

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Ericke Carlos Tavares

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA COM RESERVATÓRIOS  
ELEVADOS – ESTUDO DE CASO PARA A CIDADE DE  
URUGUAIANA-RS**

Santana do Livramento, RS  
2017

**Ericke Carlos Tavares**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO  
PÚBLICO DE ÁGUA COM RESERVATÓRIOS ELEVADOS – ESTUDO DE CASO  
PARA A CIDADE DE URUGUAIANA-RS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

Orientador: Prof. Dr. Ademar Michels

Santana do Livramento, RS  
2017

**Ericke Carlos Tavares**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO  
PÚBLICO DE ÁGUA COM RESERVATÓRIOS ELEVADOS – ESTUDO DE CASO  
PARA A CIDADE DE URUGUAIANA-RS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

**Aprovado em 28 de julho de 2017**

---

**Flávio Dias Mayer, Dr. (UFSM)**  
(Presidente)

---

**Cesar Addis Valverde Salvador, Dr. (UFSM)**

---

**Ronaldo Hoffmann, Dr. (UFSM)**

Santana do Livramento, RS  
2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste curso e, em especial agradeço:

- A Deus, por me dar força quando fraquejei e por me dar perseverança quando duvidei;
- À minha família, por me ensinar que é preciso sonhar e trabalhar duro;
- À minha esposa Carla e ao meu enteado Gabriel, pelo incentivo, pela paixão e pela paciência;
- Aos professores e tutores, pela dedicação ao longo do curso;
- Aos amigos Me. Luis Palini Jr. pelas horas de conversas inspiradoras e Marcelo Velasques Fuques pela provocação e parceria.

Muito obrigado.

## RESUMO

### EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA COM RESERVATÓRIOS ELEVADOS – ESTUDO DE CASO PARA A CIDADE DE URUGUAIANA-RS

Este estudo versa sobre o abastecimento em marcha por um sistema pressurizador em uma região com 9975 habitantes na cidade de Uruguaiana-RS e por meio deste descrever uma alternativa de abastecimento para esta região demandando menos energia elétrica. Este estudo foi desenvolvido em 03 etapas. Na primeira etapa realizou-se a caracterização e o diagnóstico do sistema de distribuição de água atual. Na segunda etapa realizou-se a caracterização da concepção do sistema de abastecimento proposto. Finalmente, na terceira etapa realizou-se o estudo de viabilidade técnica e econômica desta alternativa proposta. Os resultados obtidos mostraram que é viável abastecer esta região substituindo a estação pressurizadora existente por um reservatório apoiado com fundo instalado 8 metros acima do nível do terreno e com 10 metros de lâmina de água máxima. Do ponto de vista técnico foi observado que a alternativa proposta permite reduzir o consumo de energia elétrica em 33,65%. As perdas de água na região são reduzidas de 30% para 23,4% ao promover pressões mais baixas e estáveis. Economicamente, o projeto apresenta Valor Presente Líquido de R\$ 306.213,26, Taxa Interna de Retorno de 16,76% e *Payback* Simples de 6 anos, comprovando sua viabilidade econômica. Conclui-se que os sistemas de abastecimento em marcha por estações pressurizadoras podem apresentar regimes de transientes hidráulicos que contribuem para o aumento das perdas físicas no sistema de abastecimento. Verificou-se que para sistemas de abastecimento com perdas elevadas é viável a adoção da concepção proposta dado o grande desperdício de água potável e de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Reservatório. Abastecimento em Marcha. Energia Elétrica. Perdas de Água

## **ABSTRACT**

### **ENERGY EFFICIENCY APPLIED IN PUBLIC WATER SUPPLY SYSTEM WITH HIGH RESERVOIRS - CASE STUDY FOR THE CITY OF URUGUAIANA-RS**

This study deals with the supply in progress by a pressurizing system in a region with 9975 inhabitants in the city of Uruguaiana-RS and by means of this one to describe an alternative of supply for this region demanding less electrical energy. This study was developed in 03 stages. In the first stage the characterization and diagnosis of the current water distribution system was carried out. In the second stage, the design of the proposed supply system was carried out. Finally, in the third stage, the technical and economic feasibility study of this proposed alternative was carried out. The obtained results showed that it is feasible to supply this region by replacing the existing pressurizing station with a bottomed reservoir installed 8 meters above ground level and with 10 meters of maximum water depth. From the technical point of view it was observed that the proposed alternative allows to reduce the consumption of electric energy by 33.65%. Water losses in the region are reduced from 30% to 23.4% by promoting lower and more stable pressures. Economically, the project presents Net Present Value of R\$ 306,213.26, Internal Return Rate of 16.76% and Simple Payback of 6 years, proving its economic viability. It is concluded that pressurizing stations' on-the-go delivery systems may have hydraulic transient regimes that contribute to increased physical losses in the supply system. It has been found that for high loss supply systems it is feasible to adopt the proposed design given the great waste of drinking water and electricity.

**Key-words:** Reservoir. Run Supply . Electricity. Water Loss

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
LENHS	Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento
mca	Metros de coluna d'água
PROCEL	Programa de Conservação de Energia Elétrico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
VRP	Válvula Redutora de Pressão

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Tipos de vazamentos e ações de combate a perdas físicas .....	29
Figura 2-Causas e ações de combate a perdas aparentes.....	30
Figura 3-Lançamento no EPANET da infraestrutura de abastecimento do sistema existente .	41
Figura 4-Curva da Bomba do sistema existente traçada no EPANET .....	42
Figura 5-Lançamento das redes de distribuição da concepção atual.....	45
Figura 6-Lançamento das redes de distribuição da concepção proposta.....	51
Figura 7-Zonas de Pressão da Concepção Proposta .....	53
Figura 8-Curva da Bomba Altura Manométrica <i>versus</i> Vazão .....	58
Figura 9-Curva da Bomba Potência do Motor <i>versus</i> Vazão .....	59
Figura 10-Nó da rede situado na cota média .....	62
Figura 11- Custo energético diário para o cenário atual (Bombeamento em marcha).....	65
Figura 12-Custo energético diário para o cenário proposto - com reservatório .....	66
Figura 13-Etapas de um processo convencional de tratamento de água .....	85
Figura 14-Classificação dos reservatórios segundo sua posição .....	88

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-Evolução do consumo com energia elétrica e despesas com energia elétrica dos prestadores de serviços participantes do SNIS de 2003 a 2015 .....	18
Gráfico 2-Composição média das despesas de exploração dos prestadores de serviço participantes do SNIS em 2015 .....	19
Gráfico 3-Pressão Dinâmica no Nó de Cota Média para os dois cenários .....	64
Gráfico 4-Fluxo de Caixa Mensal Total para a concepção proposta.....	71
Gráfico 5-Fluxo de Caixa Integrado Acumulado para a concepção proposta.....	71

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1-Previsão de Execução Física das obras de implantação do sistema proposto.....	67
Quadro 2-Previsão de desembolso para implantação do cenário proposto .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Custos de implantação de redes de abastecimento conforme população atendida....	22
Tabela 2-Characterização da ocupação do sistema existente .....	38
Tabela 3-Comprimento das redes do sistema proposto por diâmetro e material.....	46
Tabela 4-Valores de $K_1$ praticados no Brasil e em alguns países.....	47
Tabela 5-Valores de $K_2$ praticados no Brasil e em outros países .....	48
Tabela 6-Vazões Projetadas para o modelo proposto.....	50
Tabela 7-Pressão Dinâmica no nó de cota média para os dois cenários.....	63
Tabela 8-Comparativo de pressões entre os cenários Atual e Proposto .....	64
Tabela 9-Fluxo de Caixa do projeto para com a redução do consumo energético .....	68
Tabela 10-Fluxo de Caixa do Projeto para Redução das Perdas Físicas .....	69
Tabela 11-Fluxo de caixa total do projeto .....	70
Tabela 12-Fluxo de Caixa do Projeto com o total de redução total do consumo energético ...	77
Tabela 13-Velocidades recomendadas na tubulação de sucção .....	99

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	TEMA .....	14
1.2	PROBLEMA .....	14
1.3	JUSTIFICATIVA .....	14
1.4	OBJETIVOS .....	15
1.4.1	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>15</b>
1.4.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1	REESTRUTURAÇÃO DOS SERVIÇOS PÚBLICOS .....	16
2.2	RACIONALIZAÇÃO DO USO DA ENERGIA ELÉTRICA, MODELO TARIFÁRIO DE ENERGIA .....	17
2.3	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E DE OPERAÇÃO DE REDES E ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS .....	19
2.3.1	<b>Medidas administrativas</b> .....	<b>20</b>
2.3.2	<b>Medidas operacionais</b> .....	<b>20</b>
2.3.3	<b>Custos de implantação de adutoras e redes</b> .....	<b>21</b>
2.3.4	<b>Custos de energia de bombeamento</b> .....	<b>22</b>
2.3.5	<b>Controle operacional</b> .....	<b>24</b>
2.4	PERDA DE ÁGUA .....	26
2.4.1	<b>Perdas físicas</b> .....	<b>27</b>
2.4.2	<b>Perdas aparentes</b> .....	<b>29</b>
2.4.3	<b>Potencial de ganhos com medidas de redução de perdas nos sistemas de abastecimento de água</b> .....	<b>31</b>
2.5	MODELOS MATEMÁTICOS .....	35
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	37

3.2	MODELAGEM HIDRÁULICA .....	39
3.3	ANÁLISE DO SISTEMA EXISTENTE .....	40
3.4	DIAGNÓSTICO DO SISTEMA EXISTENTE .....	42
3.5	ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO .....	50
3.6	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES OPERACIONAIS DA ALTERNATIVA PROPOSTA .....	54
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1	ASPECTOS OPERACIONAIS .....	61
4.2	ASPECTOS ECONÔMICOS .....	66
4.2.1	Estimativa de Custo da Proposta.....	66
4.2.2	Fluxo de Caixa da Proposta .....	67
4.2.3	Método do Valor Presente Líquido (VPL).....	72
4.2.4	Método da Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	73
4.2.5	Período de Retorno do Investimento .....	75
4.2.6	Relação entre a redução da perda e o consumo de energia elétrica .....	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO A - COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .</b> <b>.....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Cerca de 95% do consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água é atribuível aos sistemas de bombeamento (TSUTIYA, 2006).

Para se alcançar eficiência operacional em um sistema de abastecimento de água, dentre outras ações, é necessário que as unidades operacionais e seus componentes tenham alto rendimento e funcionem com o mínimo de consumo de energia elétrica. Pode-se citar como ações que contribuem para a redução do consumo e/ou do custo de energia elétrica em sistemas de bombeamento, a instalação de inversores de frequência, a instalação de motores de alto rendimento, implantação de ações estruturantes e não-estruturantes de combate às perdas de água, etc.

À medida que o Sistema de Abastecimento atinge maturidade, é alcançado um determinado nível econômico de perdas de água que inviabiliza economicamente outras ações estruturantes para redução de consumo de energia. Parte-se então para desafios correlatos à administração e revisão geral das cargas e demandas contratadas ou modificação de rotinas operacionais para manutenção do nível econômico.

Uma das medidas mais eficientes para se alcançar tal redução é a utilização de reservatórios de montante, para que possam ser utilizados em horário de ponta (onde o custo unitário da energia elétrica é 59% mais caro que fora do horário de ponta).

Muitos Sistemas de Abastecimento de Água são concebidos utilizando-se os reservatórios de água tratada como “sobra” nos horários de menor consumo e reforço nos horários de maior consumo. Esta configuração impõe o abastecimento em marcha, que pode provocar regimes de pressões elevadas, ruptura das tubulações e consequente consumo elevado de energia elétrica para bombeamento contínuo.

Os sistemas clássicos de abastecimento são concebidos com a utilização dos reservatórios na condição de montante, isto é, são executadas linhas de adução exclusivas para abastecimento dos reservatórios e estes se encarregam de distribuir a água para os pontos de consumo, permitindo que os sistemas de bombeamento operem com demanda reduzida, sejam desligados no horário de ponta e que a infraestrutura de redes fique submetida a pressões mais

estáveis, reduzindo as perdas de água nas tubulações e o consumo de energia elétrica ao longo do dia.

## 1.1 TEMA

Consumo de Energia Elétrica em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água.

## 1.2 PROBLEMA

Como reduzir o consumo de energia elétrica em Sistemas Públicos de abastecimento de água utilizando-se reservatórios de montante?

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Os Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, implementados no Brasil, em grande maioria, na década de 70, chegam ao final de sua vida útil apresentando deficiências gritantes.

A falta de investimento nos Sistemas de Abastecimento de Água ao longo de mais de 40 anos de operação expôs a sociedade a uma crise de abastecimento. A deficiência no abastecimento é explicitada quando se toma conhecimento que grande parte dos Sistemas Públicos de Abastecimento apresenta perdas superiores a 50%. Pode-se dizer, portanto, que de alguma forma, metade do volume de água captado da natureza é desperdiçado

O consumo de energia elétrica e os custos de exploração do serviço de abastecimento de água elevam-se à medida que os sistemas são concebidos e operados alheios aos anseios de eficiência energética.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

Apresentar um estudo de caso dedicado à possibilidade de operar reservatórios na condição de montante, extinguindo-se o abastecimento em marcha e reduzindo-se as perdas de água e o consumo de energia elétrica.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Descrever a concepção de um sistema de abastecimento em marcha que utiliza um sistema de pressurização com bombeamento ininterrupto;
- Diagnosticar e quantificar as falhas que podem gerar as maiores perdas;
- Propor uma alternativa de abastecimento utilizando um reservatório elevado na condição de montante
- Eliminar o abastecimento em marcha proveniente da estação pressurizadora;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica da alternativa proposta.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 REESTRUTURAÇÃO DOS SERVIÇOS PÚBLICOS

Devido à privatização das concessionárias de energia elétrica no Estado de São Paulo, a Agência para Aplicação de Energia foi extinta, surgindo em 1995 o Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica que alterou o Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) criado pela Eletrobrás em 1985. Para o Setor de Saneamento Básico, somente em 1997, o PROCEL estabeleceu uma meta de redução de 15% no desperdício de energia elétrica. Em 1999 o PROCEL estabeleceu as principais ações para o setor de Saneamento Básico como:

- Automação operacional de sistemas com gerenciamento e supervisão instantânea dos equipamentos;
- Modulação de carga em relação à ponta dos sistemas elétricos; – Dimensionamento adequado dos equipamentos eletromecânicos;
- Controle das vazões de recalque em relação às demandas da rede de distribuição de água;

Através da resolução nº242 de 24 de julho de 1998, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), atualmente responsável pela legislação e fiscalização do setor elétrico nacional, estabeleceu que as concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, devem aplicar anualmente, no mínimo, 1% da receita operacional anual apurada no ano anterior, em programas para conservação de energia elétrica, sendo que 25% deste valor devem ser aplicados para consumidores.

Como forma de subsidiar as empresas de abastecimento de água, é concedido um desconto na tarifa para a classe Serviço Público de Água, Esgoto e Saneamento. A evolução das tarifas de energia elétrica aplicadas ao saneamento nos mostra que com o passar dos anos, houve uma diminuição significativa nos descontos dados às empresas deste segmento. No fim da década de 60 este desconto era de 80%, passando a 30% na década de 70 e a 15% na década de 80. Hoje este desconto é de 15%. A diminuição deste desconto aliado ao aumento das tarifas acima da média da inflação são as principais causas deste grande impacto das tarifas no custo operacional das empresas.

Antes da reestruturação do setor elétrico brasileiro na década de 90, as empresas do setor de saneamento conviviam com um modelo em que o uso da energia elétrica não figurava como um problema que merecesse atenção dos gestores, já que o atraso no pagamento e os acordos para perdão de multas eram constantes o que gerava uma grande inadimplência. O insumo energia era fornecido por uma empresa que também era gerida pelo Estado. (NETO, 2008)

Segundo Neto (2008), hoje, com a privatização de parte das empresas de fornecimento de energia, as empresas de saneamento têm que conviver com uma realidade completamente diferente, o que faz com que estas empresas voltem os olhos para a redução dos custos com energia. O ambiente deixado pela cultura anterior à privatização é bem propício a ações simples que podem levar a um elevado benefício financeiro.

## 2.2 RACIONALIZAÇÃO DO USO DA ENERGIA ELÉTRICA, MODELO TARIFÁRIO DE ENERGIA

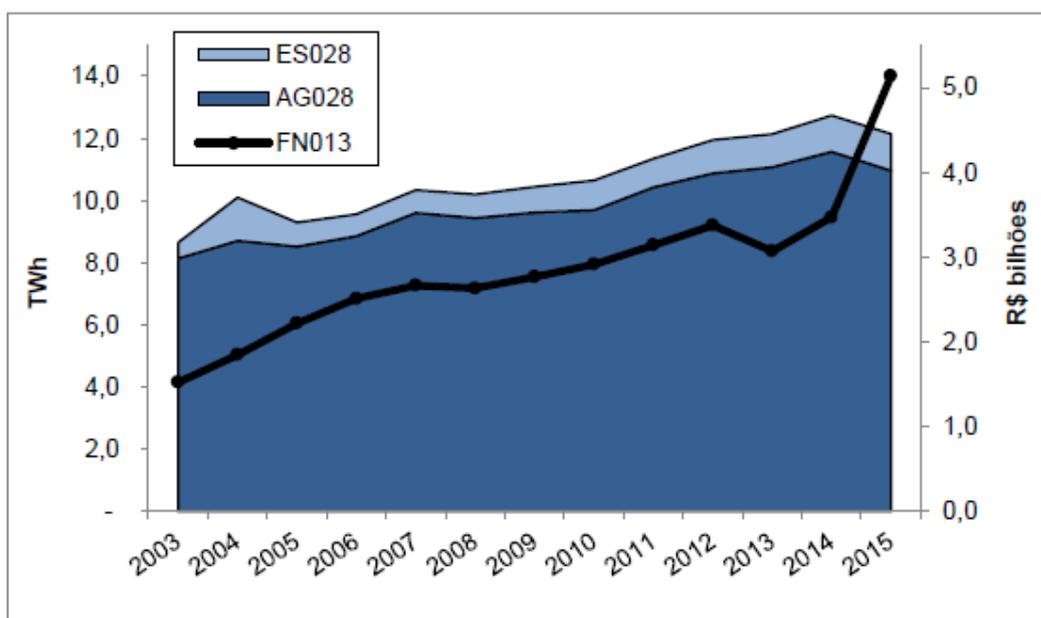
De acordo com o a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), naquele país, o tratamento de água e esgoto utilizam 75 bilhões de kWh de energia por ano, o suficiente para suprir 6,75 milhões de casas. A EPA identificou a energia como o segundo maior item no orçamento dos operadores de água potável e de tratamento de esgoto, depois apenas dos custos de mão de obra. O consumo de energia destinado ao abastecimento de água potável e às instalações de tratamento de águas residuais pode representar de 30% a 40% da fatura total de energia de um operador. (JUNTOS PELA ÁGUA, 2017)

De acordo com SNIS (2017), as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento participantes do SNIS atingiram R\$ 5,14 bilhões, tendo sido consumidos 11,0 TWh com abastecimento de água e 1,2TWh com esgotamento sanitário. Esta quantidade equivale ao consumo doméstico anual de cerca de 19 milhões de habitantes.

A redução do consumo de energia em 2015, quando comparado a 2014 –cujo montante foi de 11,6 TWh - é atribuída sobretudo às medidas de racionalização do volume de água consumido adotadas em diversas localidades, motivadas pela crise hídrica nessas regiões. Apesar dessa redução, as despesas com energia tiveram um aumento substancial, de quase 50% em relação ao ano anterior. As principais justificativas para este aumento são os reajustes tarifários e a implantação do sistema de bandeiras que entraram em vigor nesse período e

reforçam a importância de uma adequada gestão energética por parte dos prestadores de serviço (SNIS, 2017), conforme Gráfico 1.

Gráfico 1-Evolução do consumo com energia elétrica e despesas com energia elétrica dos prestadores de serviços participantes do SNIS de 2003 a 2015



Fonte: SNIS, 2017, p.46

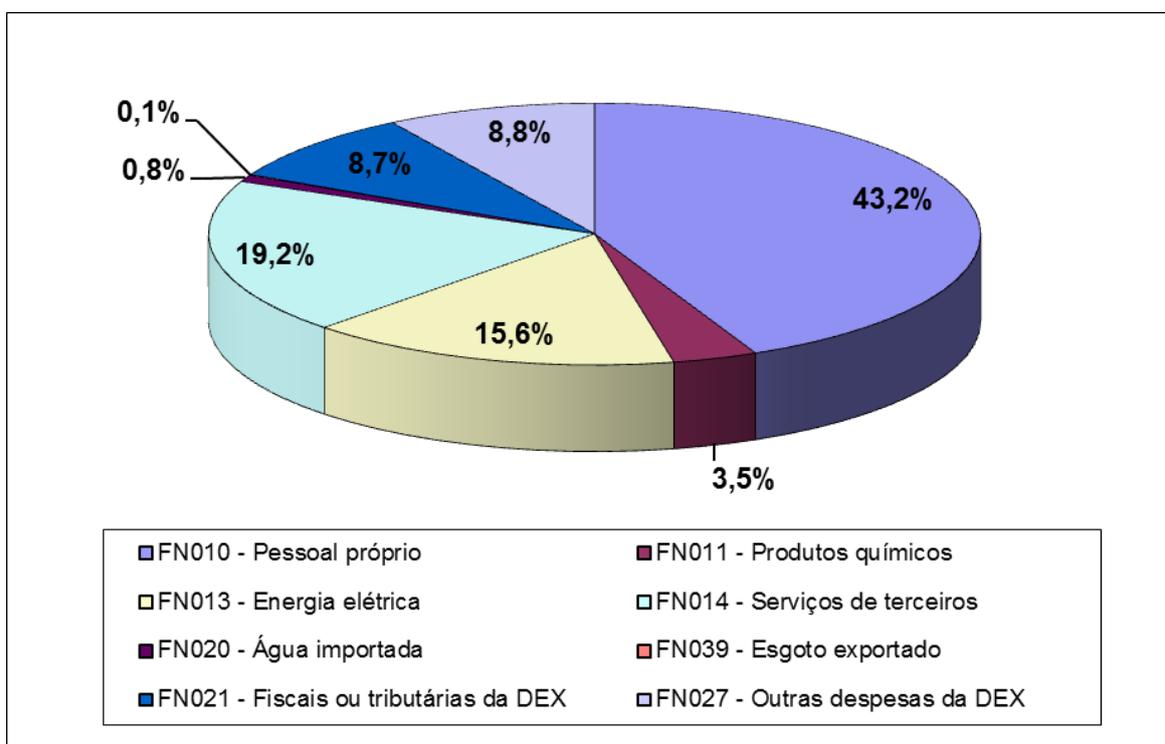
Estima-se que 2,36 % do consumo total de energia elétrica do Brasil, o equivalente a 11,35 bilhões de kWh/ano, é consumido pelas empresas de abastecimento de água e coleta e tratamento de efluentes. Este consumo é principalmente dos conjuntos eletromecânicos dos processos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, que correspondem algo em torno de noventa por cento de toda a despesa com energia elétrica. (PROCEL, 2006)

Acredita-se que há espaço para redução de aproximadamente 25% do consumo de energia, o que representaria mais de R\$ 660 milhões de economia anual. (MUNDOGEO,2010)

A maior parte das despesas de exploração é relativa a gastos com pessoal próprio, totalizando 14.199,3 milhões, equivalente a 43,2% do total de despesas. O outro item que

também se refere a gastos de pessoal é a despesa com serviços de terceiros, que em 2015, totalizando 6.324 milhões (equivalente a 19,2% das despesas). O custo com energia elétrica vem em terceiro, totalizando em 2015 o valor de R\$ 5.136,2 milhões (15,6%). (SNIS, 2017), conforme Gráfico 2.

Gráfico 2-Composição média das despesas de exploração dos prestadores de serviço participantes do SNIS em 2015



Fonte: SNIS, 2017, p.61

### 2.3 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E DE OPERAÇÃO DE REDES E ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS

Tsutiya (2006) menciona que é possível reduzir as despesas com energia elétrica em uma empresa de abastecimento de água de duas maneiras, descritas a seguir.

### 2.3.1 Medidas administrativas

Devido à complexidade da estrutura tarifária de energia elétrica praticada no Brasil, e muitas vezes da falta de profissionais capacitados e empenhados em verificar as contas e os contratos do fornecimento de energia elétrica, principalmente em sistemas de abastecimento de água de pequeno porte e gerido pela administração pública, muito se perde financeiramente com o consumo de energia. (TSUTIYA, 2006)

Tsutiya (2006) sugere que devem ser observados alguns itens com relação às contas de energia elétrica consumida pelos equipamentos das empresas de saneamento básico, tais como

- Classificação da unidade consumidora como empresa de saneamento para gozar do desconto de 15% na tarifa de energia elétrica;
- Ajuste na demanda contratada de acordo com os equipamentos em operação;
- Alteração da estrutura tarifária de acordo com o perfil de consumo;
- Desativação de unidades consumidoras inoperantes;
- Verificação de eventuais erros de Leitura;
- Correção do Fator de Potência das instalações caso seja inferior a 0,92;
- Dimensionamento correto de motores para os conjuntos;
- Dimensionamento adequado de transformadores para a demanda;
- Nível de tensão acima da nominal;
- Alteração da tensão de alimentação de baixa para alta tensão, quando possível;
- Melhoria do fator de carga, com a seleção de motores de menor potência que conseguem realizar o trabalho ao longo do dia.

### 2.3.2 Medidas operacionais

A análise econômica e financeira é muito importante para qualquer projeto de engenharia, sobretudo em sistemas dedicados ao abastecimento de água, visto que as obras envolvem custos elevados para implantação, manutenção e operação dos sistemas.

Os custos, sejam fixos ou variáveis, podem incidir ao longo do alcance do projeto.

Os custos fixos ou de investimento dizem respeito à aquisição dos equipamentos das instalações hidráulicas (tubulações, válvulas, equipamentos eletromecânicos, peças de conexão, etc.), juntamente com os gastos com obras civis de escavação e montagem. Segundo Gomes (2009) nos projetos de abastecimento de água de médio a grande porte, os custos das tubulações predominam comparados com os demais custos de equipamentos e, normalmente, os valores das conexões e peças especiais, como também os gastos com transporte, escavação e montagem, são computados como um percentual dos custos totais das canalizações.

Por outro lado, Gomes (2009) expõe que os custos variáveis que incidem ao longo da sua vida útil do projeto, dizem respeito aos gastos de exploração, que compreendem as despesas de operação e manutenção das instalações. As despesas de manutenção correspondem àqueles referentes à conservação das instalações, reparação de avarias nas canalizações, nas peças especiais de controle (válvulas, por exemplo), reposição de equipamentos, etc. As despesas com operação em sistemas abastecidos por bombeamento, são, de maneira predominante, relativas aos gastos de energia das estações elevatórias.

Os gastos da energia de bombeamento, na grande maioria das vezes, chegam a ultrapassar, ao longo da vida útil dos projetos, os custos de investimento das instalações (GOMES, 2009)

### **2.3.3 Custos de implantação de adutoras e redes**

Os custos fixos, ou de implantação, das adutoras e redes de abastecimento são determinados em função dos custos das tubulações, somados aos gastos com transporte, escavação, montagem e peças de conexão e controle. Os custos das tubulações variam diretamente com seus comprimentos, materiais, diâmetros e pressões nominais dos tubos escolhidos.

Nos sistemas de abastecimento de água, os custos de implantação de redes de abastecimento variam conforme população atendida pelo sistema, conforme Tabela 1.

Tabela 1-Custos de implantação de redes de abastecimento conforme população atendida

Partes constituintes do sistema	Custo (%)			
	P≤10000	10000<P ≤40000	40000<P ≤100000	P>10000 0
Captação	30	20	8	3
Adução	8	9	11	11
Bombeamento	6	5	5	1
Tratamento	12	9	9	5
Reservação	6	6	6	4
Distribuição	38	51	61	76

Fonte: TSUTIYA, 2006, p. 10

### 2.3.4 Custos de energia de bombeamento

As principais unidades consumidoras de energia elétrica em uma empresa de abastecimento de água são as estações elevatórias de água. Logo as observações e estudos, devem ser desenvolvidos com foco nessas unidades e conseqüentemente nas variáveis relativas às operações de recalque de água. Numa estação elevatória de água, onde o auxílio dos equipamentos eletromecânicos transforma a energia elétrica em trabalho, mais especificamente em vazão, pretende-se analisar as principais variáveis envolvidas com as tubulações, os motores, as bombas, os conjuntos, as operações, e os custos.

O custo da energia de bombeamento, para um determinado intervalo de tempo, pode ser determinado em função da potência requerida pela elevatória, do número de horas contido no intervalo de tempo considerado e do custo unitário de energia:

$$C_{\text{energia}} = P \times N_b \times p \quad (1)$$

Onde,

$C_{\text{energia}}$  = custo da energia, em unidades monetárias, em um intervalo de tempo determinado

P = Potência requerida pela estação elevatória, em kW

$N_b$  = número de horas de bombeamento, em um determinado intervalo de tempo, em horas

$p$  = custo unitário da energia, em \$/kWh

A potência requerida por uma estação elevatória de água pode ser obtida pela expressão abaixo:

$$Pot = \frac{9,81 \times Q \times H}{\eta} \quad (2)$$

Onde,

$H$  = altura manométrica de bombeamento, em metros de coluna de água, obtida pela soma do desnível geométrico entre o nível mínimo do reservatório de montante e máximo de jusante, mais as perdas totais no sistema (por atrito e localizadas)

$\eta$  = rendimento global do conjunto elevatório, em decimais, resultante do produto entre o rendimento do motor e o da bomba

O custo de energia de bombeamento, para um determinado intervalo de tempo será então:

$$C_{energia} = 9,81 \times \frac{Q \times H}{\eta} \times N_b \times P \quad (3)$$

A redução do consumo de energia e conseqüentemente dos custos com energia elétrica pode ser alcançada com:

- Redução da altura manométrica;
- Diâmetro adequado da tubulação para o recalque;
- Elaboração de projetos de estações elevatórias de água observando sempre a eficiência dos equipamentos das instalações;
- Redução do atrito da parede interna da tubulação com a água e conseqüentemente da altura manométrica;
- Eliminação do ar no interior das tubulações
- Redução de perdas físicas no sistema de abastecimento de água;
- Mistura de setores de abastecimento de água;
- Uso racional da água;
- Aumento do rendimento dos conjuntos motobomba;

- Redução dos custos de energia elétrica pela alteração da operação do sistema;
- Ampliação da reservação de água;
- Utilização de inversores de frequência nos conjuntos motobomba;

Não são raras as situações que, ao longo do tempo, a demanda de água do sistema de abastecimento cresce mais do que a prevista. Logo, a estação de recalque será forçada a operar também durante o horário de ponta, onerando os custos com energia elétrica. Para se evitar este problema, deve-se projetar o sistema de recalque prevendo-se os consumos futuros pois, ao longo do projeto, poderão ocorrer ampliações não previstas no sistema de abastecimento, por conta de aumentos populacionais superiores aos estimados, de aumentos de densidades demográficas em determinadas zonas da cidade ou da diminuição da eficiência do sistema por conta de perdas excessivas de água. (GOMES, 2009)

O rendimento do conjunto motor-bomba deve ser estimado na fase de projeto, quando não se dispõe das características dos equipamentos eletromecânicos. Neste caso, deve-se adotar um valor para o rendimento global, que variam, normalmente, entre 60 e 85%. Ao longo do tempo os rendimentos dos conjuntos elevatórios tendem a diminuir, provocando aumentos nas potências requeridas e nos custos energéticos dos sistemas de bombeamento. (GOMES, 2009)

### **2.3.5 Controle operacional**

#### ➤ *Reservatório*

Para Gomes (2009), o controle operacional de um sistema de abastecimento de água ocorre quando se tem efetivamente o monitoramento e o controle dos parâmetros hidráulicos e elétricos de todas as unidades que compõe o sistema a cada instante do dia.

No caso dos reservatórios, os principais parâmetros de controle operacional são: o nível da lâmina líquida e as vazões de entrada e de saída do reservatório.

O controle do nível é importante para manter o equilíbrio de pressão na rede de distribuição e para a redução de perdas físicas por transbordamento de água.

Os métodos mais comuns para medição de nível são: utilização de flutuador, associado à régua graduada e utilização de sensores do tipo ultrassônico.

➤ *Estação Elevatória*

O controle da unidade de elevação é realizado por meio do monitoramento contínuo de parâmetros operacionais, tais como: parâmetros elétricos e hidráulicos.

Para que a conjunto motor-bomba possua funcionamento eficaz, eficiente e possam trabalhar com harmonia com equipamentos hidráulicos, é necessário o monitoramento da pressão e da vazão. (BARRETO, 2006)

➤ *Pressão*

Os valores máximos e mínimos parametrizáveis para vazão de recalque e para pressão diferencial nas bombas pressão de recalque deverá ser supervisionado em conjunto com a vazão, para detecção de eventual arrebentamento das tubulações, caracterizado pela pressão baixa acompanhada por vazão alta. A pressão de recalque deverá ter dois limiares superiores ajustáveis, sendo o primeiro para alertar o operador e o segundo para impor o desarme dos conjuntos motor bomba (TSTUTIYA, 2006).

➤ *Vazão*

Assim como a pressão, a vazão deve ser monitorada para evitar desgaste e danos aos equipamentos hidráulicos. O controle é feito por instrumentos como inversores de frequência, que é um equipamento elétrico capaz de produzir uma variação da frequência elétrica que alimenta o motor, promovendo variação de sua rotação (TSTUTIYA, 2006). A relação entre vazão e velocidade de rotação é dada pela seguinte equação:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (4)$$

➤ *Potência Elétrica*

A potência elétrica é a grandeza utilizada na especificação dos equipamentos elétricos, determina basicamente, o quanto é capaz uma lâmpada de emitir luz, o quanto o motor elétrico é capaz de produzir trabalho ou carga mecânica que pode suportar o seu eixo, o quanto um chuveiro é capaz de aquecer a água, ou quanto um aquecedor é capaz de produzir calor etc.

➤ *Consumo de energia elétrica*

O consumo de energia elétrica é a potência realizada ao longo do tempo seu cálculo é feito multiplicando-se a potência elétrica do equipamento pelo tempo em que ele ficar em funcionamento.

➤ *Perdas em Sistemas Elevatórios*

Segundo Tsutiya (2006) os sistemas de água e saneamento consomem 7% da energia elétrica no mundo. Um quarto dessa eletricidade poderia ser economizado se as a rede de abastecimento e os sistemas de bombeamento de água fossem mais eficazes.

O consumo de energia elétrica em sistema de abastecimento de água é da ordem de 0,6 kWh por m<sup>3</sup> de água produzida, ocorrendo 90% dessa despesa nos motores elétricos utilizados nas estações elevatórias de água. (TSUTIYA, 2006)

## 2.4 PERDA DE ÁGUA

Segundo ABES (2015) o conceito de perdas nos sistemas de abastecimento de água inclui duas categorias:

- A “perda de água física” ou “real”, quando o volume de água disponibilizado no sistema de distribuição pelas concessionárias de água não é utilizado pelos clientes, sendo desperdiçado antes de chegar às unidades de consumo, e.
- A “perda de água comercial” ou “aparente” quando o volume utilizado não é devidamente computado nas unidades de consumo, sendo cobrado de forma inadequada.

#### 2.4.1 Perdas físicas

Segundo ABES (2015) as perdas físicas originam-se de vazamentos no sistema, podendo ocorrer na captação, na adução de água bruta, no tratamento, na reservação, na adução de água tratada e na distribuição, além de procedimentos operacionais como lavagem filtros e descargas na rede, quando estes provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação.

Tsutiya (2006) observa que intrínsecos às perdas físicas estão os custos de produção e transporte de água, tais como aqueles relacionados ao consumo de energia elétrica, de produtos químicos, e a mão-de-obra etc.

O controle de pressão visa minimizar as pressões do sistema e a faixa de duração das pressões máximas, bem como, assegurar os padrões mínimos de serviço aos consumidores. Estes objetivos são atingidos pelo projeto específico e setorização dos sistemas de distribuição, pelo controle de bombeamento direto na rede ou pela introdução de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs). O controle de pressão é a melhor forma de reduzir perdas de vazamentos não-visíveis sem substituição de toda a infraestrutura.

O modelo FAVAD (Fixed and Variable Area Discharge Paths), desenvolvido no Reino Unido, apresenta um equacionamento para as várias situações encontradas nas redes de distribuição de água segundo Azevedo Neto (1998). Dentro deste modelo, encontra-se uma equação que relaciona a vazão dos vazamentos com a pressão, variando conforme o material da tubulação (variação da abertura em função da carga piezométrica reinante, quanto maior a pressão maior a área do furo):

$$\frac{P_1}{P_0} = \left(\frac{Q_1}{Q_0}\right)^N \quad (5)$$

Onde,

$P_1$  = Pressão final

$P_0$  = Pressão inicial

$Q_1$  = Vazão final à pressão  $P_1$

$Q_0$  = Vazão inicial à pressão  $P_0$

$N$  = expoente que depende do tipo de material, a saber:

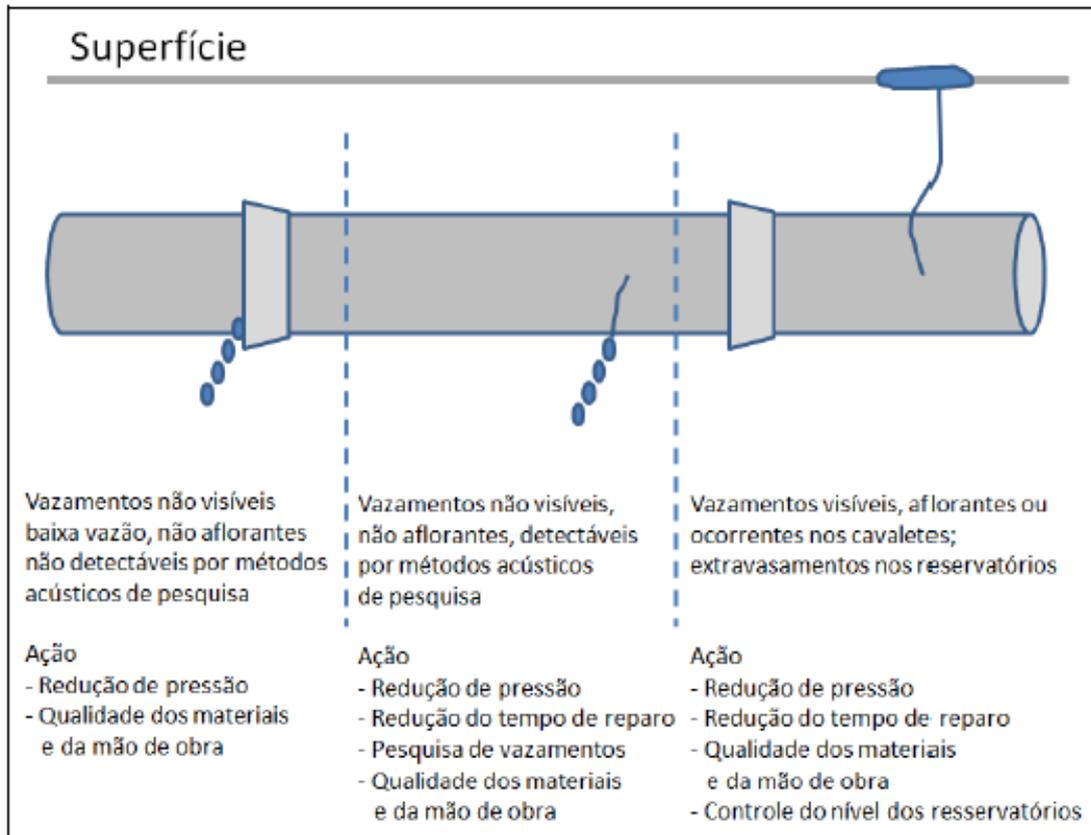
Tubos Metálicos:  $N = 0,5$

Tubos Plásticos:  $N$  entre 1,15 e 2,5

Vazamentos Inerentes:  $N=1,5$

A Figura 1 apresenta uma síntese dos tipos de vazamentos em tubulações e das ações para o controle e a redução de perdas reais.

Figura 1-Tipos de vazamentos e ações de combate a perdas físicas



Fonte: TSUTIYA, 2006, p. 507

Morais (2010) defende que o controle de pressão possibilita reduzir o volume perdido em vazamentos, reduzindo a frequência de vazamentos além de permitir maior durabilidade das instalações internas dos usuários, devido à disponibilidade de pressões menores e mais estáveis. Sob o ponto de vista econômico, a redução da pressão disponível, contribui para a redução da perda por consumo não faturado (seja ele não autorizado ou clandestino) haja visto que a oferta de água “gratuita” será menor.

#### 2.4.2 Perdas aparentes

As perdas aparentes originam-se de ligações clandestinas ou não cadastradas, hidrômetros parados ou que submedem, fraudes em hidrômetros e outras, também conhecidas

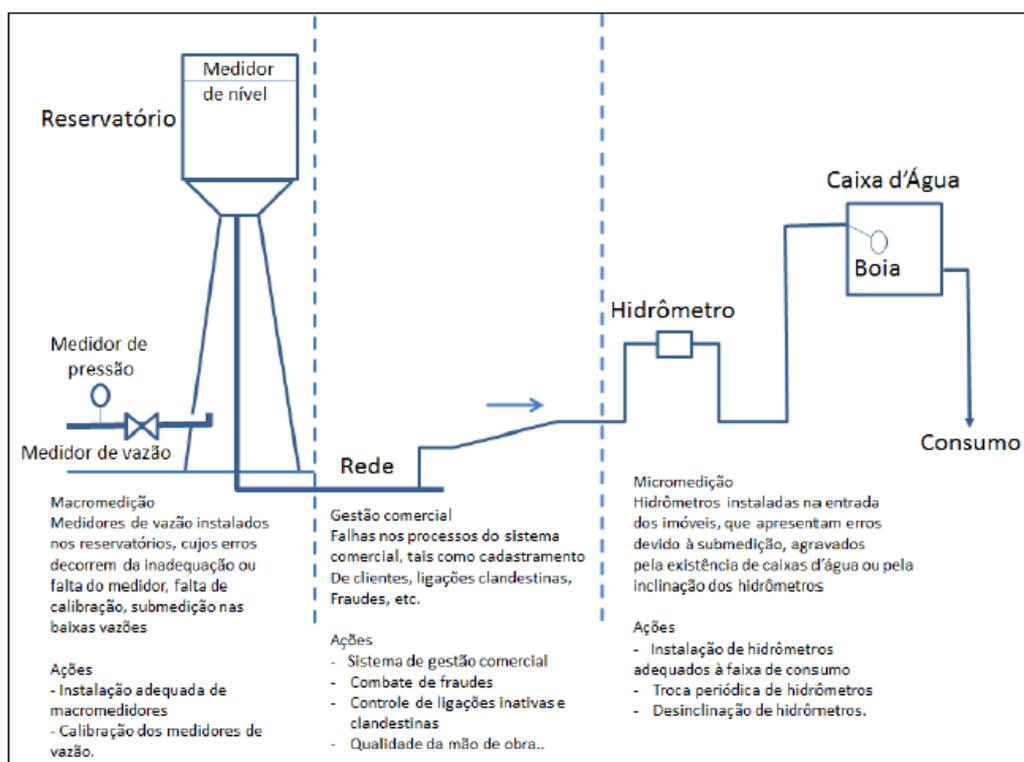
como perdas de faturamento, uma vez que seu principal indicador é a relação entre o Volume Disponível ao Sistema e o Volume Faturado (MORAIS, 2010)

Tsutiya (2006) observa que às perdas não físicas estão diretamente associadas aos recursos financeiros que a empresa deixa de receber por falta de faturamento de volumes de água consumidos. Entretanto, para o consumidor, a perda é um componente importante nas tarifas que ele paga, pois, as companhias incorporam essas perdas na sua composição de preços.

As principais causas das perdas não físicas são: submedição, ligações clandestinas, fraudes, By-Pass e deficiência na área comercial (MORAIS, 2010)

A Figura 2 apresenta a síntese das principais causas e ações para o controle e a redução das perdas aparentes.

Figura 2-Causas e ações de combate a perdas aparentes



### 2.4.3 Potencial de ganhos com medidas de redução de perdas nos sistemas de abastecimento de água

➤ *Custos e benefícios da redução de perdas físicas de água*

A análise econômica para programas de redução de perdas físicas de água requer a avaliação sobre os benefícios e os custos envolvidos, que dizem respeito às atividades previstas no referido programa.

➤ *Custos envolvidos na redução de perdas físicas de água*

Os custos podem ser divididos em custos fixos, que ocorrem durante período específico de implantação do projeto, e custos variáveis, que ocorrem ao longo de todo o projeto.

Segundo Tsutiya (2006) os custos dos projetos e serviços de redução de perdas podem ser elencados em:

- Equipamentos e instalações:

Como tubulações, válvulas, bombas, motores, acessórios, peças de conexão, macromedidores, hidrômetros, elementos de controle e automação, equipamentos elétricos, subestação;

- Obras civis

Como zoneamento piezométrico, reservatórios, substituição de ramais e redes. Os custos indiretos incluem os gastos com projetos, gerenciamento e fiscalização de obras, serviços de consultoria, entre outros.

- Ações operacionais e de manutenção

Como pesquisa acústica para a detecção de vazamentos não visíveis, reparo de vazamentos, combate a fraudes.

- Ações tecnológicas

Como desenvolvimento de materiais e equipamentos. A esse respeito, o setor de saneamento precisa de hidrômetros tecnologicamente adequados à existência de caixas d'água domiciliares, às características de cada Sistema, ao padrão de consumo e comportamento dos usuários, substituição de materiais em PVC por Polietileno (redução do número de juntas e da possibilidade de vazamentos), dentre outros.

- Mão de obra

Responsável pela gestão, execução, controle e geração de relatórios, tanto terceirizada como própria.

- Qualificação profissional

Compreende o treinamento da mão de obra e certificação profissional.

➤ *Benefícios envolvidos na redução de perdas físicas de água*

Com a redução das perdas físicas, a empresa pode produzir uma quantidade menor de água para abastecer a mesma quantidade de pessoas. Ao produzir uma quantidade menor de água, a concessionária de saneamento reduz os custos com diversos itens, tais como:

- Produtos químicos;
- Energia elétrica;
- Compra de água bruta (nos casos em que há cobrança pelo uso da água);
- Mão de obra

Com a redução das perdas aparentes, decorrentes de fraudes nas ligações, consumo não faturado, falta de hidrômetros, problemas de medição, dentre outros, a principal consequência é o aumento do volume faturado e, conseqüentemente, da receita.

Além disso, a empresa pode postergar investimentos necessários para atender ao aumento da demanda decorrente do crescimento populacional. Entre aumentar a capacidade de produção de água e diminuir as perdas de água, a segunda alternativa será, em muitos casos, a mais adequada do ponto de vista econômico-financeiro e também ambiental. Com o aumento da eficiência na produção e distribuição de água, a mesma quantidade produzida atende mais pessoas.

Os programas para redução de perdas de água devem considerar sempre a relação entre o valor gerado pelo volume de água economizado (que não será perdido) e o valor do investimento tanto em infraestrutura quanto em gestão comercial realizado para lograr a redução de perdas. A partir de certo nível de perda de água muito reduzido, o custo para a redução da perda de água se torna cada vez maior, pois a economia de água gerada por investimento realizado é cada vez menor (ABES, 2015).

No caso das perdas aparentes, a literatura aponta que programas de redução de perda de água comercial são financeiramente atraentes, pois geram um retorno financeiro rápido. Já os programas de redução de perda de água física são financeiramente atraentes no início da sua execução principalmente nos países em desenvolvimento que possuem altos níveis de perda de água. Entretanto, após uma significativa redução do nível de perda de água, os investimentos em programas de redução de perda de água física deixam de se tornar atraentes (ABES, 2015).

Há um caminho promissor a ser percorrido pelas empresas brasileiras de saneamento para elevar sua eficiência operacional. Note-se, entretanto, que soluções para o problema das perdas em grandes cidades demandam planejamento, conhecimento e persistência das ações; resultados rápidos podem ser obtidos, mas o verdadeiro equacionamento é de longo prazo (ABES, 2015).

➤ *Perdas Físicas e Perdas de Energia Elétrica*

A perda de energia elétrica está relacionada diretamente com as perdas de físicas de água em sistemas de abastecimento de água (MORAIS, 2010).

O consumo de energia, na maioria dos sistemas de água em todo o mundo, poderia ser reduzido em pelo menos 25%, por meio de ações de efficientização com melhor desempenho. A cidade de Indore, na Índia, por exemplo, economizou US\$ 35.000 no primeiro trimestre de atividades, sem nenhum custo de investimento, apenas melhorando o funcionamento das bombas já existentes (BARRETO, 2006).

Tsutiya (2006) observa que para reduzir o custo de energia elétrica em um sistema de abastecimento de água há necessidade de implementar várias ações, iniciando-se com um diagnóstico do sistema existente, principalmente com a identificação dos pontos de uso excessivo de energia. Em seguida, normalmente são realizadas algumas ações administrativas, objetivando a redução de custos, e nesse caso não necessita de investimento e por outro lado, não há redução do consumo de energia elétrica.

Barreto (2006) indica como de fundamental importância a elaboração de um balanço energético envolvendo todas as etapas do processo de produção de água nos sistemas de abastecimento de água, a fim de identificar perdas que reduzem a eficiência, reconhecendo assim um ponto de partida para identificar as oportunidades de implementação de ações de melhorias da eficiência.

De acordo com Barreto (2006) pode-se aperfeiçoar o consumo de energia elétrica utilizando instalações adequadas do ponto de vista da hidráulica, isto é:

- Utilizar tubulações com diâmetros bem dimensionados;
- Manter a tubulação em bom estado de conservação quanto à rugosidade
- Trabalhar com arranjos de concepção de projeto e de operação que sejam norteados pela melhor setorização das zonas de pressão, evitando-se o desperdício com altas pressões na rede, que, além de tudo, são um fator de indução de perdas hidráulicas reais e que se traduzem, em última análise, em ineficiência energética;
- Variar a velocidade dos motores elétricos de modo a adequar o ponto de funcionamento da bomba ao seu máximo rendimento, conforme a demanda varie (procedimento mais usual em abastecimento em marcha);

- Escolher o conjunto motobomba com melhor rendimento para o ponto de trabalho desejado pode parecer óbvio, mas é um ponto importante e, de certa forma, trabalhoso quando se verifica o funcionamento para as diversas condições possíveis de operação.

Segundo Barreto (2006) deve-se evitar ou reduzir o consumo energético nas horas de ponta (horas em que o sistema produtor/distribuidor da concessionária de energia elétrica é mais demandado pelos clientes), possibilitando:

- À concessionária melhor equilíbrio do seu sistema e;
- Ao operador do serviço de abastecimento de água uma economia de recursos financeiros, na medida em que as concessionárias incentivam esse procedimento por intermédio de sua estrutura tarifária diferenciada.

## 2.5 MODELOS MATEMÁTICOS

O conhecimento da eficiência do sistema de abastecimento, como também as decisões a serem tomadas com o objetivo de aumentá-la, depende do conhecimento e controle da operação do sistema como um todo. Durante muito tempo o controle operacional de sistemas de abastecimento, por parte das empresas de saneamento, foi executado com o apoio de equipamentos de comunicação, de controle e, principalmente, da experiência da mão-de-obra encarregada do serviço (BARRETO, 2006)

Descobrir o planejamento ideal de operação das bombas, não é uma tarefa simples, pois além do menor consumo de energia, é necessário levar em consideração os requisitos e as restrições operacionais da rede, como os níveis máximo e mínimo de pressão nos diversos pontos atendidos, nível dos reservatórios, idade da água na rede, custo de ligar ou desligar uma bomba de difícil acesso, entre outros. Nos últimos anos, surgiram ferramentas computacionais que representam os sistemas físicos e auxiliam nas tomadas de decisão com o propósito de melhorar a eficiência da operação. Os modelos são baseados nas leis físicas que regem o escoamento de fluídos em sistemas de abastecimento e tiveram grande evolução com o avanço da informática no setor para auxiliar nesta tarefa que entram em cena os simuladores hidráulicos.

A simulação hidráulica e matemática de sistemas de abastecimento de água fornece um dos principais caminhos, senão o principal, de replicar, da forma mais exata e correta possível, o comportamento real do sistema físico que representam. Utiliza-se a modelagem nestes sistemas devido ao fato de não ser de todo prático nem viável realizar as experimentações no próprio sistema físico já existente, ou então de modo a avaliar o comportamento de determinado sistema ainda antes de este se encontrar construído. Poderá também ser importante para otimizar alguns aspectos da exploração do sistema, permitindo com isso o aumento das próprias receitas geradas. (PINTO, 2010)

Um simulador hidráulico é um sistema capaz de simular com grande precisão o comportamento de uma rede de distribuição de água por meio de um modelo hidráulico da rede. Nele podem ser modeladas diferentes alternativas de operação, com previsão dos seus respectivos comportamentos, antes de colocá-las em prática. Assim, é possível saber se um determinado cenário operacional irá garantir o abastecimento adequado e estimar quanto será seu custo.

O modelo de simulação hidráulica de um sistema de abastecimento de água é composto por

- Um conjunto de dados que descrevem as características físicas do sistema, dos seus consumos e das suas condições operacionais;
- Um conjunto de equações matemáticas que reproduzem o comportamento hidráulico do sistema e seus componentes;
- Um conjunto de algoritmos numéricos que intervêm na resolução das equações acima descritas.

A representação computacional da rede de distribuição, ou modelo hidráulico, é criada com informações sobre dutos, junções, bombas, tanques, reservatórios e válvulas, curvas de eficiência das bombas, informações de altitude e demandas estimadas. Este modelo permite a simulação matemática da distribuição de água, calculando a pressão e vazão nos nós da rede, o a velocidade da água nos tubos e consumo de energia por parte das bombas (PINTO, 2010)

Uma das características fundamentais dos modelos de simulação e análises de sistemas de abastecimento é a presença da variável “tempo”. O objetivo do modelo não é o de determinar os valores das grandezas hidráulicas e sim o de obter a variação destas grandezas ao longo do tempo (vazão nos trechos, pressão nos nós, nível de água nos reservatórios, etc.). Em função da

variável “tempo” os modelos podem representar os sistemas de forma estática ou dinâmica. Os modelos estáticos objetivam determinar os valores das variáveis do sistema para um determinado cenário de operação. Nos modelos dinâmicos, as grandezas hidráulicas variam ao longo do tempo, em função de variações temporais dos consumos de água nos nós da rede. (GOMES, 2009).

Portanto, as ferramentas computacionais têm, nesta área de atuação, um papel de extrema importância. No entanto, não se podem desprezar outros aspectos relevantes para a obtenção de resultados satisfatórios, como a experiência e sensibilidade do modelador ou até mesmo a qualidade dos dados a inserir no sistema.

Existem vários modelos computacionais que nos permitem obter um nível nos resultados de acordo com o pretendido, tais como o WATERCAD, o WATNET ou o EPANET.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

##### ➤ *Descrição da localização*

A região é formada por loteamentos residenciais horizontais unifamiliares. As residências são de padrão popular, construídas com recursos públicos, financiados pelo Governo Federal. Aos detentores da posse do imóvel não é permitida a venda, locação ou transferência, como regras de financiamento impostas pelo órgão financiador. Logo, tampouco são permitidas modificações nas características do imóvel como aumento ou redução de área construída, cercamento, elevação de pavimentos ou modificação da finalidade do imóvel como transformação da residência em ponto comercial.

##### ➤ *Descrição da Topografia*

A região apresenta topografia relativamente plana com desnível geométrico máximo 11 metros. As cotas variam de 67 (cota máxima) a 56 (cota mínima). A região em estudo abrange uma área de 357.813m<sup>2</sup> e perímetro de 2.866m.

➤ *Descrição de áreas protegidas ambientalmente ou com restrições à ocupação*

Não há áreas de proteção ambiental ou com restrições de ocupação. Existem áreas de uso institucional que devem abrigar escolas, parques, praças, posto de saúde, etc.

➤ *Uso e ocupação atual do solo*

A região é formada por imóveis residenciais de padrão popular, com 01 pavimento. As áreas de ocupação estão definidas conforme Tabela 2.

Tabela 2- Caracterização da ocupação do sistema existente

<b>Tipo</b>	<b>Ocupação</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso (%)</b>
Residencial	Residências unifamiliares de padrão popular	346.529	96%
Público	Unidade Básica de Saúde	2.337	0,7%
	Escola de Ensino Fundamental	3.520	1,0%
	Área de uso institucional	5.427	1,5%
Total		357.813	100%

Fonte: Elaborada pelo autor

➤ *Atividades Econômicas*

Devido às normas de ocupação e uso do solo não são permitidas atividades econômicas formais. Os pontos de geração de renda informal estão incorporados aos imóveis residenciais.

- Índice de cobertura de abastecimento de água  
O índice de cobertura de abastecimento de água é de 100%.
  
- Índice de cobertura de esgotamento sanitário  
O índice de cobertura de esgotamento sanitário é de 100%
  
- Energia Elétrica  
Toda a região é coberta por rede bifásica de energia elétrica em baixa tensão.

### 3.2 MODELAGEM HIDRÁULICA

O modelo de simulação hidráulica escolhido para efetuar este estudo foi o EPANET. Este software foi desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA). A versão nacional foi traduzida e adaptada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

O programa permite obter valores de vazão em cada trecho, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de elementos químicos na água através da rede de distribuição, durante o período de simulação. A ferramenta computacional pode ajudar a analisar alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade do sistema de abastecimento, em termos de quantidade e qualidade da água fornecida, assim como permite avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica das estações de bombeamento (GOMES, 2009)

Pode-se citar como características mais relevantes deste software relacionadas à modelagem hidráulica:

- Configurações de bombeamento com velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;

- Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de setorização, de retenção, reguladoras de pressão;
- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição, ou em controles com condições múltiplas (horários, pressões, vazões, velocidade, etc.);
- Software gratuito e de utilização universal;
- Código fonte aberto;

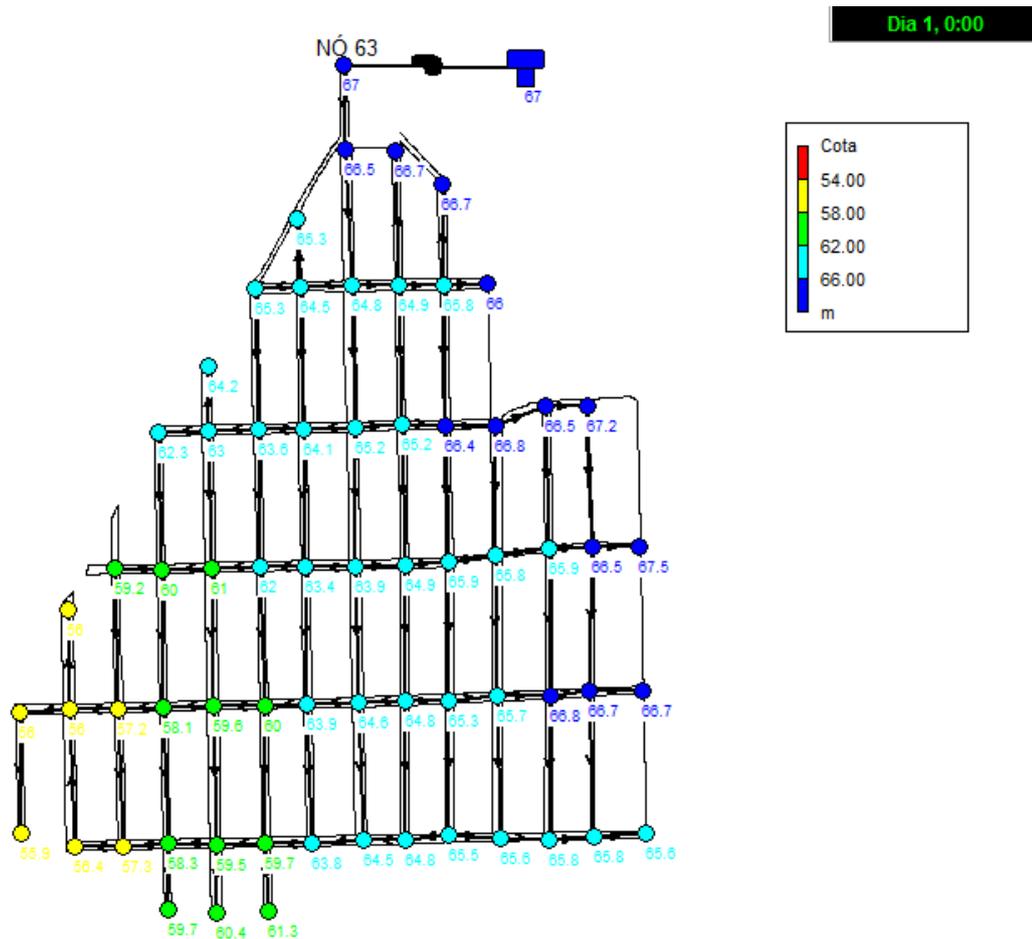
### 3.3 ANÁLISE DO SISTEMA EXISTENTE

#### ➤ *Descrição do Sistema Existente*

O sistema existente foi concebido com abastecimento em marcha diretamente de uma estação pressurizadora instalado em ponto de cota 67. O abastecimento em marcha do sistema de distribuição contribui para a sobrecarga da produção, condicionando a estação pressurizadora nos limites máximos de processo, gerando sobrecargas e elevados consumos de energia elétrica. Ademais, toda a rede de distribuição fica submetida às variações de pressão da estação pressurizadora, provocando um regime hidráulico instável e ‘fadiga’ das redes, podendo ocorrer problemas de transientes hidráulicos e frequentes arrebentados de rede. Em decorrência, as áreas de cota altimétrica mais baixa apresentam pressões acima do requerido para o abastecimento.

Os componentes foram lançados no software EPANET para levantamento das características hidráulicas, como pressão nos trechos, vazão nos nós, diâmetros, materiais e comprimentos das tubulações, potência e tempo de funcionamento de conjuntos elevatórios, etc. Como parâmetros de entrada são fornecidas as cotas topográficas dos nós, as vazões de consumo, as vazões de perdas, a curva da bomba e as informações físicas das tubulações. O lançamento das redes é representado na Figura 3.

Figura 3-Lançamento no EPANET da infraestrutura de abastecimento do sistema existente

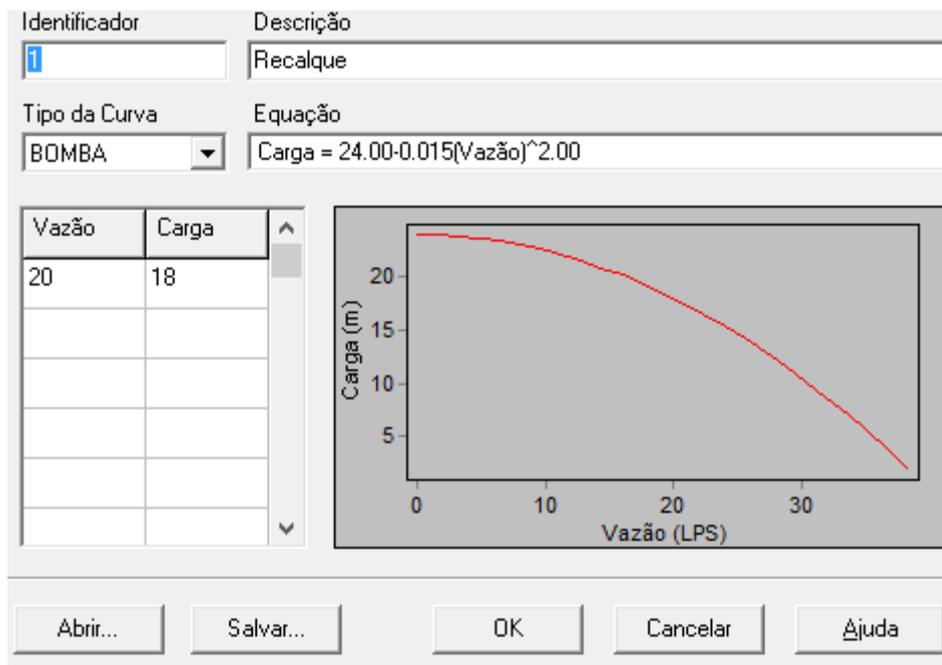


Fonte: Elaborada pelo autor

A estação elevatória existente funciona como Booster, ou seja, eleva a pressão à jusante para alcançar a pressão mínima requerida no ponto mais desfavorável. A estação elevatória é formada por 02 conjuntos motor-bomba (01 em operação e 01 na condição de reserva) com potência instalada de 10 cv, para cada conjunto. A capacidade de adução desta estação elevatória é de 20 litros/segundo para uma altura manométrica máxima de 18 mca. O sistema pressurizador opera 24h por dia, com alternância entre os conjuntos elevatórios.

Com o software de modelagem hidráulica, dados os pontos de vazão e pressão máximos, é possível traçar a curva de uma bomba. A Figura 4 apresenta a curva da bomba para o sistema em estudo.

Figura 4-Curva da Bomba do sistema existente traçada no EPANET



Fonte: Elaborada pelo autor<sup>1</sup>

### 3.4 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA EXISTENTE

Premissas para o horizonte de projeto:

- Quantidade de habitantes por economia (q) =3,5 habitantes/economia
- Número de economias (e) =2850 economias
- População Total Residente (A) = 9975 habitantes
- População Total Atendida (P) = 9975 habitantes
- Perdas Físicas no Sistema de Abastecimento de Água: 30%

Para se determinar a população atendida utiliza-se a correlação entre número de economias e densidade habitacional por economia. Contudo, antes de uma determinação direta, adotam-se as seguintes premissas:

<sup>1</sup> Extraída do EPANET

- Todas as economias são ativas, ou seja, imóveis fechados poderão ser ocupados em alguma época do horizonte do projeto;
- A região não comporta crescimento vegetativo por expansão de área de atuação;
- O plano diretor municipal não permite a verticalização das economias em número de pavimentos superior a 01 (um);
- Para esta região o crescimento populacional é nulo.
- Não há exportação de volume;

A população atendida será o produto do número de economias pelo número de habitantes por economia, expressa pela expressão abaixo:

$$\text{Pop} = q \times e \quad (23)$$

Onde,

Pop=População atendida

e=número de economias

q=habitantes por economia

Logo,

$$\text{Pop} = 3,5 \times 2850 = 9975$$

Segundo SNIS (2017), entende-se por Nível de atendimento o quociente entre a População Total Atendida com abastecimento de água pela População residente no município atendido com abastecimento de água, população esta, de acordo com o censo IBGE. O conceito é representado pela Equação (24):

$$\% \text{atendimento} = \frac{\text{População Total Atendida}}{\text{População Residente}} \times 100 \quad (24)$$

Aplicando-se os valores, temos:

$$\% \text{atendimento} = \frac{9975}{9975} \times 100 = 100\%$$

Segundo dados de ANEEL (2017), em 2016, ocorreram 9,41 interrupções (FEC) que totalizaram 19,45 horas (DEC). Dividindo-se o número de dias do ano pelo número de ocorrências (FEC), tem-se a frequência diária de supressão de abastecimento por falta de energia elétrica:

$$f_{FEC} = \frac{365}{9,41} = 39 \text{ dias}$$

Onde,

$f_{FEC}$  = Frequência diária de supressão de abastecimento por falta de energia elétrica

Dividindo-se o número de horas sem fornecimento de energia elétrica pelo número de ocorrências de paralisação do fornecimento de energia elétrica, no ano, tem-se:

$$t_{DEC} = \frac{19,45}{9,41} = 2,07 \text{ horas ou 2 horas e 4 minutos}$$

$t_{DEC}$  = Tempo médio de paralisação de fornecimento de energia elétrica por evento (horas/paralisação)

O consumo per capita na região é de 121 litros/habitantes/dia. O valor foi determinado segundo metodologia do SNIS (2017), a saber:

$$\text{per capita} = \frac{VU-VE}{(P_{2017}+P_{2016})/2} \times \frac{1.000}{365/12} \quad (25)$$

$$\text{per capita} = \frac{36.620}{(9.975 + 9.975) / 2} \times \frac{1.000}{365/12} = 121 \text{ litros/hab/dia}$$

Onde,

VU = Volume de Água Consumido ( $m^3$ /mês)

VE = Volume de Água Exportado ( $m^3$ )

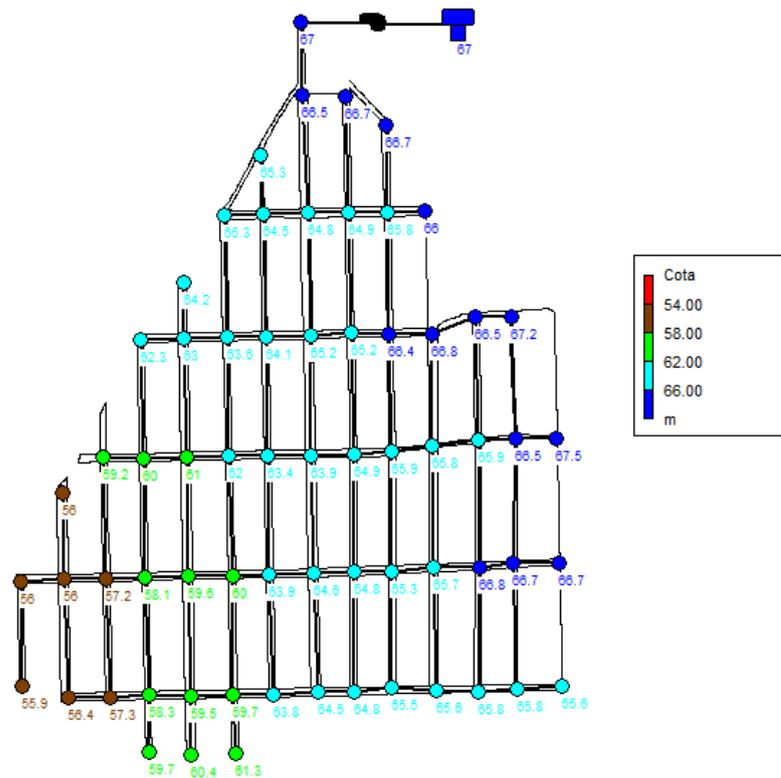
$P_{2017}$  = População Total Atendida em 2017 (habitantes)

$P_{2016}$  = População Total Atendida em 2016 (habitantes)

➤ *Cadastro de Redes de Abastecimento*

O cadastro de redes está disponível em base digital tipo CAD no formato dwg e dxf. Também está disponível nos cenários do software EPANET, possibilitando a integração de informações entre os sistemas aplicativos e facilitando a modelagem de simulação hidráulica (Figura 5).

Figura 5-Lançamento das redes de distribuição da concepção atual



Fonte: Elaborada pelo autor<sup>2</sup>

A rede de distribuição totaliza 9.180 metros de extensão, com diâmetros variando entre 60 e 150 mm. O material empregado nas redes de distribuição é o PVC (Tabela 3)

<sup>2</sup> Extraída do EPANET

Tabela 3-Comprimento das redes do sistema proposto por diâmetro e material

<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Material</b>	<b>Peso (%)</b>
60	8.330	PVC	90,7
75	350	PVC	3,8
100	250	PVC	2,7
150	250	PVC	2,7
<b>Total</b>	<b>9180</b>		

Fonte: Elaborada pelo autor

➤ *Crítérios e Parâmetros de projeto*

A seguir estão apresentados os critérios e os parâmetros de projeto que serão adotados para o estudo de concepção do sistema de abastecimento, conforme NBR 12211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002).

➤ *Horizonte de Projeto*

O horizonte de projeto é de 30 anos, com marcos definidos para etapas de obras, sendo:

- Curto Prazo – 0 a 6 meses;
- Médio Prazo – 6 a 12 meses;
- Longo Prazo- 12 a 18 meses

➤ *Índice de Atendimento*

O índice de atendimento adotado para projeção de demandas foi de 100% e mantido para o horizonte de projeto.

➤ *Coeficientes de Variação de Consumo*

Nos projetos de sistemas de abastecimento de água são utilizados coeficientes para garantia da segurança, funcionalidade e eficiência do Sistema. O coeficiente do dia de maior consumo ( $K_1$ ) é a relação entre o valor do consumo máximo diário ocorrido em um ano e o consumo médio diário relativo a esse ano. Tsutiya (2006) sugere alguns coeficientes  $K_1$  praticados no Brasil e em outros países (Tabela 4).

Tabela 4-Valores de  $K_1$  praticados no Brasil e em alguns países

<b>Autor/Entidade</b>	<b>Local</b>	<b>Ano</b>	<b>Coeficiente <math>K_1</math></b>	<b>Condições de obtenção do valor</b>
Orsini	Brasil	1996	1,2	Recomendação para projeto
Azevedo Neto	Brasil	1998	1,1 - 1,4	Recomendação para projeto
Tsutiya	PMSP-Setor Lapa	1989	1,08 – 3,8	Medições para sistemas operando há vários anos
Saporta et. al	Barcelona-Espanha	1993	1,10 – 1,25	Medições para sistemas operando há vários anos
Walski et. al	EUA (*)	2001	1,2 – 1,3	Recomendação para projeto
Hammer	EUA (*)	1996	1,2 – 4,0	Medições em sistemas norte-americanos
AEP	Canadá (*)	1996	1,5 – 2,5	Recomendação para projeto

(\*) Nesses sistemas não há reservatórios domiciliares

Fonte: Adaptado (TSUTIYA, 2006)

O coeficiente da hora de maior consumo ( $K_2$ ) é a relação entre a maior vazão horária e a vazão média do dia de maior consumo. Tsutiya (2006) sugere alguns valores para  $K_2$  praticados no Brasil e em outros países (Tabela 5).

Tabela 5-Valores de  $K_2$  praticados no Brasil e em outros países

<b>Autor/Entidade</b>	<b>Local</b>	<b>Ano</b>	<b>Coefficiente <math>K_2</math></b>	<b>Condições de obtenção do valor</b>
Orsini	Brasil	1996	1,5	Recomendação para projeto
Azevedo Neto	Brasil	1998	1,5 – 2,3	Recomendação para projeto
Tsutiya	PMSP-Sector Lapa	1989	1,5 – 4,3	Medições para sistemas operando há vários anos
Saporta et. al	Barcelona-Espanha	1993	1,3 – 1,4	Medições para sistemas operando há vários anos
Walski et. al	EUA (*)	2001	3,0 – 6,0	Recomendação para projeto
Hammer		1996	1,2 – 4,0	Medições em sistemas norte-americanos
AEP	Canadá (*)	1996	1,5 – 2,5	Recomendação para projeto

(\*) Nesses sistemas não há reservatórios domiciliares

Fonte: Adaptado (TSUTIYA, 2006)

Neste estudo, os coeficientes adotados serão:

- Coeficiente do Dia de Maior Consumo ( $K_1$ ) = 1,20
- Coeficiente da Hora de Maior Consumo ( $K_2$ ) = 1,50

➤ *Consumo Per Capita*

O consumo per capita adotado foi de 121 L/hab.dia constante até o horizonte de projeto.

➤ *Índice de Perdas*

A meta de alcance do índice de perdas 20% em 10 anos.

➤ *Estudo de Demanda de água*

A seguir está apresentada a metodologia de cálculo das demandas que serão inseridas no modelo hidráulico do software EPANET.

- a) Vazão média de Consumo Normal (VC)

$$VC = \text{Pop} \times \text{per capita} \quad (26)$$

- b) Vazão de Perdas de Água (VP)

$$VP = \frac{VC}{1-IP} - VC \quad (27)$$

Onde,

IP = Índice de perdas físicas de água (%)

- c) Cálculo das Vazões Correspondentes as Demandas de Água na Região em Estudo  
Vazão da Demanda Média (DM)

$$DM = VC + VP \quad (28)$$

- d) Vazão da Demanda Máxima Diária (DMD)

$$DMD = VC \times K_1 + VP \quad (29)$$

- e) Vazão da Demanda Máxima Horária (DMH)

$$DMH = VC \times K_1 \times K_2 + VP \quad (30)$$

A Tabela 6 reproduz as vazões projetadas para o modelo proposto.

Tabela 6-Vazões Projetadas para o modelo proposto

<b>Vazões projetadas (L/s)</b>	<b>2017</b>	<b>2027</b>	<b>2037</b>	<b>20147</b>
Vazão média de consumo normal	13,96	13,96	13,96	13,96
Vazão de perdas de água	4,18	2,79	2,79	2,79
Vazão média de demanda total	18,14	16,75	16,75	16,75
Demanda máxima diária	20,93	19,54	19,54	19,54
Demanda máxima horária	29,31	27,92	27,92	27,92

Fonte: Elaborada pelo autor

A vazão média total do sistema deverá reduzir cerca de 1,39 L/s ao longo dos 30 anos do horizonte de projeto.

### 3.5 ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO

As alternativas de abastecimento simuladas em modelo hidráulico tiveram como premissas:

- A delimitação da rede de abastecimento visando o abastecimento em faixas adequadas e estáveis de pressão em toda a rede de distribuição;
- Implantação de centro de reservação, operando na condição de reservatório de montante à rede de distribuição; e
- Implantação de reservação com capacidade de absorver as variações horárias de consumo; e
- Aproveitamento da infraestrutura de rede existente, evitando custos desnecessários e transtornos à comunidade e ao meio ambiente;

As alternativas de projeto simuladas objetivaram soluções para equalização das pressões dentro de faixas aceitáveis e a flexibilização operacional do sistema de distribuição, conferindo

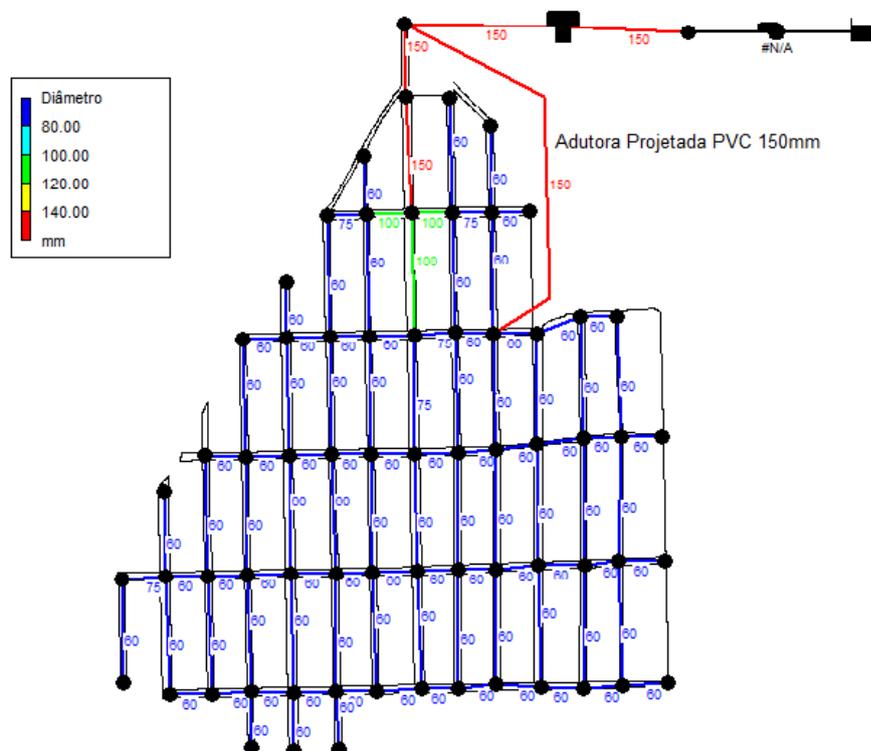
regularidade ao abastecimento com a redução das possibilidades de arrematados e redução do consumo de energia.

➤ *Apresentação da Proposta*

A proposta considera que a região seja abastecida por gravidade pelo centro de reservação a implementar, projetado como reservatório de montante à rede de distribuição.

Para abastecimento do centro de reservação, propõe-se uma adutora DN 150 mm e extensão de 300 m, para reforço do abastecimento na região, conforme Figura 6.

Figura 6-Lançamento das redes de distribuição da concepção proposta



Fonte: Elaborada pelo autor<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Extraída do EPANET

➤ *Zonas de Pressão:*

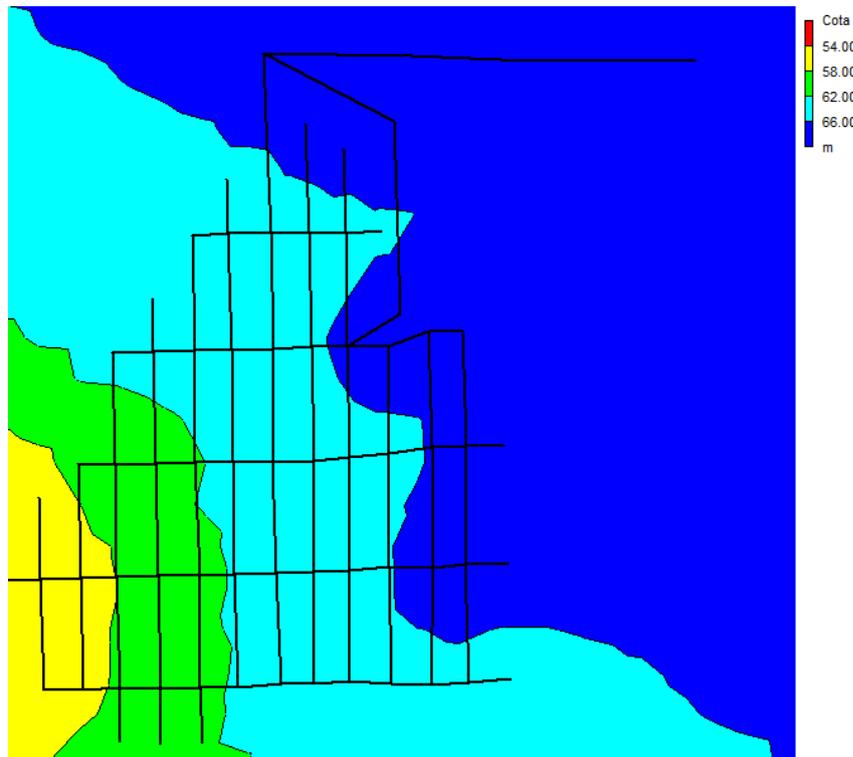
A NBR 12218 define zonas de pressão como a área abrangida por uma subdivisão da rede, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem a limites prefixados.

Neste estudo, a região foi subdividida em 03 zonas de pressão:

- Zona Alta: compreende a área abrangida pela porção nordeste, acima da cota 66, representada pela cor azul na Figura 7.
- Zona Média: compreende a área abrangida pela porção central, contemplando uma faixa pela alça sul-oeste, de cotas entre 58 e 62 metros, representada pela cor cian da Figura 7.
- Zona Baixa: compreende a área abrangida pela no extremo sudoeste, de cotas abaixo de 58 metros, representada pelas cores verde e amarela na Figura 7.

A Figura 7 representa as zonas de pressão para a concepção proposta.

Figura 7-Zonas de Pressão da Concepção Proposta



Fonte: Elaborada pelo autor<sup>4</sup>

A análise comparativa entre a concepção atual e a alternativa proposta mostra que a solução de adução por gravidade pode ser a solução mais favorável do ponto de vista técnico e econômico da proposta.

➤ *Aspectos Decisórios*

a) Aspecto técnico:

- Melhor aproveitamento da capacidade hidráulica das redes de distribuição existentes;
- Maior confiabilidade e regularidade no abastecimento, devido implantação de reservação e menor exposição às falhas de fornecimento de energia elétrica;

---

<sup>4</sup> Extraída do EPANET

- Extinção do bombeamento para abastecimento em marcha;
- Redução das perdas de carga nos trechos de adução e distribuição;
- Redução das perdas físicas (perdas por vazamentos) na rede de distribuição de água;
- Redução dos transientes hidráulicos.

b) Aspecto econômico:

- Poucos investimentos em ampliação de redes de abastecimento;
- Redução do consumo de energia para bombeamento, sobretudo em horários de ponta, período em que a tarifa de energia elétrica é mais elevada.
- Redução do custo com produtos químicos, dada a redução de vazão de vazamentos (redução do índice de perdas físicas);
- Menores custos de operação e manutenção, devido à potencial redução do número de arrebentados.

c) Aspecto Ambiental:

- O aproveitamento da infraestrutura existente praticamente anula a geração de resíduos provenientes de obras civis e hidráulicas;
- Redução do volume de água bruta captada dos mananciais, dada a redução do volume perdido no sistema de distribuição;

### 3.6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES OPERACIONAIS DA ALTERNATIVA PROPOSTA

➤ *Estação Elevatória*

a) Cálculo da potência do conjunto motor-bomba

Aplicando-se a equação (26), para determinar VC:

$$VC=9975 \times 121=0,0139 \text{ m}^3/\text{s}$$

Aplicando a equação (27)

$$VP = \frac{0,0139}{1-0,3} \cdot 0,0139 = 0,006 \text{ m}^3/\text{s}$$

Aplicando o resultado na equação (30)

$$DMH = 0,0139 \times 1,2 \times 1,5 + 0,006 = 0,031 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sejam:

Hg= 11 m;  $\Delta H = 5$  m (estimado) e  $\eta = 75\%$

Da Equação (15),

$$H_{man} = 11 + 5 = 16 \text{ m}$$

Da equação (2),

$$Pot = \frac{9,8 \times 0,031 \times 16}{0,75} = 6,48 \text{ kW} = 8,81 \text{ cv} = 8,69 \text{ hp}$$

Para equipamentos entre 5 e 10 hp deve-se prever uma folga de aproximadamente 20% (AZEVEDO NETO, 2006).

Então,

$$Pot = 8,81 \times (1 + 0,20) = 10,6 \text{ cv}$$

Será projetada a elevatória com 01 conjunto de 10cv e 01 equipamento de igual potência, operando como reserva, totalizando uma potência instalada de 20cv.

## b) Cálculo da Tubulação de recalque

Para:

- $K = 0,9$  (constante da Fórmula de Bresse)
- $Q = 0,031 \text{ m}^3/\text{s}$
- N° de horas de bombeamento = 6 horas

A tubulação de recalque de cada conjunto elevatório será pré-dimensionado pela equação (22):

$$D = 0,9 \left( \frac{6}{24} \right)^{1/4} \sqrt{0,031} = 0,112$$

Logo,  $D = 150\text{mm}$ :

Deve-se verificar a velocidade de escoamento no barrilete, conforme equação (13):

$$v = \frac{Q \times 4}{\pi D^2} \rightarrow v = \frac{0,031 \times 4}{3,1415 \times 0,15^2} \rightarrow v = 1,75\text{m/s}$$

Segundo a NBR 12214 a velocidade mínima no barrilete deve ser de  $0,6\text{m/s}$  e a máxima, para tubulações de aço ou ferro fundido, limitada a  $3,0\text{m/s}$ .

Logo,

O diâmetro da tubulação de recalque do conjunto elevatório será de  $150\text{mm}$ .

### c) Cálculo da Tubulação de Sucção

Aplicando a equação (13) e limitando-se velocidade em  $1,0\text{ m/s}$  e para a vazão de  $0,040\text{m}^3/\text{s}$ , tem-se:

$$v = \frac{Q \times 4}{\pi D^2} \rightarrow D = 2 \times \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{0,031}{\pi}} = 0,199\text{m}$$

$$D = D_{\text{sucção}} = 200\text{mm}$$

Onde,

$D_{\text{sucção}}$  = diâmetro da tubulação de sucção (mm)

Adotando-se  $D_{\text{sucção}}$  igual a  $200\text{mm}$ , a velocidade média no trecho de sucção será determinada aplicando-se a equação (13), novamente:

$$v = \frac{0,031 \times 4}{\pi \times (0,2)^2} = 0,99 \text{ m/s}$$

Verifica-se que a velocidade é inferior a 1,00 m/s, conforme Tabela 1.

#### d) Tipo de Bomba

A escolha da bomba pode ser feita por diagramas chamados de curva característica de bombas. As curvas características expressam em forma de gráfico, a altura desenvolvida pela bomba, eficiência, potência no eixo e NPSH em função da capacidade da bomba. Estes catálogos encontram-se disponíveis em sítios destes fabricantes ou de representantes.

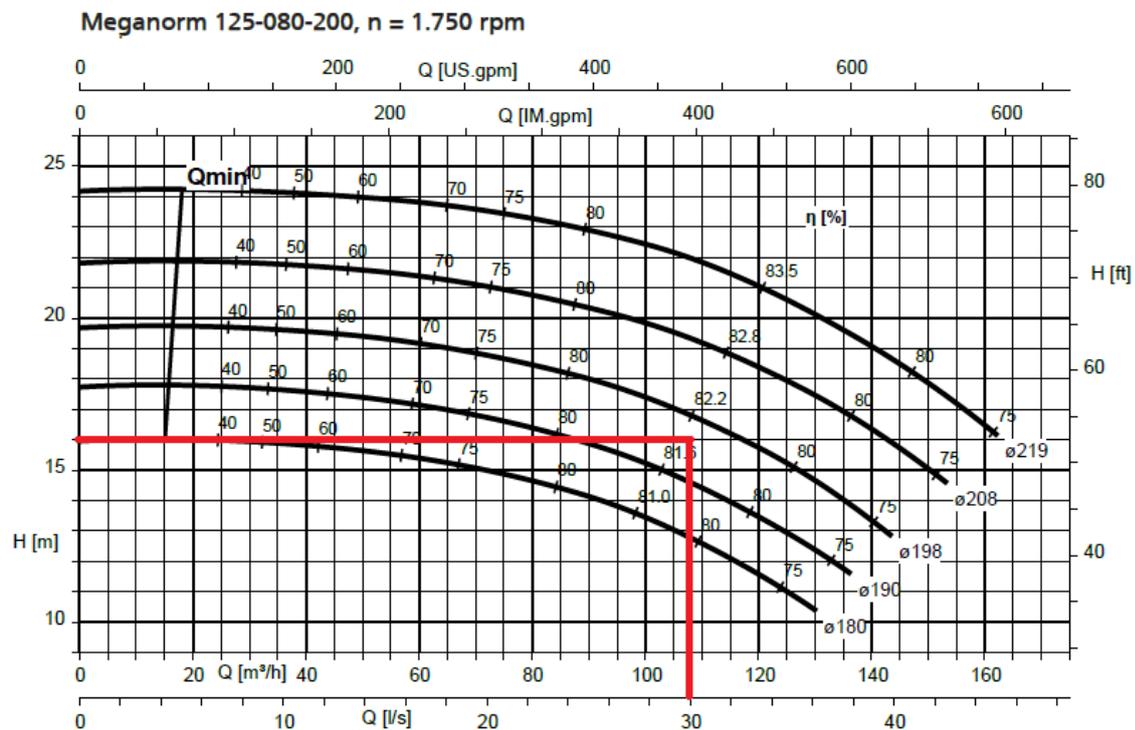
Os dados de entrada são a Altura Manométrica e a Vazão de Projeto. Optou-se pela escolha do fabricante KSB por disponibilizar maior variabilidade disponível para consulta ao público.

Para o par de valores  $Q = 31 \text{ L/s}$  e  $H = 16 \text{ m}$ , o equipamento escolhido foi:

Ksb Meganorm Modelo 125-080-200 ; 1750 rpm; Diâmetro do rotor 198mm.

A Figura 8 exhibe a curva da bomba escolhida, conforme altura Manométrica e vazão de recalque.

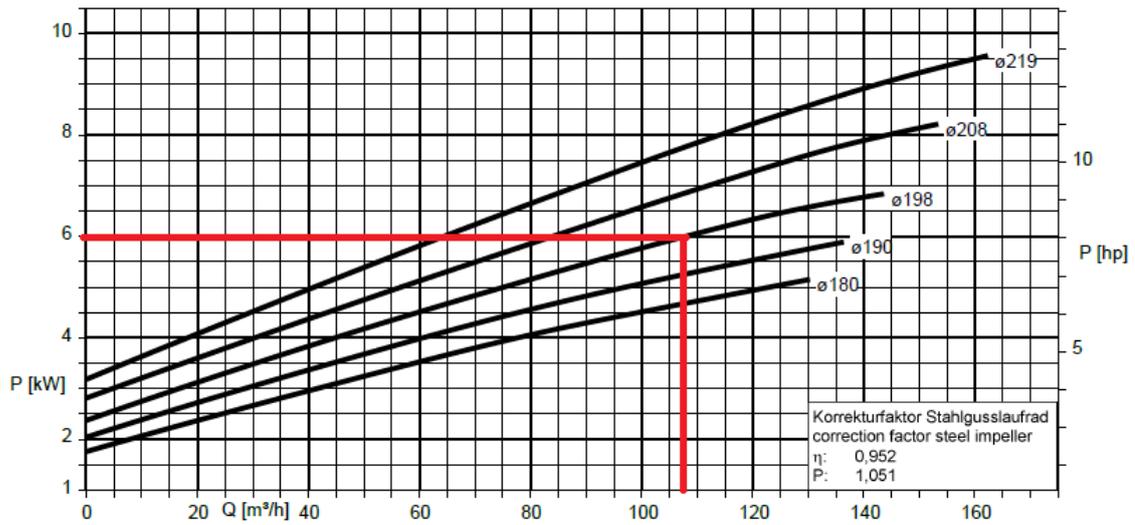
Figura 8-Curva da Bomba Altura Manométrica *versus* Vazão



Fonte: KSB Bombas <sup>5</sup>

O motor recomendado pelo fabricante tem potência de 6kW e rendimento de 95,2%, conforme Figura 9.

<sup>5</sup> Extraído de <https://www.ksb.com/ksb-br-pt/download-center/>

Figura 9-Curva da Bomba Potência do Motor *versus* Vazão

Fonte: KSB Bombas<sup>6</sup>

### ➤ Reservatório

#### a) Volume de Reservação

O volume total de reservação recomendado pela NBR 12.217 é de 1/3 do consumo diário acrescido do coeficiente  $K_1$ .

$$V = \frac{4470 \times 0,108 \times 1,2}{3} = 200 \text{ m}^3$$

O centro de reservação será composto por 01 reservatório apoiado. A cota de fundo será 8m acima do nível do terreno e seu volume útil será de 487m<sup>3</sup>. Este reservatório será responsável pelo abastecimento, conferindo pressões dinâmicas acima de 10 mca e pressões estáticas abaixo de 50 mca no ponto de cota mais desfavorável, conforme recomendado pela NBR 12218. A autonomia do reservatório é 6 a 8 horas (a considerar a vazão de perdas), entretanto, suficiente para superar o período de desabastecimento médio de energia elétrica na região ( $t_{DEC} = 2,07$  horas)

<sup>6</sup> Extraído de <https://www.ksb.com/ksb-br-pt/download-center/>

## b) Tipo de Reservatório

Dados os volumes, as unidades de reservação serão construídas em chapas metálicas soldadas. A geometria será circular para permitir melhor aproveitamento da área e facilitar a execução conforme o material escolhido.

### ➤ *Rede de Distribuição*

O dimensionamento hidráulico das redes de distribuição dar-se-ão a partir da modelagem hidráulica. O conceito de adução e abastecimento propostos consideram as vazões atuais e as vazões e final de plano para a região. O dimensionamento de redes primárias, secundárias e adutoras preveem o aproveitamento da infraestrutura existente e o dimensionamento econômico das redes a estender e/ou a substituir de forma a evitar transientes hidráulicos, perdas de cargas elevadas, pressões dinâmicas acima de 10 mca e pressões estáticas abaixo de 50 mca no ponto de cota mais desfavorável, conforme NBR 12218.

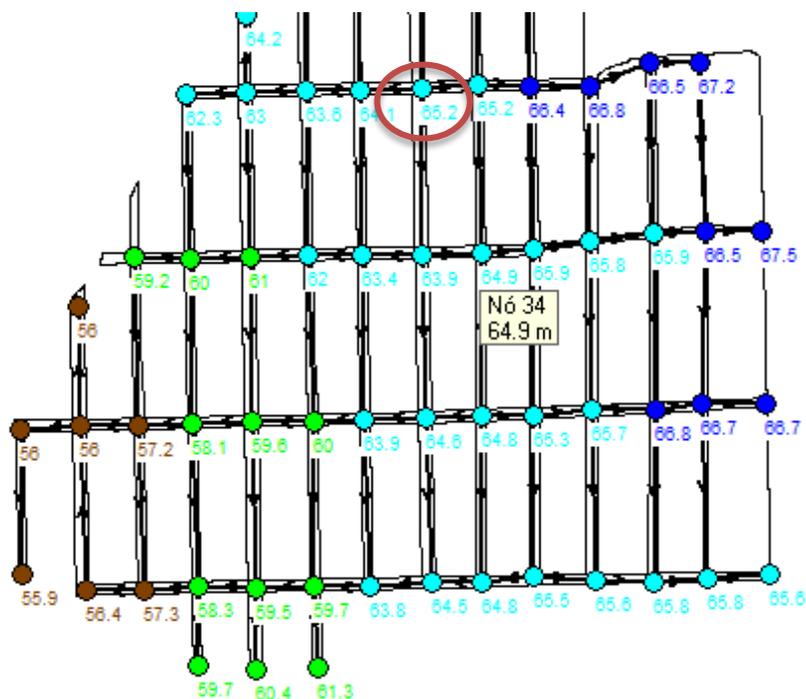
## 4 RESULTADOS

A apresentação e análise dos resultados seguirão a ótica Operacional e Económica. Do ponto de vista operacional, deve-se considerar a segurança e eficiência do Sistema (redução de arrebitados de rede, redução do consumo de energia eléctrica etc.). Sob o aspecto económico avalia-se a viabilidade económica do projeto, que deve ser autossustentável até seu final de plano.

### 4.1 ASPECTOS OPERACIONAIS

A concepção proposta promove uma redução da pressão média ao longo do dia. O parâmetro adotado é a avaliação da pressão média no ponto da região situado na cota média. A cota média da região é representada pela cota 65,2. O ponto de cota média representado pelo nó 34 do modelo hidráulico é apresentado na Figura 10.

Figura 10-Nó da rede situado na cota média



Fonte: Elaborada pelo autor<sup>7</sup>

Este ponto é adotado como referência para comparativo entre as pressões de abastecimento para o cenário atual e para o cenário proposto. O modelo hidráulico do EPANET realizou simulações em período estendido, fornecendo dados de hidráulicos dos nós e dos trechos, a critério de projetista, em intervalos horários. Na Tabela 7 são exibidos os resultados da simulação para o nó de cota média para o cenário atual (bombeamento em marcha) e para o cenário proposto (abastecimento por gravidade proveniente do reservatório elevado).

<sup>7</sup> Extraída do EPANET

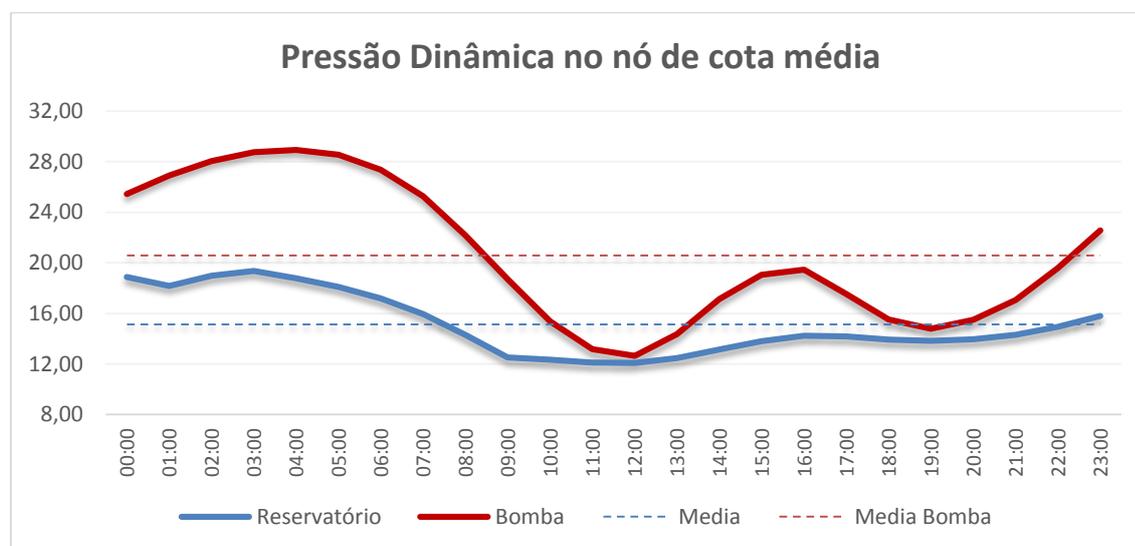
Tabela 7-Pressão Dinâmica no nó de cota média para os dois cenários

<b>Pressão Dinâmica no nó de cota média (mca)</b>		
<b>Hora</b>	<b>Cenário Atual Bombeamento</b>	<b>Cenário Proposto Reservatório</b>
00:00	25,45	18,87
01:00	26,91	18,18
02:00	28,06	18,99
03:00	28,75	19,37
04:00	28,93	18,78
05:00	28,55	18,09
06:00	27,37	17,19
07:00	25,27	15,95
08:00	22,19	14,30
09:00	18,70	12,53
10:00	15,36	12,33
11:00	13,17	12,11
12:00	12,65	12,08
13:00	14,37	12,46
14:00	17,14	13,15
15:00	19,05	13,80
16:00	19,45	14,23
17:00	17,55	14,18
18:00	15,51	13,94
19:00	14,79	13,83
20:00	15,49	13,96
21:00	17,06	14,30
22:00	19,59	14,93
23:00	22,57	15,80

Fonte: Elaborada pelo autor

A mudança da concepção de abastecimento da região, pelo modelo hidráulico, permite o abastecimento em pressões mais estáveis com menor diferença entre os valores mínimos e máximos durante o dia (Gráfico 3).

Gráfico 3-Pressão Dinâmica no Nó de Cota Média para os dois cenários



Fonte: Elaborado pelo autor

A redução das oscilações de pressão e a manutenção dos picos de pressão mais próximos à média reduzem a probabilidade de arrebentados e o volume vazado por vazamentos inerentes às canalizações (Tabela 8).

Tabela 8-Comparativo de pressões entre os cenários Atual e Proposto

<b>Comparativo de Pressões entre os cenários Atual e Proposto</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Cenário Atual Bombeamento</b>	<b>Cenário Proposto Reservatório</b>
Amplitude (mca)	16,28	7,29
Maior (mca)	28,93	19,37
Menor (mca)	12,65	12,08
Média (mca)	20,58	15,14

Fonte: Elaborada pelo autor

A redução do volume vazado reduz o consumo de energia elétrica, visto que o sistema é demandado menos vezes e os conjuntos elevatórios operam abaixo de sua capacidade máxima.

A redução do volume de vazamentos inerentes pode ser estimada pelo método FAVAD.

Dada- a vazão média de perdas 6 L/s (correspondente a perda de 30% da vazão média distribuída), tem-se:

$$\frac{P_1}{P_0} = \left(\frac{Q_1}{Q_0}\right)^N \rightarrow Q_1 = Q_0 \times \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{1/N}$$

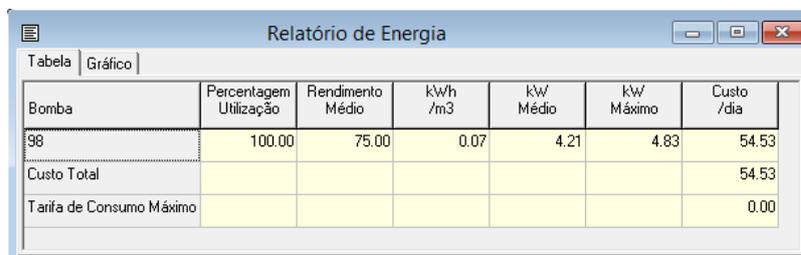
$$Q_1 = 6 \left(\frac{15,14}{20,58}\right)^{1/1,15} = 4,59 \text{ L/s}$$

A vazão de perdas reduzirá 1,41 L/s, equivalente a 44.465 m<sup>3</sup>/ano.

Segundo dados do SNIS (2017), em 2015, o custo de exploração dos serviços públicos de abastecimento de água foi de R\$ 2,14/ m<sup>3</sup>, excluindo-se os custos com energia elétrica.

Para apuração da redução do consumo energético, o software de modelagem hidráulica traz a ferramenta de análise do consumo energético do sistema proposto. Como dado de entrada para previsão de custo diário, forneceu-se o custo médio de R\$ 0,54 / kWh. A Figura 11 e a Figura 12 trazem os custos energéticos diários para o cenário atual e para o cenário proposto, respectivamente.

Figura 11- Custo energético diário para o cenário atual (Bombeamento em marcha)



Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m <sup>3</sup>	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
98	100.00	75.00	0.07	4.21	4.83	54.53
Custo Total						54.53
Tarifa de Consumo Máximo						0.00

Fonte: Elaborado pelo autor<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Extraído do EPANET

Figura 12-Custo energético diário para o cenário proposto - com reservatório

Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
98	75.00	75.00	0.05	4.19	4.72	36.18
Custo Total						36.18
Tarifa de Consumo Máximo						0.00

Fonte: Elaborado pelo autor<sup>8</sup>

Observa-se que o cenário proposto, com abastecimento por gravidade proveniente de um reservatório elevado, promove uma redução de 18,35 kW/dia (redução equivalente a 33,65%). Ao longo de 01 ano, a redução do consumo de energia elétrica é prevista em 6.697,75kW.

## 4.2 ASPECTOS ECONÔMICOS

Para a realização de uma análise econômica entre alternativas de concepção para o sistema de abastecimento de água objeto deste estudo, deve-se levar em conta a implantação, a operação e a manutenção.

Para dar suporte às decisões de investimento, com reflexos na escolha da alternativa mais atrativa tanto do ponto de vista operacional quanto econômico, faz-se necessária a utilização dos métodos e critérios de avaliação econômica, escolhidos e aplicados convenientemente conforme a situação.

### 4.2.1 Estimativa de Custo da Proposta

A seguir será apresentada a previsão de execução física (Quadro 1) e de desembolso (Quadro 2) para a concepção proposta. Os valores e tempos são balizados por editais de licitações de companhias operadoras de sistemas públicos de abastecimento de água.

Quadro 1-Previsão de Execução Física das obras de implantação do sistema proposto

Previsão de Execução Física																			
Atividades	14 meses	CURTO PRAZO						MÉDIO PRAZO						LONGO PRAZO					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Adutora de Água Tratada</b>																			
Execução Hidráulica / Obras civis	1 mês	■																	
Teste de Estanqueidade	1 mês	■																	
Interligação	1 mês	■																	
<b>Reservatório Elevado</b>																			
Fundações	1 mês		■																
Obras civis	10 meses		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Montagem Eletromecânica	2 meses											■	■						
Teste de Estanqueidade	1 mês													■					
<b>Estação Elevatória</b>																			
Obras civis da Estação Elevatória	1 mês																	■	
Montagem Eletromecânica	1 mês																	■	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 2-Previsão de desembolso para implantação do cenário proposto

Previsão de Desembolso Mensal																			
Atividades	(R\$ X1000) R\$ 589,56	CURTO PRAZO						MÉDIO PRAZO						LONGO PRAZO					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Adutora de Água Tratada</b>																			
Execução Hidráulica / Obras civis	R\$ 54,56	R\$ 55																	
Teste de Estanqueidade	R\$ 2,00	R\$ 2																	
Interligação	R\$ 3,00	R\$ 3																	
<b>Reservatório Elevado</b>																			
Fundações	R\$ 100,00	R\$ 100																	
Obras civis	R\$ 380,00		R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38					
Montagem Eletromecânica	R\$ 10,00												R\$ 5	R\$ 5					
Teste de Estanqueidade	R\$ 5,00														R\$ 5				
<b>Estação Elevatória</b>																			
Obras civis da Estação Elevatória	R\$ 20,00																	R\$ 20	
Montagem Eletromecânica	R\$ 15,00																	R\$ 15	
		R\$ 60	R\$ 100	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 38	R\$ 43	R\$ 43	R\$ 5	R\$ 35							

Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2.2 Fluxo de Caixa da Proposta

A análise do fluxo de caixa resultante entre os investimentos realizados e os benefícios alcançados faz-se importante para escolha das alternativas economicamente atrativas.

A Tabela 9 exibe o fluxo de caixa somente pela mudança de concepção do sistema de abastecimento.

Tabela 9-Fluxo de Caixa do projeto para com a redução do consumo energético

<b>Fluxo de Caixa do Projeto para Redução do Consumo Energético</b>				
<b>Ano</b>	<b>Investimento</b>	<b>Benefício</b>	<b>Fluxo Anual</b>	<b>Fluxo Acumulado</b>
1	-R\$ 549.558	R\$ -	-R\$ 549.558	-R\$ 549.558
2	-R\$ 40.000	R\$ 5.581,46	-R\$ 34.419	-R\$ 583.977
3	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 577.279
4	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 570.581
5	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 563.883
6	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 557.186
7	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 550.488
8	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 543.790
9	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 537.092
10	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 530.395
11	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 523.697
12	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 516.999
13	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 510.301
14	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 503.604
15	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 496.906
16	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 490.208
17	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 483.510
18	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 476.813
19	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 470.115
20	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 463.417
21	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 456.719
22	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 450.022
23	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 443.324
24	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 436.626
25	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 429.928
26	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 423.231
27	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 416.533
28	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 409.835
29	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 403.137
30	R\$ 0	R\$ 6.697,75	R\$ 6.698	-R\$ 396.440

Fonte: Elaborada pelo autor

A Tabela 10 exibe o fluxo de caixa considerando a redução das perdas físicas no sistema de abastecimento proposto.

Tabela 10-Fluxo de Caixa do Projeto para Redução das Perdas Físicas

<b>Fluxo de Caixa do Projeto para Redução das Perdas Físicas</b>				
<b>Ano</b>	<b>Investimento</b>	<b>Benefício</b>	<b>Fluxo Anual</b>	<b>Fluxo Acumulado</b>
1	-R\$ 549.558	R\$ -	-R\$ 549.558	-R\$ 549.558
2	-R\$ 40.000	R\$78.921,38	R\$ 38.921	-R\$ 510.637
3	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	-R\$ 415.931
4	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	-R\$ 321.225
5	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	-R\$ 226.520
6	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	-R\$ 131.814
7	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	-R\$ 37.108
8	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 57.597
9	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 152.303
10	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 247.009
11	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 341.714
12	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 436.420
13	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 531.126
14	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 625.831
15	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 720.537
16	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 815.243
17	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 909.948
18	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.004.654
19	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.099.360
20	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.194.065
21	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.288.771
22	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.383.477
23	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.478.182
24	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.572.888
25	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.667.594
26	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.762.299
27	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.857.005
28	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 1.951.710
29	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 2.046.416
30	R\$ 0	R\$94.705,66	R\$ 94.706	R\$ 2.141.122

Fonte: Elaborada pelo autor

Agrupando-se os fluxos de caixa - redução de consumo de energia elétrica e redução das perdas físicas, tem-se o resultado apresentado na Tabela 11.

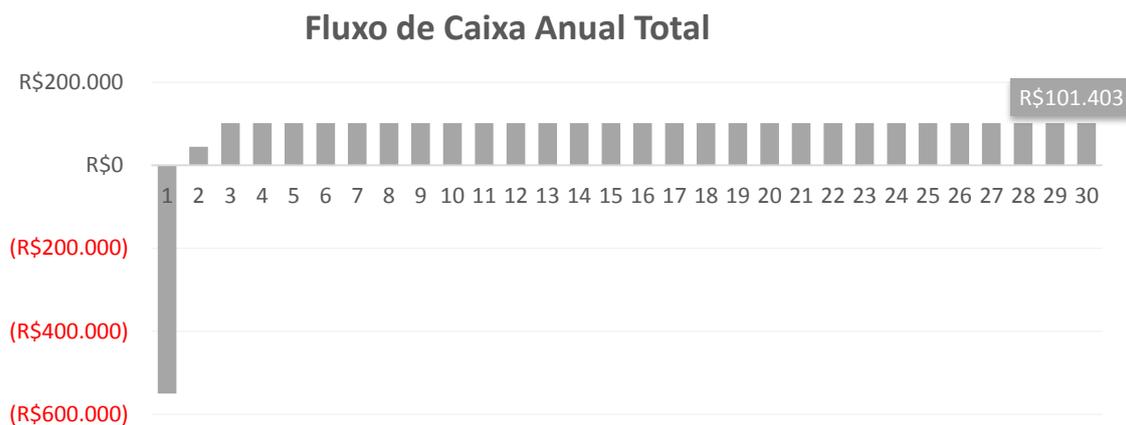
Tabela 11-Fluxo de caixa total do projeto

<b>Fluxo de Caixa Integrado</b>				
<b>Ano</b>	<b>Investimento</b>	<b>Benefício</b>	<b>Fluxo Anual</b>	<b>Fluxo Acumulado</b>
1	-R\$ 549.558	R\$ 0	-R\$ 549.558	-R\$ 549.558
2	-R\$ 40.000	R\$ 59.815	R\$ 19.815	-R\$ 529.743
3	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	-R\$ 457.965
4	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	-R\$ 386.187
5	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	-R\$ 314.409
6	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	-R\$ 242.631
7	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	-R\$ 170.853
8	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	-R\$ 99.075
9	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	-R\$ 27.297
10	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 44.481
11	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 116.259
12	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 188.038
13	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 259.816
14	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 331.594
15	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 403.372
16	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 475.150
17	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 546.928
18	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 618.706
19	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 690.484
20	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 762.262
21	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 834.040
22	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 905.818
23	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 977.596
24	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 1.049.374
25	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 1.121.152
26	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 1.192.930
27	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 1.264.708
28	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 1.336.486
29	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 1.408.264
30	R\$ 0	R\$ 71.778	R\$ 71.778	R\$ 1.480.042

Fonte: Elaborada pelo autor

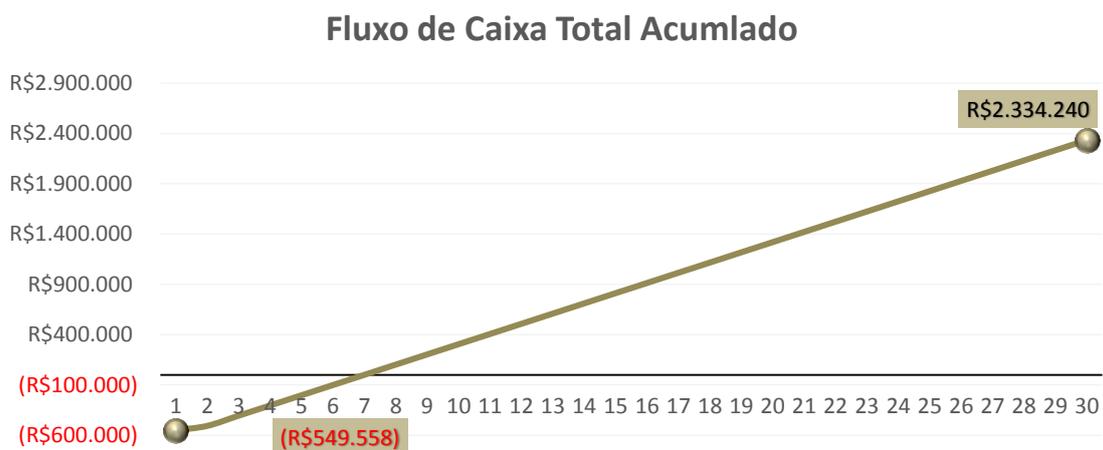
O Gráfico 4 e o Gráfico 5 mostram os fluxos de caixa mensais e acumulados para o projeto.

Gráfico 4-Fluxo de Caixa Mensal Total para a concepção proposta



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 5-Fluxo de Caixa Integrado Acumulado para a concepção proposta



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a tomada de decisão a respeito implementar ou não uma determinada alternativa ou para comparar alternativas para um projeto, são utilizadas ferramentas de engenharia financeira.

A seguir, serão abordados diferentes métodos de avaliação econômica, de forma a propiciar a escolha da ação mais atrativa do ponto de vista econômico e operacional. Os benefícios operacionais e econômicos serão analisados em separado e agrupados.

#### 4.2.3 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

O método do valor presente líquido (VPL) consiste no somatório de todas as entradas (receitas) e saídas (despesas) de um fluxo de caixa na data inicial. Este método também é chamado de valor de desconto ou valor descontado, motivo pelo qual a taxa mínima de atratividade, ou taxa de juros envolvidos recebe o nome de taxa de desconto. (GOMES,2009)

O valor presente líquido é determinado conforme a equação (31).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (31)$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido de um fluxo de caixa alternativo;

t = Número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e despesas do fluxo de caixa;

n = Número total de períodos de juros;

i = Taxa de desconto, ou taxa mínima de atratividade;

$F_t$  = Cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem no período t.

Quando se compara duas alternativas mutuamente excludentes, o melhor investimento é aquele que apresenta o maior valor presente líquido. Entretanto, para a análise de viabilidade de um projeto, comparando-se a alternativa proposta e o cenário atual, aquela será atrativa caso o Valor Presente Líquido seja positivo para o resultado do fluxo de caixa entre o valor investido e o benefício.

O Valor Presente Líquido pode ser obtido por planilha eletrônica utilizando a sintaxe da fórmula abaixo, para “n” períodos de fluxo de caixa:

$$= \text{VPL} (\text{taxa}; \text{fluxo período 1}; [\text{fluxo período 2}]; \dots; [\text{fluxo período n}])$$

Para este estudo, é adequado utilizar a Taxa SELIC (Taxa Básica de Juros definida pelo Banco Central do Brasil) como Taxa de Atratividade. Para o mês de julho/2017 o Banco Central traçou o patamar de 10,15 % como valor médio para o mês.

Adotando-se a sintaxe definida acima, determinando-se o VPL para os benefícios operacionais (redução de consumo de energia elétrica):

$$\text{VPL} = (10,15\%; -\text{R\$ } 549.558 ; -\text{R\$ } 583.977; \dots ; \text{R\$ } -396.440)$$

$$\text{VPL}_{\text{operacional}} = -\text{R\$ } 476.528,83$$

O VPL para o benefício econômico é dado por:

$$\text{VPL} = (10,15\% ; -\text{R\$ } 549.558 ; -\text{R\$ } 510.637; \dots ; \text{R\$ } 2.141.122)$$

$$\text{VPL}_{\text{econômico}} = \text{R\$ } 250.856,37$$

O VPL para do resultado agrupado do projeto é dado por:

$$\text{VPL} = (10,15\% ; -\text{R\$ } 549.558 ; -\text{R\$ } 505.055; \dots ; \text{R\$ } 2.334.240)$$

$$\text{VPL}_{\text{agrupado}} = \text{R\$ } 306.213,26$$

#### **4.2.4 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)**

A taxa interna de retorno é a taxa de juros que torna nulo o valor presente líquido do fluxo de caixa de um determinado projeto. Portanto, utiliza-se a equação a seguir para a determinação da Taxa Interna de Retorno (GOMES,2009)

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (32)$$

Onde:

n = Número total de períodos de juros;

i = Taxa de desconto, ou taxa mínima de atratividade;

$F_t$  = Cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem no período t.

As alternativas possíveis de análise, são aquelas cuja Taxa Interna de Retorno (TIR) é maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Isto significa que este método possibilita a escolha preliminar entre um conjunto de alternativas, sendo selecionadas apenas aquelas que atendem ao critério:  $TIR > TMA$ . No entanto, o método não se resume apenas a essa aplicação, sendo um dos mais utilizados na avaliação de alternativas econômicas. A TMA representa a taxa a partir da qual o investidor considera que terá lucro (GOMES,2009)

A Taxa Interna de Retorno também pode ser obtida por planilha eletrônica utilizando a sintaxe da fórmula abaixo, para “n” períodos de fluxo de caixa:

$$= \text{TIR} (\text{fluxo período 1}; [\text{fluxo período 2}]; \dots; [\text{fluxo período n}])$$

Para este estudo, é interessante que a TIR seja superior à Taxa SELIC (Taxa Mínima de Atratividade).

Adotando-se a sintaxe definida acima, determinando-se a TIR para os benefícios operacionais (redução de consumo de energia elétrica):

$$\text{TIR} = (-R\$ 549.558; -R\$ 583.977; \dots; R\$ -396.440)$$

$$\text{TIR}_{\text{operacional}} = -6,28\%$$

A TIR para o benefício econômico é dada por:

$$\text{TIR} = (-R\$ 549.558; -R\$ 510.637; \dots; R\$ 2.141.122)$$

$$\text{TIR}_{\text{econômica}} = 15,61\%$$

A TIR para do resultado agrupado do projeto é dada por:

$$TIR = (-R\$ 549.558 ; -R\$ 505.055; \dots ; R\$ 2.334.240)$$

$$TIR_{agrupada} = 16,76\%$$

#### 4.2.5 Período de Retorno do Investimento

Também conhecido como *Payback* Simples, o Período de Retorno do Investimento é um dos métodos de avaliação de investimentos mais utilizados entre os administradores de empresas. Ele consiste na apuração do tempo necessário para que o somatório dos benefícios econômicos de caixa se iguale ao somatório dos dispêndios de caixa. Este método não considera os fluxos de caixa que ocorrem durante a vida econômica do investimento após o período de *Payback* e, portanto, não permite chegar à conclusão de qual é o investimento que tem o melhor retorno entre os dois existentes. Mas pode ser utilizado como um limite para determinados tipos de projetos, combinado com outros métodos (GOMES,2009)

O *Payback* Simples (PBS), é a relação entre o total do investimento (G) e o lucro anual médio (L) gerado pelo projeto, conforme equação 3.

$$PBS = \frac{G}{L} \quad (33)$$

Equação 1 - Determinação do Período de Retorno Simples - Payback Simples

Aplicando-se, separadamente aos resultados obtidos, tem-se:

$$PBS_{operacional} = \frac{589.558,00}{6.437,28} = 91,6 \text{ anos}$$

$$PBS_{econômico} = \frac{589.558,00}{91.022,66} = 6,5 \text{ anos}$$

$$PBS_{agrupado} = \frac{589.558,00}{97.459,94} = 6,0 \text{ anos}$$

#### 4.2.6 Relação entre a redução da perda e o consumo de energia elétrica

Até o momento, abordou-se a redução do consumo de energia elétrica como consequência direta da mudança da concepção do abastecimento deste sistema, observado a mesma população pode ser abastecida reduzindo-se em 33.65% o consumo de energia elétrica. Há uma relação direta entre a mudança de concepção da adução simplesmente e a redução do consumo energético.

Deve-se considerar que dentre os custos de exploração do serviço de abastecimento de água, a energia elétrica corresponde a 15,6% do custo total, segundo SNIS (2017).

Logo, há ainda uma relação direta entre o volume vazado por conta de um sistema de concepção ineficiente e o consumo energético ocasionado por esta ineficiência. De outra forma, pode-se dizer que à medida que o volume vazado reduz menos energia elétrica será demanda para “alimentar” estes vazamentos.

Aplicando-se sobre o custo unitário de produção definido por SNIS (2017), é possível estimar que:

Se o Benefício Econômico (redução do custo de produção em virtude da redução das perdas) é de R\$ 91.022,66 até o final de plano, estima-se que 15,6% desta redução é atribuída à energia elétrica, ou seja:

$$\text{Redução do Custo Total de Produção} = \text{R\$ } 91.022,66$$

$$\text{Redução do Custo de Produção Atribuído à Energia Elétrica} = 15,6\% \times 91.022,66 = \text{R\$ } 14.199,53$$

Os demais custos de produção, relativos a mão-de-obra, produtos químicos, etc. totalizam, portanto, R\$ 76.823,13.

O fluxo de caixa total atribuído à redução de energia elétrica, somando-se a redução por mudança de concepção ao benefício obtido pela redução do volume perdido é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12-Fluxo de Caixa do Projeto com o total de redução total do consumo energético

<b>Fluxo de Caixa do Projeto com a Redução Total do Consumo Energético</b>				
<b>Ano</b>	<b>Investimento</b>	<b>Benefício</b>	<b>Fluxo Anual</b>	<b>Fluxo Acumulado</b>
1	-R\$ 549.558	R\$ -	-R\$ 549.558	-R\$ 549.558
2	-R\$ 40.000	R\$17.893,19	-R\$ 22.107	-R\$ 571.665
3	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 550.193
4	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 528.721
5	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 507.249
6	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 485.777
7	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 464.306
8	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 442.834
9	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 421.362
10	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 399.890
11	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 378.418
12	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 356.946
13	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 335.475
14	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 314.003
15	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 292.531
16	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 271.059
17	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 249.587
18	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 228.115
19	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 206.644
20	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 185.172
21	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 163.700
22	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 142.228
23	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 120.756
24	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 99.284
25	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 77.813
26	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 56.341
27	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 34.869
28	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	-R\$ 13.397
29	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	R\$ 8.075
30	R\$ 0	R\$21.471,83	R\$ 21.472	R\$ 29.547

Fonte: Elaborada pelo autor

A análise econômica da que a redução total de energia total fornece os seguintes dados:

Taxa de Atratividade	10,15%
Investimento	R\$ 589.558,00
Benefício Total	R\$ 20.636,82
PBS	28,6 anos
VPL	-R\$ 354.421,06
TIR	0,33%

E para os demais custos correlatos à exploração dos serviços (excluída a participação da energia elétrica):

Taxa de Atratividade	10,15%
Investimento	R\$ 589.558,00
Benefício Total	R\$ 70.385,84
PBS	8,4 anos
VPL	R\$ 73.391,71
TIR	11,80%

## 5 CONCLUSÕES

Verifica-se neste estudo que os custos de implantação de sistemas eficientes operacionalmente e energeticamente são muito elevados e inviáveis para a grande maioria dos operadores brasileiros. Ademais, os gestores responsáveis pelas operadoras dos sistemas públicos, na maioria das vezes agentes públicos nomeados pela esfera municipal ou estadual, por possuírem estimativa de até 08 anos, não admitem bancar investimentos com retorno superior ao seu próprio ciclo de governabilidade. Logo, a eficiência a longo prazo é negligenciada em detrimento de obras de curto prazo e valor reduzido. Fato é também, que a escassez de recursos disponíveis em caixa para os operadores e a burocracia envolvida na concessão de financiamento para investimentos impõem ao operador apenas a alocação de recursos pontuais provenientes das receitas de exploração dos serviços ou de outras fontes próprias. E, não menos importante, é necessidade de um marco regulatório para saneamento básico da mesma forma que foi implantado para o setor energético.

Em sistemas públicos de abastecimento de água, deve-se evitar o abastecimento em marcha pois esta condição fadiga as instalações por submeter o sistema a pressurização constante. É conveniente, quando possível, aproveitar a topografia local para reduzir a demanda energética para impulsionar conjuntos pressurizadores. Permitir ao sistema pressurizador a redução do número de horas trabalhadas e operar em faixas mais distantes de sua capacidade máxima pode prolongar sua vida útil e reduzir os custos com manutenção e energia elétrica.

O objetivo geral deste estudo foi alcançado ao se apresentar uma alternativa de abastecimento a partir de um reservatório elevado na condição de montante, extinguindo o abastecimento em marcha por uma estação pressurizadora e reduzindo o consumo de energia elétrica e as perdas de água neste sistema de abastecimento. Foram apresentadas duas oportunidades de eficiência operacional. A primeira é a redução direta do consumo de energia elétrica substituindo o sistema pressurizador atual, que opera ininterruptamente, por um sistema clássico com reservatório elevado, que é demandado por uma estação elevatória com consumo energético 33,65% inferior. A segunda é a redução do volume de perdas de água neste sistema, que possui um custo unitário de exploração e apresenta implicitamente, como uma de suas parcelas variáveis o custo com energia elétrica, a saber que, quanto maior o número de vazamentos e o volume perdido em cada um deles, maior será a demanda de energia elétrica para abastecer o usuário final.

O sucesso na redução de energia elétrica no cenário proposto, abastecendo por reservatório elevado, está na redução do tempo de operação e da potência do conjunto elevatório. E, com a redução do índice de perdas, o fator de excelência está na redução das pressões estáticas e dinâmicas, trazendo os patamares mínimos e máximos para mais perto da média, obedecendo as condições de qualidade, regularidade e continuidade.

A análise dos resultados mostra que a concepção proposta é viável economicamente. Quanto ao Valor Presente Líquido do projeto, obteve-se valor positivo, da ordem de R\$ 306.213,26. A Taxa Interna de Retorno do projeto foi estimada em 16,76%, superior à taxa básica de juros (SELIC). O *Payback* Simples foi estimado do projeto é de seis anos, inferior por exemplo, à vida útil média de motores elétricos destinados ao abastecimento de água e ao tempo de ciclo diretivo dos operadores, como citato anteriormente.

Os benefícios alcançados foram analisados separadamente para definição de prioridades, definindo-se como prioritários os que conduzem a maiores resultados operacionais e econômicos. A maior redução de consumo energético é alcançada pela redução da perda, logo, o combate às perdas deve ser priorizado, tanto alterando-se a concepção do sistema quanto com medidas operacionais para quaisquer formatos de abastecimento. A oportunidade de redução está mais associada à ineficiência do operador (pelo índice elevado de perdas) e menos à concepção dos sistemas em si. Outra alternativa apresentada neste estudo como medida de eficiência energética é a adoção de modelos matemáticos permitem a formulação de vários cenários. Os modelos permitem a simulação das alternativas como forma complementar dos estudos de viabilidade e auxiliam na tomada de decisões para projetos de curto, médio e longo prazo.

Há oportunidade de estudos futuros sobre o uso motores de alto rendimento, interligados a dispositivos de modulação de velocidade (inversores de frequência) e dispositivos capazes de medir vazões e pressões instantâneas em pontos de controle para identificação de desvios no comportamento das redes de abastecimento que impactam no consumo energético do sistema.

## REFERÊNCIAS

ABES. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA. **Perdas em um Sistema de Abastecimento de Água: Diagnóstico, Potencial de Ganhos com sua Redução e Propostas de Medidas para o Efetivo Combate.** São Paulo, 2015. 45p.

ANEEL. **Indicadores de continuidade.** Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/indicadores>>. Acesso em: 04 jul. 017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211.** Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro, 2002. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214.** Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1992. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215.** Projeto de Adutora de Água Tratada para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1991. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12217.** Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1994. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218.** Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1994. 4p.

AZEVEDO NETO, J. M., Fernandez, M. F., & Ito, A. E. **Manual de Hidráulica.** 8. ed. São Paulo: Blucher, 1998.

BARRETO, G..C. **Avaliação da Operação e Estimativa das Perdas de Água e de Energia Elétrica no 3º Setor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém.** 2006. 151 p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil) -Universidade Federal do Pará. Belém, 2006

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água.** Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2009.

JUNTOS PELA ÁGUA. **Em busca de eficiência energética no tratamento de água esgoto.** São Paulo, 2017. Disponível em: <

<https://www.juntospelaagua.com.br/2016/12/22/eficiencia-energetica-saneamento/> >. Acesso em: 03 jul. 2017.

MACINTYRE, A.J. **Manual de Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 1.ed. São Paulo: LTC, 2012.

MORAIS, D. C. **Priorização de Áreas de Controle de Perdas em Redes de Distribuição de Água**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2010

MUNDOGEO. **Como reduzir o consumo de excessivo de energia elétrica nas empresas de saneamento**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2010/08/05/como-reduzir-o-consumo-excessivo-de-energia-eletrica-nas-empresas-de-saneamento/>>. Acesso em: 02 jul. 2017.

NETO, M. d. **Medidas de Eficiência Energética em Serviços de Distribuição de Água e Saneamento**. 2008. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2008.

PINTO, T. V. **Modelação e Calibração de um Sistema de Abastecimento de Água**. 2010. 64 p. Monografia (Graduação) – Faculdade de Engenharia da Universidade Federal do Porto, Porto, 2010.

PORTO, R. d. . **Hidráulica Básica**. 3. ed. São Carlos: EESC-USP, 2004.

PROCEL. Procel Info. **Abastecimento de Água**: informação para eficiência hidroenergética. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={2BFFB9EB-68BE-442A-B179-F519C396E0DF}>>. Acesso em: 03 jul. 2017

SNIS.SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 4. ed .São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006

## ANEXO A - COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

### I. Adutoras

Às canalizações principais destinadas a conduzir água entre as unidades de um sistema público de abastecimento que antecedem a rede de distribuição dá-se o nome de adutoras. Elas interligam a captação e tomada de água à estação de tratamento de água, e esta aos reservatórios de um mesmo sistema (AZEVEDO NETO, 1998).

No caso de existirem derivações de uma adutora destinadas a conduzir água até outros pontos do sistema, constituindo canalizações secundárias, as mesmas receberão a denominação de subadutoras. Também são denominadas subadutoras as canalizações que conduzem água de um reservatório para outro.

As adutoras e subadutoras são unidades principais de um sistema de abastecimento. Na fase de projeto, deve-se tomar o cuidado de analisar criteriosamente o traçado em planta e perfil, a fim de verificar a correta colocação de órgãos acessórios (válvulas de seccionamento, descargas e ventosas), assim como ancoragem nos pontos onde ocorrem esforços que possam causar o deslocamento das peças (curvas e têes) (AZEVEDO NETO, 1998)

Em função da natureza da água conduzida, as adutoras e subadutoras podem ser denominadas:

- a. De água bruta;
- b. De água tratada.

Já levando em consideração à energia utilizada para movimentação da água, as adutoras e subadutoras podem ser:

- a. Por gravidade
- b. Por recalque
- c. Mistas

Os materiais comumente empregados nas tubulações de adutoras e subadutoras podem ser:

- a. Metálicos (aço sem costura, aço soldado, ferro fundido dúctil)
- b. Plásticos (Tubos Plásticos de fibra de vidro, polietileno de alta densidade e polipropileno)
- c. Compostos inorgânicos (concreto armado ou concreto simples)

De acordo com a NBR 12215, o caminhamento da adutora deve ser definido com base em critérios técnicos e econômicos, comparando-se caminhamentos alternativos, concebidos a partir de plantas topográficas, e de inspeções de campo, com eventuais sondagens de reconhecimento do terreno.

O caminhamento da adutora deve evitar regiões pantanosas, áreas submersas ou submetidas a trabalhos de dragagem, áreas com declividade elevada e qualquer outro obstáculo que comprometa os trabalhos de sua implantação, operação e manutenção (NBR 12.215).

A adutora destinada a abastecimento de água deve ser totalmente fechada, ter paredes impermeáveis e ser protegida contra possível contaminação por agentes externos. (NBR 12.215).

## **II. Estação de tratamento**

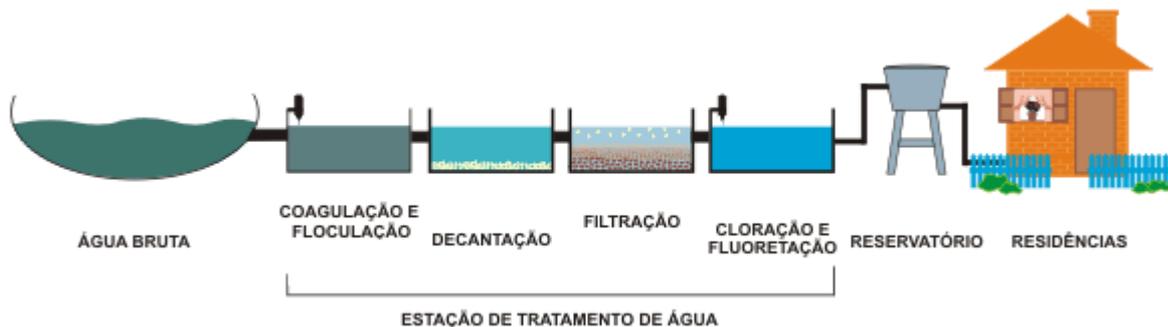
Um sistema público de abastecimento de água deverá fornecer à comunidade água potável, isto é, água de boa qualidade para a alimentação humana e outros usos, dos pontos de vista físico, químico, biológico e bacteriológico. Para tal, a água captada dos mananciais deve passar para o tratamento adequado antes de ser disponibilizada para o consumo humano, em unidades denominadas Estações de Tratamento. A análise frequente de parâmetros físico-químicos da água bruta (sem tratamento) e durante o processo, determinarão a necessidade ou não de submeter essa água a processos corretivos, a fim de garantir a boa qualidade e a segurança higiênica. (AZEVEDO NETO, 1998)

Os processos de tratamento são determinados por padrões de potabilidade estabelecidos nacional e internacionalmente. O tratamento da água é feito para atender as finalidades:

- a. Higiênicas: remoção de bactérias, eliminação ou redução de substâncias tóxicas ou nocivas, redução do excesso de impurezas, redução de teores elevados de compostos orgânicos, algas, protozoários e outros microrganismos;
- b. Estéticas: correção da cor, turbidez, odor e sabor;
- c. Econômicas: redução da corrosividade, dureza, cor, turbidez, ferro, manganês, odor e sabor.

Os principais processos de tratamento de água, em um sistema convencional, são ilustrados na Figura 13.

Figura 13-Etapas de um processo convencional de tratamento de água



Fonte: SERVIÇO AUTÔNOMO DE SANEAMENTO DE PELOTAS <sup>9</sup>

- Peneiramento Fino: processo, na captação de água bruta, para retenção de sólidos finos não coloidais em suspensão, por exemplo, algas;
- Pré Cloração: na entrada da água no sistema, por conduto fechado ou Calha Parshall, é adicionado sulfato de alumínio, cal hidratada e cloro para destruir os materiais oxidáveis (orgânicos ou inorgânicos);
- Floculação: etapa que visa aglomerar impurezas que se encontram em suspensões finas, em estado coloidal, em partículas sólidas que possam ser

<sup>9</sup> Disponível em: < <http://www.pelotas.rs.gov.br/sanep/tratamento/>>. Acesso em: 06 ago. 2017.

removidas por sedimentação ou filtração. As partículas agregam-se, constituindo formações gelatinosas e inconsistentes, denominadas flocos;

- Decantação: nesta etapa ocorre a separação de partículas sólidas suspensas na água. Essas partículas, sendo mais pesadas que a água, tenderão a cair para o fundo, verificando-se então a sedimentação. A água, livre dessas partículas, é removida por vertedouros superficiais, o que constitui a decantação;
- Filtração: processo que faz a água atravessar camadas porosas capazes de reter impurezas. O material poroso comumente utilizado como meio filtrante é a areia, sendo que outros materiais também têm sido utilizados com sucesso, como o antracito e a granada;
- Desinfecção: processo pelo qual o agente desinfectante atua na destruição ou inativação dos microrganismos patogênicos, algas e bactérias de vida livre e na oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos presentes. Os agentes desinfectantes normalmente utilizados são o cloro (gasoso ou líquido) e o hipoclorito de sódio (encontrado comercialmente sob a forma de solução);
- Fluoretação: processo de adição de flúor para prevenção de cárie dentária;
- Tratamento por contato: etapa realizada no reservatório, consiste em promover o contato da água com um leito material predeterminado a fim de reter substâncias indesejáveis presentes na água. Em sistemas públicos de abastecimento podem ser leitos de coque (pedra ou pedrisco para remoção de ferro), carvão ativado (para remoção do odor e sabor) ou leitos de areia (para retenção de impurezas).

Vencidas estas etapas, a água tratada é direcionada para os centros de reservação e distribuição, apresentados no tópico a seguir.

### **III. Reservatórios**

A reservação é a unidade do sistema de abastecimento de água responsável pelo equilíbrio entre a demanda e a oferta, entendido como tal o consumo dos clientes, que é função dos hábitos de consumo, das condições socioeconômicas da população abastecida e das condições meteorológicas, e a capacidade de produção da instalação (TSUTIYA, 2006)

As unidades de reservação de água são tradicionalmente concebidas e operadas tendo alguns objetivos e finalidades principais, tais como:

- A regularização entre as vazões de adução e de distribuição, para acumular água durante as horas em que a demanda é inferior à média e fornecer vazões complementares quando a vazão de demanda for superior à média;
- O condicionamento das pressões na rede de distribuição, pois a localização dos reservatórios pode influir nas condições de pressão da rede, principalmente, reduzindo as variações de pressões;
- Reservar água para combate a incêndios e outras situações de emergenciais;
- Garantir o abastecimento por umas horas, em casos de interrupção no funcionamento normal por falta de energia elétrica ou devido atividades de manutenção.

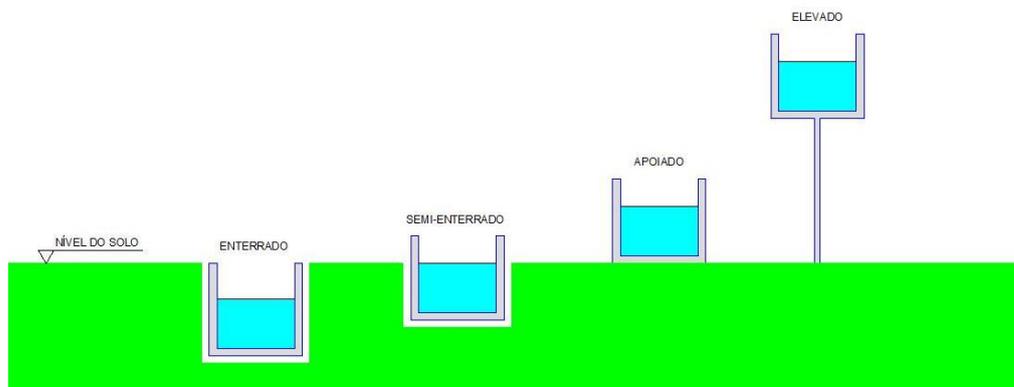
➤ *Classificação dos Reservatórios*

Segundo Barreto (2006) os reservatórios podem ser classificados quanto a sua posição no solo e/ou a sua localização no sistema de abastecimento de água, os quais serão apresentados a seguir:

- Posição do Reservatório em relação ao solo:

Em relação à posição no solo, os reservatórios podem ser do tipo elevado, apoiado, enterrado e semi-enterrado como mostrado na Figura 14.

Figura 14-Classificação dos reservatórios segundo sua posição



Fonte: Adaptado de TSUTIYA, 2006, P.344

Os reservatórios elevados são aqueles que apresentam laje de fundo em cota superior à do terreno, geralmente de menores dimensões e são utilizados em área de maior cota topográfica, com o objetivo de garantir pressões necessárias à distribuição de água na rede do sistema. (BARRETO, 2006)

Em cidades mais planas, o reservatório elevado normalmente é construído próximo à unidade de reservação enterrada ou apoiada, com o objetivo de tornar mais eficiente a operação, reduzindo o desperdício com energia elétrica, pois o conjunto elevatório é dimensionado para menor altura manométrica, pela redução do desnível geométrico e do comprimento da tubulação de recalque.

Os reservatórios são classificados como semi-enterrados, quando pelo menos um terço de sua altura está abaixo do nível do terreno. Similarmente aos reservatórios enterrados, esse tipo de reservatório armazena grande parte do volume de água para distribuição, sendo que apresentam maior facilidade em sua construção. (BARRETO, 2006)

Os reservatórios apoiados são aqueles construídos a partir do nível do solo, e cuja cota do fundo é coincidente com a cota do terreno. De acordo com as características da região fica à critério do responsável pelo planejamento e execução do projeto a utilização de reservatórios desse tipo.

- Posição do reservatório no sistema de abastecimento de água

Quanto à localização no sistema de abastecimento de água, os reservatórios podem ser classificados em reservatórios de jusante, montante e de posição intermediária, o que depende das condições topográficas da área e da rede de distribuição de água atendida pelo reservatório.

Os reservatórios de montante apresentam a função de fornecer água continuamente à rede de distribuição, sendo os mais utilizados nos sistemas de abastecimento de água do país. Esses reservatórios geralmente são localizados próximo ao centro de consumo, para garantir pressão em pontos de extremidades da rede (BARRETO, 2006)

De acordo com Tsutiya (2006), os reservatórios de jusante são aqueles utilizados quando há necessidade de minimizar as oscilações de pressão em áreas de menor cota. O mesmo autor ainda destaca que esses reservatórios também são chamados de reservatórios de sobras, porque recebem água durante as horas de menor consumo, apresentando a peculiaridade de ter um único barrilete servindo de entrada e de saída de água.

#### ➤ *Volume de Reservação*

Segundo Barreto (2006) a reservação corresponde ao volume de água resultante da soma dos volumes úteis de todos os reservatórios de uma determinada zona de pressão ou do sistema de abastecimento de água como um todo. O volume útil do reservatório corresponde ao volume de água compreendido entre as lâminas líquidas mínima e máxima do reservatório.

A NBR 12217 recomenda a adoção de fator de segurança de 1,2 aos volumes calculados ou pelo “método da curva de consumo” ou pelo “método do consumo assimilado uma curva senoidal”. Na impossibilidade de utilização de um desses métodos, a mesma norma sugere a reservação equivalente a 1/3 do volume correspondente a demanda máxima do dia de maior consumo.

Esses dois procedimentos de determinação da reservação referem-se ao volume total a ser reservado no sistema de abastecimento de água. Para a determinação do volume do reservatório apoiado e do reservatório elevado, a NBR 12217 recomenda a adoção de 2/3 e de 1/3 da reservação total, respectivamente.

➤ *Dimensões Construtivas*

- Formas Mais Econômicas:

A forma mais econômica é a circular por gastar menos material de construção. Como alternativa a construção circular, a de mais fácil execução é a retangular. Em construções multicelulares geminadas a retangular é a mais frequente. Sua forma mais econômica dependerá das relações largura/comprimento.

- Dimensões:

De um modo geral os reservatórios têm altura útil de 3 a 6 metros, de modo que não resultem em ocupação de grandes áreas horizontais, nem grandes variações de pressão.

- Estrutura de Apoio:

A não ser em reservatórios de aço, a laje de apoio normalmente é em concreto armado. Quando o terreno é rochoso, estável e sem fendas, pode-se optar por concreto simples ou ciclópico. O fundo do reservatório deve ter uma declividade em direção ao ponto de esgotamento em torno de 0,5% a 1,0%, para facilitar operações de lavagens.

- Estrutura de Elevação:

Na maioria das vezes é em concreto armado, porém muito frequentemente os enterrados e os semi-apoiados são construídos em alvenaria de pedras ou tijolos com cintamentos ou envolvimentos com malhas de ferro ou aço, enquanto que os elevados de pequenas dimensões (menos de 100 m<sup>3</sup>) em aço. Reservatórios de grandes dimensões (acima de 1000 m<sup>3</sup>) podem ser economicamente mais viáveis em concreto protendido, principalmente os de secção circular. Dependendo dos cálculos estruturais, as paredes podem ter secção transversal retangular ou trapezoidal.

- Cobertura

A cobertura deve ser completamente impermeável como prevenção contra contaminações por infiltrações de águas de chuva, bem como posicionada de tal forma que não permita a penetração dos raios solares os quais poderiam favorecer o desenvolvimento de algas na água armazenada.

#### **IV. Estação elevatória**

Denomina-se unidade de elevação ou estação elevatória àquela instalação que objetiva transportar certa quantidade de água de um ponto para outro normalmente de cota mais elevada, ou simplesmente transferir a água energia suficiente para garantir o escoamento desejado no duto (TSUTIYA, 2006)

A unidade de elevação é composta por estrutura física, equipamentos eletromecânicos e tubulações e órgãos acessórios.

➤ *Estrutura Física de Estações Elevatórias*

A estrutura física de unidade de uma estação elevatória é composta por casa de bombas ou salão de máquinas e o poço de sucção. Na casa das bombas são instalados os equipamentos eletromecânicos, hidráulicos e os de controle. Quanto ao poço de sucção, de acordo com a situação, há dois casos a considerar em relação ao nível de água em relação a entrada da bomba: poço com nível de água abaixo da bomba e com o nível de água acima das bombas, neste caso, a bomba trabalha afogada (AZEVEDO NETO, 1998)

➤ *Equipamentos Eletromecânicos de Estações Elevatórias*

As bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que fornecem energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro. Normalmente recebem energia mecânica e a transformam em energia de pressão e cinética ou em ambas (AZEVEDO NETO, 1998)

Segundo Macintyre (2012) as bombas podem ser classificadas em quatro classes de bombas: centrífugas, rotativas, de embolo (ou pistão), e de poço profundo (tipo turbina).

Atualmente, as bombas rotodinâmicas, mas conhecidas como bombas centrífugas, são as mais utilizadas em sistemas públicos de abastecimento de água, devido o advento da eletricidade e do motor elétrico (MACINTYRE, 2012).

As bombas centrífugas são bombas hidráulicas que têm como princípio de funcionamento a força centrífuga através de palhetas e impulsores que giram no interior de uma carcaça estanque, jogando líquido do centro para a periferia do conjunto girante (AZEVEDO NETO, 1998)

As bombas para recalque de água ou de esgotos sanitários, normalmente, são acionadas por motores movidos à eletricidade. Não é raro, porém, o emprego de motores alimentados por outras fontes de energia, como, por exemplo, motores de combustão interna, para que haja garantia de continuidade de funcionamento nos períodos em que ocorram falhas no fornecimento de energia elétrica.

Os motores elétricos comerciais são classificados como tipo de corrente contínua ou de corrente alternada. Os de contínua são pouco empregados tendo em vista que a energia elétrica normalmente é fornecida em corrente alternada, necessitando estes, portanto, de dispositivo de conversão de corrente de alternada para contínua, o que encarece o equipamento, além do custo do motor ser mais alto que o de corrente alternada. Estes motivos tornam seu uso restrito a instalações especiais, como para acionar equipamentos que utilizam tração elétrica, guindastes, compressores etc.

Para propulsão de bombas hidráulicas são utilizados motores de alto rendimento. Os motores de alto rendimento são aqueles projetados para, fornecendo a mesma potência útil (na ponta do eixo) que outros tipos de motores, consumirem menos energia elétrica da rede (MACINTYRE, 2012).

➤ *Tubulações e órgãos acessórios de Estações Elevatórias*

As tubulações são geralmente de ferro fundido com juntas de flange para facilitar o reparo em caso de necessidade.

Os principais órgãos acessórios conectados às tubulações de uma estação elevatória são os registros, válvulas de retenção, ventosas, válvulas de pé e os manômetros e vacuômetros.

As válvulas ou registros de fechamento são utilizados para efetuar manobras ou interromper o fluxo de água para execução de reparos, normalmente em estações elevatórias são do tipo de gaveta e dotados de flanges.

➤ *Potência do Conjunto Elevatório*

Bombas são máquinas hidráulicas que tem a função de fornecer energia ao escoamento (PORTO, 2004). Elas são responsáveis por introduzir, como característica de fonte externa, energia suficiente para recompor a carga hidráulica perdida que decai no sentido do escoamento, pelo princípio da conservação da energia, conforme abaixo:

$$H_e \pm e_{m\acute{a}q} = H_s \quad (6)$$

Onde,

$H_e$  = Energia por unidade de peso de fluido na seção de entrada do sistema

$H_s$  = Energia por unidade de peso de fluido na seção de saída do sistema

$e_{m\acute{a}q}$  = Energia fornecida por uma fonte externa

Pela definição de potência total (fornecida ou consumida) como sendo energia total por unidade de tempo, tem-se:

$$Pot = \frac{E_{maq}}{\Delta t} = \frac{e_{maq} \times peso}{\Delta t} = \gamma Q e_{maq} \quad (7)$$

Onde,

$E_{maq}$  = Energia Total Fornecida

$\gamma$  = Peso específico do fluido

Assim, a expressão geral da potência hidráulica de uma máquina é dada por:

$$Pot = \gamma Q (H_s - H_e) \quad (8)$$

Como a transformação de energia no processo não se dá em condições ideais, sem perda de rendimento, a potência fornecida por uma bomba é superior à que o escoamento recebe.

Definindo como altura total de elevação da bomba a diferença de cargas de escoamento entre a saída e a entrada e  $\eta$  o rendimento da transformação, nas condições do escoamento, tem-se:

$$H = H_s - H_e \quad (9)$$

$$Pot = \frac{\gamma Q (H_s - H_e)}{\eta} \quad (10)$$

No caso particular da água, cujo peso específico é  $9,8 \times 10^3 \text{ N/m}^3$ , para Q em  $\text{m}^3/\text{s}$  e H em metros, tem-se:

$$Pot = \frac{9,8 \times Q \times H}{\eta} \text{ (kW)} \quad (11)$$

$$\eta = \eta_{motor} \times \eta_{bomba} \quad (12)$$

Onde,

$\eta$  = rendimento global do conjunto elevatório

$\eta_{motor}$  = rendimento global do conjunto elevatório

$\eta_{bomba}$  = rendimento global do conjunto elevatório

Segundo Azevedo Neto (2006) deve-se admitir, na prática, uma certa folga para os motores elétricos. Segundo aquele, são recomendáveis os seguintes acréscimos:

50% para as bombas até	2HP
30% para as bombas de	2 a 5 HP
20% para as bombas de	5 a 10HP
15% para as bombas de	10 a 20HP
10% para as bombas de mais de	20HP

## V. Linha de recalque

Dá-se o nome de recalque, em hidráulica, à elevação de pressão através de bombeamento de uma determinada vazão, de líquido fluindo numa tubulação para que atinja uma determinada altura topográfica. As linhas de recalque são necessárias quando as condições topográficas foram desfavoráveis, isto é, quando não for possível que as canalizações funcionem como condutos livres.

Segundo PORTO (2004) o custo da unidade de comprimento de uma tubulação depende, basicamente, de seu peso, que é função do diâmetro interno e da espessura da parede, e também de custos indiretos, como transporte,, mão-de-obra, assentamento em valas e etc. O diâmetro interno é uma variável que está relacionada às condições hidráulicas para garantir o transporte e uma certa vazão, enquanto a espessura deve ser fixada em função dos esforços, devido à pressão interna à qual o material está submetido.

No projeto de uma tubulação de recalque, há dois aspectos a serem considerados, o diâmetro da tubulação de recalque e, em consequência da tubulação de sucção, a potência necessária do conjunto motor-bomba. (PORTO, 2004)

Se for adotado um diâmetro relativamente grande, resultarão perdas de carga pequenas e, em consequência, a potência do conjunto elevatório será reduzida. As bombas serão de custo mais baixo, mas o custo da linha de recalque será elevado. Se, ao contrário, for estabelecido um diâmetro relativamente pequeno, resultarão perdas elevadas, exigindo maior potência para as máquinas (AZEVEDO NETO, 1998).

Segundo a NBR 12214, quando o barrilete for executado em aço ou ferro fundido, a velocidade máxima recomendada é de 3,00m/s e a velocidade mínima é de 0,6m/s.

Pela correlação:

$$Q=v \times A ; A=\frac{\pi D^2}{4}$$

Então,

$$V=\frac{Q \times 4}{\pi D^2} \quad (13)$$

Existe um diâmetro conveniente para o qual o custo total das instalações é um mínimo. Admitindo-se que:

- Seja  $p_1$  um preço médio por unidade de potência para o conjunto elevatório, incluindo unidades de reserva, conservação e custeio capitalizado;
- Seja  $p_2$  um preço médio por unidade de comprimento de um conduto de diâmetro unitário, assentado.

O preço do conduto de recalque será:

$$P_2=p_2 \times D \times L \quad (14)$$

Onde,

$P_2$  = Preço da Tubulação de recalque

$D$  = Diâmetro da Tubulação de recalque

$L$  = Comprimento da Linha de Recalque

O custo dos conjuntos elevatórios será:

$$P_1=\frac{\gamma Q H_{\text{man}}}{\eta \eta_m} \times p_1 \quad (15)$$

Onde,

$Q$  = vazão do fluido

$H$  = altura manométrica requerida

$\eta$  = rendimento do conjunto elevatório

A altura manométrica inclui as perdas de carga:

$$H_{\text{man}} = H + \Delta H_r \quad (16)$$

$$\Delta H_r = 0,0827 \frac{fL}{D^5} Q^2 \quad (17)$$

O custo total da instalação dar-se-á pela equação:

$$C = p_2 DL + p_1 \frac{9,8Q \left( H + 0,0827 \frac{fL}{D^5} Q^2 \right)}{\eta \eta_m} \quad (18)$$

Para que o custo seja mínimo,

$$\frac{dC}{dD} = 0$$

$$\frac{dC}{dD} = p_2 L - p_1 \frac{4,05fL}{\eta \eta_m D^6} Q^3 = 0$$

Que leva à relação entre a vazão de recalque e o diâmetro econômico, na forma:

$$D^6 = \frac{4,05fL}{\eta \eta_m D^6} \frac{p_1}{p_2} Q^3$$

De onde, finalmente:

$$D = K \sqrt[6]{Q} \quad (19)$$

Onde,

$D$  = Diâmetro da Tubulação, em metros

$Q$  = Vazão de Recalque, em  $m^3/s$

Esta equação é conhecida como Fórmula de Bresse, na qual a constante K depende, entre outras, dos custos de material, mão de obra, operação e manutenção do sistema etc., não sendo, portanto fixa, variando de local para local e no tempo, principalmente em regimes econômicos inflacionários. Em geral, a constante K assume valores entre 0,7 e 1,3. (PORTO, 2004)

Para Azevedo Neto (1998), no Brasil, tem-se adotado valores de K entre 0,9 e 1,4.

Tratando-se de pequenas instalações, a fórmula de Bresse pode levar a um diâmetro aceitável. Para o caso de grandes instalações, dará uma primeira aproximação, sendo conveniente uma pesquisa econômica em que sejam investigados os diâmetros mais próximos, inferiores e superiores.

Segundo Azevedo Neto (1998) a adoção da fórmula de Bresse equivale à fixação de uma velocidade média a que se determina velocidade econômica.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Se:

$$D = K\sqrt{Q} \rightarrow D^2 = K^2Q$$

Então:

$$v = \frac{4}{\pi K^2} \quad (20)$$

As velocidades nas canalizações de recalque, geralmente, concentram-se entre 0,66 e 2,4m/s. Este limite superior é comumente encontrado nas canalizações em que as bombas funcionam apenas algumas horas por dia.

Segundo Azevedo Neto (1998), para o dimensionamento das linhas de recalque de bombas que funcionam apenas algumas horas por dia, propôs-se a fórmula:

$$D = 1,3X^{1/4}\sqrt{Q} \quad (22)$$

Sendo,

$$X = \frac{\text{número de horas de bombeamento por dia}}{24}$$

Segundo a NBR 12214, nas tubulações de sucção, as velocidades não devem exceder os valores constantes da Tabela 13:

Tabela 13-Velocidades recomendadas na tubulação de sucção

Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)
50	0,70
75	0,80
100	0,90
150	1,00
200	1,10
250	1,20
300	1,40
400	1,50

Fonte: (NBR 12214)

Nas áreas de projetos de transporte de água, como abastecimento urbano, há uma ampla variabilidade da vazão e da altura total de elevação, para ser abrangida pelas possibilidades de uma única bomba. Muitas vezes, como em projetos de abastecimento urbano, a vazão no final do plano, quando a população atingir o limite de projeto, é maior que a vazão no início de plano. Portanto, haverá ao longo dos anos um acréscimo de demanda e seria antieconômico dimensionar a bomba para a situação de vazão máxima. Para estas situações é recomendável a associação de duas ou mais bombas, em série ou em paralelo. A situação mais comum em projetos que envolvam associações de bombas é aquela em que todas as bombas da associação são iguais, o que permite uma curva final do sistema mais estável e que facilita a manutenção (PORTO, 2004).

Em uma associação em série, a entrada da segunda bomba é conectada à saída da primeira bomba, de modo que a mesma vazão passa através de cada bomba, mas as alturas de elevação de cada bomba são somadas para produzir a altura total de elevação do sistema.

Para associações em paralelo, cada bomba recalca a mesma parte da vazão total do sistema, mas a altura total de elevação do sistema é a mesma de cada uma das bombas.

No mínimo devem ser previstas duas bombas, sendo uma de reserva, alternando-se o trabalho das unidades. Se forem previstas três bombas iguais, cada uma deverá ter capacidade de elevar 50% da vazão nominal do sistema. (AZEVEDO NETO, 1998)

## **VI. Rede de distribuição**

É o conjunto de tubulações e de suas partes acessórias, destinado a colocar a água a ser distribuída à disposição dos consumidores, de forma contínua e em pontos tão próximos quanto possíveis de suas necessidades.

Tubulação distribuidora é o conduto da rede de distribuição em que são efetuadas as ligações prediais dos consumidores. Esta tubulação pode ser classificada em condutos principais, aqueles tais que por hipóteses de cálculos permite a água alcançar toda a rede de distribuição, e secundários, demais tubulações ligadas aos condutos principais.

As redes de distribuição constituem-se de tubulações principais, também denominadas de tubulações tronco, primárias ou mestras, alimentadas diretamente por um reservatório de montante, ou por um de montante e um de jusante, ou, ainda, diretamente da adutora com um reservatório de jusante. Destas principais partem as secundárias das quais saem praticamente à totalidade das sangrias dos ramais prediais. Segundo Tsutiya (2006) as redes podem ser classificadas nos seguintes grupos:

- De acordo com o traçado:
  - Ramificada (pequenas cidades, pequenas áreas, comunidades de desenvolvimento linear, pouca largura urbana, etc.); e
  - Malhada (grandes cidades, grandes áreas, comunidades com desenvolvimento concêntrico, etc.).
  
- De acordo com a alimentação dos reservatórios:

- Com reservatório de montante;
  - Com reservatório de jusante (pequenos recalques ou adução por gravidade);
  - Com reservatórios de montante e de jusante (grandes cidades);
  - Sem reservatórios, alimentada diretamente da adutora (pequenas comunidades).
- De acordo com a água distribuída:
- Rede simples (rede exclusiva de distribuição de água potável); e
  - Rede dupla (uma rede de água potável e uma outra de água sem tratamento, principalmente quando há dificuldades de obtenção de água de boa qualidade).
- De acordo com o número de zonas de pressão:
- Zona única; e
  - Múltiplas zonas (comunidades urbanas com desníveis geométricos acentuados - mais de 50m ou muito extensas).
- De acordo com o número de condutos distribuidores numa mesma rua:
- Distribuidor único;
  - Com distribuidores auxiliares (conduto principal com diâmetro mínimo de 400 mm); e
  - Dois distribuidores laterais (ruas com tráfego intenso, largura superior a 18 m e dependendo do custo da reposição do pavimento)