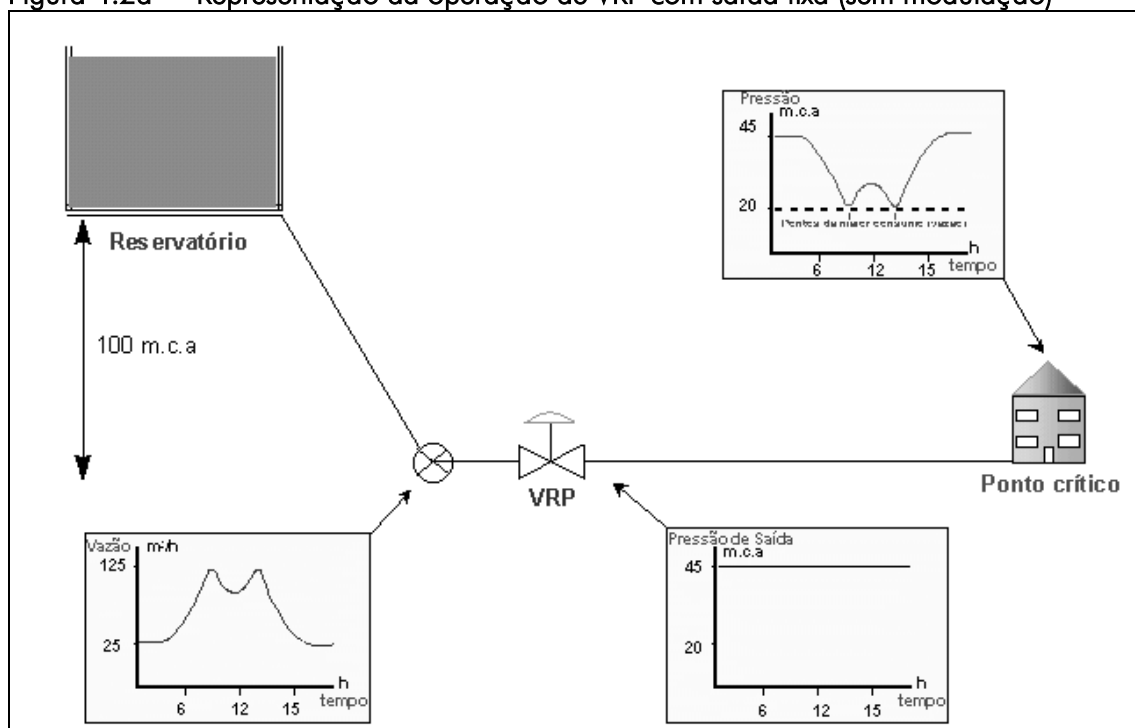
As tubulações de material plástico (PVC, PEAD) tem sido largamente utilizadas pelas vantagens nos custos de aquisição e execução, além de não serem suscetíveis à corrosão nem formação de depósitos de sólidos com a mesma intensidade que tubulações de outros materiais. Entretanto a vida útil desse material pode ser muito reduzida, principalmente com relação ao PEAD, que está sujeito a ações térmicas (estoque inadequado) e ações dinâmicas que levam à fadiga do material (mão-de-obra não especializada aliada ao uso de ferramentas inadequadas). Para esses materiais o limite de resistência é significativamente reduzido pelas tensões dinâmicas cíclicas originadas pelas oscilações de pressão associadas a variações de demanda. Nas redes com estes materiais o controle de pressão é extremamente importante, de modo a manter baixas oscilações de pressão. Caso contrário, depois de um curto espaço de tempo o número de vazamentos será tão grande que a rede deverá ser substituída.

### **2.2 Válvulas Redutoras de Pressão (VRP's)**

As variações topográficas aliadas às perdas de carga dentro de uma zona de pressão favorecem a utilização de válvulas redutoras de pressão, visando manter pressões na rede inferiores a 30 mca. O princípio básico da válvula redutora de pressão é a manutenção de uma pressão fixa na sua saída. Em locais onde se verificam consideráveis variações de pressão, decorrentes de perdas de carga no sistema, torna-se interessante a utilização de controladores eletrônicos, que são equipamentos dotados de circuito eletrônico com armazenador de dados e válvulas solenóides, alimentados através de bateria de lítio, com uma vida útil de aproximadamente 5 anos. Assim, há três tipos básicos de controle de pressão com utilização de VRP:

- pressão de saída fixa (VRP sem controlador): é usada quando o sistema a ser controlado não tem mudanças significativas de demanda, bem como perdas de carga relativamente pequenas (menores do que 10 mca, sob quaisquer condições de operação). (vide Figura 4.2.a)

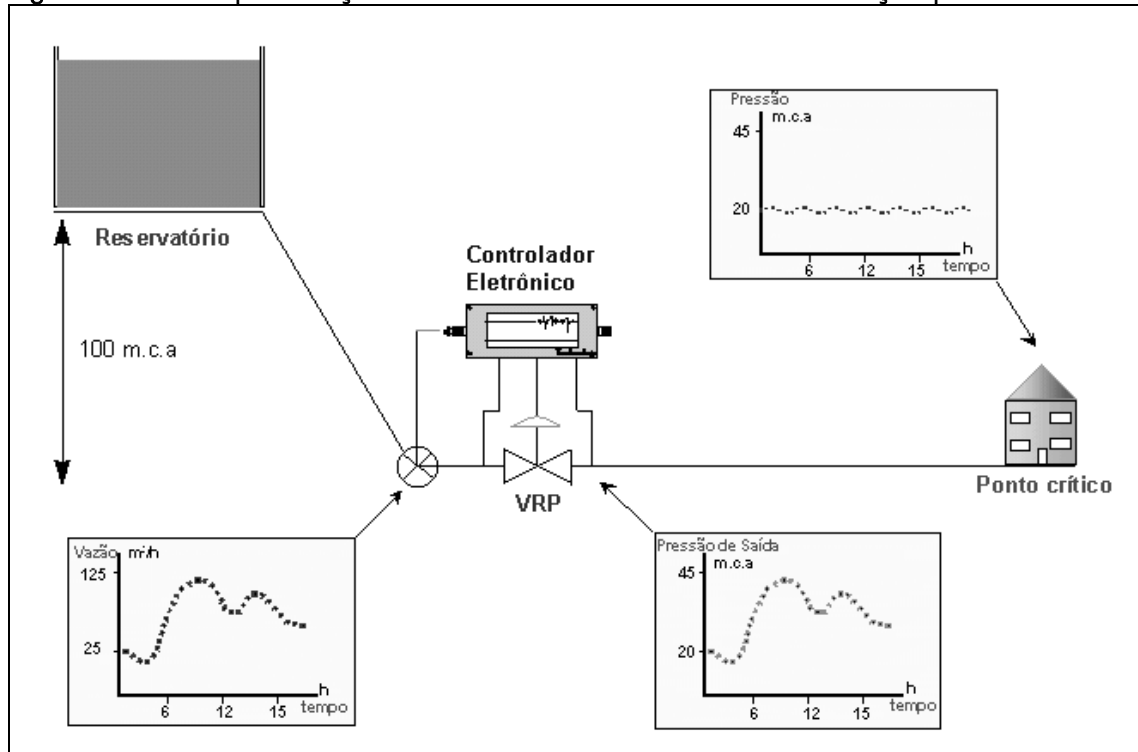
Figura 4.2a - Representação da operação de VRP com saída fixa (sem modulação)



Fonte: (7)

- modulação por tempo: é usada para controlar um sistema que apresenta grande perda de carga (superior a 10 mca), porém de perfil regular de consumo. Assim, a válvula irá trabalhar com patamares de pressão de saída, ajustados no tempo.
- modulação por vazão: é usada para controle em sistemas que apresentam grande perda de carga (grandes áreas) e mudanças no perfil de consumo, que podem ser no tipo de uso, na sazonalidade ou na população (como no caso de cidades turísticas). Apesar de ser o tipo de controle mais eficiente, necessita de controlador mais caro, além de um medidor de pulso de vazão. (vide Figura 4.2.b)

Figura 4.2.b - Representação do funcionamento de VRP com modulação por vazão



Fonte: (7)

Em locais já operados, a priorização de instalação de VRPs pode ser feita em função do histórico de incidência de vazamentos, alta pressão e índice de perdas elevado.

A viabilidade de controle de pressão na região candidata à instalação da VRP pode ser avaliada pela medição da pressão no ponto crítico, durante o período de máxima vazão, onde pressões acima de 30 mca indicam potencial para o controle de pressão. Um critério alternativo de avaliação pode ser um valor de referência de pressão mínima de 35 ~ 40 mca na AZNP.

Em área já operada é preciso fazer a avaliação do efetivo isolamento da área através da verificação de fechamento de registros e, se necessário, a sua instalação para isolamento da área.

Tanto para a instalação, como para futuros controles da atuação da VRP, é necessária a instalação de um TAP na rede onde será instalada a VRP, visando a instalação de medidores de vazão.

Os pontos de medições necessários para o bom dimensionamento da válvula são:

- Medição de vazão e de pressão à montante do local de instalação da VRP;
- Medição de pressão no ponto crítico;
- Medição de pressão no ponto representativo da pressão média noturna (AZNP);
- Medição de pressão em ponto próximo a um grande consumidor.

Para dimensionar corretamente a VRP e escolher o método de controle ou modulação (pressão de saída fixa ou modulada pelo tempo ou pela vazão) é importante considerar o impacto das flutuações sazonais na demanda e o tipo de área que está sendo suprida. A maior parte das áreas tem alguma forma de macromedição (parcial ou total). Geralmente, a VRP deve controlar somente uma parte do

setor; no entanto, as leituras de um macromedidor são uma boa indicação do tipo de mudança que pode ocorrer devido ao efeito da sazonalidade.

Por exemplo, em áreas predominantemente residenciais, o consumo vai aumentar durante os meses de verão e decrescer nos meses de inverno. Já nas cidades turísticas, a população flutuante é responsável por grande variação do perfil de consumo, nos fins de semana e nas altas temporadas.

É recomendável a realização de uma pesquisa de vazamentos e o reparo de todos os vazamentos encontrados, na área de influência da futura válvula, antes da realização das medições de vazão, pois a tendência é haver uma redução na vazão do sistema após a implantação da VRP (redução dos vazamentos) e as vazões medidas serão utilizadas para o dimensionamento da válvula (isso evitará um possível super-dimensionamento da VRP).

### **2.2.1 Funcionamento**

A maioria dos fabricantes trabalham com uma válvula do tipo globo ou angular, operada hidráulicamente, controlada pelo acionamento direto de mola, diafragma e válvula piloto.

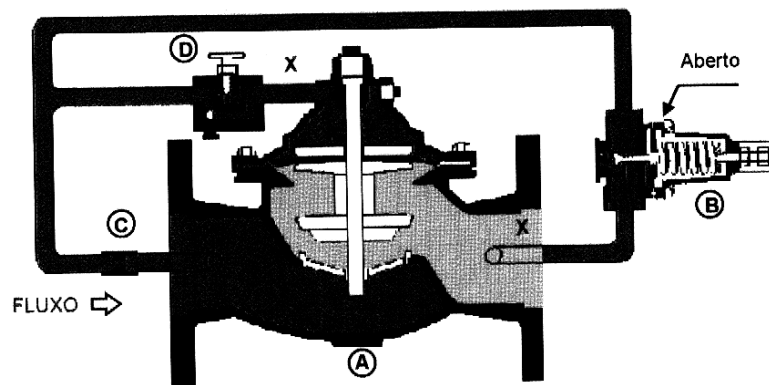
O circuito piloto permite um total auto-ajuste da válvula, e assegura um controle extremamente preciso da pressão reduzida, dentro de extensas variações de vazão.

A válvula fica normalmente aberta quando a pressão da linha é aplicada na entrada da válvula. Quando essa mesma pressão é aplicada na cabeça da válvula, a válvula se fecha, porque a área do diafragma ou pistão é maior que a área da sede da válvula. É o controle da pressão acima do diafragma ou pistão que determina a posição da válvula principal – ou seja, aberta, fechada ou em uma posição intermediária. (vide Figura 4.3)



Figura 4.3 - Esquema de Funcionamento de uma VRP

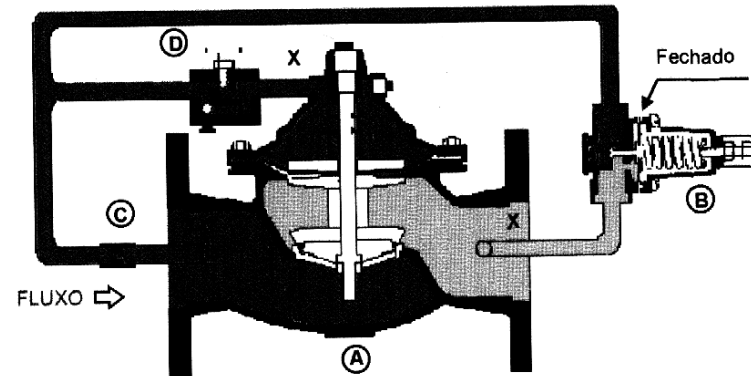
O princípio deste sistema é fazer a válvula principal reproduzir os movimentos da válvula piloto sob a ação das pressões a montante e a jusante



Quando a válvula piloto (B) estiver aberta, a pressão contida no circuito de controle não exerce nenhuma força na membrana da válvula principal (A), o que faz com que o sistema de fechamento fique livre e a válvula abre.

#### COMPONENTES

- A - Válvula Principal
- B - Válvula Piloto
- C - Orifício Fixo
- D - Ajuste da velocidade de abertura da VRP (válvula agulha)



Quando a válvula piloto (B) estiver fechada, a pressão contida no circuito de controle exerce uma força na membrana da válvula principal (A) que fecha.

#### ACESSÓRIOS

- X - Válvulas de fechamento do circuito hidráulico
- Y - Filtro do circuito hidráulico

Fonte: (7)

O controle piloto é um acionamento direto, ajustável, projetado para permitir o fluxo quando a pressão a jusante fica abaixo da ajustada pela mola. Com o incremento na demanda, há como resultado a queda na pressão de jusante (controlada). A válvula piloto sente esta queda na pressão e a mola irá causar uma abertura na válvula. Como a válvula piloto abre, a pressão é sangrada da cabeça da válvula principal, permitindo a linha de pressão principal abrir a válvula principal. A válvula principal continua a abrir até que a pressão a jusante tenha retornado ao valor correspondente ao ajustado na válvula piloto. O reverso acontecerá num incremento na pressão controlada, resultante de uma redução da demanda.

## 2.2.2 Dimensionamento

Para dimensionar uma VRP é necessário saber o seguinte:

- Pressões máxima e mínima de entrada;
- Pressão de saída;
- Vazão máxima horária;
- Vazão mínima horária.

Cada fabricante tem sua metodologia para o dimensionamento de sua válvula, mas, de maneira geral, a velocidade mínima deve ser de 1,2 m/s (4 pés/s) e a velocidade máxima de 7,5 m/s (25 pés/s), referentes ao diâmetro nominal da válvula. Caso seja mantida uma vazão constante, esta não deve ter velocidade superior a 6 m/s (20 pés/s). A escolha do diâmetro da válvula deve seguir, então, a tabela abaixo.

O diâmetro escolhido deve ser aquele com a vazão máxima nominal igual ou maior que a vazão máxima horária do local a ser controlado. A vazão mínima nominal não poderá ser maior que a vazão mínima horária. Caso isso ocorra, deve-se utilizar uma segunda VRP de diâmetro menor (dimensionada para operar com as vazões mínimas) em paralelo à VRP principal, onde a somatória das vazões máximas seja superior à vazão máxima requerida.

Diâmetro Nominal		Vazão (m <sup>3</sup> /h)		Cv
(mm)	(pol.)	Mínima	Máxima	(m <sup>3</sup> /h)
32	1 1/4"	3	26	8,40
38	1 1/2"	5	36	9,09
50	2"	8	59	12,49
65	2 1/2"	14	84	21,58
80	3"	22	129	28,39
100	4"	34	227	49,97
150	6"	76	522	104,48
200	8"	136	886	190,79
250	10"	212	1363	317,98
300	12"	305	1953	392,93
350	14"	416	2385	522,40
400	16"	543	3180	670,03

Fonte: (9) Obs.: Para vazões constantes, utilizar como vazão máxima valor 25% menor.

É necessário verificar se a válvula escolhida não produz uma perda de carga superior à perda desejada (pressão de entrada mínima menos a pressão de saída) durante a vazão máxima horária. A perda de carga a ser produzida pela válvula totalmente aberta é determinada através da seguinte equação:

$$\Delta P = (Q/C_v)^2 \text{ , onde:}$$

$\Delta P$  é a perda de carga da válvula totalmente aberta, em mca;

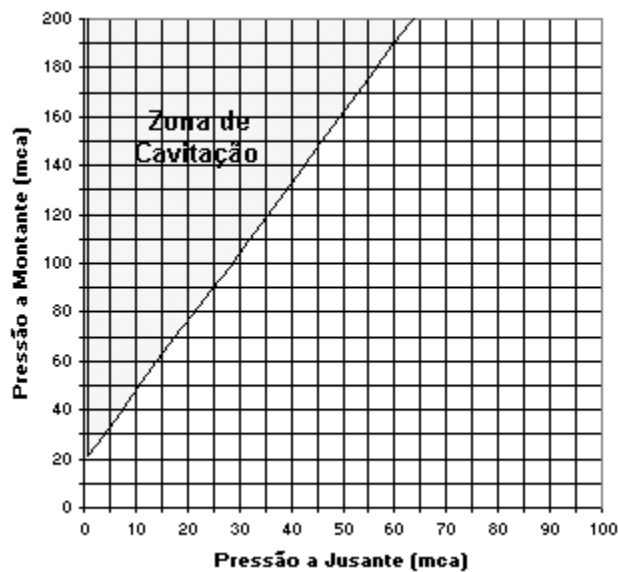
$Q$  é a vazão, em m<sup>3</sup>/h; e

$C_v$  é o coeficiente de perda de carga relativo a vazões em m<sup>3</sup>/h.

Caso a perda de carga da válvula seja superior ou fique muito próxima da perda desejada, escolher a válvula com diâmetro nominal imediatamente superior e recalcular. Caso os valores fiquem muito próximos, é preciso verificar a perda de carga dos demais elementos do sistema.

Ainda é necessário verificar o risco de cavitação da válvula. Utilizando o gráfico da Figura 4.4, faz-se o cruzamento da pressão máxima de entrada da VRP com a pressão de saída requerida. Caso o ponto de cruzamento caia dentro da área sombreada, é sinal de que haverá, além de ruídos, danos físicos à válvula. Nesse caso deve-se prever instalação em série de válvulas com o mesmo diâmetro, ou rever a concepção, criando-se mais de um plano piezométrico na área onde se pretende reduzir a pressão.

**Figura 4.4 - Gráfico para verificação de cavitação**



Fonte: (9)

### 2.2.3 Instalação

A implantação compreende as seguintes atividades básicas:

- execução das caixas;
- execução do "by-pass" e instalação dos registros gaveta;

- instalação da VRP, acessórios e do filtro a montante;
- instalação de hidrômetro e de controlador, quando aplicável.

A inclusão de um filtro a montante da VRP é fundamental para garantir a operacionalidade da válvula, sem trazer danos a mesma. Ainda, é recomendável a colocação de uma ventosa na cabeça da válvula em locais onde há intermitência no abastecimento, pois se houver entrada de ar na cabeça da válvula o sistema hidráulico-operacional será afetado.

O hidrômetro, necessário para utilização de modulador por vazão, deve ser instalado a 12 diâmetros nominais - DN a jusante da primeira conexão e a 5 DN a montante da primeira conexão, para garantir a sua precisão.

Na tabela abaixo temos os valores mínimos das dimensões das caixas de válvulas. A caixa I é utilizada para abrigar o conjunto de peças para uma VRP sem modulação por vazão, ou uma com modulação de vazão, que abrigará apenas o hidrômetro, a VRP e a válvula de bloqueio de jusante. A caixa II é utilizada para abrigar a válvula de bloqueio de montante e o filtro, sendo somente necessária no caso de VRP modulada por vazão.

**Tabela 2.2 - Dimensões padrão para caixas de VRP**

DN (mm)	Dimensão	CAIXA I (mm)	CAIXA II (mm)
100 a 200	A (largura)	1200	1200
	B (comprimento)	4000	2700
	C (profundidade)	2000	2000
250 a 400	A (largura)	1500	1500
	B (comprimento)	6000	6000
	C (profundidade)	2000	2000

A Figura 4.5 mostra um desenho de uma instalação-padrão de uma VRP dotada de controlador de vazão (necessidade de instalação de hidrômetro).

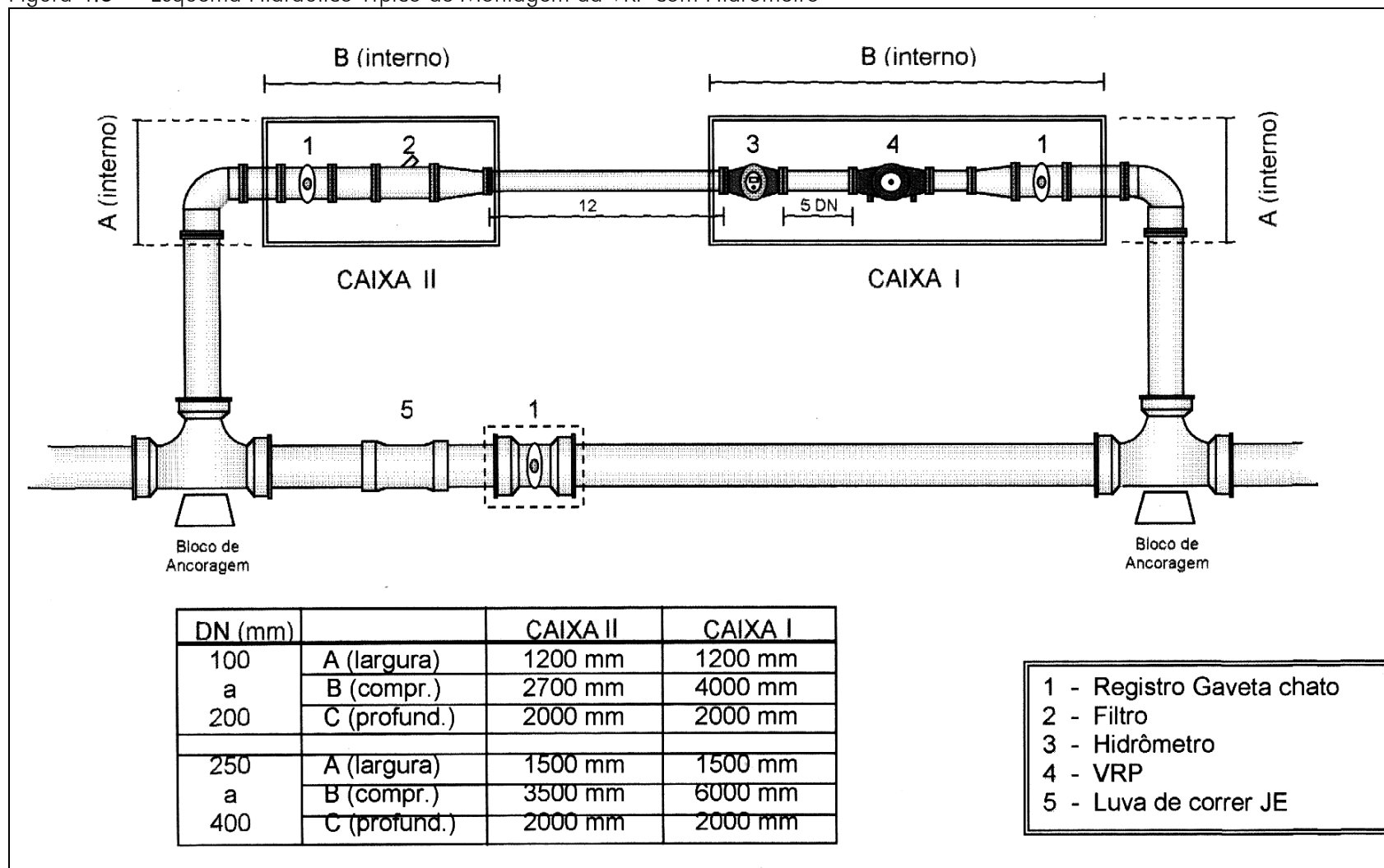
## 2.2.4 Pré-operação

A metodologia para pré-operação de uma nova instalação é apresentada a seguir:

### a) Medições com a válvula aberta

Estas são medições feitas durante um período mínimo de 24 horas. São medidas a vazão de entrada na VRP e as pressões na entrada e na saída da VRP, no ponto representativo da pressão média noturna e nos pontos críticos do sistema. Esses dados devem ser coletados através da utilização de "data loggers". Nessa campanha, a VRP deve ficar em sua posição totalmente aberta.

Figura 4.5 - Esquema Hidráulico Típico de Montagem da VRP com Hidrômetro



Fonte: (7)

Os seguintes dados devem ser considerados:

- vazão total entrando na área de influência da VRP;
- vazão mínima noturna;
- pressão mínima e máxima no ponto crítico;
- cálculo da vazão de vazamento; e
- pressão média noturna da região.

## b) Teste controlado com pressões de saída reduzidas

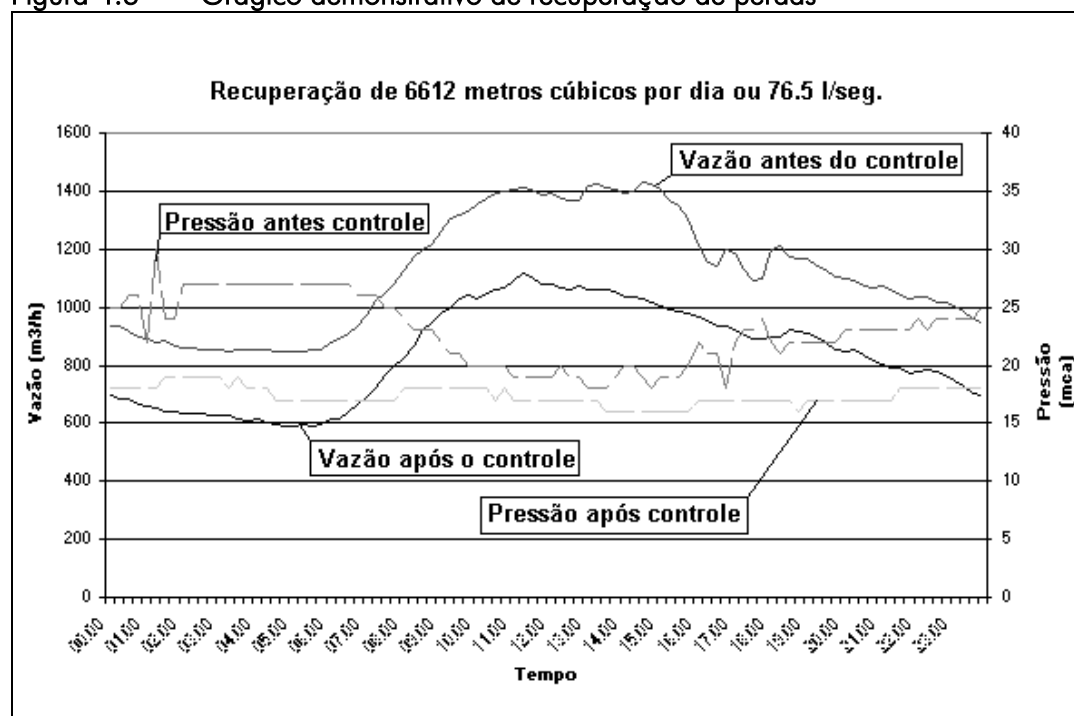
Primeiramente deve-se regular a VRP para reduzir a pressão máxima do sistema em estágios de aproximadamente 5 mca e monitorar as vazões e as pressões por 24 horas. Em seguida, obter os resultados como mostrado no item anterior. Repetir o teste até que a pressão desejada do ponto crítico seja atingida. Todas as etapas serão supervisionadas de forma a confirmar os resultados das características estimadas nos estudos preliminares.

## c) Teste adicional para válvulas com modulação pela vazão

No caso de uma válvula com modulação pela vazão, todos os testes acima citados precisam ser efetuados com o modulador de vazão desligado. Depois a modulação deve ser aplicada com pelo menos 24 horas de monitoramento.

É possível reduzir a pressão com a modulação pela vazão para atingir a pressão mínima desejada (geralmente entre 10 e 15 mca) no ponto crítico do sistema. Depois deve-se monitorar novamente, durante 24 horas.

**Figura 4.6 - Gráfico demonstrativo de recuperação de perdas**



Fonte: Relatório de avaliação de performance de VRP instalada na Rua dos Pilões – Setor de abastecimento Sacomã (RMSP) – BBL/SABESP

d) Pré-operação das instalações e medição de performance do sistema

A pré-operação de cada VRP sempre que possível deve ser feita em três etapas:

- redução inicial de pressão, seguida de monitoramento das pressões e vazão;
- segunda diminuição de pressão, seguida de monitoramento das pressões e vazão;
- ajuste da pressão desejada, seguido de monitoramento das pressões e vazão, por duas semanas, com eventuais ajustes finos do perfil de pressão a jusante da VRP.

### 2.3 Booster de rede

Em algumas zonas de pressão há locais (pontas de rede) onde a pressão não é suficiente para garantir o abastecimento durante todo o dia, havendo intermitência, principalmente nos horários de pico de consumo. Uma forma de resolver tal problema é a implantação de um booster de rede, de modo a pressurizar somente a parcela da rede onde há deficiência no abastecimento, sem elevar desnecessariamente a pressão no restante.

A utilização de bombas com velocidade fixa, controladas através de pressostatos para ligá-las e desligá-las, apesar de ter um custo de implantação mais baixo que bombas com variador de velocidade, apresenta como principal desvantagem uma potencialidade maior de vazamentos/arrebentamentos, decorrente da introdução de sucessivos golpes de ariete na rede de distribuição, de difícil análise da sua magnitude, em virtude das inúmeras condições de contorno envolvidas. Também, pela curva característica da bomba apresentar uma proporção inversa da vazão com a carga (pressão), há um aumento na vazão dos vazamentos nos momentos onde a demanda é menor, sendo isto minimizado com a aplicação de uma pressão de saída fixa em uma bomba com variador de velocidade.

Portanto, a utilização de bombas com rotação variável, seja por variador hidrocínético ou por inversor de frequência, deve ser analisada num processo de controle de pressão em redes de distribuição. A utilização do inversor de frequência é mais interessante, pois é um sistema que reduz os custos com relação à energia elétrica.

Um estudo realizado pela SABESP, em 1989, objetivando quantificar a redução de consumo de energia elétrica que um sistema de variador de velocidade, tipo inversor de frequência, apresenta em relação a um sistema convencional de velocidade fixa, chegou às seguintes conclusões:

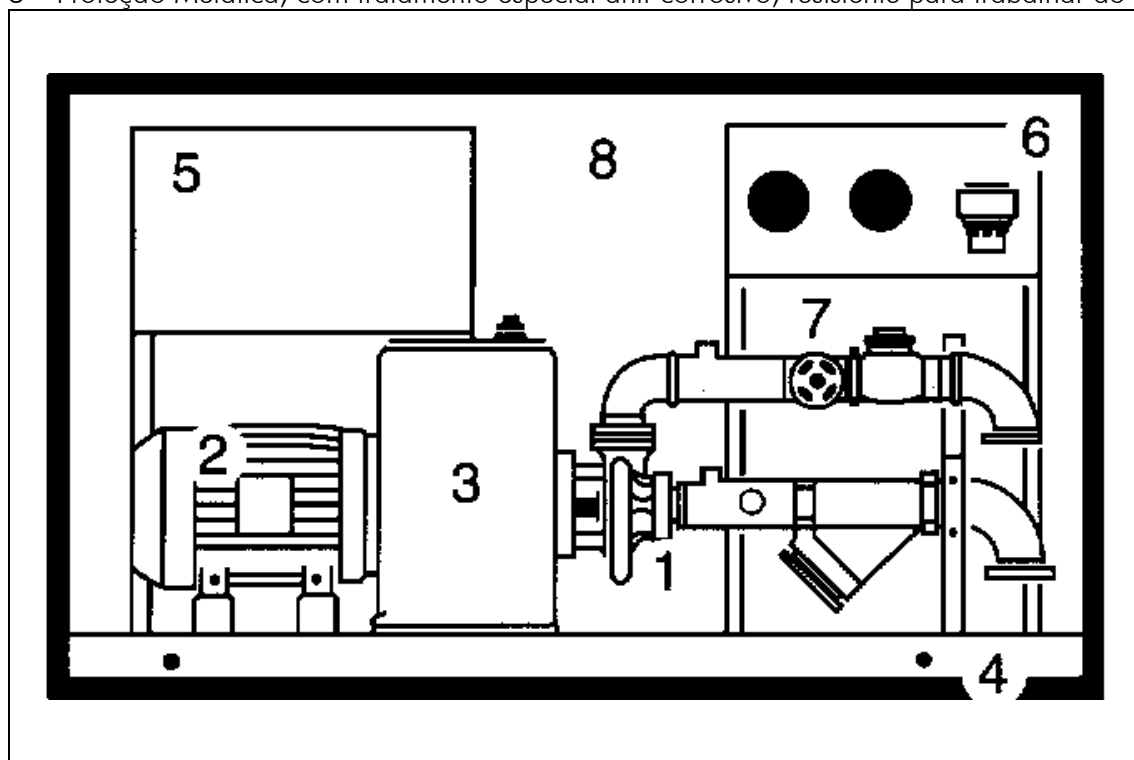
- redução de consumo de energia em 38%
- redução de demanda de energia em 12%, o que representa uma maior disponibilidade de energia na instalação geral e, em sistemas de alta tensão, representa também a redução de custo de energia;
- melhoria do fator de potência, dispensando a instalação de bancos estáticos de capacitores, o que representa, em algumas instalações, redução dos custos das mesmas;
- eliminação do pico de corrente na partida e, conseqüentemente, eliminação da queda de tensão, problema atacado com veemência pelas concessionárias, que exigem sistemas de partidas com limitação de corrente e queda de tensão;
- melhoria na condição de abastecimento, em função da limitação da pressão da rede de distribuição, evitando sobrepressões destrutivas nas mesmas, mantendo o sistema praticamente

equilibrado;

- eliminação (ou redução) de vazamento de água provocado por sobrepressão;
- aumento da vida útil do conjunto moto-bomba, em função da temperatura de trabalho do motor e da redução de velocidade do conjunto, apesar do aumento do tempo de operação;
- melhoria do impacto provocado pelo fenômeno destrutivo do golpe de ariete, devido ao desligamento suave através do circuito de rampa;
- retorno do custo de instalação em 2 anos e meio, podendo ser menor em função da potência da instalação (caso estudado – potência de 20 CV).

As Figuras 4.7.a e 4.7.b mostram, respectivamente, os desenhos esquemáticos de unidades modulares de bombeamento com variador de velocidade hidrocínético e com inversor de frequência, indicando os elementos principais das unidades.

**Figura 4.7.a - Unidade Modular de Bombeamento com Variador de Velocidade Hidrocínético.** 1 – Bomba Centrífuga 2 – Motor Elétrico 3 – Variador de Velocidade Hidrocínético 4 – Base Metálica para o Conjunto 5 – Painel de Comando 6 – Pressostatos para operação automática 7 – Registros 8 – Proteção Metálica, com tratamento especial anti-corrosivo, resistente para trabalhar ao tempo.

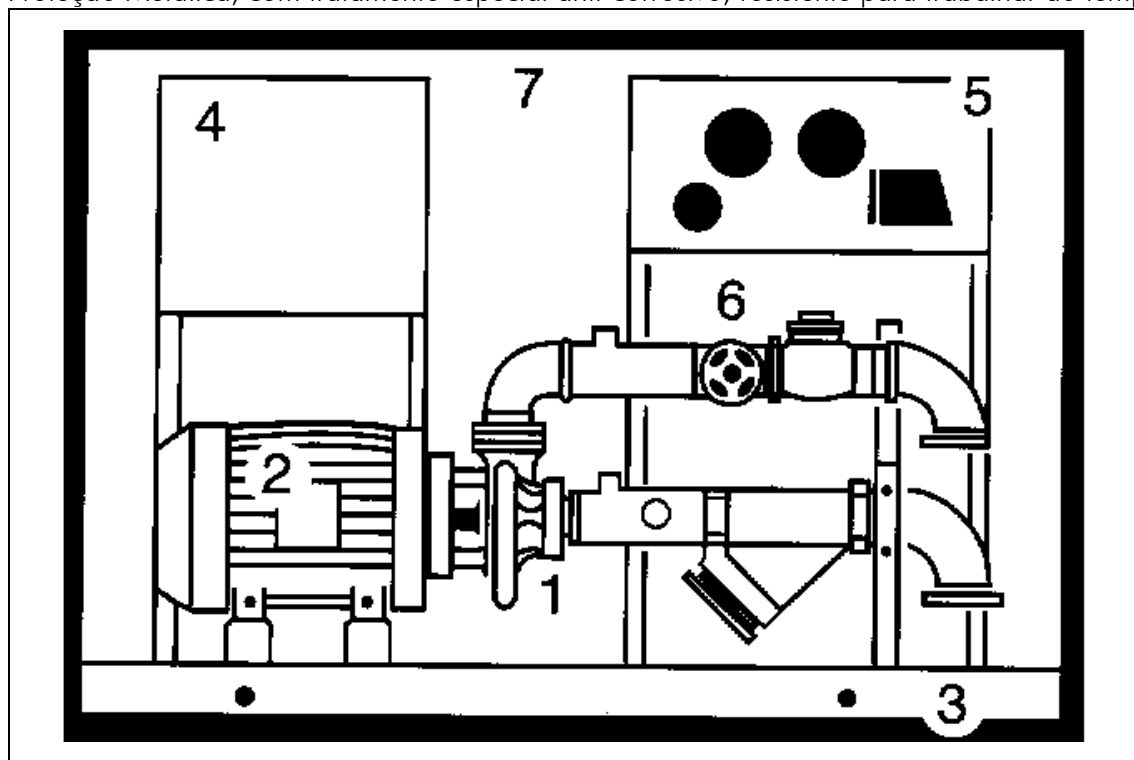


Fonte: (6)

Os fabricantes já possuem unidades modulares, em containers, providos de todos os equipamentos necessários para a operação do booster.



Figura 4.7.b - Unidade Modular de Bombeamento com Inversor de Frequência. 1 – Bomba Centrífuga 2 – Motor Elétrico 3 – Base Metálica para o Conjunto 4 – Painel de Comando, incluindo Inversor de Frequência 5 – Painel de controle automático de pressão 6 – Registros 7 – Proteção Metálica, com tratamento especial anti-corrosivo, resistente para trabalhar ao tempo.



Fonte: (6)

### 3. GERENCIAMENTO

#### 3.1 Controle da Rede

Para um bom gerenciamento da rede hidráulica é necessário ter um completo conhecimento do sistema de distribuição, tendo garantida a estanqueidade de setores de abastecimento e zonas de pressão. Para pequenos sistemas a existência de medidores de nível dos reservatórios, de medidores de vazão na entrada dos setores de abastecimento e de pressão de jusante de equipamentos como VRP's e boosters de rede já é considerada satisfatória para seu controle.

A medida que o sistema torna-se mais complexo, começa a ser interessante dotá-lo de condições que permitam um melhor controle. A utilização de equipamentos que possam armazenar dados (dataloggers) para sua análise em escritório, torna-se importante.

A partir do momento em que o sistema é dotado de uma quantidade razoável de VRP's e boosters, já é viável economicamente a introdução de controle do sistema à distância, através de instrumentos de telemetria, o que irá permitir um controle muito mais preciso de todo o sistema e diagnosticar em tempo real qualquer anomalia ocorrida, possibilitando uma sensível melhora nos serviços prestados ao cliente.

#### 3.2 Cadastro/GIS

A manutenção de um cadastro que espelhe a realidade atual do sistema é essencial para possibilitar um perfeito controle do sistema de distribuição. Os Sistemas de Informações Geográficas – GIS são muito interessantes, pois possibilitam uma resposta muito mais rápida na tomada de decisões, embora sua implantação não seja fácil, muito menos econômica e, quanto pior forem as informações de cadastro existentes mais complicada será a migração para o meio digital.

Para planejamento é possível utilizar essa ferramenta, onde o nível de detalhe é bem menor e não se esperam resultados muito precisos, tendo bons resultados em curto espaço de tempo e de pequeno custo. Através de um mapa de pressões estáticas resultante de um mapa altimétrico da região (elaborado através de um modelo digital do terreno) e dos níveis d'água dos reservatórios, é possível localizar as áreas onde as pressões devem ser reduzidas.

As informações cadastrais mínimas necessárias para a realização de um controle de pressão são:

- curvas de nível de pelo menos 5 em 5 metros;
- toda a rede de distribuição existente;
- localização de reservatórios, boosters e VRPs;
- indicação de registros e caps existentes na rede;
- localização de grandes consumidores; e
- mapeamento de vazamentos.

#### 3.3 Softwares de Análise custo-benefício

Já existem softwares, como o PRESSMAN – Pressure Management Program, desenvolvido pela "Watertight Solutions LTD." da Inglaterra, que executa os cálculos das perdas físicas por vazamento do

subsetor, simula as perdas com as novas condições de perfil de pressão, estima a economia de água e calcula a respectiva relação custo X benefício, mostrando o período de retorno do investimento. O “PRESSMAN” também permite a comparação entre os diversos tipos de Controle de Pressão, possibilitando a escolha do controle que irá trazer maior benefício na implantação.

Também existe o software CELLORI, da Watertight Solutions Ltd., que faz a comparação entre investimentos em pesquisa de vazamentos não visíveis e redução de pressão. Este modelo foi construído para analisar o nível econômico das perdas e estimar a melhor frequência para execução de pesquisas de detecção de vazamentos e também o impacto da redução de pressão na área selecionada.

### **3.4 Modelagem Matemática**

A modelagem matemática é uma ferramenta muito útil para simulação do comportamento hidráulico de uma rede de distribuição. Para utilização apenas nesse sentido (restringindo seu uso para controle da qualidade da água) pode-se trabalhar com um sistema de rede esboçado, onde só é introduzido no modelo as tubulações principais. A prática de esboçar a rede requer uma certa experiência do usuário para não haver uma distorção com relação ao sistema real.

Já existem muitos softwares no mercado internacional, que podem muito bem ser utilizados no Brasil. Sua utilização pode auxiliar no dimensionamento e na escolha do sistema de controle de pressões (implantação de VRP's e boosters, novo reservatório, reforço de rede, etc.), pois permite visualizar o comportamento da rede com suas variações de pressão em todos os pontos do sistema por períodos de 24 horas ou durante dias. O mesmo modelo pode ser usado posteriormente para simulações de condições operacionais excepcionais, decorrentes de necessidades de racionamento ou direcionamento da água para utilização num combate a um incêndio, por exemplo.

O ponto chave da boa utilização de modelos matemáticos é a sua calibração. A verificação para que o modelo espelhe o sistema real, necessita da definição de quais e quantos pontos de medição de pressão e vazão são necessários e suficientes para essa análise.

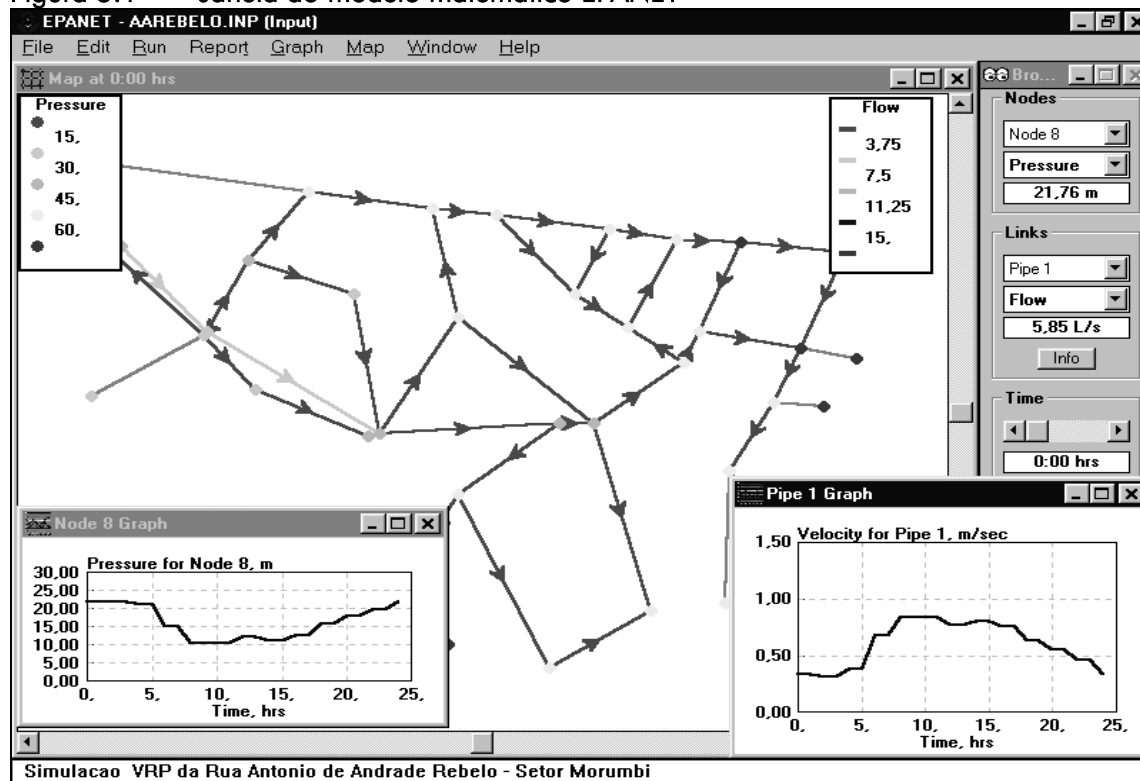
Os pontos básicos que necessitam de medição são os seguintes:

- Nível de reservatórios;
- Vazão de saída de reservatórios (ou de entrada, havendo a necessidade de transformar em vazão de saída, sabendo-se a área do reservatório e as variações de nível ocorridas);
- Vazão de boosters e VRP's;
- Pressões a montante e a jusante de boosters e VRPs; e
- Pressão(ões) no(s) ponto(s) crítico(s).

Verifica-se que quanto maiores são as perdas de carga no sistema em estudo, maior será a quantidade de pontos de medição necessários para a calibração do modelo. Somente após a certificação de calibração do modelo é possível utilizá-lo para simulações. Caso o modelo seja utilizado sem ter sido calibrado, as simulações decorrentes poderão levar a resultados completamente irreais.

A E.P.A. – “U. S. Environmental Protection Agency” disponibiliza, através da Internet, um modelo denominado EPANET, que embora possua ainda um sistema de entrada de dados não muito amigável, possibilita resultados gráficos satisfatórios para análise de pressões em pontos da rede, velocidade nas tubulações e qualidade de água, sendo recomendado como o software ideal para um primeiro conhecimento da modelagem hidráulica.

Figura 5.1 - Janela do modelo matemático EPANET



A utilização da modelagem matemática já se torna interessante em regiões servidas por mais de um sistema de reservação, possibilitando simulações de modificação na área de influência de cada reservatório, visando obter um melhor controle de pressão na rede.

A escolha de um software comercial de modelagem, com mais recursos que o EPANET, deve levar em conta as necessidades e as ferramentas já disponíveis, como CAD e GIS, pois no mercado internacional existe uma gama desses softwares, cada qual com suas peculiaridades. Geralmente, quanto maior o número de recursos maior é a complexidade para o seu manuseio.

Os softwares mais sofisticados permitem a alimentação de dados através do sistema SCADA – supervisory control and data acquisition, úteis quando o sistema de distribuição for complexo e dotado de controle à distância.

### 3.5 Manutenção do Sistema

Conforme dito anteriormente, o sistema de distribuição sofre contínuas mudanças ao longo do tempo, como evolução populacional, variação no uso do solo (residencial, comercial, industrial), envelhecimento das tubulações com conseqüente aumento da rugosidade das mesmas, etc. Isto leva a um processo contínuo de controle da rede, que dirá as necessidades de reajustes nas modulações de pressão de VRP's e boosters e, também, avaliações quanto a necessidades de substituição de trechos de tubulações comprometidas pelo aumento de rugosidade e conseqüente redução da pressão operacional.

É importante a criação de um plano de manutenção, abrangendo a criação de um histórico do comportamento dos equipamentos componentes do sistema, bem como das pressões nos pontos

médios e nos pontos críticos, além de vazões medidas nas entradas de VRPs e boosters.

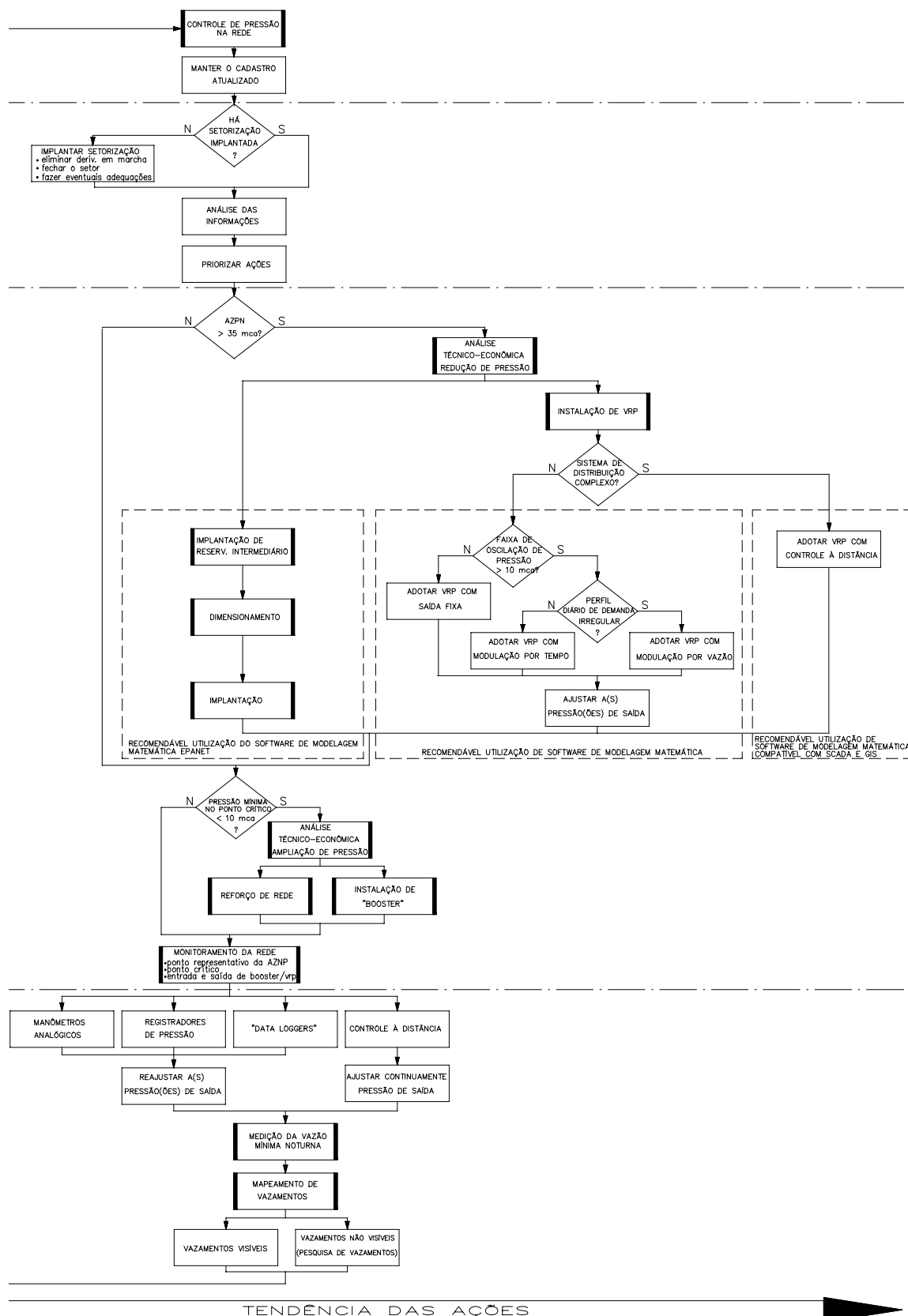
A performance do Controle de Pressão implantado em um setor pode ser monitorado pelo volume total de água que ele consome em 24 horas. Isto pode ser conseguido pela leitura dos medidores/hidrômetros ou através de armazenamento de dados de vazão por um medidor específico no período de 24 horas. Essas atividades podem ser incorporadas no monitoramento do Controle de Pressão muito facilmente e servirá como uma referência para a manutenção do sistema.

Caso sejam verificadas alterações significativas nessa performance, isso exigirá outras investigações suplementares no subsetor, como a verificação de estanqueidade dos registros de fronteira, problemas de funcionamento da instalação ou de um possível crescimento de demanda de água (por novas ligações ou por aumento de consumo de um grande consumidor), ou ainda o aumento no índice de vazamentos.

### **3.6 Abordagem Geral Integrada**

O controle de pressão é um processo contínuo, devido às mudanças na demanda (alterações populacionais, de hábitos de utilização da água, etc.), bem como decorrente do efeito da alteração da rugosidade das tubulações com o passar do tempo. Deve-se então ser criado um processo cíclico, buscando sempre ações que utilizem as ferramentas que o avanço tecnológico vem proporcionando. Essas ações devem ser tomadas a partir de uma análise de custo-benefício.

Na Figura 6.1 temos um esquema geral do processo de controle de pressão na rede.



#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É preciso sempre ter em mente que o controle de pressão é somente uma das atividades no combate às perdas físicas, devendo suas ações serem efetivadas em conjunto com as demais. O conhecimento pleno das características da rede (cadastro físico e operacional) em conjunto com a utilização de modelos econômicos (relação custo/benefício) e hidráulicos irá permitir um gerenciamento completo do controle de desperdício de água por parte da entidade responsável pela distribuição de água à população.

Os conceitos relativos às perdas físicas são relativamente recentes, portanto, outros deverão ser desenvolvidos, de modo a explicar os altos índices de perdas encontrados, além da importância cada vez maior de utilização da água, recurso finito, de forma racional. Ainda, a enorme velocidade do desenvolvimento da informática e das tecnologias de medição e controle, deverão requerer um contínuo aprendizado e aprimoramento das ações relativas ao processo de redução de perdas físicas, de modo a garantir o fornecimento de água a todos, sem intermitência, pois, reconhecidamente, o abastecimento com intermitência conduz a um aumento na frequência de novos vazamentos.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- (1) WRc - Water Research Centre, **Leakage Policy and Practice**, Report 26, 1985.
- (2) Allan Lambert et al, **Managing Water Leakage**, Financial Times Energy, 1998.
- (3) WRc plc/Water Services Association/Water Companies Association, **Report G – Managing Water Pressure**, 1994.
- (4) AWWA Research Foundation, **Distribution System Performance Evaluation**, 1995.
- (5) Lee Cesario, **Modeling, Analysis, and Design of Water Distribution Systems**, AWWA, 1995.
- (6) Mark Peerless, **Catálogo de Unidade Modular de Bombeamento**, 2ª edição, 1997.
- (7) SABESP/BBL-Bureau Brasileiro S/c Ltda., **Apostila para o Curso de Controle de Pressão, através de Válvulas Reguladoras de Pressão (VRP's)**, Revisão 1, 1998.
- (8) SABESP/BBL-Bureau Brasileiro S/c Ltda., **Serviço de Consultoria Técnica para Determinação da Relação entre Perdas Físicas e Variação de Pressão na Rede, através de Intervenções Monitoradas em Área Piloto da RMSP**, Relatório Final, 1998.
- (9) Watts Regulator Co., **Catálogo “ Watts Automatic Control Valves”**, 1996.