

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

VAGNER VINCIGUERA

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA REDUÇÃO DE PRESSÃO
NAS PERDAS REAIS EM SETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DO MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE - MS**

**CAMPO GRANDE
2009**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

VAGNER VINCIGUERA

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA REDUÇÃO DE PRESSÃO
NAS PERDAS REAIS EM SETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DO MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE - MS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de
Mestre no Programa de Pós-Graduação em
Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, na área de concentração em
Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos

ORIENTADOR: Prof. Dr. Peter Batista Cheung

Aprovada em: 15/09/2009

Banca Examinadora:

Prof. Dr.
Peter Batista Cheung
DHT/UFMS

Prof. Dr.
Johannes Gérson Janzen
Depto Eng. Ambiental/UNIR

Prof. Dr.
Robert Schiaveto de Souza
DHT/UFMS

**CAMPO GRANDE
2009**

DEDICATÓRIA:

*Aos meus pais, Antonio e Yoshiko, irmãs, Ana Paula, Adriana,
Claudia e Claudete, que estiveram ao meu lado, me apoiaram,
com amor e atenção, em todos os momentos desde o início desta jornada.*

AGRADECIMENTOS:

Ao Professor Peter Batista Cheung, exemplo de dedicação ao estudo, à ciência e ao trabalho, pela sua orientação, apoio e amizade.

Aos Professores Robert Schiaveto, Jorge Luiz Steffen, Carlos Nobuyoshi Ide, pelos conhecimentos transmitidos no curso, e apoio durante as pesquisas.

À Eletrobrás, pois sem seu apoio esse trabalho não se realizaria.

À equipe do Laboratório Resan pela dedicação, amizade e companheirismo nas campanhas de campo para coleta de dados e em todo o tempo que passamos no laboratório.

À empresa Água Guariroba, pela autorização para realizar esse estudo e apoio técnico dos funcionários.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Perdas em sistema de abastecimento e distribuição de água	6
3.2 Perdas Reais.....	15
3.2.1 Perdas Reais por Vazamento	17
3.2.2 Perdas Reais por Extravasamento.....	18
3.2.3 Perdas por mau funcionamento em equipamento de controle do sistema de distribuição de água.....	20
3.3 Perdas Aparentes	21
3.3.1 Perdas Aparentes por Erro de Macromedição	22
3.3.2 Perdas Aparentes por Erro de Micromedição (hidrômetros).....	23
3.3.3 Perdas Aparentes para Suprimento Social.....	25
3.4 Indicadores de Gestão.....	26
3.5 Influência da Pressão na Perda Física do Sistema de Distribuição de Água:	30
3.6 - Aspectos econômicos da recuperação das perdas de água	31
3.7 Controle e Redução de Perdas	34
3.8 Eficiências Energéticas no Saneamento	35
3.9 Indicadores de Eficiência Energética	36
3.10 Relação entre perda e consumo de energia.....	37

4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
4.1 Levantamento das características do sistema de abastecimento de água	42
4.2 Levantamentos dos Dados em Campo:	43
4.3 Modelação Hidráulica.....	44
4.4 Calibração	46
4.5 Balanço Hídrico do Sistema de Distribuição de água atual.....	47
4.6 Determinação da mínima pressão	48
4.7 Análise Energética.....	49
4.8 Avaliação Econômica	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1 Diagnósticos de perdas do sistema atual de abastecimento de água	51
5.2 Pressão e sua influência com perda física do sistema de distribuição de água	51
5.3 Eficiência Energética.....	54
5.3 Análise econômica.....	55
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	61
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Índice de perdas de faturamento em diferentes países (PNCD (1998) DTA A-2) ..	2
Figura 3.1: Fluxograma típico de uma auditoria de água	9
Figura 3.2: Esquema geral do sistema de abastecimento de água	10
Figura 3.3: Curva de Erro Característica dos Medidores	Erro! Indicador não definido.
Figura 3.3: Curva de Erro Característica dos Medidores	24
Figura 3.4: Relação entre Pressão e vazão de intensidade de vazamento	31
Figura 3.5: Relação entre perdas reais anuais inevitáveis (PRAI) e o nível econômico das perdas reais	33
Figura 3.6: Linha de energia em um segmento de tubo com vazamento (COLOMBO e KARNEY, 2002).	38
Figura 3.8 Resposta do custo de energia á complexidade do sistema (COLOMBO e KARNEY, 2002).	40
Figura 4.1: Modelo hidráulico adotado.	43
Figura 4.2: Medidor de Vazão.	44
Figura 4.3: Medidor de Pressão.	44
Figura 4.4: Setor Estudado modelado no Epanet.	45
Figura 4.5: Gráfico Vazão de Saída do Reservatório.	46
Figura 4.4: Hidrograma de Saída do Reservatório (Fonte: Epanet).	48
Figura 5.1: Gráfico do Indicador de Perdas Físicas	54
Figura 5.2: Gráfico de Potencia Consumido (KW) X Tempo (H)	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Índice de perdas de faturamento médio dos prestadores de serviços participantes do Diagnóstico 2007, segundo abrangência e região.	2
Tabela 3.1: Esquema do balanço hídrico padrão	14
Tabela 3.2: Perdas Físicas por Subistema – Origem e Magnitude.....	16
Tabela 3.3; Causas Prováveis de falhas e rupturas nas tubulações em função da fase de desenvolvimento do sistema de abastecimento.	18
Tabela 3.4: Perdas Aparentes	22
Tabela 3.5: Prospecção de Indicadores por meio literatura.....	27
Tabela 4.1: Características principais das bombas que realizam a adução do setor Coopatrabalho.....	43
Tabela 4.2: Matriz do balanço hídrico aplicada ao sistema atual (volume em m ³ /dia).....	47
Tabela 4.3: Redução de Pressão X IPR:	49
Tabela 5.1- Balaço Hídrico Atual.....	51
Tabela 5.2- Redução das Perdas Física por Redução Pressão 0 % na válvula localizada na saída do reservatório:.....	52
Tabela 5.3- Balaço Hídrico após o ajuste de VRP1	52
Tabela 5.4- Redução das Perdas Física por Redução Pressão 10 % na VRP2.....	52
Tabela 5.5- Redução das Perdas Física por Redução Pressão 20 % na VRP2:.....	53
Tabela 5.6- Redução das Perdas Física por Redução Pressão 30 % na VRP2:.....	53
Tabela 5.7- Redução das Perdas Física por Redução Pressão 36,83 % na VRP2:.....	53
Tabela 5.8- Balaço Hídrico após o ajuste das duas VRPs.....	54
Tabela 5.10-Planilha de Orçamento para a instalação da VPR	56
Tabela 5.11-Planilha de Orçamento para Interligação das Redes do poço na rede de distribuição	57

Tabela 5.12-Planilha de Custo de Instalação dos Inversores de Frequência.	58
Tabela 5.13-Planilha de Custo de Energia para abastecer o sistema.....	58
Tabela 5.14-Planilha de Taxa Interna de Retorno	59
Tabela 5.15-Planilha de Custo de Produção de Água para abastecer o sistema.....	59
Tabela 5.17-Planilha de Taxa Interna de Retorno	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANC	- Água Não Contabilizada
ANF	- Água Não Faturada
AWWA	- American Water Works Association
BRC	- Bomba com Velocidade de Rotação Constante
BRV	- Bomba com Velocidade de Rotação Variável
CEE	- Consumo Específico de Energia
CEN	- Consumo de Energia Normalizado
DTA	- Documento Técnico de Apoio
EP	- Extensão Parcial da Rede
EPA	- Environmental Protection Agency
ET	- Extensão Total da Rede
ETA	- Estação de Tratamento de Água
ILB	- Índice Linear Bruto de Perda
ILR	- Índice Linear de Perda Real
IPD	- Índice de Perda na Distribuição
IPF	- Índice de Perda de Faturamento
IPL	- Índice de Perda por Ligação
IVI	- Índice de Vazamentos da Infra-Estrutura
IWA	- International Water Association
LA	- Número de ligações ativas
LE	- Linha de Energia
MS	- Mato Grosso do Sul
ND	- Número de Dias
PMSS	- Programa de Modernização do Setor Saneamento
PNCDA	- Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PRD	- Índice de Perda Real na Distribuição
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA	- Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
UFMS	- Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
VD	- Volume Disponibilizado
VF	- Volume Faturado
VFU	- Volume Fisicamente Utilizado
VSP	- Válvula Sustentadora de Pressão
VU	- Volume Utilizado

RESUMO

VINCIGUERA, V. (2009). Avaliação do impacto da redução de pressão nas perdas reais em setor de distribuição de água do município de Campo Grande – MS, Campo Grande, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009. 69p. Dissertação (Mestrado).

As perdas em um sistema de abastecimento de água podem representar uma grande percentagem do total de água fornecida, dependendo da idade, da pressão atuante e da deterioração do sistema. Este trabalho apresenta as perdas de água que ocorrem em sistemas de abastecimento e diversos mecanismos de controle disponíveis para evitá-las. Pretende-se correlacionar os valores de perdas de um sistema real e do mesmo setor com mínima pressão de abastecimento através da utilização de válvulas de controle de pressão (VRP) e inversores de frequência, cenários esses, simulado através do software Epanet e calibrado através do software Epanet Calibrator (Abe 2009). Com o Balanço Hídrico antes e depois de aplicarmos a metodologia, observou-se uma redução significativa na perda real do sistema. Conclui-se, portanto que a utilização de válvulas redutoras de pressão e conversor de frequência são alternativas eficazes no combate às perdas em sistemas de abastecimento de água, pois representam um investimento inicial relativamente pequeno com uma redução imediata nas perdas físicas do sistema.

Palavras-Chave: vazamento, pressão, rede de distribuição de água, perdas e eficiência energética.

ABSTRACT

VINCIGUERA, V. (2009). Impact of reduction of pressure losses in real sector of water supply of the municipality of Campo Grande - MS, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009. 69p. Dissertação (Mestrado).

The losses in a system of water supply may represent a large percentage of the total water supplied, depending on age, the applied pressure and the deterioration of the system. This paper presents the water losses occurring in water supplies and various control mechanisms available to avoid them. The aim is to correlate the loss of a real system and the same industry with minimum supply pressure through the use of vacuum-pressure control (SS) and frequency inverters, these scenarios, simulated using the software Epanet and calibrated by software Epanet Calibrator (Abe 2009). With the Water Balance before and after applying the methodology, we observed a significant reduction in the loss of the real system. It follows therefore that the use of pressure reducing valves and frequency converter are effective in combating the system loss of water supply, they represent a relatively small initial investment with an immediate reduction in physical losses of the system.

Keywords: leakage, pressure, water distribution system, losses and efficiency

1 INTRODUÇÃO

O estudo sobre o tema perdas de água geradas em sua distribuição aos consumidores, atualmente está sendo aprofundado com o objetivo de um correto levantamento dos desperdícios, bem como as maneiras mais viáveis economicamente para a correção dos problemas. Sabendo que o acesso à água não é somente um direito do ser humano, mas uma necessidade pode-se caracterizar o abastecimento de água como um sistema essencial na sociedade.

A questão que envolve a redução da disponibilidade hídrica para consumo direto é inversamente proporcional à demanda da mesma, o que obriga aos setores relacionados ao abastecimento e distribuição de água investir em melhorias de projeto, operação e manutenção, buscando a otimização dos serviços prestados, bem como a redução das perdas. A preocupação encontra-se bem fundamentada, partindo da situação em que está a disponibilidade de água no mundo, e a escassez que assola muitos países.

As perdas em um sistema de abastecimento de água podem representar uma grande percentagem do total de água fornecida, dependendo da idade, da pressão atuante e da deterioração do sistema. Como consequência desta perda e o aumento da população, áreas urbanas podem experimentar falta de água. A perda envolve não apenas o desperdício de água tratada e bombeada, mas pode significar, com frequência, o investimento de capital na expansão da capacidade de sistema, ou a busca por mananciais alternativos. Nestes casos, uma análise econômica do sistema recomenda medidas que reduzam as perdas (Reis, Porto e Chaudhry, 1997).

Indicadores de perdas de água em sistemas de abastecimento urbanos de diversos países apontam para índices médios de 17% de perda de toda a água captada e tratada no cenário mundial, como mostra a Figura 1.1, apresentada no Documento Técnico de Apoio A-2 do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água PNCDA (1998).

No Brasil esses índices variam bastante entre as companhias de saneamento, entretanto todos os índices apontam para a necessidade de redução destes valores, alguns bastante altos. O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS (2007) incorpora novos e mais precisos indicadores de perdas além do tradicional Índice Geral de Perdas expresso em porcentagem. A Tabela 1.1 apresenta os índices de perdas de faturamento médio das companhias de saneamento participantes do Diagnóstico 2002.

A redução destes índices de perda deve ser o principal desafio das companhias de saneamento, uma vez que sistemas de abastecimento que não operam com um bom nível de desempenho implicam além da captação de um volume hídrico acima do previsto inicialmente, o conseqüente aumento no consumo de energia elétrica pelos componentes de bombeamento e ainda custos adicionais em insumos e mão de obra para operação do sistema.

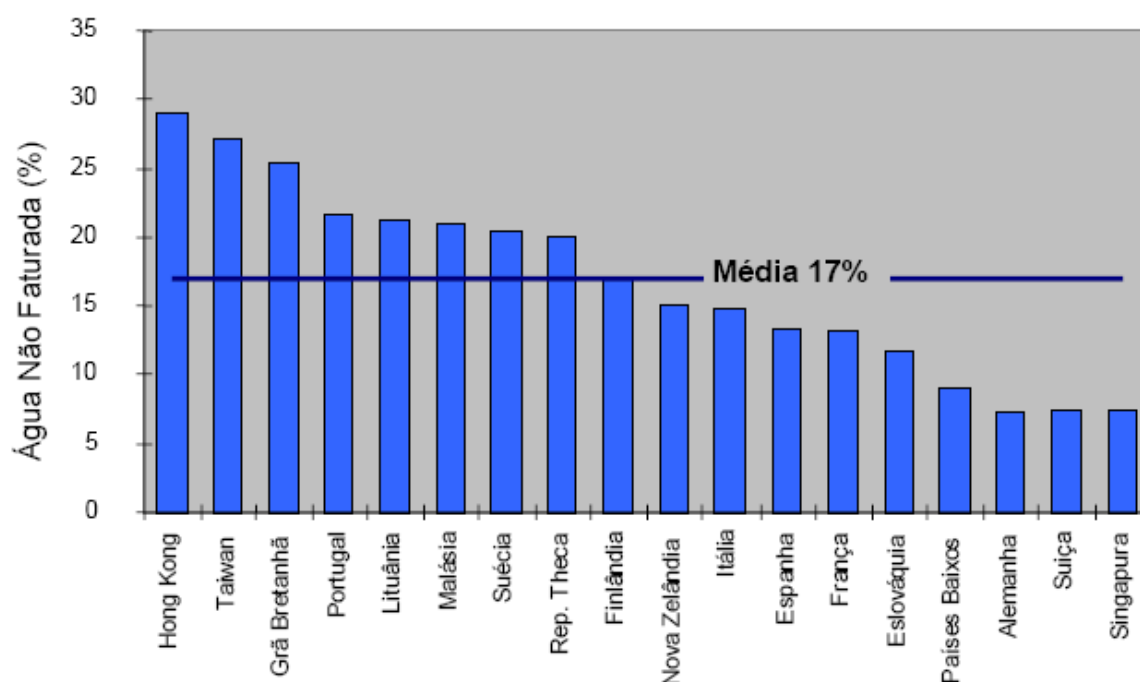


Figura 1.1 – Índice de perdas de faturamento em diferentes países (PNCD (1998) DTA A-2)

Tabela 1.1 – Índice de perdas de faturamento médio dos prestadores de serviços participantes do diagnóstico 2007, segundo abrangência e região.

Região	Companhias Regional (Estaduais)	Companhias Microrregionais	Companhias Locais (DAE / SAAE)	Resumo Geral Brasil
	%	%	%	%
Norte	53,3	-	61,0	56,7
Nordeste	45,0	22,9	34,5	44,0
Sudeste	39,3	37,9	37,6	38,8
Sul	25,6	19,5	34,4	28,1
Centro-Oeste	33,1	31,8	40,1	35,5
BRASIL	39,1	35,6	39,1	39,1

Fonte: SNIS (2007)

A redução da perda de água nestes sistemas conduz a um maior equilíbrio financeiro para a companhia de saneamento, além de adiar ou mesmo evitar a necessidade de expansão da produção de água e os altos investimentos inerentes à execução de novas captações, estações de tratamento e adutoras para transporte da água localizadas, na maioria das vezes, distantes dos centros de consumo.

As perdas em um sistema de abastecimento de água podem ser consideradas como perdas não físicas e perdas físicas. As perdas não físicas, então relacionadas com o processo de comercialização da água consumida pela população: são erros de macro e micromedição, falhas em cadastramento de usuários, ligações clandestinas, enfim eventos que fazem com que volumes efetivamente consumido não sejam faturados.

Já a perda física está relacionada com os volumes de água que são realmente perdidos ao longo do processo de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição da água, ou seja, toda a cadeia de transformação da água bruta apropriada para consumo e sua entrega ao consumidor. O combate à perda física nos sistema de abastecimentos de água torna-se cada vez mais relevante, tanto no aspecto da utilização racional dos recursos hídricos, como também devido à escassez de capitais para investimentos no setor de saneamento básico, principalmente nos casos em que não há incremento de usuários e a análise do empreendimento através do custo marginal mostra-se inviável.

Dentre os métodos para se controlar as perdas destaca-se o controle de pressão em sistema de abastecimento de água, sendo fundamental a sua aplicação para a utilização racional e eficiente dos recursos naturais. No entanto o problema do controle operacional das perdas físicas tem recebido menor atenção (Jowitt e Xu, 1990).

É prática comum no dimensionamento de redes de abastecimento de água, a consideração da demanda como a média diária acrescida de valores de coeficientes de consumo máximos horários e diários. Este tipo de dimensionamento, muitas vezes, resulta em valores de pressão superiores ao necessário o que implica em coeficientes de perdas acima do necessário e valores de eficiência menores do sistema.

A presente dissertação divide-se em dois grandes blocos: estudo da relação entre vazamentos e pressão e análise econômica de propostas para redução de perdas em sistemas reais de abastecimento; e está organizada em 7 capítulos, incluindo esta introdução.

No item 2 são apresentados os objetivos gerais e específicos, enfocando a obtenção da relação entre perdas e vazamentos e a análise econômica obtida com a diminuição do custo energético e o custo de produção da água.

No item 3 tem-se a fundamentação teórica e revisão bibliográfica, no qual é mostrado o estado da arte dos estudos técnicos voltados à obtenção dos indicadores de perdas e a sua redução com a diminuição da pressão atuante no sistema além de apresentar os conceitos fundamentais utilizados em eficiência energética e do custo econômico do fator perda em uma companhia de abastecimento, abordando os diferentes aspectos relevantes sobre esses temas.

No item 4 descreve-se em linhas gerais os aspectos metodológicos do desenvolvimento da dissertação, com destaque para a pesquisa, modelagem e calibração de um setor real bem como as formulações utilizadas para a realização da análise econômica.

No item 5 apresentam-se os principais resultados em termos de perdas obtidos com a simulação do sistema real estudado com a adoção de controle de pressão sobre o sistema com a utilização de válvulas controladoras de pressão e de inversores de frequência. Além disso, apresenta uma discussão dos resultados obtidos com a aplicação de uma análise econômica dos cenários propostos.

No item 6, apresentam-se as conclusões e recomendações pertinentes aos dois grandes temas. Por fim, no capítulo 7 tem-se as bibliografias utilizadas para a fundamentação do trabalho.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho de pesquisa tem por objetivo avaliar a relação entre pressão e perdas nas redes de distribuição de água potável, realizando as seguintes metas;

- Diagnóstico de perdas de água no sistema de abastecimento existente;
- Estudo das concepções de abastecimento (bombeamento direto e indireto) visando a conservação da água;
- Análise da relação entre redução de perdas e consumo energético;
- Análise de viabilidade econômica levando em conta diferentes parâmetros;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos gerais referentes às perdas de água nos sistemas de abastecimento, bem como os diversos aspectos relacionados com sua ocorrência e formas de tratamento de modo a apresentar um panorama atual do conhecimento, recursos e técnicas empreendidas na tentativa de reduzir os volumes de água perdidos e tornar os sistemas de abastecimento mais eficientes.

3.1 Perdas em sistema de abastecimento e distribuição de água

Os sistemas de abastecimento de água têm por finalidade o transporte e a distribuição de água desde sua captação até os pontos de consumo, com garantia da qualidade do produto, dos serviços e de sua continuidade. Faria e Alegre (1996) afirmam que todos os abastecimentos se regem por uma lógica de gestão que pode ser estabelecida como: maior satisfação de um maior número de usuários e entidades envolvidas, com o melhor uso possível dos recursos disponíveis. Luvizotto e Silva (2002) sintetiza tal afirmação nos seguintes objetivos:

- Controle do grau de aproveitamento dos recursos disponíveis (água, energia, capital, infra-estruturas).
- Controle da qualidade de água consumida e do serviço prestado aos usuários (consumidores).
- Controle dos custos de operação e manutenção do sistema.

Num inquérito recentemente realizado aos quase 150 membros dos Comitês da Divisão de Distribuição da Associação Internacional dos Serviços de Água (IWSA), foi solicitado aos inquiridos que indicassem, por ordem de preferência, os temas a serem tratados prioritariamente pela Associação. Os resultados foram expressivos: a avaliação do desempenho dos sistemas e o controle de perdas de água foram, de longe, os temas mais frequentemente apontados como prioritários, com vantagens para o primeiro (Alegre e Baptista apud Almeida et al, 1999).

De acordo com a atual cultura que visa à sustentabilidade dos bens renováveis e não renováveis juntamente com o desenvolvimento, são feitos estudos que procuram evitar os desperdícios nas diversas fontes de energia e fontes naturais. Dentro do sistema de abastecimento de água não é diferente, pois a água é uma matéria-prima não inesgotável utilizada com fonte de abastecimento e de energia para toda população mundial.

O abastecimento de água é essencial para a vida. Seu fornecimento está relacionado com aspectos ambientais, econômicos e sociais - tendo em vista, a sua estreita ligação com a manutenção da saúde de seus consumidores, enquanto bem estar físico, mental e social. Com o aumento da demanda de água, torna-se cada vez mais necessária a otimização desses sistemas, particularmente no projeto, operação e manutenção. Os altos custos refletem a importância de se buscar meios de diminuir os desperdícios tão comuns de água e energia, pois é consenso no Setor de Saneamento que as elevadas perdas de água têm relação direta com o consumo de energia elétrica, e que as ações de combate às perdas de água configuram-se em efetivo potencial de redução de desperdício de energia elétrica, principalmente no âmbito dos sistemas de abastecimento de água (Moura, 2004).

A princípio, perda é toda água tratada que foi produzida e se perdeu no caminho, não chegando ao uso final pelos clientes da companhia de saneamento. Essa noção, no entanto, trata a perda como algo físico. O conceito de perdas, todavia, vai mais adiante. Sobre a perspectiva empresarial, se o produto for entregue e, por alguma ineficiência, não for faturado, tem-se um volume de produto onde foram incorporados todos os custos intrínsecos de produção industrial e transporte, mas que não está sendo contabilizado como receita da companhia, evidenciando uma perda do tipo pecuniária, embora com conotação diferente em relação ao caso anterior, sendo mais ligada ao aspecto comercial do serviço prestado. Desta forma identificam-se dois tipos de perda, Perda Real (Física) e Perda Aparente (Não Física) (Tardelli Filho, 2004).

As perdas nos sistemas de distribuição e abastecimento público de água são consideradas correspondentes aos volumes não contabilizados, ou seja, são a diferença entre a quantidade total de água disponibilizada e a quantidade de água efetivamente consumida pelos usuários dos sistemas de abastecimento. As perdas são causadas por diversos fatores, tais como perdas por vazamento em tubulações e conexões, sub-medição dos hidrômetros, consumo público não-registrado ou conexões não autorizadas, englobando tanto as perdas físicas (reais), que representam a parcela não consumida, como as perdas não físicas (aparentes), que correspondem à água consumida e não registrada.

As perdas nos sistemas de abastecimento de água devem ser reduzidas a um nível compatível com as condições ambientais e econômicas específicas de cada região. A redução de perdas deve ser uma busca permanente da melhoria de materiais e da mão-de-obra, da mobilização de todos os profissionais da empresa e da racionalização dos processos e instrumentos de gestão das companhias de saneamento. A identificação e separação das perdas físicas das não físicas são tecnicamente possíveis mediante pesquisa de campo, utilizando a metodologia da análise de histograma, registros contínuos de consumo das vazões macro medidas.

Identificando as perdas a que está sujeito um sistema de abastecimento de água, pode-se repercutir em economia financeira ou atos de controle e redução das mesmas, não só para concessionária produtora, mas também para o consumidor. A redução da perda de água permite reduzir, de forma significativa, os custos de produção, bem como os custos de energia elétrica. Como consequência da minimização do volume desperdiçado é possível, reestruturar a oferta de água para mais consumidores de um mesmo sistema, reduzindo despesas com as obras, caracterizando uma diminuição do valor do serviço.

O estudo sobre o tema perdas de água geradas em sua distribuição aos consumidores, atualmente está sendo aprofundado com o objetivo de um correto levantamento dos desperdícios, bem como as maneiras mais viáveis economicamente para a correção dos problemas. Sabendo que o acesso à água não é somente um direito do ser humano, mas uma necessidade, devemos caracterizar o abastecimento de água como um sistema essencial na sociedade. Porém, a questão que envolve a redução da disponibilidade hídrica para consumo direto é inversamente proporcional à demanda da mesma, o que obriga aos setores relacionados ao abastecimento e distribuição de água investir em melhorias de projeto, operação e manutenção, buscando a otimização dos serviços prestados, bem como a redução das perdas. A preocupação encontra-se bem fundamentada, partindo da situação em que está a disponibilidade de água no mundo, e a escassez que assola muitos países.

Auditoria da Água em Sistema de Distribuição e Abastecimento

Auditoria da Água é uma contabilização exaustiva de toda água que entra e sai de um sistema de abastecimento, bem como um exame, em profundidade, dos dados, registrados e de campo, de um sistema de distribuição, com a intenção de se determinar a eficiência operacional do sistema e de se identificarem as origens das perdas de água e de receita. (GleisonSilva, 2004). Basicamente, a auditoria em sistemas de abastecimento de água se

constitui num processo de subtração, que inclui a quantificação da água total que entra no sistema, das vendas de água, dos usos autorizados medidos e não-medidos e das perdas de água.

Utilizada adequadamente, a Auditoria da Água pode ser uma excelente ferramenta de gerenciamento, auxiliando os gestores na redução de perdas de água e de receita, na redução de ineficiências, no planejamento de substituição de redes, adutoras e equipamentos, e na avaliação de taxas de operação e de perdas de água. O objetivo principal de uma auditoria em sistema de abastecimento de água é identificar as origens e quantificar as perdas de água e de receita e as fontes de ineficiência no sistema. A Auditoria da Água é usada, ainda, na determinação da eficiência operacional de sistemas de distribuição de água. Os seus resultados são utilizados como subsídio para a definição, priorização, implementação e monitoramento das ações de um programa de redução de perdas. A Figura 3.1 mostra um fluxograma típico de uma Auditoria da Água

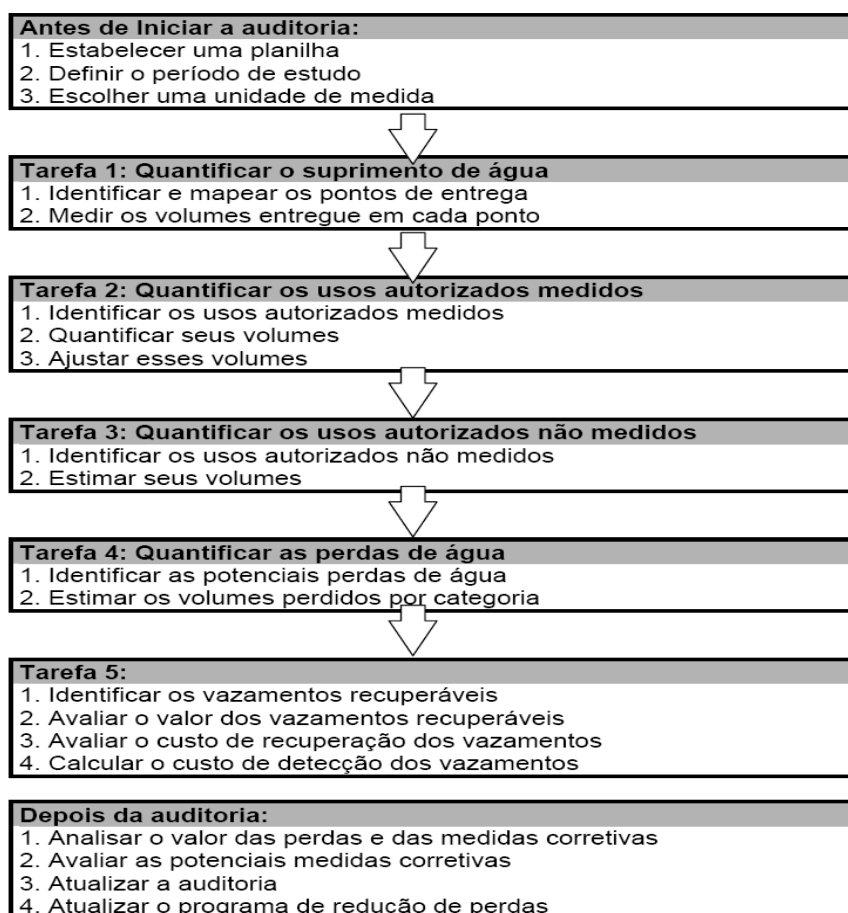


Figura 3.1 – Fluxograma típico de uma auditoria de água

Fonte: SABESP (2001).

O balanço hídrico do sistema, para avaliar os componentes dos fluxos e usos da água no sistema será calculado neste trabalho. O balanço hídrico de um sistema foi uniformizado pela IWA, que propôs uma matriz onde são apresentadas as variáveis mais importantes para a composição dos fluxos e usos da água, conforme a Figura. 3.2.

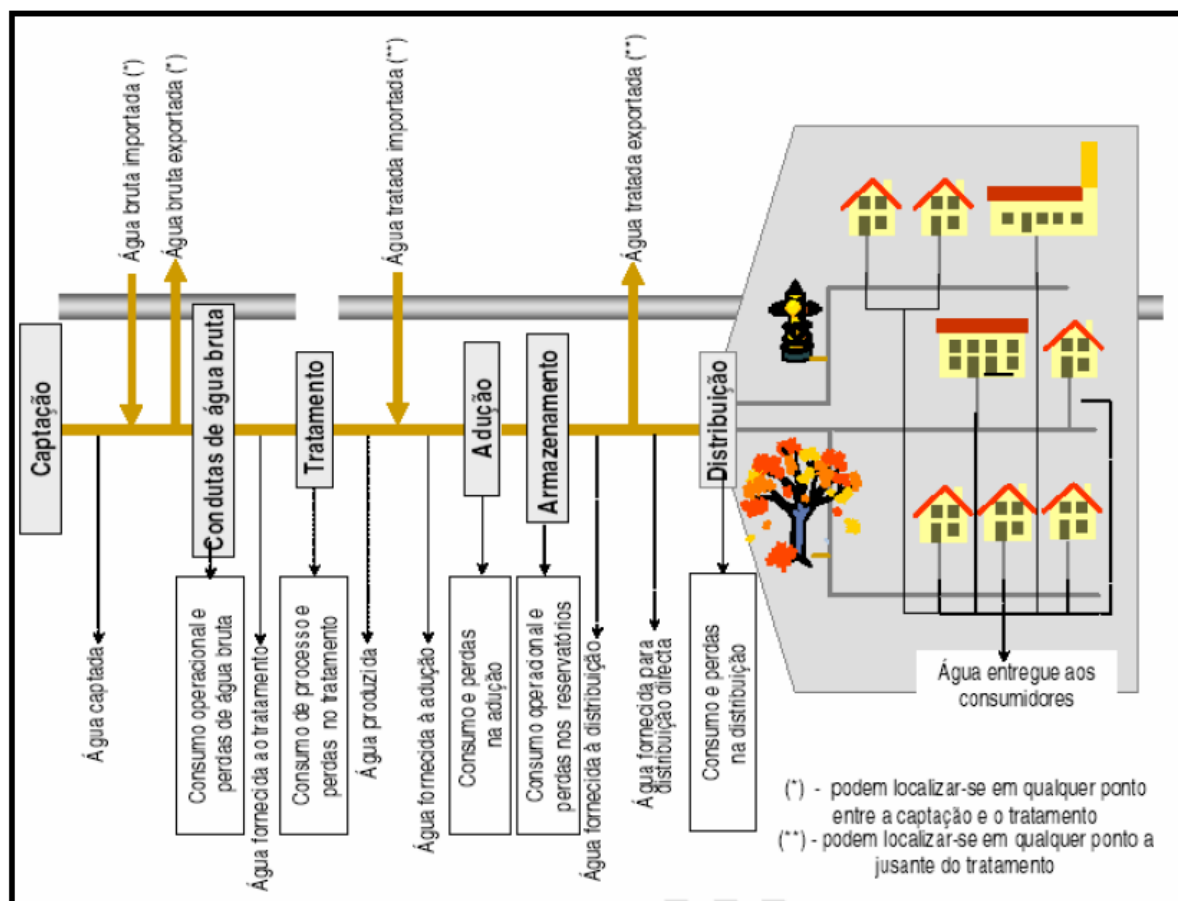


Figura 3.2 – Esquema geral do sistema de abastecimento de água
Fonte: Alegre (2004).

Como definição e conceituação sobre balanço hídrico e suas características, a IWA indica a utilização das seguintes considerações propostas (Gleison Silva 2004):

-Água captada: volume anual de água obtida a partir de captações de água bruta para entrada em estações de tratamento de água (ou diretamente em sistemas de adução e de distribuição).

-Água bruta, importada ou exportada: volume anual de água bruta transferida de ou para outros sistemas de adução e distribuição (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto entre a captação e a estação de tratamento).

-Água fornecida ao tratamento: volume anual de água bruta que aflui às instalações de tratamento

-Água produzida: volume anual de água tratada que é fornecida aos condutos de adução ou diretamente ao sistema de distribuição. O volume anual de água sem tratamento prévio que é distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como Água Produzida.

-Água tratada, importada ou exportada: volume anual de água tratada transferido de ou para o sistema (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto à jusante do tratamento). Caso exista, o volume anual de água sem tratamento prévio que é captado e distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como “Água Tratada” no contexto do balanço hídrico.

-Água fornecida à adução: volume anual de água tratada que aflui ao sistema de adução.

-Água fornecida para distribuição: volume anual de água tratada que aflui ao sistema de distribuição.

-Água fornecida para distribuição direta: volume de água correspondente à diferença entre a água fornecida para distribuição e a água tratada, importada ou exportada (sempre que não seja possível separar a adução da distribuição, a água fornecida para distribuição direta corresponde à diferença entre a Água fornecida à adução e a Água tratada, importada ou exportada).

-Água que entra no sistema: volume anual de água introduzido na parte do sistema de abastecimento que é objeto do cálculo do Balanço Hídrico (por exemplo, a partir do volume entregue em um ponto reservatório setorial ou derivação de adutora antes da entrega às redes de distribuição); inclui “Água Importada”;

-Consumo autorizado: volume anual de água, medido ou não medido, faturado ou não, fornecido a consumidores registrados, a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais ou industriais e à própria entidade gestora. Inclui a “Água Exportada”.

O consumo autorizado pode incluir água para combate a incêndio, lavagem de condutos e coletores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontes, fornecimento de água para obras, etc.

O consumo autorizado inclui as fugas e o desperdício, por parte de clientes registrados, que não são medidos.

Consumo autorizado faturado: volume que gera receita potencial para a companhia de saneamento corresponde à somatória dos volumes constantes nas contas emitidas aos consumidores. Compõe-se dos Volumes Medidos nos hidrômetros e dos Volumes Estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados; Consumo autorizado não-faturado: volume que não gera receita para a companhia de saneamento, oriundo de usos legítimos da água no sistema de distribuição. É composto de Volumes Medidos (uso administrativo da própria companhia, fornecimento a caminhões-pipa com controle volumétrico) e Volumes Não Medidos, a estimar, tais como a água utilizada em combate a incêndios, lavagem de ruas, rega de espaços públicos e a água empregada em algumas atividades operacionais na companhia de saneamento (lavagem de redes de água e de esgoto, e reservatórios).

-Perdas de Água: volume referente à diferença entre a “Água que Entra no Sistema” e o “Consumo Autorizado”;

As perdas de água podem ser calculadas para todo o sistema ou para subsistemas, como sejam as redes de água não tratada, o sistema de adução, o sistema de distribuição ou zonas do sistema de distribuição. Em cada caso as componentes do cálculo devem ser consideradas em conformidade com a situação. As Perdas de água dividem-se em Perdas Reais e Perdas Aparentes.

Os registros por defeito dos medidores de água produzida, bem como registros por excesso em contadores de clientes, levam a uma sub-avaliação das Perdas Reais. As perdas físicas a jusante do contador do cliente podem contribuir significativamente para o aumento das perdas aparentes.

-Águas Faturadas: representam a parcela de água comercializada traduzida no faturamento do fornecimento de água ao consumidor. Este volume corresponde à diferença entre os totais, do período de análise, da Água de Entrada no Sistema e do Consumo Autorizado Faturado

-Águas Não-Faturadas: representam a diferença entre os totais anuais da Água que Entra no Sistema e do Consumo Autorizado Faturado. Esses volumes incorporam as Perdas Reais e Aparentes, bem como o Consumo Autorizado Não-Faturado. A partir dos conceitos adotados, a IWA indica, de forma clara, uma matriz do Balanço Hídrico, evitando a confusão entre os termos citados, conforme a Figura 4, possibilitando a interpretação dos dados, buscando assim obter o indicador de perdas correspondente.

De acordo com Alegre et al (2005) os passos para efetuar o Balanço Hídrico são os seguintes, seguindo a Tabela 3.1:

-Passo 0: Definir os limites exatos do sistema (ou setor de rede) a auditar; definir as datas de referência (definindo um período de um ano).

-Passo 1: Determinar o volume de água de entrada do sistema e introduzi-lo na Coluna A.

-Passo 2: Determinar o consumo faturado medido e o consumo faturado não medido e incluir na Coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado faturado (Coluna C) e como água faturada (Coluna E).

-Passo 3: Calcular o volume de água não faturada (Coluna E) subtraindo a água faturada (Coluna E) à água entrada no sistema (Coluna A)

-Passo 4: Definir o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido na Coluna D; registra o total em consumo autorizado não faturado na Coluna C.

-Passo 5: Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado e ao consumo autorizado não faturado da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (Coluna B).

-Passo 6: Calcular as perdas de água (Coluna B) como a diferença entre a água entrada no sistema (Coluna A) e o consumo autorizado (Coluna B).

-Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não autorizado e dos erros de medição (Coluna D), somá-las e registra o resultado em perdas aparentes (Coluna C).

-Passo 8: Calcular as perdas reais (Coluna C) subtraindo as perdas aparentes (Coluna C) às perdas de água (Coluna C).

-Passo 9: Avaliar as parcelas das perdas reais (Coluna D) usando os melhores métodos disponíveis (análise de vazão noturna, dados de medição local, cálculos de frequência/vazão/duração das ruptura, modelação de perdas baseada em dados locais sobre o nível-base de perdas, etc.), somá-las e comparar com o resultado das perdas reais (Coluna C).

Nota-se, portanto, que o Balanço Hídrico e a Auditoria de Água são muito semelhantes, sendo possível a aplicação conjunta de ambos, possibilitando ser empregados em

diversos tipos de concessionárias de água, de acordo com a sua necessidade ou de acordo com a possibilidade de fornecer informações.

Tabela 3.1 – Esquema do balanço hídrico padrão

Melhor Prático de Balanço Hídrico Padrão segundo a IWA				
A	B	C	D	F
Água que entra no sistema (m ³ /ano)	Consumo autorizado (m ³ /ano)	Consumo autorizado faturado (m ³ /ano)	Consumo faturado medido (m ³ /ano)	Água faturada (m ³ /ano)
			Consumo faturado não-medido (estimados) (m ³ /ano)	
		Consumo autorizado não-faturado (m ³ /ano)	Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão pipa) (m ³ /ano)	Água não-faturada (m ³ /ano)
			Consumo não-faturado não-medido (combate a incêndios, favelas, etc.) (m ³ /ano)	
	Perdas de água (m ³ /ano)	Perdas aparentes (m ³ /ano)	Uso não-autorizado (fraudes e falhas no cadastro) (m ³ /ano)	
			Erros de medição (macro e micro medição) (m ³ /ano)	
		Perdas reais (m ³ /ano)	Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável) (m ³ /ano)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição (m ³ /ano)	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição (m ³ /ano)	
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) (m ³ /ano)	

Fonte: Adaptado de Lambert (2003).

É importante lembrar que todos os cálculos de balanço hídrico anual são aproximados, dada a dificuldade em avaliar todas as componentes com a exatidão desejável e sobre a mesma base temporal. A confiabilidade do cálculo tende a ser maior quando os volumes de entrada são adquiridos a através de medição ou de macromedidores e quando toda a água distribuída é medida por medidores de clientes bem dimensionados e adequadamente mantidos e calibrados.

Assim, é importante avaliar, de forma crítica, a exatidão e a confiabilidade de cada componente do balanço hídrico.

3.2 Perdas Reais

Perdas reais é a atual nomenclatura definida pela International Water Association (IWA) para as perdas físicas, que correspondem a toda água produzida e transportada pelas companhias responsáveis pela distribuição que não é consumida pelo cliente final. Tais perdas podem ocorrer através de vazamentos (principalmente nas tubulações das linhas de adução e da rede de distribuição e seus acessórios, como juntas, registros e ventosas) ou também através de extravasamentos (ocorridos no período de carregamento dos reservatórios devido às falhas operacionais dos equipamentos de controle instalados ou devido à inexistência de dispositivos de alerta e controle).

É exposto na Tabela 3.2, os tipos de perdas reais, bem como seu nível de significância quanto à quantidade de desperdício. Verificam-se então, os cinco locais de ocorrência das perdas físicas de água, partindo da adução até a distribuição para o consumidor final. Cada subsistema possui as suas próprias características, e conseqüentemente as perdas reais relativas. É possível verificar no quadro, que o principal motivo da ocorrência das perdas reais refere-se à existência de vazamentos, indiferente ao subsistema em que está envolvido.

O motivo para grande importância dada ao subsistema que envolve a distribuição é o fato deste possuir uma perda de água a qual necessariamente passou por um sistema de tratamento, muitas vezes complexo, envolvendo altos custos financeiros para seu funcionamento e manutenção. Está concentrado neste subsistema, as perdas reais de água de maior magnitude e custo, sendo essas, as perdas de mais complexa identificação e solução. Por isso, este setor deve ser objeto de análise e controle intensivo.

Tabela 3.2 – Perdas Físicas por Subsistema – Origem e Magnitude.

PERDA FÍSICA	SUBSISTEMA	ORIGEM	MAGNITUDE
	Adução de Água Bruta	Vazamento nas tubulações	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional.
		Limpeza do poço de sucção	
	Tratamento	Vazamentos estruturais	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional.
		Lavagem de filtros	
		Descarga de lodo	
	Reservação	Vazamentos estruturais	Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional.
		Extravasamentos	
		Limpeza	
	Adução de Água Tratada	Vazamento nas tubulações	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional.
		Limpeza do poço de sucção	
		Descargas	
	Distribuição	Vazamento na rede	Significativa, função do estado das tubulações e principalmente das pressões.
		Vazamento em ramais	
		Descargas	

Fonte: Adaptado Concejo, Lopes e Marka – PNCD (1999).

No momento em que nos referimos às perdas reais de água, não podemos esquecer que estas não estão apenas presentes no sistema de captação, tratamento e distribuição, responsabilidade da concessionária local. As perdas reais, muitas vezes estão presentes no local de consumo propriamente dito, de responsabilidade do consumidor, através de, principalmente, vazamentos nos ramais prediais. Moura (2004) explica que, as perdas na rede distribuidora registram-se em maior quantidade nos ramais prediais devido à grande ocorrência de vazamentos, e as maiores perdas reais em volume, ocorrem por extravasamento de reservatórios ou em vazamentos nas adutoras de água tratada e nas tubulações da rede de distribuição.

A redução das perdas físicas e econômicas relacionadas à distribuição de água tem sido uma preocupação constante das Empresas de Saneamento. Esta preocupação não está somente relacionada ao aspecto da perda de um bem de valor econômico, mas possíveis alterações do comportamento hidráulico da rede para situações que não são previstas em projetos, incluindo-se o impacto de transientes hidráulicos, alterações de qualidade da água e aumento de custos de operação. Para se conseguir um eficaz combate às perdas físicas necessita-se: velocidade no reparo dos vazamentos; controle ativo das perdas; controle da pressão na rede; e, mais importante, planejamento e Gestão do Sistema de Distribuição (Rossigneux, 2005).

3.2.1 Perdas Reais por Vazamento

Segundo Soares (2004), no Brasil, são comuns sistemas de distribuição de água para abastecimento com elevados índices de perdas, nos quais parcela significativa é devida às perdas por vazamento. Dessa maneira, o controle efetivo das perdas por vazamento e do comportamento do sistema sob as mais diversas condições operacionais é de fundamental importância, não só do ponto de vista financeiro, no que diz respeito ao desperdício da água bombeada e quimicamente tratada, mas principalmente da preservação deste recurso natural.

Como já foi dito uma das questões técnicas mais relevantes na operação de sistemas de distribuição de água é o controle e redução das perdas/vazamento de água. Em uma abordagem mais direta, estas perdas implicam, além da perda do recurso que está sendo distribuído após seu tratamento, em desperdícios de recursos adicionais, em especial, com custos de bombeamento adicionais necessários para atender aos requisitos de demanda. Adicionalmente, possíveis alterações de qualidade da água, com as alterações das características hidráulicas da rede, podem ser significativas (Rossigneux, 2005).

De acordo com Moura (2004) as perdas físicas que ocorrem nas redes de distribuição, incluindo os ramais prediais, são muitas vezes elevadas, mas estão dispersas, fazendo com que as ações corretivas sejam complexas, onerosas e de retorno duvidoso, se não forem realizadas com critérios e controles técnicos rígidos. Nesse sentido, é necessário que operações de controle de perdas sejam precedidas por criteriosa análise técnica e econômica. A magnitude das perdas será tanto mais significativa quanto pior for o estado das tubulações, principalmente nos casos de pressões elevadas. Sendo assim, relatam-se as seguintes causas prováveis das perdas provenientes dos vazamentos em tubulações e ramais, como mostra a Tabela 3.3.

Portanto, de forma resumida temos que as principais causas dos vazamentos são:

- A idade da tubulação e acessórios;
- Falhas construtivas;
- Defeitos em peças especiais e conexões;
- Rupturas;
- Utilização de materiais inadequados;
- Natureza e qualidade dos materiais empregados e a adequada utilização técnica dos mesmos;
- Pressão hidráulica a que o sistema de distribuição está sujeito;

- As intervenções no subsolo vizinhança da rede.

Tabela 3.3 – Causas Prováveis de falhas e rupturas nas tubulações em função da fase de desenvolvimento do sistema de abastecimento.

FASE DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CAUSA DA RUPTURA
Planejamento e Projeto	-Subdimensionamento -Ausência de ventosas -Cálculos transientes -Regras de operação -Setorização -Treinamento	-Sobrepresão -Subpressão -Sub e sobrepressão -Sub e sobrepressão -Sobrepresão -Sub e sobrepressão
Construção	-Construtivas -Materiais -Peças e Equipamentos -Treinamento	
Operação	-Enchimento -Esvaziamento -Manobras -Ausência de regras -Treinamento	-Sub e sobrepressão -Subpressão -Sub e sobrepressão -Sub e sobrepressão -Sub e sobrepressão
Manutenção	-Sem prevenção -Mal feita -Treinamento -Interação operador/usuário -Tempo de resposta	
Expansão	-Sem projeto -Sem visão conjunta	-Sub e sobrepressão -Sub e sobrepressão

Fonte: Adaptado de Moura (2004).

3.2.2 Perdas Reais por Extravasamento

As perdas por extravasamento em reservatórios ocorrem mais frequentemente devido ao mau-funcionamento ou à falta da válvula de controle de nível dos reservatórios. Os volumes das perdas são determinados a partir dos períodos e das descargas de extravasamento. Se as descargas não são diretamente medidas, como por meio de régua sob o ponto ou pontos de extravasamento, estas devem ser estimadas a partir da subtração entre as vazões de alimentação do reservatório e a de saída para a rede de distribuição, associadas ao período de duração do extravasamento, estando, nesse caso, sujeitas às

imprecisões dos medidores de vazão (Sabesp, 2001).

Conforme Coelho (1996) são nos reservatórios de água onde podem ocorrer perdas elevadas, por transbordamento, principalmente por conta dos meios de comunicação ineficientes ou inadequados, causando falha na comunicação entre a unidade que envia e a que recebe a água. Assim, ocorre o extravasamento devido à operação deficiente, decorrente de falha operacional, ou mais exatamente, do Sistema de Controle Operacional.

Em virtude das perdas por extravasamento geralmente serem consideradas como porcentagens muito pequenas do volume total produzido, os estudos de perfis de perdas em empresas de saneamento geralmente não propõem ou mesmo abordam os métodos de cálculo dos tempos de transbordamento, caso estes existam. Em vista dessas dificuldades, uma forma viável para a abordagem do problema seria a determinação do tempo de extravasamento e das vazões perdidas por extravasamento numa base mensal, quando este tipo de perda é constatada em um dado reservatório.

Segundo Vaz Filho (apud Brazoloto e Teixeira, 200-) é comum, ou por falha operacional ou por falta de definição do Nível de Água Máxima, ocorrer extravasamento de água em reservatórios, caracterizando desperdício de energia elétrica para manter um ou mais conjuntos moto-bomba funcionando sem necessidade. Dessa forma, todo reservatório deve ter definidos os seus Níveis de Água máxima e mínima, para que a operação defina, nesse intervalo de níveis, o número de bombas que devam estar em funcionamento. Isso gera um grande desperdício no consumo de energia elétrica, alguns fatores que acarretam esse desperdício energia elétrica, no transporte de água são:

- a) Níveis de água nos reservatórios;
- b) Inadequação dos conjuntos elevatórios;
- c) Opção incorreta do grupo de faturamento de energia elétrica, ou seja, grupo A ou grupo B, alta ou baixa tensão, respectivamente.

No caso de extravasamento, a implantação de alarmes ou controle automático de níveis e vazões pode corrigir esse problema operacional. Já as rachaduras são falhas estruturais, e a correção do problema deve ser avaliada economicamente para verificar o retorno do investimento, pois esses problemas estruturais devem ser avaliados por especialistas que atestem à estabilidade da obra (Coelho, 1996).

A magnitude das perdas em reservatórios é variável, em função do estado das instalações e da eficiência operacional, mas deve-se lembrar que, quando ocorrida as perdas

por extravasamento, esta irá ter uma grande representatividade em volume, entre as perdas de água avaliadas.

3.2.3 Perdas por mau funcionamento em equipamento de controle do sistema de distribuição de água

As válvulas, dispositivos controladores no sistema de distribuição, são utilizadas para as funções de controle e isolamento. As válvulas de isolamento são geralmente operadas manualmente, enquanto que as de controle operam automaticamente.

A tendência que com o passar do tempo, todas as válvulas estejam sujeita a falhas. Como parte da Auditoria da Água, é importante inspecionar cada instalação dotada de sistema automático de controle e determinar se a válvula está ou não funcionando, ou mesmo instalada adequadamente para aquela particular função. A seguir apresenta-se uma descrição dos tipos de válvulas mais comuns e dos problemas decorrentes do mau-funcionamento.

a) Válvulas de Controle de Nível:

Em casos de quebra ou instalação inadequada, estas válvulas podem causar extravasamento em reservatórios. A válvula é normalmente ajustada para evitar o extravasamento.

b) Válvulas de Alívio de Pressões:

Se a válvula de alívio estiver ajustada para a faixa mais baixa de pressões do sistema, cada vez que a pressão alcançar a faixa alta, a válvula causará um vazamento. Podem ocorrer ainda vazamentos desnecessários devido ao não ajuste da válvula de alívio, após reajustes em válvulas de controle de pressão.

c) Válvulas de Redução, de Sustentação e de Manutenção de Pressões:

Se alguma dessas válvulas estiver instalada inadequadamente, ou ajustada de forma imprópria, pode provocar vazamentos em válvulas de controle de nível, em válvulas de alívio e em válvulas anti-golpe de aríete.

d) Válvulas Anti-Golpe de Aríete:

Se essas válvulas forem ajustadas para pressões muito baixas, podem ocorrer descargas ou escapes de água desnecessários para a atmosfera, tanques ou drenos.

e) Válvulas de Descargas de Bombas:

Quando ocorre a falha da válvula da descarga de bombas, esta age como uma válvula de retenção parcialmente aberta, permitindo a descarga de água do sistema de distribuição

para o poço.

3.3 Perdas Aparentes

Perdas Aparentes é a nomenclatura utilizada pela IWA quando se refere às perdas não físicas ou comerciais, estas correspondentes a quantidade de água produzida pela concessionária e consumida pelo cliente, mas que não é contabilizada. As perdas aparentes são decorrentes de erros dos medidores de vazão (tanto de macromedidores e micromedidores), da fixação de um faturamento mensal para utilização da água (corresponde à perda aparente no momento em que geralmente o usuário paga mais do que a quantidade que utiliza, ocorrendo uma discordância entre faturamento e consumo) bem como uma das perdas mais preocupantes, referentes às fraudes realizadas pelos consumidores (são muitos os métodos para forjar o uso da água, pode-se citar a execução do by pass no hidrômetro e ligações clandestinas, como exemplos). Ou seja, as perdas aparentes são conhecidas como perdas de faturamento, representadas pela diferença entre o volume disponibilizado e o volume faturado pelas concessionárias de distribuição de água.

Rossigneux (2005) afirma que as perdas econômicas são constituídas de fornecimentos não faturados e pelas perdas devidas a erros de medição e leitura. Para uma eficaz redução das perdas econômicas é necessário: controle da água medida e não faturada; diminuição de erros de leitura e medição; diminuição de consumos clandestinos e, acompanhamento das características hidráulicas da rede de distribuição de água.

Conforme Lambert (1998), em todos os programas de redução de perdas de água praticados pelos serviços de saneamento, as perdas não físicas ou comerciais ocupam uma posição de destaque e, dentre estas, salienta-se a água não contabilizada devido à sensibilidade dos medidores, entendida como a sua maior ou menor capacidade de registrar corretamente volumes de água que os atravessam as baixas vazões.

Portanto, podem ser consideradas como perdas não físicas aquelas ocasionadas por:

- a) Erros de medição de hidrômetros;
- b) Medição dos hidrômetros deficiente e perdas incompressíveis;
- c) Fraudes de diversos tipos;
- d) Ligações clandestinas;
- e) Gerenciamento ineficiente de consumidores (falhas no sistema de cadastramento);

f) Habitações subnormais;

g) Deficiências do sistema de macromedição, que sempre induz os índices errôneos, acarretando adulteração de resultados e provocando tomada de decisões incorretas.

Quanto às perdas aparentes, tabela 3.4 discrimina a origem das diversas formas de perda de faturamento e dá uma idéia de sua magnitude, de acordo com o Programa de Combate ao Desperdício de Água.

Tabela 3.4 – Perdas Aparentes

PERDAS DE FATURAMENTO	ORIGEM DAS PERDAS	MAGNITUDE
	-Ligações Clandestinas/ Irregulares	Podem ser significativas, dependendo de: Procedimentos cadastrais, de faturamento, de manutenção preventiva e adequação de hidrômetros e de monitoramento do sistema. Sendo assim, é reconhecida a necessidade da implantação de um Sistema de Gestão de Perdas, buscando minimizar os índices de perdas existentes.
	-Ligações não Hidrometradas	
	-Hidrômetros Parados	
	-Hidrômetros que Submendem	
	-Ligações Inativas Reabertas	
	-Erro de Leitura	
	-Numero de Economias Errado	

Fonte: Adaptado de Conejo, Lopes e Marcka PNCD (1999)

Cabe lembrar que, de acordo com Moura (2004), a redução das perdas aparentes permite aumentar a receita tarifária, aumentando, contudo a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do prestador de serviços. As perdas não-físicas são correspondentes ao volume de água consumido, mas não contabilizado pela companhia de saneamento, decorrente de erros de medição nos hidrômetros e demais tipos de medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial. Nesse caso, então, a água é efetivamente consumida, mas não é faturada.

3.3.1 Perdas Aparentes por Erro de Macromedição

As perdas aparentes provenientes dos erros de macromedição influenciam basicamente no balanço hídrico do sistema de distribuição e abastecimento de água, com informações não reais sobre o volume de água que entra no sistema, disponibilizadas ao consumidor.

O volume de água que entra num sistema de distribuição deve ser quantificado com precisão, pois toda auditoria de água parte dos volumes macromedidos para se determinarem as quantidades de perdas reais e aparentes. Quando se parte de volumes

macromedidos incorretos, muito provavelmente se chegarão a resultados distorcidos, invalidando toda a auditoria no sistema, uma vez que o peso dos volumes macromedidos, em relação aos demais componentes, é muito grande.

Os principais motivos das perdas aparentes por erro de macromedição provêm da falta de infra-estrutura e manutenção da concessionária responsável, sendo caracterizados:

- Pela inexistência dos macromedidores em pontos de medição obrigatória do volume de água, obrigando assim, a uma estimativa do volume para que seja dada sequência à análise;

- Erros de medição do volume de água proveniente da falta de calibração e testes de funcionamento, ocasionando uma leitura errônea dos dados a serem analisados.

É indicado para este caso que a concessionária efetue a manutenção periódica de seus macromedidores, executando quando necessário a correção e ajustes dos valores coletados de forma a formatar uma análise correta dos dados referentes à água que entra no sistema, e conseqüentemente, servir como dado base para um correto balanço hídrico da concessionária.

3.3.2 Perdas Aparentes por Erro de Micromedição (hidrômetros)

O sistema de micromedição é parte de extrema importância em qualquer Programa de Controle de Perdas. É através da micromedição que a Concessionária contabiliza os volumes de água entregues aos consumidores e calcula suas faturas. Além disso, a micromedição é responsável por uma parcela das perdas aparentes; a confiabilidade dos dados da micromedição influi diretamente na confiabilidade do Índice de Perdas.

Os hidrômetros são largamente empregados na micromedição (medição do volume consumido pelos clientes das companhias de saneamento, cujo valor será objeto da emissão da conta a ser paga pelo usuário), e aqui reside uma das maiores fontes de evasão de volumes não-faturados em uma companhia de saneamento. Normalmente utilizados nas residências, no comércio, e em pequenas unidades industriais, os hidrômetros podem ser do tipo velocimétrico, com vazões nominais de 1,5m³/h ou 3m³/h (Moura, 2004).

As perdas da micromedição referem-se à soma dos volumes totais de água distribuídos aos consumidores e que não são, por diversos fatores, registrados de forma correta pelos hidrômetros.

Cada tipo de hidrômetro ou medidor possui uma curva característica de sensibilidade, que fornece os erros percentuais nos volumes medidos em função da vazão que passa pelo medidor. A Figura 3.3 mostra o formato típico de uma curva de erro de um medidor.

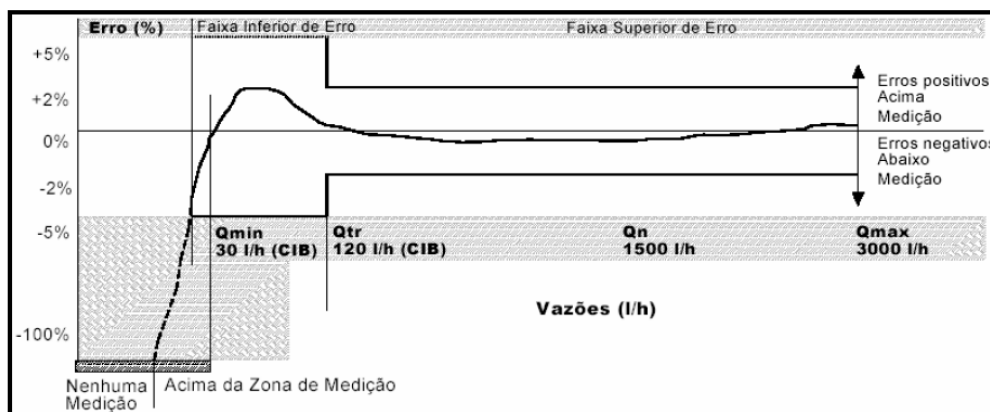


Figura 3.3 – Curva de Erro Característica dos Medidores

Fonte: Sanchez e Motta-IPT (apud SABESP)

Conforme pode ser observado, os valores de erros percentuais podem ser muito altos e negativos em baixas vazões, na faixa de vazões entre o valor denominado de início de funcionamento e o valor da vazão mínima, definido para cada classe de medidor. Nessa faixa, os volumes registrados pelo hidrômetro são menores que os reais, implicando em sub-medição dos volumes, em detrimento da empresa fornecedora.

Outra dificuldade a ser analisada é o fato de que a curva de erros de um medidor se modifica ao longo do tempo, em função da perda de sensibilidade geral do aparelho devido aos desgastes internos. Assim, fica difícil a estimação das perdas de micromedição com o passar do tempo.

Dentro de uma visão global, as perdas de água devido a erros de micromedição podem ser vistas sob três enfoques básicos:

a) Sensibilidade do hidrômetro (neste enfoque, a variável de análise é a sensibilidade ou precisão do hidrômetro, que varia de acordo com as vazões de trabalho, conforme a curva característica de erro dos medidores).

- Classe metrológica do medidor;
- Tempo de instalação ou de utilização;
- Desgastes internos;
- Inclinação dos hidrômetros;

- Características de fabricação;
- Escolha, dimensionamento e instalação dos medidores

b) Perfil de Consumo dos Clientes (neste caso, a variável de análise é a magnitude das vazões que passam pelo medidor, que dependem das características de consumo dos usuários):

- Curva de consumo do usuário;
- Efeito da reservação domiciliar;

c) Condições do Sistema de Distribuição (neste enfoque, as variáveis de análise são as condições dos sistemas de abastecimento e de distribuição, influem na qualidade da água final que chega ao cliente, incorrendo em danos nos mecanismos internos dos medidores):

- Qualidade da água fornecida;
- Presença de Ar na Rede;
- Faixas de pressões na rede.

Num Balanço Hídrico, além de quantificar as perdas de micromedição, nos setores de abastecimento, é recomendável caracterizar a situação do sistema, avaliar os procedimentos vigentes e propor correções quanto aos aspectos levantados, quando necessário.

Devem ser abordados e avaliados os seguintes procedimentos:

- critérios para substituição de medidores;
- programas de substituição de medidores em andamento na Unidade de Negócio, para adequação de capacidade;
- manutenção preventiva e corretiva;
- processo de leitura de hidrômetro;
- consistência de leitura e gestão do processo de micromedição;
- principais problemas que dificultam a gestão, e como minimizá-los.

3.3.3 Perdas Aparentes para Suprimento Social

Atualmente, no conceito de perdas nos sistemas de distribuição os volumes dos usos sociais (os volumes entregues em áreas invadidas e em favelas), não são considerados como perdas reais, como eram consideradas quando a análise era apenas percentual, sobre a quantidade de água faturada em relação à água produzida.

Como não são volumes totalmente medidos, é fundamental que sejam feitas estimativas criteriosas desses valores, que influirão diretamente na determinação dos indicadores de

perdas. Apesar de não serem considerados como perdas, no cálculo dos índices de perdas, os volumes de água utilizados em usos sociais, principalmente em grandes cidades, têm crescido em demasia, sendo, de qualquer forma, um aumento crescente nos custos e nas perdas de faturamento da Companhia. Desse modo, deve-se buscar a implantação de ações que possibilitem a redução desses volumes, principalmente com o adequado controle dos volumes entregue nessas áreas (SABESP, 2001).

3.4 Indicadores de Gestão

Para introduzir o conceito de índice de perdas, é importante salientar que, assim como o índice de produção, de distribuição, atendimento, etc., todos são considerados Indicadores de Gestão, propondo exprimir o nível de uma atividade em uma determinada área, durante um determinado período de tempo, permitindo, de forma simplificada, comparações e análises para a tomada de decisão. Por este fato, é possível entender o motivo pelo qual é cada vez maior o número de especialistas, autoridades e empresas gestoras de abastecimento de água, que manifestam o interesse em definir Indicadores de Gestão que possam ser utilizados para medir a eficiência e a eficácia da empresa e o estado de saúde da mesma.

De acordo com o trabalho apresentado por Luvizotto e Silva (2002), no levantamento realizado através da literatura, em um primeiro momento foram identificados 428 indicadores de gestão. Após análise crítica, onde foram descartados os indicadores que não faziam parte da realidade nacional e os que se encontravam em duplicidade, resultando em uma lista com 254 indicadores de gestão, sendo estes indicadores baseados nos trabalhos do SNIS (Serviço Nacional de Informação sobre Saneamento), IWSA (International Water Service Association), IMTA (Instituto Mexicano de Tecnologia da Água) e GMF (Grupo de Mecânica de Flúidos da Universidade Politécnica de Valência-Espanha). Na Tabela 3.5 encontram-se apresentados os proponentes e o número de indicador baseado em seus respectivos trabalhos, e na Tabela 3.6 alguns dos 254 indicadores.

A eficiência de um sistema de abastecimento de água é avaliada pelo indicador "Índice de Perdas" que procura retratar todas as componentes desta ineficiência. Em 2001 a média nacional das perdas (englobando perdas reais e aparentes) nos sistemas de abastecimento de água brasileiros situou-se no patamar dos 40%, com os maiores valores alcançando a casa dos 70% e os menores valores girando em torno dos 20% (SEDU/PR apud Barroso, 2005).

Tabela 3.5 – Prospecção de Indicadores por meio literatura

	IWSA	IMTA	GMF	SNIS
NUMEROS DE INDICADORES	79	27	108	67

Fonte: Adaptado de Luvizotto (2002)

O índice de perdas tem sofrido vários questionamentos sobre a sua forma de obtenção, bem como a sua representatividade e capacidade de comparação entre diversos sistemas (AESBE e ASSEMAE, 1997). Para um cálculo mais preciso deve-se observar as seguintes recomendações (Gonçalves e Koide, 1999):

-Fazer coincidir os períodos da macromedição com o período da leitura dos hidrômetros, uma vez que a defasagem que venha a ocorrer entre eles pode levar a que os períodos de macro e micromedição possam ter características de consumo bem diferentes e, conseqüentemente, levem a distorções no cálculo;

-Criar ou redefinir os grupos de leitura de hidrômetros de forma a coincidirem com os setores de abastecimento dentro de cada localidade, pois em alguns casos a medição da água de entrada em um dado sistema pode abranger mais de uma localidade, e conseqüentemente, diferentes grupos de leitura de hidrômetros; em outras palavras, possibilitar o cálculo do índice por setor, de tal forma que haja coincidência entre as áreas computadas em termos de entrada e saída de água.

Segundo Almeida (1999) é opinião de especialistas de vários países considerarem as perdas de água e fugas nas redes de distribuição relacionadas com os indicadores mais utilizados em nível internacional. Assim, sendo as perdas um fator a se considerar na avaliação do desempenho dos sistemas, o controle sistemático dos volumes de água não contabilizados nas redes de distribuição de água e em particular, a sua detecção e localização de fugas, constitui atualmente uma das atividades prioritárias das entidades gestoras que pretendem gerir de forma eficiente os sistemas.

Os indicadores de perdas (tipos de indicadores de gestão, conforme a Tabela 3.6) têm por finalidade demonstrar o estado em que se encontra a eficiência do sistema de distribuição de água. Através destes indicadores é possível gerenciar as perdas, obter dados para uma correta interpretação e aplicação de um sistema de controle. Atualmente existem diversos modelos de indicadores de perdas, dentre eles pode-se citar:

Tabela 3.6 – Indicadores de Gestão

INDICADORES	UNIDADE	INDICADORES	UNIDADE
Água Captada	(m ³ per capita/ano)	Capacidade de armazenamento do reservatório	Dias
Água Exportada	(m ³ per capita/ano)	Capacidade de entrada de água	m ³ / per capita/dia
Água Fornecida	(m ³ per capita/ano)	Capacidade de transporte das redes	m ³ /km/ano
Água Importada	(m ³ per capita/ano)	Capacidade do abastecimento	m ³ /dia
Água não tratada	percentual	Capacidade dos reservatórios	Dias
Água Produzida	(m ³ per capita/ano)	Capacidade de reservatório de acumulação	Dias
Água Subterrânea	percentual	Captações protegidas	Percentual
Água superficial	percentual	Clientes com hidrômetros	nº/clientes
Água Total Medida	percentual	Clientes residenciais com hidrômetros	nº/clientes
Amostras analisadas	nº/106m ³ /ano	Clientes residenciais com eficiência na leitura	Percentual
Análises Física	nº/106m ³ /ano	Cobertura no abastecimento	Percentual
Análises Químicas	nº/106m ³ /ano	Cobertura no abastecimento de edifícios	Percentual
Ausência	dias/empregados/ano	Composição de exigibilidade	Percentual
Ausência devida acidentes de trabalho ou doença	dias/empregados/ano	Conduto principal reparado ou substituído	Percentual/ano
Ausência devido a outras razões	dias/empregados/ano	Consertos e controle de vazamentos ativos	Percentual/ano
Avaliação de proporção de recursos	Percentual	Consumo Autorizado	(m ³ per capita/dia)
Capacidade de tratamento	m ³ / per capita/dia	Consumo comercial percentual	Percentual
Capacidade de adução e distribuição	m ³ /dia	Consumo de Água Faturado por Economia	(m ³ /mês)/economia
Capacidade de obra de captação	m ³ / per capita/dia	Consumo doméstico	Percentual

Fonte: Adaptado de Luvizotto (2002)

-Indicador Percentual: É o mais utilizado hoje, no Brasil. Esse indicador é de

fácil compreensão e relaciona o volume de perdas aparentes e reais com o volume total disponibilizado no sistema pela concessionária. A aplicação deste indicador se processa através da eq. 3.1:

$$\text{Índice de Perdas} = IP = \frac{\text{Volume de Perdas Totais} \times 100}{\text{Volume Disponibilizado}} (\%) \quad (3.1)$$

É importante salientar que, mesmo que seja um índice de fácil aplicação e possua diversas variáveis, o indicador de perdas percentuais está sendo substituído por outros indicadores por se mostrar um indicador, que de certa forma, está debilitado de informações necessárias para a escolha dos processos e metodologias de aplicação de novos sistemas de controle de perdas.

-Índice de Perdas por Ramal: Este indicador representa o volume de água perdido relacionado com o número de ramais em que é distribuída a água e é indicado para aplicação em áreas urbanas (superior a 20 ramais/Km). Para formatação desse índice, utiliza-se a eq. 3.2:

$$\text{Índice de Perdas} = IPR = \frac{\text{Volume de Perdas Totais (ano)}}{\text{Nº de ramais} \times 365} (m^3 / \text{ramal} \times \text{dia}) \quad (3.2)$$

-Índice de Perdas por Extensão de Rede: Este indicador representa o Volume de Perdas totais anuais relacionados com a extensão da rede da concessionária responsável pela distribuição, conforme a eq. 3.3. É indicado para casos em que a densidade de ramais seja baixa, inferior a 20 ramais/km.

$$\text{Índice de Perdas} = IPER = \frac{\text{Volume de Perdas Totais (ano)}}{\text{Extensão da rede} \times 365} (m^3 / \text{km} \times \text{dia}) \quad (3.3)$$

-Índice Infra-estrutural de perdas: Este indicador representa o Volume de Perdas totais anuais relacionados com um indicador relacionado como Volume de Perdas Inevitáveis totais anuais (o nível de perdas mínimo esperado para o sistema), de acordo com a eq. 3.4:

$$\text{Índice de Perdas} = IIE = \frac{\text{Volume de Perdas Totais (ano)}}{\text{Volume de Perdas Inevitáveis}} (\text{adimensional}) \quad (3.4)$$

Segundo Alegre (apud Tardelli Filho, 2004), este é um indicador desenvolvido pela IWA, sendo a proposta mais atual de se avaliar a situação das perdas e permitir a

comparação entre sistemas distintos.

3.5 Influência da Pressão na Perda Física do Sistema de Distribuição de Água:

Alguns problemas podem ocorrer em um sistema de abastecimento de água como consequência direta ou indireta do estado das pressões existentes na rede e de sua variação temporal. Entre os problemas decorrentes das baixas pressões destacam-se:

- Ocorrência de cavitação;
- Entrada de ar e líquidos contaminados do entorno da rede;
- Rompimento de tubulações;

As pressões máximas devem estar limitadas de modo que estabeleça uma faixa recomendável para cada ponto do sistema. Entre os problemas decorrentes de elevada pressão destacam-se:

- Incremento das vazões perdidas através de defeitos já existentes nas redes;
- Aumento na probabilidade de ocorrência de novos defeitos;
- Incremento da probabilidade de ocorrência de ruptura nos tubos, acessórios e avarias de maneira geral em todos os demais componentes da infra-estrutura do sistema;
- Aumento de risco de sobre-pressão causadas por bolsas de ar acumuladas no interior da tubulação;

A vazão que atravessa um orifício de dimensões constantes é proporcional à raiz quadrada da pressão no orifício, de modo que altas pressões na rede significam maiores perdas no sistema. Em tubos de material plástico, notadamente em PVC, o orifício tem sua área expandida com o aumento de pressão.

Avaliações realizadas por Thornton (2002) indicam que neste caso o expoente da expressão que incidiria sobre a relação de pressões é da ordem de 1,5, conforme a eq. 3.5:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{p_{i1}}{p_{i0}} \right)^{1,5} \quad (3.5)$$

onde: Q_1 é a vazão inicial, Q_0 é vazão final, p_{i0} é a pressão inicial no interior da tubulação, p_{i1} é a pressão final no interior da tubulação.

Para condições gerais da rede de distribuição, onde se misturam furos com área fixa e com área variável, estudos recentes mostram que o expoente médio da relação entre pressões

é da ordem de 1,15. A figura 3.4 apresentada em Cetre (2003) mostra relação entre incremento de pressão e a variação de vazão:

Tão grave quanto pressão alta na rede é o aumento de probabilidade de ocorrência de mudanças brusca de pressão que acarretam ruptura da tubulação. Vela (1994) observa que incremento de pressão na ordem de 15 mH₂O aumenta a probabilidade de ocorrência fugas de 100% e tubulações que operam com baixas pressões são mais sensíveis a essa variação de pressão.

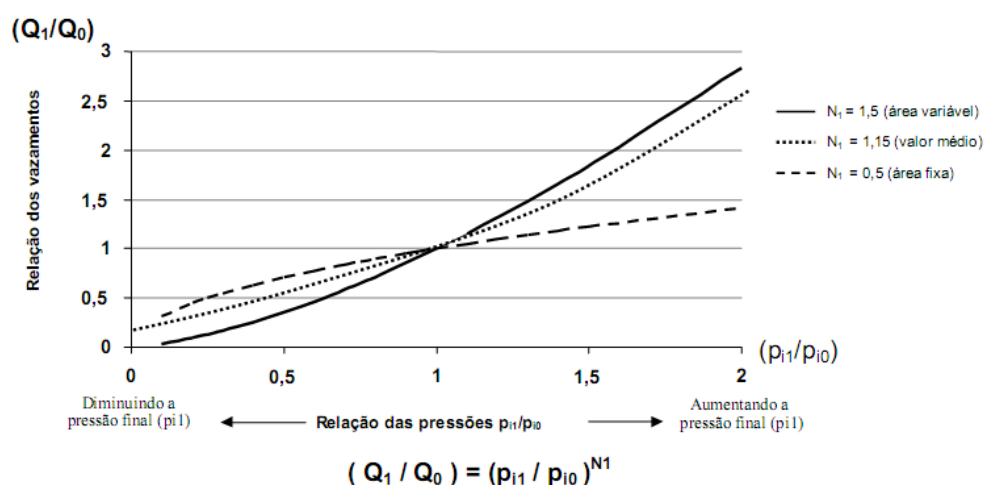


Figura 3.4 – Relação entre Pressão e vazão de intensidade de vazamento
 Fonte: Cetre (2003)

Uma estratégia eficaz de controle e minimização das pressões é utilização de válvula redutora de pressão em lugares pré-determinado. Podendo comprova sua eficiência medindo a pressão e fugas distribuição ao longo do sistema de rede, bem como o estado operacional de cada válvula instalada permitem a comparação do ante e depois da instalação das válvulas.

3.6 - Aspectos econômicos da recuperação das perdas de água

Quando se depara com um sistema de abastecimento que, de um lado não consegue suprir a demanda e de outro perde parte de sua produção em vazamentos, fica estabelecida uma situação de conflito em que deverão pesar os custos de detecção e reparo dos vazamentos existentes e os de projeto e execução de novas obras, além de questões operacionais e estratégicas e de disponibilidade hídrica que possam ser importantes.

O nível econômico de perdas em um sistema de abastecimento pode ser obtido pelo levantamento e análise dos custos do volume de água perdido e dos custos oriundos dos

programas de controle e detecção dos vazamentos. Idealmente o ponto ótimo de perdas é onde o custo da água é igual ao custo do controle ativo das perdas.

De maneira simplista, um programa de redução de perdas deve ser empreendido quando os custos de detecção e reparo das causas destas perdas forem inferiores aos custos de produção e transporte desta água não faturada para um dado período, muito embora este enfoque traduza de forma objetiva o aspecto econômico da recuperação das perdas.

A análise econômica da recuperação das perdas de água em sistemas de abastecimento é, ainda hoje, bastante limitada, não considerando aspectos importantes decorrentes das perdas como o aspecto ambiental e o fato de estar deixando de atender a uma quantidade de usuários ou estar comprometendo, de alguma forma, a qualidade do serviço prestado.

Luvizotto (1998) analisa o problema e observa que nos custos operacionais do sistema devem ser acrescidas as despesas “extras” referentes aos custos adicionais de energia elétrica, produtos químicos, mão-de-obra etc., além dos gastos no tratamento e transporte desta água que não chega ao consumidor.

Lambert *et al* (2000) propõe uma abordagem simplificada de avaliação econômica relacionando o custo por ano com o nível de perda. Conforme se observa na Figura 3.5, à medida que os programas de controle de perdas se tornam mais complexos e detalhados, portanto mais precisos, tendem a atingir o nível mínimo de perda no sistema (limite das perdas inevitáveis) tendo, no entanto seus custos aumentados conforme a curva ABC (Custo do Programa de Controle e Detecção de Vazamentos). A curva A'B'C' (Curva de Custos Totais) é a soma do custo da água perdida mais o custo do programa de controle e detecção de vazamentos. O ponto mínimo desta curva – ponto B' – estabelece o nível econômico de perdas que pode ser traduzido como o ponto onde o custo da água perdida é igual ao custo do controle desta perda.

Mesmo a elaboração desta abordagem simplificada torna-se difícil à medida que o levantamento dos custos anuais dos programas de controle de perdas (curva ABC) e dos custos anuais totais (curva A'B'C') é bastante complexo, exigindo o levantamento de dados de custo de controle de perdas anuais em função do nível de perdas do sistema.

Além da dificuldade natural do levantamento destes custos, a estimativa das perdas inevitáveis ainda é imprecisa, uma vez que o consumo real e imediato na rede é desconhecido, já que as leituras de consumo são realizadas mensalmente, não havendo, portanto, uma forma de comparar, em pequenos intervalos de tempo, a diferença entre o volume de água entregue no setor e o volume realmente consumido.

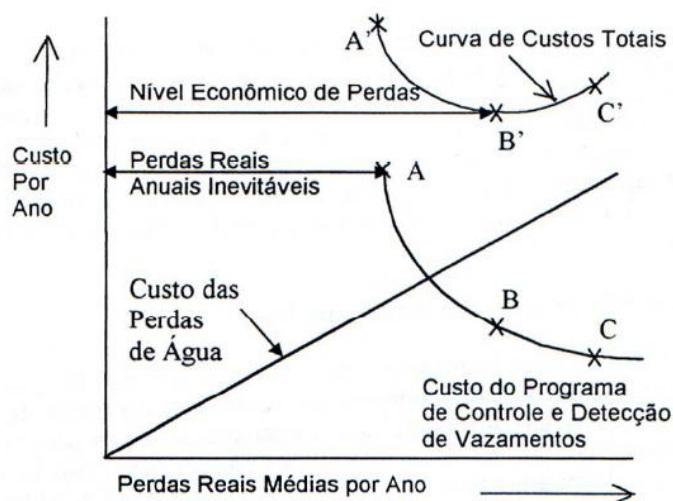


Figura 3.5 – Relação entre perdas reais anuais inevitáveis (PRAI) e o nível econômico das perdas reais

Fonte: Lambert *et al* (2000)

Considerando que a infra-estrutura do sistema esteja em boas condições e que todos os vazamentos detectáveis da rede são identificados e consertados de maneira rápida e eficaz e que o ponto A da curva ABC representa um programa intensivo de controle de fugas, pode-se considerar que as perdas reais no ponto A correspondem às perdas inevitáveis do sistema, estando os níveis reais ou econômicos das perdas situados no ponto A ou à sua direita. Não é necessariamente econômico atingir estas perdas inevitáveis.

Outro problema verificado na construção do gráfico econômico da Figura 3.5 refere-se à curva de Custo da Perda de Água, representada de forma linear não levando em consideração eventuais custos extras com ampliação das instalações e o fato sugerido em Iglesias *et AL* (1997) *apud* Luvizotto (1998) de que “o objetivo dos programas de redução de fugas não é eliminar as fugas por completo, senão localizar aqueles pontos onde a fuga apresenta um volume de água perdida maior.”

Diante do exposto fica claro que os sistemas terão de conviver com uma quantidade de perda aceitável, proveniente de pequenas fugas difíceis de serem detectadas com as técnicas e aparelhos hoje disponíveis. O volume de fugas aceitável está diretamente ligado à relação entre os custos dos serviços envolvidos na recuperação destas perdas em relação ao preço de fornecimento da água ao consumidor.

À medida que esta relação se aproxima de 1 (custo da água perdida igual ao custo de recuperação das fugas) as empresas naturalmente começam a reduzir o interesse em efetuar investimentos nesta área, exceto se possuírem metas de redução e desempenho pré-

estabelecidas. Lambert *et al* (2000) relata diferentes valores de perdas consideradas “admissíveis” em sistemas de abastecimento de água em diversos países:

- EUA: 2,4 a 7,1 m³/km/dia (44,4 a 131,5 litros/ramal/dia, considerando a estimativa média de 54 ramais/km);
- Alemanha: 1,0 a 5,0 m³/km/dia (22,2 a 111,1 litros/ramal/dia, dependendo do tipo de solo e considerando 45 ramais/km);
- França: 1,5 a 7,0 m³/km/dia em áreas rurais ou urbanas.

No Brasil não há histórico de levantamento de valores mínimos de perda admissível, entretanto a companhia de água de São Paulo SABESP, realizou estimativa de perdas inevitáveis para a Região Metropolitana de São Paulo, apontado em Lambert e Thornton (2002), encontrando o valor de 274,0 litros/ramal/dia. Levantamento de campo mais recente realizado pela unidade de Negócios Leste da Sabesp no setor Jd. Popular no ano de 2004 mostra que as perdas inerentes admissíveis podem se situar em um patamar abaixo da estimativa inicial. A investigação compreendeu o levantamento das perdas antes e após a realização de campanha de controle de vazamentos envolvendo pesquisa, localização, reparo das fugas existentes e dos medidores do setor (macro-medidores e hidrômetros). O valor alcançado pelo programa foi de 218 litros/ramal/dia, portanto abaixo do estimado inicialmente como perdas inevitáveis, porém acima das metas internacionais apontadas acima.

3.7 Controle e Redução de Perdas

O controle e a redução das perdas de água no mundo é instrumento fundamental para a mudança cultural, que será necessária no que se refere à utilização deste recurso natural fundamental à vida (Barboso, 2005).

Caracteriza-se, então, que o controle e redução das perdas de água ou do seu desperdício, propõem a minimização do volume de água não faturado (contabilizado), necessitando para isso, investimentos que visem à aplicação de métodos e medidas que provoquem a redução das perdas reais e aparentes, para que estas estabilizem em um patamar controlável e ao mesmo tempo, num nível adequado. Deve-se considerar também, na aplicação de uma metodologia de aplicação de um sistema de controle e redução de perdas, o caráter sócio-técnico-econômico, de modo que este seja viável para executar seu objetivo.

Conforme Moura (2004), a adoção de um sistema de controle de perdas baseia-se,

primeiramente, em medidas preventivas de controle de perdas nas fases de projeto e construção do sistema envolvendo a necessidade de passos iniciais de organização anteriores à operação. Estas medidas devem contemplar, dentre outras:

- boa concepção do sistema de abastecimento de água, considerando os dispositivos de controle operacional do processo;
- a qualidade adequada de instalações das tubulações, equipamentos e demais dispositivos utilizados;
- implantação dos mecanismos de controle operacional (medidores e outros);
- elaboração de cadastros;
- a execução de testes pré-operacionais de ajuste do sistema.

A atividade de Controle e Redução de Perdas enquadra-se totalmente na melhoria da qualidade da operação dos sistemas de abastecimento e, conseqüentemente, na melhoria dos serviços prestados. Outra característica importante é que as ações de Controle e Redução de Perdas inserem-se no contexto de buscar uma gestão da demanda de água, e não só procurar incrementar a oferta para atender às demandas crescentes (Moura, 2004).

3.8 Eficiências Energéticas no Saneamento

Entre dois e três por cento do consumo de energia do mundo é usado no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e indústrias. O consumo de energia na maioria dos sistemas de água em todo mundo poderia ser reduzido pelo menos 25 por cento, por meio de ações de efficientização com melhor desempenho (Demarcus, 2002). As companhias de água em todo mundo tem potencial, para redução do uso de energia nos sistema de abastecimento de água.

No mundo desenvolvido, o custo de energia para o abastecimento de água pode facilmente representar até metade do orçamento do município. Até mesmo em países desenvolvidos, a energia em sistemas de água possui tradicionalmente o maior custo depois da folha dos servidores. Para perdas da ordem de 40%, estima-se que o potencial total de conservação de energia elétrica do setor de saneamento seja de 2,82 bilhões de kWh/ano, no Brasil. A necessidade de maximização do potencial dos recursos de água e energia existentes é de suma importância devido ao aumento de demanda e a redução da quantidade média de água renovável por pessoa no mundo. Os incentivos para uso mais eficiente deste recurso são traduzidos em inúmeros programas em desenvolvimento pelas empresas do setor: gestão de

custos (insumos de tratamento, energia elétrica, manutenção); gestão de perdas; manutenções preventivas (extensão da vida útil dos equipamentos e redução da deterioração dos sistemas) e gestão ambiental, entre outros.

Um exemplo de como as empresa de saneamento gastam com energia elétrica é a Sabesp, maior empresa de saneamento do Brasil. O consumo de energia elétrica dessa empresa em 2003 foi de cerca de 2.045 GWh, participando com 2,2% do consumo de todo o Estado de São Paulo, correspondendo a um gasto anual de R\$ 323 milhões, para o atendimento de 4.440 unidades consumidoras (Gumier, 2005).

Segundo Gomes (2005) as medidas de eficiência energética podem ser divididas em ações administrativas e operacionais. As administrativas, geralmente são as primeiras a serem tomadas, não envolvem custos de implantação e são relativas aos contratos existentes com as concessionárias de energia elétrica podendo ser resumidas em:

- Correção da classe de faturamento;
- Regularização da demanda contratada;
- Alteração da estrutura tarifária;
- Desativação das instalações inutilizadas;
- Conferência da leitura da conta de energia elétrica;
- Acordos com companhias energéticas para a redução de tarifas.

3.9 Indicadores de Eficiência Energética

Conforme os estudo de Otero *et al*, no Brasil, o consumo específico de energia (CEE) é o indicador mais utilizado no setor saneamento. Ele relaciona, para um determinado período de tempo, o consumo de energia do conjunto elevatório pelo volume bombeado pelo mesmo, conforme mostrado na eq. 3.6.

$$CEE = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{Volume Bombeado}} \left[\frac{kW.h}{m^3} \right] \quad (3.6)$$

Este indicador é útil para acompanhar a evolução do desempenho de uma mesma instalação de bombeamento, todavia, ele não é recomendado para comparar o desempenho de instalações de bombeamento distintas, pois não reflete o número de horas de funcionamento dos diferentes grupos elevatórios e nem a topologia do sistema de recalque.

Outro indicador é o consumo de energia normalizado (CEN), apresentado no documento *Performance Indicators for Water Supply Services* publicado pela IWA no ano

2000. Este indicador reduz as alturas manométricas (H) de diferentes instalações a uma altura única, de modo a permitir a comparação do desempenho destas, sendo definido como “a quantidade média de energia gasta para elevar 1 metro cúbico de água a 100 m de altura por meio de instalações de bombeamento” (OTERO *et al.*, 2005). É calculado pela eq. 3.7.

$$CEE = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{Volume Bombeado} \times (H/100)} \left[\frac{kW.h}{m^3} \right] \quad (3.7)$$

3.10 Relação entre perda e consumo de energia

O estudo de Colombo e Karney (2002) mostra a correlação entre vazamento e consumo de energia, através de calculo elementares baseado na formula de perda de carga de Darcy-Weisbach e na função do orifício.

$$H_f = \frac{fLQd^2}{2gDA^2} \quad (3.8)$$

$$Q_L = C_d A [2g(H_l - H_{gw})]^\alpha \quad (3.9)$$

onde A é a área da seção transversal para a eq. 3.8 ou a área do orifício para a eq. 3.9; f é o fator de atrito de Darcy-Weisbach; L é o comprimento (m) da tubulação; Q_d é a vazão no interior da tubulação; D é o diâmetro do tubo (m); H_l e H_{gw} são, respectivamente, as cargas hidráulicas da tubulação e do solo circundante; C_d é o coeficiente de descarga; α é o expoente do emissor; e g é a aceleração da gravidade (m/s²).

Esse estudo foi realizado em um segmento de tubo hipotético com um único vazamento concentrado a uma fração x do comprimento L do tubo, mostrado na figura 3.6. Os autores assumem que, tenha o sistema perdas ou não, a vazão através do orifício Q_l é compensada de modo que são atendidos os requisitos de vazão Q_d e pressão H_d da extremidade à jusante, ou seja, as perdas no sistema são avaliadas garantindo-se um nível de serviço equivalente.

Abaixo, a variação da linha de energia (LE) do seguimento de tubo, provocada pelo vazamento, pode ser considerada como a representação gráfica do impacto das perdas sobre o consumo de energia.

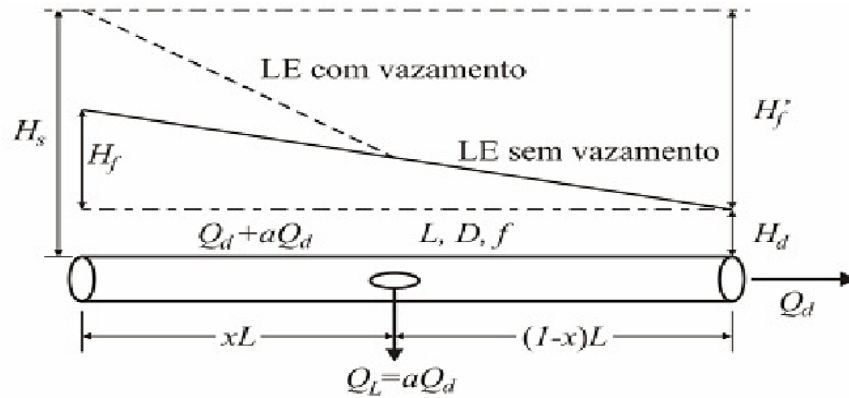


Figura 3.6 – Linha de energia em um segmento de tubo com vazamento (COLOMBO e KARNEY, 2002).

O tubo possui diâmetro D , fator de atrito de Darcy-Weisbach f , e um vazamento situado em xL . A carga total H_s fornecida ao ponto de montante deve coincidir com o início da linha de energia (LE) modificada para que a pressão H_d no extremo de jusante seja mantida, ou seja, a presença de vazamentos requer do sistema uma maior energia à montante para atender a mesma demanda.

A vazão da perda Q_L pode ser expressa como uma fração da demanda aQ_d , onde a é a fração de perdas, ou pode ser modelada usando uma função de orifício na forma mostrada na eq. 3.9 ou na forma da eq. 3.10 proposta por Rossman (2000).

$$Q_L = CE.H^\alpha \quad (3.10)$$

Onde CE é o coeficiente do emissor (m^3-s / s); H é a carga hidráulica no emissor (m); e α é o expoente do emissor.

A partir das equações 3.8, 3.9, e 3.10, e de relações geométricas tiradas da figura 3.6, Colombo e Karney (2002) apresentam uma expressão que permite avaliar a eficiência energética em um tubo com perda (eq. 3.11).

$$\frac{E_d}{E_s} = \frac{\eta}{(1+a)\{1+[xa(a+2)+1]h_f\}} \quad (3.11)$$

Onde E_d e E_s são, respectivamente, a energia mecânica disponível na extremidade à jusante do tubo e a fornecida na fonte, η é um fator empírico de eficiência, a é a fração de perdas, x é a fração do comprimento e h_f é a perda de carga relativa (H_f/H_d).

A diferença entre E_d e E_s corresponde à energia consumida pelo vazamento. A figura 3.7 mostra a eficiência energética do tubo com vazamentos, expressa como uma quantidade

adimensional dada pela relação dos termos de energia (E_d/E_s), em função da fração de perdas a , em diferentes posições (Colombo e Karney, 2002).

O gráfico da figura 3.7 mostra, que quanto maior a fração de perdas a menor é a relação de energia, ou seja, maior é a energia consumida pela perda. Também indica, para a situação em questão, que quanto mais distante da fonte se localizar o vazamento, ou seja, quanto mais à jusante, maior é o impacto no consumo de energia. Para Colombo e Karney (2002), embora uma extrapolação deste resultado analítico não seja viável para redes de distribuição, pode-se esperar que perdas situadas em regiões mais à jusante da rede geralmente envolverão um maior custo de energia, pois uma maior vazão deve ser transmitida através de maiores porções do sistema.

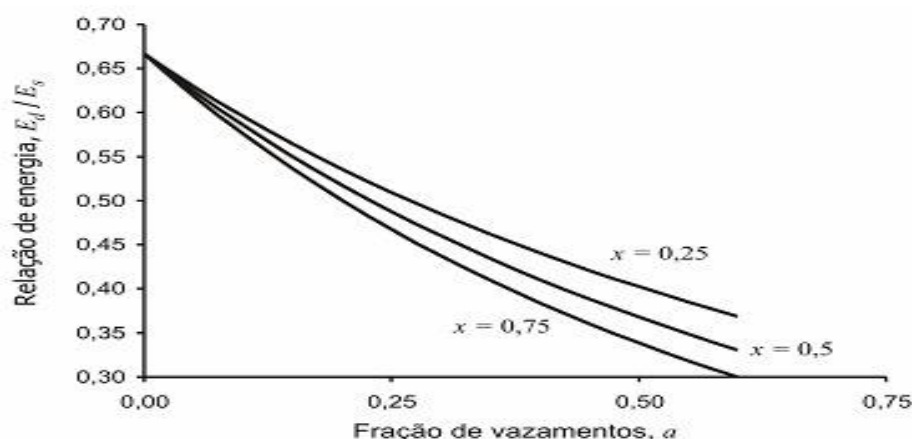


Figura 3.7 – Razão de energia em função da localização e magnitude das perdas, para $\eta=1$ e $h_f=0,5$ (Colombo e Karney, 2002)

O gráfico da figura 3.7 mostra, que quanto maior a fração de perdas a menor é a relação de energia, ou seja, maior é a energia consumida pela perda. Também indica, para a situação em questão, que quanto mais distante da fonte se localizar o vazamento, ou seja, quanto mais à jusante, maior é o impacto no consumo de energia. Para Colombo e Karney (2002), embora uma extrapolação deste resultado analítico não seja viável para redes de distribuição, pode-se esperar que perdas situadas em regiões mais à jusante da rede geralmente envolverão um maior custo de energia, pois uma maior vazão deve ser transmitida através de maiores porções do sistema.

No mesmo trabalho, ao analisar como a complexidade dos sistemas influencia a relação entre perdas e consumo de energia, Colombo e Karney (2002) encontraram que a curva do aumento do consumo de energia, para cinco sistemas com características diferentes

(Walski #1, Walski #2, um único tubo, rede com dois anéis, e rede com 10 anéis), varia mais do que linearmente com o aumento das perdas, ajustando-se com precisão a uma família de funções polinomiais de segunda ordem do tipo $ay^2 + by$ (figura 4.8).

Para Walski (2004), os custos de energia devem ser analisados focalizando-se o impacto das perdas sobre as bombas, onde de fato a energia é consumida. Para isso, segundo ele, é necessário verificar quais termos da equação do custo de bombeamento são afetados pelas perdas. O autor também aponta que os resultados são diferentes para os seguintes casos considerados: bombeamento para um reservatório, e bombeamento para uma zona sem reservatório.

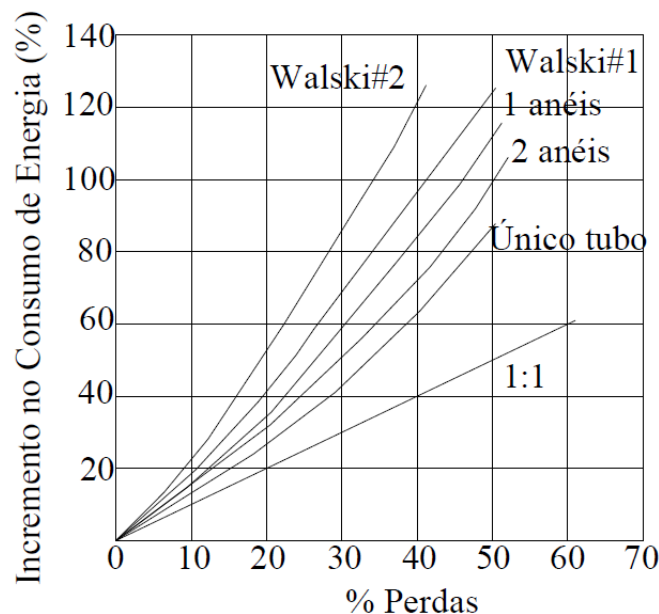


Figura 3.8 – Resposta do custo de energia á complexidade do sistema (Colombo e Karney, 2002).

No caso em que as bombas alimentam uma zona de pressão com reservatório (situação típica de diversos sistemas de distribuição de água), a vazão, a altura manométrica e a eficiência permanecem praticamente constantes ao longo do dia, e o custo de bombeamento é dado pela eq. 3.12 (Walski, 2004):

$$C = \int_0^T \frac{1,019 Q h}{e_m e_p} dt \quad (3.12)$$

Neste caso, a vazão, a altura manométrica, e a eficiência podem variar com o tempo, embora a vazão total bombeada seja essencialmente a mesma. Quando as perdas aumentam, a eficiência geralmente melhora, pois bombas em sistemas fechados tendem a operar a esquerda (menor Q) do ponto ótimo (de melhor eficiência) da bomba (Walski, 2004).

Segundo Walski (2004), o efeito das perdas na altura manométrica depende se a bomba é de rotação constante ou variável. Na primeira, a altura manométrica diminui com o deslocamento à direita do ponto de operação devido às perdas. Já na segunda, a velocidade de rotação aumenta com o aumento da demanda, permanecendo a altura manométrica praticamente constante. Em ambos os casos, o autor aponta que o custo de bombeamento aumenta menos do que proporcionalmente com o aumento de energia.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Levantamento das características do sistema de abastecimento de água

O estudo foi realizado em um sistema de abastecimento real. Esse sistema do bairro Coopatrabalho está localizado na região Noroeste do município de Campo Grande-MS, na periferia da cidade. Caracteriza-se como uma região predominantemente residencial e com urbanização já consolidada. É composto principalmente por residências unifamiliares de pavimento único e por alguns comércios.

O setor do estudo possui 1632 ligações de consumo, residenciais e comerciais, distribuídas em cerca de 9,7 km de rede. É totalmente isolado do restante do sistema e é abastecido por gravidade, mantendo apenas um ponto de alimentação na parte mais alta, onde se localiza um reservatório elevado. O reservatório está instalado a 15 m de altura e suas dimensões são 5,60 x 5,70 x 5,70 m resultando, portanto em aproximadamente 182 m³ de capacidade máxima de reservação.

A elevada diferença de cota entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo do sistema (cerca de 29 metros) resulta em altos valores de pressão nas zonas baixas, mais afastadas do reservatório e, por conseqüência, implicam em índices de perdas também elevados. O setor possui uma válvula redutora de pressão (VRP) instalada na tubulação da avenida principal com o objetivo de reduzir os valores de pressões elevados já mencionados, entretanto a VRP encontra-se desativada. A Figura 4.1 mostra o modelo hidráulico adotado.

O reservatório está localizado na parte mais alta do setor é alimentado por dois poços próximos. A água é retirada dos poços através de duas bombas e é clorada diretamente, por mistura, através de injeção direta. Através da medição de vazão na saída das duas bombas foi possível descobrir que ambas, apesar de funcionarem de modo independente, possuem um comportamento semelhante funcionando de modo intermitente durante o dia e alternando ciclos de liga e desliga durante a noite. A Tabela 4.1 evidencia as características principais das duas bombas (RG-032 é a bomba que se localiza ao lado do reservatório e RG-034 é outra bomba que se localiza a duas quadras do mesmo).



Figura 4.1 – Modelo hidráulico adotado.

Tabela 4.1 – Características principais das bombas que realizam a adução do setor Coophatrabalho

	RG-032	RG-034
Tipo	Leão R-10/08	Haupt PT P63/7
Altura Manométrica	55 mca	70 mca
Potência	5,5 HP	15 HP
Vazão	12 m ³ /h	33 m ³ /h

4.2 Levantamentos dos Dados em Campo:

Primeiramente foram realizadas algumas visitas ao setor de estudo para verificar se este estava mesmo isolado e se não havia nenhuma outra entrada de água ou saída não contabilizada. Depois desta verificação, foram feitas outras campanhas de campo para levantamento de parâmetros específicos (pressão e vazão).

Para a determinação da vazão consumida pelo sistema em um dia, foi instalado na saída do reservatório um Tubo de Pitot, conectado a uma maleta medidora, que armazena a velocidade do fluido que posteriormente é convertida na a vazão de saída do sistema, esse equipamento tem um erro instrumental máximo de 2,1%, conforme a Figura 4.2.

A coleta da pressão foi feita utilizando-se três remotas colocados em pontos estratégicos, distribuídos ao longo da rede. As remotas foram desenvolvidas na UFMS e possuem a função de medir e armazenar dados de pressão continuamente e de transmiti-los

via rede GRPS (General Packet Radio Service), com um erro instrumental de 0,1%, conforme as Figura 4.3.



Figura 4.2 – Medidor de Vazão.

Estes protótipos foram instalados com consentimento e apoio da concessionária local de abastecimento de água com tomadas de pressão diretamente na rede principal de distribuição.



Figura 4.3 – Medidor de Pressão.

4.3 Modelação Hidráulica

A modelação do sistema foi feita através do software Epanet 2.0. O Epanet, é um programa que permite simular o comportamento hidráulico de um sistema pressurizado de distribuição de água, ao longo do tempo.

Foi utilizado este software por ser livre e amplamente utilizado, além de ser um modelo robusto e com uma grande comunidade de usuários no mundo todo (por exemplo, Martínez et al., 1999; Hernandez et al., 1999; Sakarya e Mays, 2000; Prescott e Ulanicki, 2001, Araujo et al. 2002). Para cada usuário, é permitido o acesso a todas as capacidades de simulação de um modelo programável através de rotinas em C, Basic ou Pascal em ambiente MS Windows.

Algumas características de modelo hidráulico no Epanet são: não existe limite no número de componentes da rede a analisar, calcula as perdas de carga por atrito através das formulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning, inclui as perdas de carga singulares em curvas, ampliações, reduções, etc, simula bombas, funcionando com velocidade de rotação fixa ou variável, calcula a energia de bombeamento e seu respectivo custo, modela os principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão, modela reservatórios de armazenamento de água de nível variável com diversas formas geométricas, possibilita estabelecer diferentes categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação com o tempo, modela a relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da pressão) e possibilita a simulação com diversas regras de operação do sistema.

Temos os seguintes passos para se fazer uma modelação hidráulica no software Epanet 2.0 são: desenho do traçado ou esquema do sistema de distribuição, edição das propriedades dos componentes (objetivos) que constituem o sistema (nós, trechos, bombas, reservatórios e válvulas), descrição das condições de operação do sistema, seleção de um conjunto de opções de simulação e análises, execução de simulações hidráulicas e obtenção e análises dos resultados das simulações. Conforme a figura 4.4 ilustra.

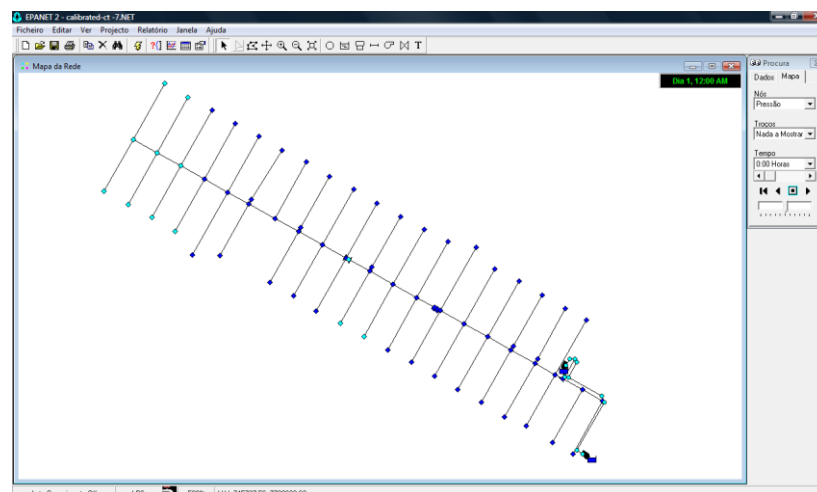


Figura 4.4 – Setor Estudado modelado no Epanet.

4.4 Calibração

A calibração do sistema foi feita através do Epanet Calibrador, software que foi desenvolvido pelo projeto Prosab da Universidade Federal do Mato Grosso Sul. Esse programa calibra o sistema modelado através da correção da rugosidade, e dos coeficientes e expoentes vazamento. Através da eq. 4.1:

$$q_{dl} = C_i(p_i)^\alpha \quad (4.1)$$

Onde q_{dl} equivale ao vazamento no nó i , p representa a pressão no nó i , α é o expoente da pressão e C coeficiente de perda no nó i .

O calibrador utilizado possui interfase que trabalha com o modelo do Epanet e representa os dados calibrados com expoente variável para cada nó, enquanto os calibradores existentes utilizam o mesmo valor do expoente para todos os nós da rede.

O procedimento de calibração visa ajustar os parâmetros do sistema de tal forma que o desvio entre os dados simulados e os dados observados em campo seja mínimo.

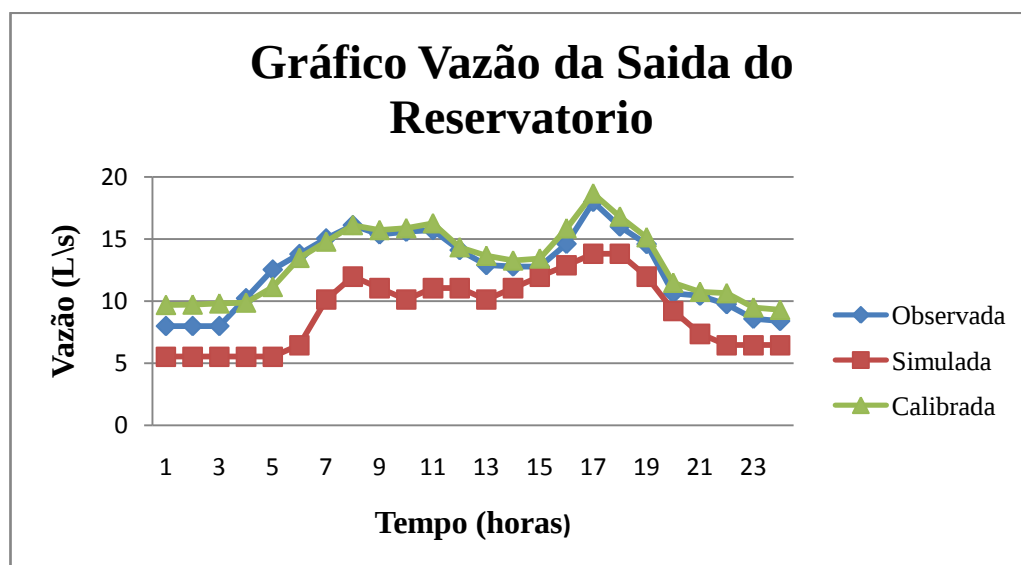


Figura 4.5 – Gráfico Vazão de Saída do Reservatório.

Os procedimentos para utilizar o programa calibrador:

1. Criar um setor (o setor representa uma região em que todos os canos sejam de um mesmo material). Quanto mais precisa for à definição dos setores, melhor será a calibração.
2. Inserir os dados medidos em campo de pressão no nó correspondente. É possível inserir 24 horas de monitoramento.

3. Inserir os dados medidos em campo de vazão no trecho correspondente. E como mencionado na pressão, podemos inserir 24 horas de monitoramento.

4. Iniciar a calibração.

Abaixo apresenta-se o gráfico obtido comparado-se os valores de vazão observados em campo e os valores obtidos depois da calibração do modelo hidráulico.

4.5 Balanço Hídrico do Sistema de Distribuição de água atual

Foi utilizado nesse trabalho para se faz o diagrama de perdas do sistema, a metodologia da matriz do balanço hídrico do sistema proposta pelo IWA, descrito no item 3.1 na revisão bibliográfica, indicado na tabela 4.2:

Tabela 4.2 – Matriz do balanço hídrico aplicada ao sistema atual (volume em m³/dia).

Balanço Hídrico Simplificado		
A	B	C
Água que entra no sistema (m ³ /ano)	Consumo autorizado (m ³ /ano)	Consumo autorizado faturado (m ³ /ano)
		Consumo autorizado não-faturado (m ³ /ano)
	Perdas de água (m ³ /ano)	Perdas aparentes (m ³ /ano)
		Perdas reais (m ³ /ano)

O volume de entrada no sistema de abastecimento estudado foi determinado através do hidrograma de saída do Reservatório de distribuição no período de 24 horas, obtido através da simulação do sistema calibrado, conforme a figura 4.4.

O volume autorizado faturado foi considerado igual ao micromedido ao consumidor. O consumo autorizado não faturado não foi levado em conta no estudo por falta de dado. Assim, as perdas reais foram determinadas através da diferença entre o volume de entrada e volume autorizado. As perdas aparentes foram determinadas aplicando-se o balanço hídrico no sistema, ou seja, resultaram da eq. 4.2.

$$\text{Perdas Aparentes} = \text{Volume Disponib.} - \text{Consumo Autorizado} - \text{Perdas Reais} \quad (4.2)$$

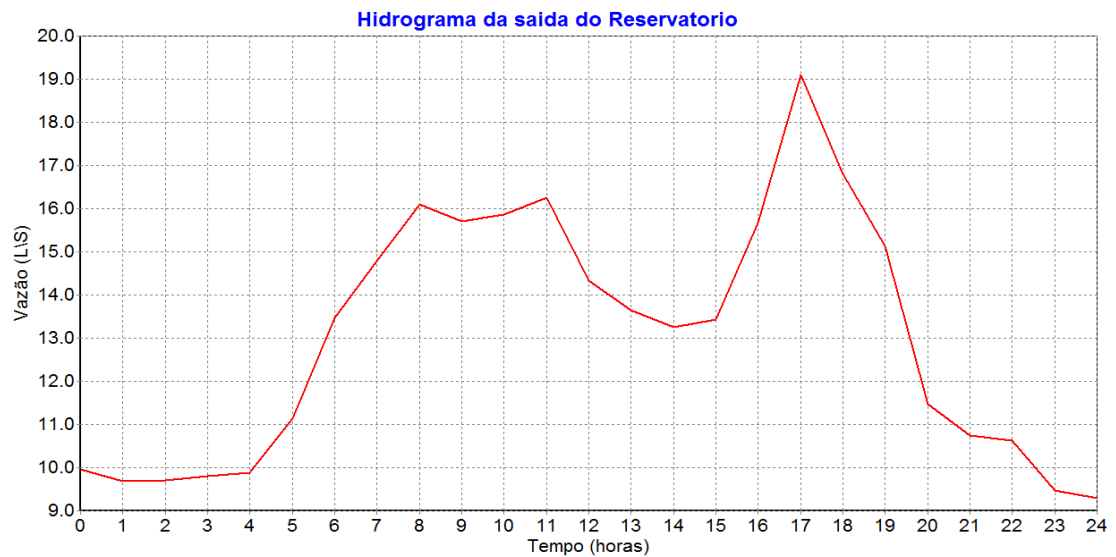


Figura 4.4 – Hidrograma de Saída do Reservatório (Fonte: Epanet).

4.6 Determinação da mínima pressão

Foi analisada a diminuição da pressão na proporção de 10 em 10% até determinação da pressão a mínima pressão que atende o sistema e que está de acordo com as normas vigentes através da VRP1 (Válvula Redutora de Pressão) existente localizada na Avenida Florestal entre as Ruas Figueira e Quinheira (Figura 4.5).

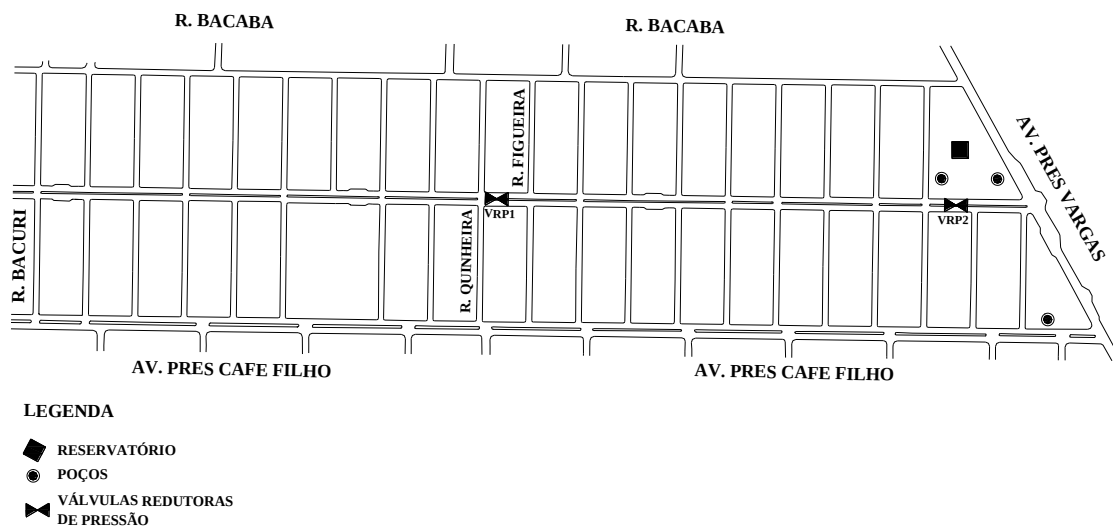


Figura 4.5 – Localização das VRP (Válvula Redutora de Pressão).

Depois foi realizada uma simulação com o sistema com uma segunda VRP (VRP2) na saída do reservatório (pois é o local aonde a área de influência da VRP será a maior possível no sistema) com uma diminuição de 10% no valor da pressão inicial, mantida em constante, e

na VRP1 foi sendo reduzido em de 10 em 10% até que a determinação da pressão mínima que atende o sistema e que está de acordo com as normas vigentes, o valor da pressão da VRP2 foi diminuída em mais 10% e os procedimentos foram repetidos (Figura 4.5). Este procedimento foi repetido até a determinação da mínima pressão de saída do reservatório. Foi calculado o IPR (Índice de Perdas por Ramal) para dos os casos, que serão apresentados conforme a tabela 4.3 a abaixo:

Tabela 4.3 – Redução de Pressão X IPR:

VRP2 (%)	VRP1 (%)	IPR(L/ramal dia)
0%	0%	IPR ₀
0%	10%	IPR ₁
0%	20%	IPR ₂

O IPR (Índice de Perdas por Ramal) foi calculado conforme equação abaixo:

$$IPR = \frac{VOLUME\ DE\ PERDAS\ TOTAIS}{N^{\circ}\ Ligação \times 365} \quad (l/lig. dia) \quad (4.3)$$

O diagrama de perdas do sistema simplificado foi aplicado, com a metodologia da matriz do balanço hídrico do sistema proposta pelo IWA, descrito no item 4.5 para o melhor resultado da primeira e segunda análise.

4.7 Análise Energética

Para análise de eficiência energética, foram elaboradas três concepções diferentes para o setor considerando diferentes posicionamentos para o setor considerando diferentes posicionamentos de válvulas de redução de pressão e variações no bombeamento como segue:

- Concepção 1: Bombeamento para um reservatório de distribuição, com a VRP1 ajustada na sua melhor situação;
- Concepção 2: Bombeamento para um reservatório de distribuição, com as duas VRPs ajustadas na sua melhor situação;
- Concepção 3: Bombeamento direto na rede de distribuição, com conversor de frequência, com a VRP1 ajustada na sua melhor situação;

Para a avaliação do impacto das perdas reais sobre o consumo de energia do sistema, adotou-se a recomendação de Walski (2004), que sugere que essa avaliação seja focalizada nas bombas, onde de fato a energia é consumida.

Assim, a partir do hidrograma de saída das bombas e de suas curvas características, calculou-se a altura total de elevação H , em metros, fornecida pela mesma ao escoamento, para cada intervalo de 1 hora, durante o período de simulação de 24 horas. Uma vez obtidas as vazões Q e as alturas totais de elevação H , ao longo do dia típico de operação, traçou-se o gráfico Potência x Tempo a partir da eq. 4.4 (PORTO, 1998). Neste cálculo, foi considerado um rendimento global η igual a 75% para o conjunto motor-bomba.

$$Pot = \frac{9,8 \times Q \times H}{\eta} \quad (4.4)$$

Onde Pot é a potência consumida pelo conjunto elevatório em kW, Q é a vazão bombeada em m^3/s , e H é a altura total de elevação do conjunto elevatório em metros.

A energia em kWh consumida pelo sistema de bombeamento, em cada uma das concepções avaliadas, para o cenário onde houve menor índice de perdas reais, foi determinada calculando-se a área sob a curva do gráfico Potência x Tempo.

4.8 Avaliação Econômica

Foram utilizadas nesse trabalho duas situações diferentes para fazer a análise econômica, que são descritas abaixo:

- primeira situação: levando-se em conta apenas a redução de gasto de energia;
- segundo situação: levando-se em conta toda a redução no custo de produção da água;

O primeiro passo foi levantar o custo de execução de cada proposta. Esse custo foi obtido com orçamento feito na época do estudo, em loja especializada e empresa do ramo. Depois foi levantado o custo de energia para atender o setor, em um dia normal de abastecimento (24 horas), em seguida foi levantado o custo total de produção de água para o abastecimento do sistema (24 horas) considerando-se os custos diretos e indiretos da produção. As análises econômicas foram feitas através da Taxa Interna de Retorno (TIR) nos seguintes períodos de retorno de 1 e 10 anos. A TIR foi calculada conforme a eq. 4.5 abaixo:

$$\sum \frac{CF_j}{(1+i)^n} = CF_0 \quad (4.5)$$

Onde CF_j é a potência consumida pelo conjunto elevatório em kW, Q é a vazão bombeada em m^3/s , e H é a altura total de elevação do conjunto elevatório em metros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Diagnósticos de perdas do sistema atual de abastecimento de água

Conforme descrito no item 4.5, o volume de água que entra no sistema foi determinado com a área do diagrama de saída de vazão do reservatório, obtendo-se um valor diário de 1171 m^3 . A vazão micromedida foi estimada a partir de dados mensais de micromedição fornecidos pela empresa resultando em um valor de $478,84 \text{ m}^3/\text{dia}$. Com isso, fizemos o balanço hídrico atual do sistema estudado (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Balaço Hídrico Atual

Água que entra no sistema 1171 m^3 (100%)	Consumo autorizado $478,84 \text{ m}^3$ (40,90%)	Consumo autorizado faturado $478,84 \text{ m}^3$ (40,90%)
		Consumo autorizado não faturado $0,00 \text{ m}^3$ (0%)
	Perdas de água $692,16 \text{ m}^3$ (59,10%)	Perdas aparentes $17,30 \text{ m}^3$ (1,48%)
		Perdas reais $674,86 \text{ m}^3$ (57,63%)

Com o balanço hídrico, observa-se que o sistema tem uma perda real de $674,86 \text{ m}^3/\text{dia}$. Nota-se que o índice de perda obtido do sistema é superior a sua demanda, com isso geral um maior custo no abastecimento desse setor, desperdício de água, energia elétrica e produtos químicos.

5.2 Pressão e sua influência com perda física do sistema de distribuição de água

Primeiro foi verificado qual o melhor ajuste para a VRP1 no sistema atual e foi calculado a influencia que o indicador IPR (Índice de Perdas por Ramal), sofre em cada ajuste conforme demonstrado na tabela 5.2:

Como foi demonstrado na Tabela 5.2, o melhor ajuste para a VRP1 foi aquele em que reduziu-se a pressão inicial que chega na válvula em 60%, com isso houve uma redução no indicador IPR (Índice de Perdas por Ramal) de $78,48 \text{ l/lig.dia}$. Após esse resultado chegou-se

a um novo balanço hídrico do sistema com a VRP1 ajustada a partir desta situação, conforme demonstrado Tabela 5.3.

Tabela 5.2 – Redução das Perdas Física por Redução Pressão 0 % na válvula localizada na saída do reservatório

VRP1(%)	IPR (L/ramal dia)
0%	424,12
10%	419,31
20%	407,12
30%	390,70
40%	376,83
50%	361,62
60%	345,64

Tabela 5.3 – Balaço Hídrico após o ajuste de VRP1

Água que entra no sistema 1042 m ³ (100%)	Consumo autorizado 478,84 m ³ (45,95%)	Consumo autorizado faturado 478,84 m ³ (45,95%)
		Consumo autorizado não faturado 0,00 m ³ (0%)
	Perdas de água 563,32 m ³ (54,05%)	Perdas aparentes 17,30 m ³ (1,66%)
		Perdas reais 546,03 m ³ (52,39%)

O sistema após ajuste na VRP1 possui uma perda real de 546,03 m³/dia, com isso houve uma redução 128,83 m³/dia no total de perdas (Tabela 5.3). Depois simulou-se o sistema com duas VRP, a existente que é denominada VRP1 e a outra que está localizada na saída do reservatório, que é denominada VRP2, os resultados dessa análise esta indicados nas Tabelas 5.4, 5.5 e 5.6:

Tabela 5.4 – Redução das Perdas Física por Redução Pressão 10 % na VRP2

VRP2 (%)	VRP1 (%)	IPR (L/ramal dia)
10%	0%	415,43
10%	10%	416,27
10%	20%	403,08
10%	30%	388,37
10%	40%	372,39
10%	50%	357,15
10%	60%	340,17

Tabela 5.5 – Redução das Perdas Física por Redução Pressão 20 % na VRP2:

VRP2 (%)	VRP1 (%)	IPR (L/ramal dia)
20%	0%	403,78
20%	10%	403,78
20%	20%	394,67
20%	30%	378,39
20%	40%	361,87
20%	50%	344,73
20%	60%	327,09

Tabela 5.6 – Redução das Perdas Física por Redução Pressão 30 % na VRP2:

VRP2 (%)	VRP1 (%)	IPR (L/ramal dia)
30%	0%	380,73
30%	10%	380,73
30%	20%	379,52
30%	30%	364,14
30%	40%	347,51
30%	50%	330,33
30%	60%	312,64

O próximo ajuste da VRP2 seria de 40%, mas esse ajuste não pode ser feito, pois alguns pontos do sistema ficariam com pressão abaixo que das pressões prescritas pelas normas vigentes. Depois de algumas tentativas, foi obtido que o máximo de redução de pressão inicial para respeitarmos as normas vigentes foi de 36,83%, conforme indicado na tabela 5.7:

Tabela 5.7 – Redução das Perdas Física por Redução Pressão 36,83 % na VRP2:

VRP2 (%)	VRP1 (%)	IPR (L/ramal dia)
36,83%	0%	363,97
36,83%	10%	363,97
36,83%	20%	363,97
36,83%	30%	354,09
36,83%	40%	337,41
36,83%	50%	320,18
36,83%	60%	302,53

Como pode-se observar na Tabela 5.7, o melhor ajuste das válvulas para combater as perdas físicas foi a que a VRP2 estava ajustada para reduzir a pressão inicial que chega em 36,83 % e VRP1 quando está ajustada para reduzir a pressão inicial que chega a ela em 60%. Com esses ajustes nas VRPs, o índice IPR (Índice de Perdas por Ramal), obtido foi de 302,53 L/ramal.dia com isso, consegue-se uma redução no índice IPR de 121,54 L/ramal dia. Após

esse resultado fez-se o balanço hídrico do sistema com as VRPs ajustadas nos parâmetros já pré-determinados, conforme mostrado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Balaço Hídrico após o ajuste das duas VRPs

Água que entra no sistema 972,58 m ³ (100%)	Consumo autorizado 478,84 m ³ (49,23%)	Consumo autorizado faturado 478,84 m ³ (49,23%)
		Consumo autorizado não faturado 0,00 m ³ (0%)
	Perdas de água 493,94 m ³ (50,77%)	Perdas aparentes 17,30 m ³ (3,50%)
		Perdas reais 476,44 m ³ (47,26%)

Observou-se que a perda real do sistema após a regulagem das duas VRPs é de 476,44 m³/dia, assim, reduzimos as perdas reais do sistema em 198,42 m³/dia. Abaixo gráfico comparativo do resultado obtido, com índice de outras companhias de saneamento básico do Brasil.

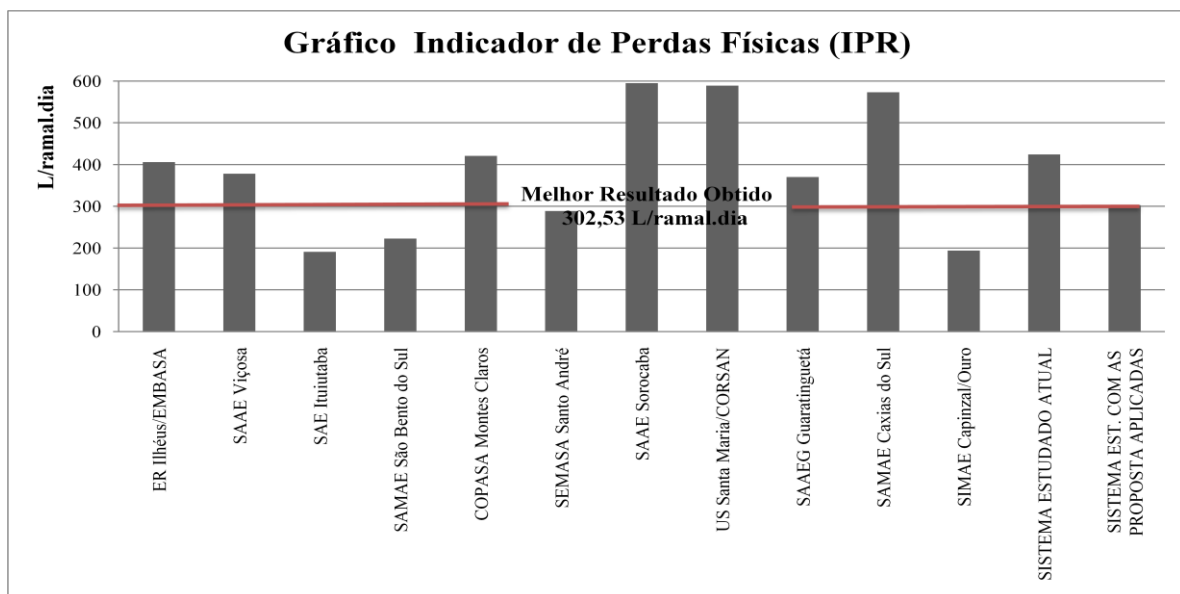


Figura 5.1 – Gráfico do Indicador de Perdas Físicas

5.3 Eficiência Energética

A Figura 5.2 apresenta a potência consumida em cada concepção avaliada, ajustadas para terem a mínima perda real que atende as normas vigentes com relação as pressão mínimas. As concepções são:

- Concepção 1: Bombeamento para um reservatório de distribuição, com a VRP1 ajustada na sua melhor situação;
- Concepção 2: Bombeamento para um reservatório de distribuição, com as duas VRPs ajustadas na sua melhor situação;
- Concepção 3: Bombeamento direto na rede de distribuição, com inverso de frequência, com a VRP1 ajustada na sua melhor situação;

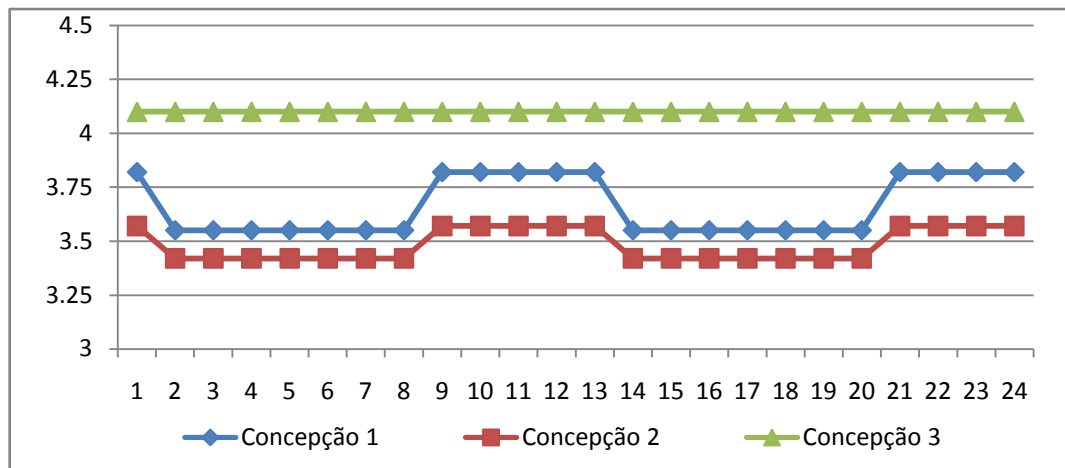


Figura 5.2 – Gráfico de Potência Consumida (KW) X Tempo (H)

Tabela 5.9 – Planilha de Potência Consumida Média:

	Atual	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3
CGR-34	3,25	2,70	2,59	3,15
CGR-32	0,98	0,85	0,83	0,95
Total em kWhora	4,23	3,55	3,42	4,10

É possível verificar na Tabela 5.9 que, qualquer uma das concepções comparadas com a situação atual é melhor, em relação à eficiência energética no parâmetro potência consumida. A concepção que apresenta os melhores resultados é a concepção dois conforme ilustrado na Figura 5.2 e na Tabela 5.9.

5.3 Análise econômica

A aplicação da primeira concepção no sistema não possui custo, pois ela trata de um ajustar a VRP1 já existente. Já a aplicação da segunda concepção possui um custo inicial de R\$ 6.127,90, devido a implantação da VRP2, que estão apresentados detalhadamente na Tabela 5.10 a abaixo.

A aplicação da terceira concepção possui dois custos distintos. O primeiro com a interligação da tubulação dos poços na rede de abastecimento com um custo de implantação de R\$ 1.851,48 e o segundo, a instalação de inversores de frequência nas bombas dos poços que possui um custo para ser implantado de R\$ 6.001,55. Assim o custo total da execução da proposta dois e R\$ 7.853,03. A descrição completa dos custos está apresenta da nas Tabelas 5.11 e 5.12.

Tabela 5.10 – Planilha de Orçamento para a instalação da VPR

INSTALAÇÃO DE VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO				
DESCRIÇÃO	UN.	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOT.
Escavação manual de área em solo de qualquer natureza, exceto rocha, com prof. até 1,50m	m ³	3,74	12,31	46,04
Aterro/reaterro de valas compactado manualmente	m ³	1,75	15,91	27,85
Transporte de material escavado-solos	m ³ xkm	19,90	1,07	21,21
Execução de piso de concreto, Fck=25,0 MPa e=20 cm	m ³	1,50	74,00	111,00
Alvenaria de tijolo comum assentado c/ argamassa de cimento, cal e areia, traço 1:2:8, e=20cm	m ²	5,00	57,30	286,50
Emboço paulista c/ argamassa de cimento, cal e areia, traço 1:4:12, e=2,5cm	m ²	5,00	10,79	53,95
Escada Marinheiro Metálica Assentada	un	1,00	75,00	75,00
Tampa da caixa em concreto armado e= 20 cm com cinta de travamento	m ²	1,50	191,40	287,10
Redução concêntrica c/flanges fofo pn-10 dn 200 x 100	un	2,00	275,22	550,45
Luva correr pvc defofo je DN- 200 mm	un	2,00	121,58	243,16
Anel borracha p/ tubo pvc defofo -12 DN-200mm	un	4,00	9,00	36,00
Tampão F°F° Ductil ART TRV 600mm	un	1,00	247,50	247,50
Válvula F°F° Redutora Pressão DN 100mm	un	1,00	2.020,20	2.020,20
Filtro para VRP DN 100 mm	un	1,00	445,40	445,40
Registro de gaveta chato com bolsas/cabeçote p/ PVC em ferro fundido PN10, DN 100 DE=110mm	un	2,00	838,27	1.676,54
Total			6.127,90	

A aplicação da terceira concepção possui dois custos distintos. O primeiro com a interligação da tubulação dos poços na rede de abastecimento com um custo de implantação de R\$ 1.851,48 e o segundo, a instalação de inversores de frequência nas bombas dos poços que possui um custo para ser implantado de R\$ 6.001,55. Assim o custo total da execução da proposta dois e R\$ 7.853,03. A descrição completa dos custos está apresenta da nas Tabelas 5.11 e 5.12.

Após a determinação dos custos para executar as três concepções, determinou-se o custo de energia do sistema atual e das três concepções. Com esses dados foram realizados as

análises econômicas de cada concepção, para verificar qual concepção é a mais vantajosa para ser executada no sistema.

Tabela 5.11 – Planilha de Orçamento para Interligação das Redes do poço na rede de distribuição

Interligação da tubulação dos poços na rede de distribuição				
DESCRIÇÃO	UN.	QUANT	R\$ UNIT.	R\$ TOT.
SERVIÇOS				
Locação de rede de água	m	18,00	0,27	4,86
Cadastro de rede de água	m	18,00	0,23	4,14
Total da fase				9,00
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica de valas em solo de qualquer natureza, exceto rocha, com profundidade até 2,0 m	m³	17,28	6,94	119,92
Apiloamento de fundo de valas c/ maco de 30 kg	m²	14,40	7,38	106,27
Aterro/Reaterro de valas compactada manualmente sem controle do grau de compactação	m³	4,18	7,38	30,84
Aterro/Reaterro de valas compactada mecanicamente sem controle do grau de compactação	m³	13,10	5,54	72,58
Fornecimento de aterro	m³	1,73	25,86	44,69
Carga e descarga mecânica de solo	m³	1,73	1,11	1,92
Transporte de material escavado – solo	m³xkm	17,28	0,86	14,86
Total da fase				391,08
ASSENTAMENTOS				
Assentamento de tubos e conexões em pvc, junta elástica, dn 75 mm	m	6,00	1,46	8,74
Assentamento de tubos e conexões em pvc, junta elástica, dn 100 mm	m	12,00	1,68	20,12
Total da fase				28,86
MATERIAIS				
Curva pvc longa 90g p/ esg predial dn 75mm	un	1,00	15,96	15,96
Curva pvc longa 90g p/ esg predial dn 100mm	un	1,00	25,71	25,71
Tubo pvc pba 12 je p/rede água dn 100/de 110 mm	m	12,00	23,31	279,71
Tubo pvc pba 12 je p/rede água dn 75/de 85 mm	m	6,00	14,43	86,58
Te c/bolsas je fofo e bolsa p/tubo pvc dn 200x100	un	1,00	281,32	281,32
Te c/bolsas je fofo e bolsa p/tubo pvc dn 200x75	un	1,00	355,60	355,60
Pasta lubrificante para tubos de pvc c/ anel de borracha (pote 500g)	un	1,00	21,06	21,06
Luva correr pvc pba p/rede água dn 75 -85mm	un	1,00	14,55	14,55
Luva correr pvc pba p/rede água dn 100 - 110mm	un	1,00	22,09	22,09
Luva correr pvc defofo je DN- 200 mm	un	2,00	121,58	243,16
Anel borracha p/ tubo/conexão pvc pba dn 75mm	un	6,00	3,29	19,73
Anel borracha p/ tubo/conexão pvc pba dn 100mm	un	6,00	3,51	21,06
Anel borracha p/ tubo pvc defofo DN-200mm	un	4,00	9,00	36,00
Total da fase				1.422,54
Total				1.851,48

Tabela 5.12 – Planilha de Custo de Instalação dos Inversores de Frequência.

Instalação dos Inversores de Frequência				
DESCRIÇÃO	UN.	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
Inversor de frequência para bomba centrífuga	un	2,00	2000,00	4000,00
Fio/cordão cobre isolado paralelo ou torcido 2 x 2,5mm ² , tipo plastiflex pirelli ou equiv.	m	125,00	2,35	294,13
Disjuntor termomagnético tripolar 200a/600v, tipo fxd/35ka Siemens ou equiv.	un	2,00	633,41	1266,82
Eletroduto pvc rosca s/luva 20mm - 3/4"	m	30,00	2,09	62,79
Eletroduto metálico flexível rev ext pvc preto 25mm tipo copex ou equiv.	m	30,00	5,24	157,17
Caixa p/ medição monof 30 x 33 x 15cm em chapa 18 c/ visor/porta/cx um	un	2,00	110,32	220,64
Total				6001,55

Após uma análise prévia, observou que a concepção 1, se trata de um caso especial do sistema estudado, pois não possui investimento inicial e se torna a melhor opção econômica, já as duas outras concepções são solução gerais, então foram feitas análises econômicas só para essa duas concepções. Na Tabela 5.13 é apresentado o custo atual para se abastecer um dia o sistema e também custo para abastecer esse mesmo sistema se aplicar qualquer um das três propostas.

Analisando o sistema atual com a concepção um verifica-se uma economia de R\$ 22,67 ao dia, já na concepção dois, uma economia de R\$ 31,42 ao dia. Na concepção três, temos uma economia de R\$ 31,84 ao dia. Após essa análise pode-se concluir que, a concepção um terá uma economia mensal de R\$ 680,10, na concepção dois, a economia será de R\$ 942,60 e na concepção três, R\$ 955,20 de economia.

Tabela 5.13 – Planilha de Custo de Energia para abastecer o sistema

Custo na Produção de Água				
	Atual	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3
Energia (R\$/dia)	200,80	178,13	169,38	168,96

Analisou-se as concepções pela TIR (Taxa Interna de Retorno) nos seguintes intervalos de 1 ano após o investimento e depois de 10 anos de investimento está (Tabela 5.15). Foi calculado o tempo para ser pago o investimento para executar cada concepção.

É possível verificar na Tabela 5.14 que a melhor concepção em termos econômicos é a concepção 2, pois sua TIR em ambos os casos analisados é bem maior que a concepção 3.

Tabela 5.14 – Planilha de Taxa Interna de Retorno

TIR-Taxa Interna de Retorno		
Anos, após o investimento	Concepção 2 (% ao mês)	Concepção 3 (% ao mês)
1	11%	6%
10	15%	12%
20	15%	12%

O investimento da concepção dois seria pago em 195 dias após a sua execução, já o investimento da concepção três seria pago em 267 dias após a sua execução.

Recomenda-se que para uma análise econômica completa, seja analisado não apenas o custo de energia reduzido com as concepções, mais sim, o custo na produção total da água no sistema. Com a redução das perdas físicas não só reduz-se o consumo de energia do sistema, mas reduz-se todos os custos envolvidos na produção da água no sistema, que estão especificadas na Tabela 5.15.

Analisando o custo atual com o da concepção um obteve-se uma economia de R\$ 83,76 ao dia, já na concepção dois, obteve-se uma economia de R\$ 119,09 ao dia e, na concepção três, a economia foi de R\$ 120,68 ao dia. Após essa análise conclui-se que, mensalmente, a concepção um economiza R\$ 2512,80, já a concepção dois economizará R\$ 35727,60 e a concepção três economizará R\$ 3620,40.

Tabela 5.15 – Planilha de Custo de Produção de Água para abastecer o sistema

Custo na Produção de Água						
	Porcentagem (%)	Preço Unitário	Valor atual gasto	Valor concepção 1	Valor concepção 2	Valor concepção 3
Produtos Químicos	2%	0,014	16,49	14,81	13,91	13,88
Energia	26%	0,171	200,80	178,13	169,38	168,96
Mão de Obra	62%	0,402	470,42	421,00	396,82	395,84
Manutenção	8%	0,054	63,38	54,69	53,47	53,33
Impostos	1%	0,009	10,06	8,77	8,49	8,46
Custo Total	100%	0,650	761,16	677,40	642,07	640,48

Analisou-se as concepções pela TIR (Taxa Interna de Retorno) nos seguintes intervalos de 1 ano após o investimento e depois de 10 e 20 anos de investimento, está apresentada na

Tabela 5.17. Foi calculado o tempo para ser pago o investimento para executar cada concepção.

Tabela 5.16 – Planilha de Taxa Interna de Retorno

TIR-Taxa Interna de Retorno		
Anos, após o investimento	Concepção 2 (% ao mês)	Concepção 3 (% ao mês)
1	58%	46%
10	58%	46%
20	58%	46%

O investimento da concepção dois seria pago em 52 dias após a sua execução, já o investimento da concepção três seria pago em 65 dias após a sua execução.

É possível verifica na Tabela 5.16 que a melhor concepção em termos econômicos é a concepção 2 ,pois sua TIR em ambos os caso analisados é bem maior que a concepção 3. Também pode-se observar que quando leva-se todo o custo na produção de água na análise temos um resultado bem mais significativo, do que quando leva-se apenas um item da produção.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os sistemas de abastecimento de água atuais são planejados e projetados para suprir os atuais e futuros picos de demandas, e com esse procedimento geram pressões excessivas ou acima da necessária para atender o sistema ainda mais nos períodos de menor demanda. Essas pressões excessivas nas redes podem causar diversos problemas, como ruptura ou pequenas fissuras nas tubulações, que podem acarretar vazamentos visíveis e não visíveis, que hoje em dia são os grandes problemas nas redes de distribuição de água do mundo todo.

Este trabalho apresentou como a pressão influencia nas perdas reais através da determinação da pressão mínima para abastecer o sistema de distribuição de água com o auxílio de válvulas reguladoras, e também a influência dessa perda de água no consumo de energia elétrica pelo sistema de bombeamento de produção.

Observou-se que determinando a pressão mínima de saída para abastecer uma rede de distribuição de água há uma queda significativa das perdas reais. Foram sugeridas duas hipóteses para fazer essa redução de pressão no sistema, sendo a primeira hipótese somente a regulação da VRP já existente e a segunda hipótese com a colocação de mais uma VRP na saída do reservatório. Conclui-se que a segunda hipótese foi a mais eficaz, pois conseguiu reduzir as perdas no sistema estudado em 29,40 % o que representa 198,42 m^3 /dia enquanto que a primeira reduziu as perdas em apenas 19,90% o que representa 128,83 m^3 /dia.

Já na parte de eficiência energética, foram analisadas três concepções de abastecimento do sistema, uma com apenas a VRP já instalada e com o uso do reservatório elevado, outra com o uso de duas VRPs e também com o uso do reservatório e a terceira com o bombeamento direto na rede com o uso de inversor de frequência. A concepção que resultou em maior economia de energia elétrica foi a concepção 2 que apresentou uma economia de 0,81 kW/horas comparado com o sistema atual o que já era esperado tendo em vista que o setor de estudo apresentava um patamar de perdas inferior a 50%.

Verificou-se também a viabilidade econômica de cada uma das três concepções em duas situações diferentes, uma levando em conta só a diminuição do gasto com energia elétrica na produção de água e a outra levando o custo total de produção da água. Em ambos os casos, em termos econômicos, a melhor opção é a concepção 1, pois esta não possui nenhum investimento inicial e resulta em uma economia imediata para a empresa. Como já mencionado, este é um caso específico, não podendo ser aplicada esta solução em outros

sistemas sem realizar a análise econômica dos mesmos. Como as outras duas soluções são soluções gerais, podendo ser aplicadas em qualquer sistema, fez-se uma análise econômica comparando somente estas duas soluções. Nesta análise obteve-se como a melhor opção a concepção 2 pois sua TIR nos anos analisados é bem maior que a da concepção 3 o que é resultado direto da economia gerada por ambas as soluções serem semelhantes apesar do investimento inicial da concepção 3 ser bem maior que o investimento da concepção 2.

Como resultado das análises propostas, pode-se concluir que ao determinar a mínima pressão de saída de um sistema capaz de abastecer com segurança o mesmo, o que é obtido através de um controle efetivo das pressões do sistema, pode-se aplicar esta pressão através da colocação e ajuste de válvulas de controle de pressão (VRP) com o intuito de minimizar as perdas reais resultando em um retorno financeiro imediato para as empresas de saneamento com economia de energia e combate ao desperdício de água tratada.

Esta alternativa é a melhor, conforme foi comprovado no estudo, até mesmo em comparação com a utilização de bombeamento direto na rede com o auxílio de inversores de frequência, pois além de podermos ajustar a pressão de entrada do sistema com o passar dos anos com facilidade ainda apresenta um custo de investimento inicial muito menor e possui a segurança de apresentar um reservatório de armazenamento que garante uma resiliência do sistema.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abe, N. ; Cheung, P. B. . Epanet Calibrator - an integrated computational tool to calibrate hydraulic models. In: Joby Boxall; Cedo Maksimovic. (Org.). Integrating Water Systems. London, UK: Taylor & Francis Group, 2009, v. , p. 129-133.

Agência Nacional de Água (ANA). Overview of hydrographic regions in Brazil. Brasília, 2002.

Alegre, Helena, Baptista, Jaime M., Indicadores de Desempenho de Sistemas de Distribuição de Água: Uma Questão de Moda ou de Necessidade. In: Revista da Indústria da Água, n°.25, 1997.

Alegre, H.; Hirner, W. Baptista, J.M.; Parana, R. Indicadores de desempenho para serviços de água, Manual de boa prática. (versão portuguesa atualizada e adaptada de Performance indicators for water supply services, IWA Publishing, 2000), IRAR e LNEC. 2004.

Alegre H.; Coelho S. T.; Almeida, M. C.; Vieira P. Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição. Série guias técnicos n° 3. IRAR, LNEC, INAG. 2005.

Almeida, Maria da Conceição S. R. Soares, Rodrigues, Paulo S. B., Abraços, João Nuno S. L. C., A detecção sistemática de fugas na rede de distribuição de Lisboa e o projecto sprint. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999.

Almeida, M.C.S.R.S. *et al* A detecção sistemática de fugas na rede de distribuição de Lisboa e o projeto SPRINT. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais... p.1080-1088.

Azevedo Netto, J.M. Manual de Hidráulica. 8. ed. atual. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003. 669p.

Baptista, J. M.; Alegre, H.; Matos, R.; Neves, E. B.; Pássaro, D.; Santos, R.F.; Cardoso, A.; Duarte, P.; Escudeiro, H.; Ribeiro, A.; Nunes, M. Guia de avaliação de desempenho dos operadores de serviços de águas e resíduos, Instituto Regulador de Águas e Resíduos e LNEC, Lisboa, 2004.

Barroso, Lidiane Bittencourt. Estudo da minimização das perdas físicas em sistema de distribuição de água utilizando o modelo EPANET. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - PPGECE, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

Barroso, Lidiane B., Gastaldini, Maria do C. C., Minimização dos vazamentos em redes de distribuição. Estudo de caso. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, I Simpósio de Águas da AUGM. Santa Maria, 2005.

Braghirolli, Mario Alba et al., Gestão operacional para redução de perdas no sistema de abastecimento de água da unidade de negócio norte - RMSP. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, 2003.

Braghirolli, Mario Alba et al., Estação de controle de pressão Freguesia do Ó. Uma obra de controle de perdas. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

Brown, Lester R. Um deserto cheio de gente. WWI-Worldwatch Institute / UMA-Universidade Livre da Mata Atlântica 2001. Disponível em: <<http://www.wwiuma.org.br/artigos/010.html>>. Acesso em: 10 de novembro de 2004.

Buzolin Jr, O. Sistematização para a gestão de abastecimentos urbanos de água com auxílio do SIG. 2001. 108p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas, 2001.

Camargo, Rosana. A possível futura escassez de água doce, que existe na Terra, é principal preocupação das autoridades. Disponível em: <<http://www.cefetsp.br/edu/sinergia/4p35c.html>>. Acesso em: 02 de novembro 2004.

Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária y Ciencias Del Ambiente – CEPIS. Division de Proteccion de la Salud Ambiental. Manual sobre control de fugas y mediciones en rede de distribucion de agua, 1982.

Cetesb. O problema da escassez de água no mundo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/gesta_escassez.asp>. Acesso em: 20 de novembro de 2004.

Cetre do Brasil. Detecção de Vazamentos não Visíveis – Métodos Acústicos, São Paulo, 2003.

Cheung, P. B. ; GIROL, G. V. ; ABE, N. ; PROPATO, M. . Night flow analysis and modeling for leakage estimation in a water distribution system. In: Joby Boxall; Cedo Maksimovic. (Org.). Integrating Water Systems. London, UK: Taylor & Francis Group, 2009, v. , p. 509-513.

Cheung, P. B. et al. Multiobjective evolutionary algorithms applied to the rehabilitation of a water distribution system: a comparative study. Evolutionary Multi-Criterion Optimization - Lecture notes in computer science, 2003.

Coelho, S. T. - Performance assessment in water supply and distribution. 1996. Tese de Doutorado na Universidade Heriot-Watt de Edimburgo, Reino Unido, Janeiro de 1996.

Conejo, J. G. L., Lopes, A. R. G. Marcka, E. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDa. Medidas de redução de perdas e Elementos para planejamento. Presidência da República - Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano - Secretaria de Política Urbana. Brasília, 1999.

Conferência da International Water Association – IWA. Leakage management – a practical approach, 2002, Lemesos-Chipre, Anais...326p.

Corsan - Companhia Rio Grandense de Saneamento, Regulamento dos Serviços de Água e Esgoto. Rio Grande do Sul, 2001.

Coutinho R. S. Avaliação do impacto das perdas reais no consumo de energia do sistema de bombeamento de um setor piloto no município de Campo Grande-MS. Florianópolis, 2008, 54 p. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Cunha, J.M.R.; Melo, J.A.C. Tecnologia utilizada na operação de redes de distribuição para redução de perda de água – setorização em distritos pitométricos. In: Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 9, 2000, Porto Seguro. Anais... p.365-372.

Czapski, Sílvia. Escassez de água é um dos maiores problemas do século. Jornal Valor, São Paulo, 2 e 3 de maio de 2004.

Dantas, Vera. Uso e desperdício. Brasil Nuclear, Ano 9, número 24, Jan-Mar 2002. Disponível em : <<http://www.aben.com.br/texto/rev24/8.htm>>. Acesso em: 11 dezembro de 2004.

Donzier, Jean-François, Gestão integrada dos recursos hídricos: novas orientações para preparar o futuro. Departamento Internacional da Água. Paris. Disponível em <<http://www.oiaqua.org>>. Acesso em: 21 de janeiro 2005.

Eletrobás. Plano de ação do o Procel Sanear. 2004.

Faria, A. L.; Alegre, H., Paving the way to excellence in water supply systems: a framework for levels-of-service assessment based on consumer satisfaction. Aqua, vol. 1, fevereiro de 1996.

Favero, J. A; DIB M. E. M. Pesquisa e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água. Revista DAE. São Paulo. N.50. São Paulo.

Gonçalves, Elton, Koide, Sérgio, Estudos sobre determinação de perdas e Indicadores de desempenho do controle de perdas na distribuição de água. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999.

Gonçalves, E. *et al* Determinação e controle de perdas na distribuição de água através de monitoramento da vazão mínima noturna. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 9, 2000, Porto Seguro. Anais... p.316-323.

Gonçalves, E. Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – estudos de caso da CAESB. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Brasília, Universidade de Brasília, 1998 173p.

Gumier, Carlos César. Aplicação de modelo matemático de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 145p. Dissertação (Mestrado).

Herpetz, P. Basics of Maintenance. Encontro Técnico SABESP, São Paulo, 2003

- Hirner, W.; Alegre, H.; Coelho, S. T. Perdas de água em sistemas de abastecimento: Conceitos básicos, Terminologia e Indicadores de desempenho. 2000.
- IWA. Blue pages on losses from water supply systems. Ed. A. Lambert e W. Hirner, International Water Association. 2000.
- Jowitt, P.W.; Xu, C. (1990). Optimal Valve Control in Water Distribution Networks. Journal of Water Resources Planning and Management, v.116,n.4, p.455-472, July.
- Katayama, P. T. Pitometria em sistemas de abastecimento de água, vol. 1, 163p. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental CETESB, São Paulo, 1989.
- Lambert, A.. Assessing non-revenue water and its components, Water 21, IWA - International Water Association. August 2003.
- Lambert, A., Myers, S., Trow, S. Managing water leakage - Economic and technical issues. London: Financial Times Energy. Londres, 1998.
- Lambert, A., Brown, T.G., Takizawa, M., Weimer, D. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. AQUA - Journal of water supply research an technology, International Water Association, Dezembro de 1999.
- Lambert, A. O. *et al.* A review of performance indicators for real losses from water supply systems. IWA/AQUA, Reino Unido, jan. 2000
- Lambert, A.; Thornton, J. Relatório de consultoria sobre avaliação de perdas reais. São Paulo: SABESP, 2002.
- L. S. Araujo, H. Ramos, and S. T. Coelho. Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management
- Luvizotto Jr, E., Silva, N. A. S. Indicadores de gestão para sistemas de abastecimento de água. In: Planejamento Projeto e Operação de sistemas de abastecimento de água, João Pessoa, 2002.
- Luvizotto Jr, E. Relatório final de programa de pós doutoramento na Universidade Politécnica de Valência – Espanha, 1998.
- Luvizotto Jr, E.; OCampos, A. Comparando os métodos Levemberg-Marquardt e Nelder-Mead em modelos de detecção de fugas. In: Seminário Hispâno-Brasileiro sobre Planificação, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento, 2, 2002, Valência. Anais...
- Luvizotto Jr, E; Soliani, R.; Pizzo, H. S.; Jaquiê, L. Análise de técnica de busca para um modelo de detecção de fugas. In: Congresso Latino Americano de Hidráulica, 19., 2000, Córdoba. Anais... p.309-318.
- Lysa - Lyonnaise Des Aux Services Associes. Hidrômetros e Micromedição. Minuta 21, Setembro de 1993.

Martínes ET AL, 1999; Hernande ET AL., 1999; Sakara e Mays, 2000; Prescott e Ulanicki, 2001, Araujo et al. 2002.

Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2004.

Moraes, Margarete. Abastecimento de água está próximo do colapso: O aquecimento global, o desmatamento, a contaminação e o desperdício estão acabando com as reservas hídricas do planeta. Free Lance para a Folha. Ed. Equilíbrio. 2 de Agosto de 2001, pág. 8-9.

Moura, Eulina M. de, Dias, Isabelly C. S., Silva, Jussara S. da, Silva, Ferdnando C. da, Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas. In: IV SEREA - Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento.

OCampos, A. A. Avaliação do método de Nelder-Mead na construção de um modelo de detecção de fuga em sistemas de abastecimento de água. 2003. 104p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas, 2003.

Oliveira, L. H. Metodologia para a implementação de programa de uso racional da água em edifícios. 1999. 343p. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP, São Paulo, 1999.

Organização das Nações Unidas (ONU). Banco Mundial. Water Resources Management Policy Paper, 1993. 101p.

Pandolfo, A., Quadros de fluxo financeiro. Apresentado na disciplina de planejamento e análise de projetos – PPGENG, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 200-.

Pizzo, H. S. Calibração de modelos de distribuição de água através do acoplamento do TMA com o otimizador de Nelder-Mead. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 137 páginas.

PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Ministério Do Planejamento e Orçamento – Secretaria De Política Urbana. Documentos Técnicos de Apoio. Brasília, 1998.

Porto, R. M. Hidráulica Básica. 3. ed. São Carlos: EESC-USP, 2004. 540 p.

Rauber, J. (Coord.) et al. Apresentação de trabalhos científicos: normas e orientações práticas. Passo Fundo: UPF Editora, 2003.

Reis, L. F. R., Porto, R. M., Chaudhry, F. H. Optimal location of control valves in pipe networks by genetic algorithm. Journal of Water Resurces Planning and Management, vol. 123, nº 6, p.317326, novembro/dezembro. 1997.

Rossigneux, Nanci V. Q., Fernandes, Cristóvão V. S., Estabelecendo a importância relativa do controle de perdas em redes de distribuição de água – o exemplo de uma rede hipotética. In:

IV SEREA - Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. João Pessoa, 2004.

Sabesp, Proposta de metodologia para execução de auditoria de água nos sistemas de distribuição operados pela Sabesp. Relatório preliminar 1-TDGD – 01/01.

Samuel, Paulo R. da Silva, Fraga, Adinaldo Soares de, Nascimento, Luis Felipe, Efeitos da substituição de redes sobre as perdas d'água no distrito pitométrico de Ipanema. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

Silva, Edna L. da, Menezes, Ester M., Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.– Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC. – 3. Ed. 2001. 118p. Disponível em<[http://www.ppgep.ufsc.br/legislação e estrutura anterior/metodologia](http://www.ppgep.ufsc.br/legislação_e_estrutura_anterior/metodologia)>. Acesso em: 16 jan. 2007.

Silva, F.G.B. Estudo de calibração de redes de distribuição de água através de algoritmos genéticos. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003 234p.

Smith, D. Pinpoint those leaks to save money. Water/Engineering & Management Magazine, EUA, 1994.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades. Relatório de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2007. Brasília, 2009.

Soares, Alexandre K., Reis, Luisa F. R., Estudo dos parâmetros do modelo de vazamentos de um setor da rede de distribuição de água de Piracicaba - SP. In: IV SEREA – Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. João Pessoa, 2004.

Soares, Débora, A experiência da redução e controle de perdas no sistema de distribuição de água no setor jd. Popular. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

Tardelli Filho, Jairo. Controle e redução de perdas. In: Tsutiya, M. T. Abastecimento de água. 1º edição. São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

Tavares, Maurício Almeida, Estudo para instalação de válvulas redutoras de Pressões através de mapa digital de pressões estáticas no Sistema de distribuição de água da região metropolitana de Goiânia. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

Thornton, J. Water Loss Control Manual, McGraw Hill, New York, 2002.

Tochetto, M. R. L., Pereira, L. C. Água: Esgotabilidade, Responsabilidade e Sustentabilidade. Disponível em:

<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agua/doce/index.html&conteudo=./agua/doce/artigos/esgotabilidade.html>>. Acesso em: 18 de abril de 2008.

Tucciarelli, T., Criminisi, A., Termini D. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. *Journal of Hydraulic Engineering*. p. 277-285. março. 1999.

Vela, A; et al. Estrategias optimas para la reduccion de perdidas de agua en sistemas de abastecimiento. *Revista Ingenieria del Agua*. Valencia-Espanha. Vol. 1, n.1, p.35-54. 1994.

Water Research Centre – WRC. Leakage Police and Practice. Report 26, London, 1985.

Vesper. Água, o bem mais precioso do mundo. Secção: Água; Abastecimento; Queda; Colapso; Distribuição. Disponível em:
<http://www.escolavesper.com.br/agua/escassez_de_agua.htm>. Acesso em: 22 de novembro de 2004.