



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

HENRIQUE GONZAGA ESTRADA

ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DE
PERDAS DE ÁGUA EM UMA EMPRESA PÚBLICA DE
SANEAMENTO: ESTUDO DOS FATORES INTERVENIENTES E
SEUS AVANÇOS

Ribeirão Preto
2025

HENRIQUE GONZAGA ESTRADA

ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DE
PERDAS DE ÁGUA EM UMA EMPRESA PÚBLICA DE SANEAMENTO:
ESTUDO DOS FATORES INTERVENIENTES E SEUS AVANÇOS

Dissertação apresentada à Universidade de
Ribeirão Preto - UNAERP, como requisito de
avaliação para obtenção do título de Mestre
pelo Programa de Pós-graduação em
Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Sgobbi Zagui

Ribeirão Preto
2025

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de processamento Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto –

Estrada, Henrique Gonzaga,
Estratégias de eficiência energética e gestão de perdas de água
em uma empresa pública de saneamento: estudo dos fatores
intervenientes e seus avanços / Henrique Gonzaga Estrada –
Ribeirão Preto, 2025.
155 f.: il. Color.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Sgobbi Zagui

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2025.

1. Abastecimento de água. 2. Eficiência Energética. 3. Capacitor.
4. Substituição de Motores. 5. Perdas de água.

.....CDD XX

HENRIQUE GONZAGA ESTRADA

ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DE PERDAS DE
ÁGUA EM UMA EMPRESA PÚBLICA DE SANEAMENTO: ESTUDO DOS
FATORES INTERVENIENTES E SEUS AVANÇOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto, para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.


Orientador: Prof. Dr. Guilherme Sgobbi Zagui

Área de concentração: Tecnologia Ambiental


Data de defesa: 31 de março de 2025.

Resultado: **APROVADO**


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 GUILHERME SGOBBI ZAGUI
Data: 01/04/2025 07:40:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Guilherme
Sgobbi Zagui
Presidente/UNAERP

Documento assinado digitalmente
 LUCIANO FARIAS DE NOVAES
Data: 17/04/2025 15:03:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luciano Farias de
Novaes
UNAERP

Documento assinado digitalmente
 ANDRE LUIS DIAS
Data: 17/04/2025 10:22:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Luis Dias
IFSP

**RIBEIRÃO PRETO
2025**

Dedicatória

A Deus, pela força, sabedoria e pela oportunidade de seguir este caminho, iluminando cada passo da minha jornada.

À minha esposa, pelo amor, paciência e incentivo inabalável, sempre ao meu lado nos momentos de desafio e conquistas.

Aos meus filhos, que são minha maior inspiração e motivo de perseverança, trazendo alegria e propósito à minha vida.

Aos meus familiares, pelo apoio constante, pelas palavras de encorajamento e por acreditarem em mim desde o início.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por me guiar com sabedoria e força durante toda essa jornada, tornando possível a realização deste trabalho.

À toda minha família, pelo amor, apoio e compreensão incondicional, que foram a base e a motivação em cada etapa deste percurso.

Aos meus avós, cuja presença e sabedoria marcantes foram fundamentais na formação do meu caráter e enriqueceram minha vida de maneira única.

Ao meu orientador, pela confiança, competência e orientação que pavimentaram os caminhos para a conclusão desta dissertação.

A todos professores da Pós-graduação da UNAERP, pelo carinho, apoio e estrutura que foram fundamentais para o desenvolvimento desta etapa acadêmica.

À empresa pública de saneamento, pela colaboração e por fornecer os meios necessários para a realização da pesquisa, permitindo que eu pudesse concretizar este estudo com sucesso.

A todos que, de alguma forma, me apoiaram na realização deste projeto, meus sinceros agradecimentos.

*Deus nunca dará uma cruz mais pesada que não possa carregar, portanto, tenha fé, coragem
e determinação de que é possível.*

(Autor)

RESUMO

A busca por ações de eficiência energética e gestão de perdas de água tem sido prioridade para as empresas de saneamento básico, incentivadas por ações governamentais como o Marco do Saneamento e os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) da ONU (Organização das Nações Unidas). Uma boa estruturação da rede operacional, a substituição de motores de baixa eficiência, a instalação de banco de capacitores e a monitorização de perdas são estratégias adotadas para esses fins. Nesse estudo foram coletados os históricos do consumo de energia elétrica da empresa de saneamento entre os anos 2015 a 2023, antes e após a instalação de bancos de capacitores para correção do consumo de energia reativa, para mensurar o retorno dessa ação, também nessa vertente foi analisado a substituição, de um motor de baixa eficiência ou outro de alta eficiência e aplicado a metodologia de análise de eficiência do PH5, com objetivo avaliar a eficácia dessas medidas adotadas por uma empresa de saneamento. Na sequência foram utilizados dados sistêmicos da empresa de saneamento para avaliar a ação de combate a perda de água, decorrente de vazamentos, seus motivos e suas consequências. Esse estudo documental, conduzido entre o período de agosto a novembro de 2024, buscou dados históricos da empresa, com levantamentos de quantitativos de equipamentos instalados (bancos de capacitores); análise de eficiência energética na substituição de um motor antigo por outro de alta eficiência e os serviços de reparos de vazamentos não visíveis. Com esse levantamento, foi possível caracterizar o sistema de abastecimento implantando no município, e evidenciou uma robusta rede operacional da empresa, que já consegue alcançar o objetivo de abastecimento de água para toda população e coleta de esgoto em sua quase totalidade. Nos resultados observou-se que a substituição de motores elétricos de baixo rendimento por outros de alto rendimento, de forma direta, representa uma redução do consumo de energia, mas conforme análise pelo indicador PH5 as ações podem ser mais efetivas se forem associadas com a substituição do conjunto de bombeamento. A instalação do banco de capacitores se confirmou como uma estratégia de correção de fator de potência bem satisfatória, alcançando redução dos gastos com energia reativa. E a busca ativa de vazamentos não visíveis promove reparo em tempo menor, com menor gasto de energia para produção de água não consumida.

Palavras-Chave: Abastecimento de água; Eficiência Energética; Gestão de Perdas.

ABSTRACT

The pursuit of energy-efficiency measures and water-loss management has become priority for water and sanitation utilities, driven by government initiatives such as the Brazilian Sanitation Framework (“Marco do Saneamento”) and the UN’s Sustainable Development Goals (SDGs). Key strategies include properly structuring the operational network, replacing low-efficiency motors, installing capacitor banks, and monitoring losses. In this study, we collected the utility’s historical electric-energy consumption data from 2015 to 2023, both before and after the installation of capacitor banks for reactive-power correction, to quantify the returns on that investment. We also analyzed the replacement of a low-efficiency motor with a high-efficiency unit, applying the PH5 efficiency-analysis methodology to assess the effectiveness of these measures. Next, we used the utility’s system data to evaluate efforts to combat water losses due to leaks, examining their causes and consequences. Conducted from August to November 2024, this documentary study gathered historical records, surveyed the number of installed capacitor banks, analyzed energy savings from replacing an old motor with a high-efficiency model, and reviewed repair services for non-visible leaks. This assessment made it possible to characterize the municipality’s water-supply system and demonstrated a robust operational network capable of meeting full potable-water demand and nearly complete sewage collection. The results showed that directly replacing low-efficiency electric motors with high-efficiency ones reduces energy consumption; however, PH5-indicator analysis suggests even greater gains when combined with a full pump-set replacement. The installation of capacitor banks proved highly effective for power-factor correction, significantly lowering reactive-power costs. Finally, proactive detection of non-visible leaks enables faster repairs and reduces the energy wasted producing water that is never consumed.

Keywords: Water supply; Energy Efficiency; Loss Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Recursos Hídricos no Mundo.....	24
Figura 2 - Regiões Hidrográficas Brasileiras.....	25
Figura 3 -Aquífero Guarani Aflorante e Hidrografia.....	28
Figura 4 - Unidades de um sistema de abastecimento de água.....	31
Figura 5 - Formas de Captação de Água Subterrânea.....	32
Figura 6 - Curvas característica de uma bomba centrífuga	36
Figura 7 - Gráfico típico de comparação do consumo de energia para os métodos de controle de pressão/vazão: by-pass, válvula de manobra e conversor de frequência.....	37
Figura 8 - Curva de Tensão e Frequência.....	39
Figura 9 - Modulação PWM (a) pulso estreito e (b) pulso alargado.....	40
Figura 10 - Nomenclatura das alturas usadas em sistema de bombeamento.....	42
Figura 11 - Tipos de configuração de redes.....	49
Figura 12 - Rede de distribuição ramificada.....	50
Figura 13 - Rede de distribuição malhada.....	51
Figura 14 - Fluxograma do Sistema de Abastecimento.....	52
Figura 15 - Tipos de motores mais utilizados.....	53
Figura 16 - Estrutura Física do MIT.....	54
Figura 17 - Conjunto motobomba submerso com rotor radial (cima) e rotor semiaxial (embaixo).....	55
Figura 18 - Corte transversal de um conjunto motobomba submerso com rotor radial (cima) e motobomba submersa com rotor semiaxial (embaixo).....	56
Figura 19 - Instalação de Bomba Submersa em poço tubular profundo.....	56
Figura 20 - Captação de água de reservatório por bomba submersa.....	57
Figura 21 - Instalação de <i>booster</i> no sistema de distribuição de água.....	58
Figura 22 - <i>Booster</i> no sistema de distribuição de água em um dos pontos da cidade	59
Figura 23 - <i>Booster</i> instalado em um Poço da Empresa Pública de Saneamento....	59
Figura 24 - Tipos de rotores de bombas centrífugas.....	60
Figura 25 - Bombeador radial (esquerda), misto (centro) e axial (direita).....	61
Figura 26 - Balanço das Perdas de Energia Elétrica em SAA.....	61

Figura 27 - Banco de capacitor trifásico.....	67
Figura 28 - Normalização de bombas – indicador PH5 da IWA.....	81
Figura 29 - Diagrama de Relacionamento -Visão Sistêmica do Problema.....	83
Figura 30 - Fluxograma das ações de eficiência energética e gestão de combate a perdas na Empresa Pública de Saneamento.....	89
Figura 31 - Fatura de energia elétrica da Empresa Pública de Saneamento.....	93
Figura 32 - Alicates Wattímetro utilizado pela Empresa Pública de Saneamento.....	94
Figura 33 - Medidor de energia da concessionária.....	94
Figura 34 - Multimetro de grandezas elétricas instalado no CCM	95
Figura 35 - Coeficiente para Dimensionamento do Capacitor CCM	97
Figura 36 - Localização das unidades ativas da Empresa de Saneamento.....	99
Figura 37 - Localização dos poços de captação de água.....	100
Figura 38 - Localização das unidades de reservação de água no município.....	101
Figura 39 - Localização das Estações Elevatórias de Água Tratada no município...	102
Figura 40 - Localização das Estações Elevatórias de Esgoto no município.....	103
Figura 41 - Motor elétrico de baixo rendimento.....	104
Figura 42 - Instalação do motor de alto rendimento.....	105
Figura 43 - Motor de baixo rendimento à esquerda e motor novo de alto rendimento à direita instalados em EEAT da Empresa Pública de Saneamento.....	109
Figura 44 - Banco de capacitor trifásico instalado dentro do CCM	119
Figura 45 - Bancos de capacitores trifásicos instalados no secundário do transformador.....	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de acionamento dos motores elétricos.....	38
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rendimentos nominais mínimos de motores.....	63
Tabela 2 - Perdas Físicas por Subsistema: Origem e Magnitude.....	69
Tabela 3 - Perdas no Sistema de Saneamento	76
Tabela 4 – Índice PH5 para classificação de eficiência energética.....	92
Tabela 5 -Estação Elevatória de Esgoto em atividade.....	102
Tabela 6 - Substituição de motores antigos por novos de alto rendimento na Empresa Pública de Saneamento.....	107
Tabela 7 - Dados da substituição dos motores e economia estimada no projeto....	109
Tabela 8 – Análise de eficiência energética dos sistemas em (%)......	115
Tabela 9 - Levantamento de Eficiência Energética na SABESP 2018.....	116
Tabela 10 Instalação de Bancos de Capacitores nas unidades operacionais da Empresa Pública de Saneamento entre os períodos 2015 a 2023.....	121
Tabela 11 - Consumo de Energia Reativa (kVArh) e Energia Ativa (kWh).....	121
Tabela 12 - Consumo de (kVArh) x despesa mensal (R\$).....	123
Tabela 13 - Consumo de (kWh) x despesa mensal (R\$).....	126
Tabela 14 - Consumo de (kWh) x (kVArh)	128
Tabela 15 - Reparos de vazamentos não visíveis.....	132
Tabela 16 - Volume de água perdida durante o vazamento	134
Tabela 17 - Energia Elétrica consumida no bombeamento de água perdida.....	135
Tabela 18 - Gasto estimado com energia elétrica para bombeamento da água perdida.....	136
Tabela 19 - Evolução nos indicadores do SNIS de 2016 a 2023.....	137

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo do Consumo de Energia na EEAT Aliança – Empresa Pública de Saneamento.....	117
Gráfico 2 - Consumo de Energia Reativa.....	122
Gráfico 3 - Consumo de Energia Ativa.....	123
Gráfico 4 - Gráfico de dispersão e linha de tendência de (R\$) x (kVArh).....	125
Gráfico 5 - Gráfico de dispersão e linha de tendência de (R\$) e (kWh).....	127
Gráfico 6 - Gráfico de dispersão e linha de tendência de (kWh) e (kVArh).....	129

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS	22
1.1.1 Objetivo Geral	22
1.1.2 Objetivos Específicos	22
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 ÁGUA	23
2.1.1 Distribuição de Água no Planeta e no Brasil	23
2.1.2 Características do Sistema Aquífero Guarani	26
2.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO	26
2.2.1 Legislação Brasileira Acerca da Água Potável	28
2.3 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA.....	30
2.4 RESERVATÓRIOS DE DISTRIBUIÇÃO E REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	33
2.4.1 Posição no Terreno e à Rede de Distribuição	33
2.4.2 Elementos Chave da Rede de Distribuição	34
2.5 SISTEMA DE BOMBEAMENTO	35
2.5.1 Conversores de Frequência	38
2.5.2 Válvulas.....	41
2.6 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	43
2.6.1 Estação Elevatória	44
2.6.2 Reservatório	44
2.6.3 Adutora.....	46
2.6.4 Rede de Distribuição	47
2.7 SISTEMA DE RESERVAÇÃO DE ÁGUA.....	51
2.8 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	52
2.8.1 Motores Elétricos.....	52

2.8.2 Conjunto Motobomba para Captação e Distribuição de Água.....	54
2.8.3 Banco de Capacitores	64
2.9 CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA	68
2.9.1 Perdas Físicas ou Reais.....	68
2.9.2 Perdas na Captação/Adução de Água Bruta.....	70
2.9.3 Perdas no Tratamento	71
2.9.4 Perdas na Reservação	71
2.9.5 Perdas na Adução de Água Tratada	72
2.9.6 Perdas na Distribuição.....	72
2.9.7 Perdas Aparentes ou Comerciais.....	73
2.10 AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA	73
2.11 A IMPORTÂNCIA DE MEDIÇÕES CONFIÁVEIS	74
2.12 INDICADORES DE PERDAS.....	75
2.12.1 Indicador Percentual de Perdas.....	77
2.12.2 Indicadores de Perdas: IWA, AGHTM, AESBE/ASSEMAE e CEN/PH5.....	78
2.13 REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS	82
2.14 AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS.....	84
2.15 REDUÇÃO DO VAZAMENTO E DE OUTRAS PERDAS	86
3 MATERIAL E MÉTODOS	88
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL DA EMPRESA	89
3.2 AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	91
3.2.1 Motores Elétricos.....	91
3.2.2 Banco de Capacitores	93
3.3 COMBATE A PERDAS DE ÁGUA NA DISTRIBUIÇÃO	97
4 RESULTADOS.....	99
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA OPERACIONAL.....	99
4.2 EFICIÊNCIA ENERGETICA	104

4.2.1 Motores Elétricos.....	104
4.2.2 Banco de Capacitores	118
4.3 CONTROLE ATIVO DE VAZAMENTOS	131
4.3.1 Pesquisa e Reparos de Vazamentos não Visíveis	131
5. CONCLUSÃO	137
REFERÊNCIAS.....	140
ANEXOS	149

1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre exploração de recursos hídricos tem sido tema recorrente nas agendas de políticas internacionais nos últimos anos e considerando a necessidade de manutenção dos recursos naturais, o combate à desigualdade e o crescimento sustentável. A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que devem ser trabalhados em metas a serem alcançadas pelo mundo prioritariamente, a fim de garantir a preservação e manutenção dos recursos essenciais a vida humana (SÃO PAULO, 2025).

De acordo com a ONU, a necessidade de água para consumo e higiene diária de uma pessoa é de cerca de 110 litros de água por dia. No entanto, no Brasil, esse consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia. Em média, cada brasileiro consome 154 litros de água por dia (CNM, 2018).

Mesmo o Brasil sendo um dos países com maior número de mananciais e bacias hidrográficas, abrangendo os maiores aquíferos de água doce do mundo, a mobilização dos órgãos responsáveis deve envolver ações de políticas públicas baseadas em evidências históricas e científicas pelo adequado manejo, manutenção e recuperação dos recursos hídricos (ANA, 2019).

O município estudado está entre as 10 cidades com maior população do estado de São Paulo (IBGE, 2022) e tem seu abastecimento de água proveniente do Sistema Aquífero Guarani (SAG), que é o segundo maior aquífero de água subterrânea do mundo, ficando atrás apenas do Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA), sendo uma importante fonte hídrica de alta qualidade para o suprimento de água potável (Abreu *et al.*, 2013; AGÊNCIA BRASIL, 2020; MINASJR, 2021). Assim a qualidade da água ofertada a população é inquestionável, contudo, deve-se considerar que a capacidade de renovação do recurso é limitada, e medidas de controle devem ser adotadas com urgência para garantir o equilíbrio do aquífero Guarani e sua exploração de forma sustentável (Empresa Pública de Saneamento, 2023).

Segundo indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), o município está entre os primeiros colocados no *ranking* pela universalização do saneamento. Em 2021, já apresentava 99,73% de atendimento urbano de água tratada, 99,31% de atendimento urbano de esgoto, 93,77% de

tratamento total de esgoto e índice de 47% de perdas na distribuição (Trata Brasil, 2023).

A gestão do abastecimento de água do município é realizada por empresa pública, gerida pela Prefeitura Municipal. A empresa opera com 120 poços tubulares profundos, distribuídos pelo município, que captam água do SAG. Essa água é utilizada para o abastecimento de toda a cidade, com um sistema que envolve a captação subterrânea, distribuição em marcha e a reservação do excedente em reservatórios (Empresa Pública de Saneamento, 2023).

Um aspecto importante a ser considerado na gestão do abastecimento é o alto gasto energético necessário para garantir o funcionamento adequado das bombas submersas utilizadas na captação de água. Esse consumo energético tem um impacto negativo a longo prazo no meio ambiente, tanto pelo rebaixamento do aquífero quanto pelo uso de fontes não renováveis de energia elétrica para suprir a demanda nacional. A busca por equipamentos mais eficientes e tecnologias mais modernas deve ser constantemente explorada (Perroni, 2005).

As perdas de água em um sistema de abastecimento representam os volumes não contabilizados, incluindo volumes não utilizados e volumes não faturados. Essas perdas são divididas em perdas reais, que correspondem aos vazamentos físicos na rede, e perdas aparentes, relacionadas a erros de medição ou fraudes, sendo essa distinção fundamental para a definição e hierarquização das ações de combate às perdas e para a determinação de indicadores de desempenho. Fatores que contribuem para o aumento das perdas incluem a baixa capacidade institucional e de gestão dos sistemas, pouco investimento financeiro, o aspecto cultural e o déficit educacional sobre o uso racional dos recursos hídricos (Miranda; Heller; Pádua, 2006).

Na prática, as perdas reais podem ser reduzidas com as seguintes ações principais: Controle de pressão (setorização, válvulas redutoras de pressão, controle ativo de vazamentos, haste de escuta, geofone, e correlacionador de ruídos); Rapidez e qualidade de reparo e Gerenciamento da infraestrutura (FUNASA, 2014).

A evolução do consumo e das despesas com energia elétrica em sistemas de saneamento no Brasil pode ser monitorada e analisada por meio dos dados do SNIS. Esses dados permitem a identificação de tendências relacionadas aos custos, receitas

e padrões do setor, oferecendo uma base sólida para a formulação de estratégias de intervenção.

Segundo relatório de Balanço Energético Nacional (BEN) de 2018, cerca de 37,7% de toda energia elétrica da matriz energética brasileira é consumida na Indústria (BRASIL, 2018). De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), os motores elétricos são responsáveis por aproximadamente **68%** da energia elétrica consumida nas fábricas brasileiras (CANAL BIOENERGIA, 2024). Estudos apontam que, a cada recondicionamento de um mesmo motor elétrico sua eficiência reduzida em aproximadamente 2% do seu rendimento atual (BAZURTO et al., 2017). Em 2013, uma pesquisa realizada pela PROCOBRE/ICA e pela PUC-RJ indicou uma perda estimada de 7 TWh por ano devido a práticas inapropriadas na recuperação (PUC-RJ, 2019).

Devido à grande demanda de utilização de conjuntos motobombas de grandes potências no abastecimento público de água, o consumo de energia segue na mesma proporção. Para manter o sistema mais eficiente e reduzir os custos com as faturas de energia elétrica, a instalação de bancos de capacitores para correção do fator de potência em motores elétricos tornou-se uma prática comum e economicamente viável na maioria das empresas do segmento (Empresa Pública de Saneamento, 2023).

Não menos importante, podemos apresentar benefícios operacionais, já que a redução de perdas e a eficiência energética podem melhorar a confiabilidade e a qualidade do serviço de abastecimento de água, beneficiando diretamente os consumidores. Outra questão é que a adoção de tais medidas pode prolongar a vida útil dos equipamentos e reduzir a frequência de manutenções e reparos, resultando em operações mais estáveis e menos interrupções.

Sendo assim, esse estudo se justifica pelo impacto direto do programa de redução de perdas e medidas de eficiência energética nos custos operacionais da empresa de saneamento e na sustentabilidade ambiental, como também pela necessidade de conformidade com normas regulatórias, melhoria dos serviços prestados, e promoção da inovação e educação dentro e fora da empresa. Desta forma, a hipótese preliminar do trabalho, é que essas medidas adotadas pela empresa de saneamento apresentam resultados positivos na redução de perdas de água e do gasto de energia elétrica.

O presente estudo demonstra os resultados obtidos por uma empresa pública de saneamento com a implementação de medidas preconizadas pela literatura, objetivando atender às questões levantadas pela ONU e pelo novo marco do Saneamento do Brasil e poderá servir como referência para outras empresas de saneamento preocupadas com as questões econômicas e sociais envolvidas na redução de perdas e eficiência energética.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Avaliar a eficácia das medidas adotadas para redução de perdas e eficiência energética em empresa de saneamento de uma cidade do interior de São Paulo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterização de sistema operacional da empresa estudada;
- Levantar e discutir os resultados obtidos com a substituição de motores e implantação de banco de capacitores como estratégias de eficiência energética;
- Avaliar o impacto das medidas de combates a perdas de distribuição.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ÁGUA

A água é um recurso natural essencial à vida, presente como componente bioquímico dos seres vivos, mas também dentro da sociedade em suas escalas produtivas, sociais e culturais. Como elemento peculiar, tem a capacidade de renovação, denominada ciclo hidrológico, garantindo que a água circule constantemente pelo ambiente. É amplamente discutido o direito humano à água e ao saneamento, com medidas como "O Novo Marco Legal do Saneamento", publicado em 2020, aproximando o setor de saneamento à gestão de água, assim como as políticas da ONU para redução da pobreza e desenvolvimento sustentável, com a proteção do meio ambiente. Dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODSs, o item 6 (ODS 6) determina a necessidade de garantir a disponibilidade e a gestão da água potável e do saneamento para todos até 2030, especificando no subitem 6.4 o aumento da eficiência do uso da água em todos os setores, enquanto no objetivo 11 encontramos a necessidade de tornar as cidades sustentáveis até 2030 (SÃO PAULO, 2025).

Já o marco regulatório do saneamento, atualizado em 2020, prevê a universalização dos serviços de água e esgoto até 2033, com a meta de 99% da população brasileira ter acesso à água tratada e 90% à coleta e tratamento de esgoto. Além disso, classifica as situações de perdas hídricas como dano ambiental, passível de reparação e responsabilização civil. O diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto elaborado pelo Sistema Nacional de Informações (SNIS) identificou em 2019 que cerca de um terço da água captada no Brasil é perdida na distribuição (SNIS, 2021).

2.1.1 Distribuição de Água no Planeta e no Brasil

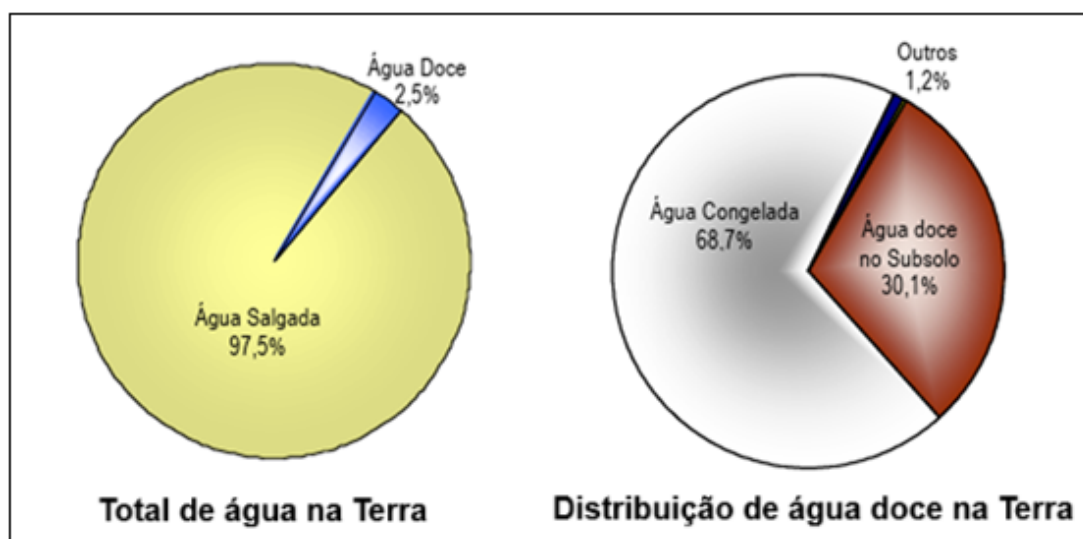
De fato, apenas 2,5% da água do planeta é doce, sendo que a maior parte, cerca de 69%, encontra-se inacessível em geleiras, calotas polares e neves eternas. Aproximadamente 30% da água doce está armazenada em aquíferos subterrâneos, enquanto apenas 1,2% está disponível em rios, lagos e outros corpos de água superficiais. Já os oceanos, que cobrem a maior parte da superfície terrestre,

representam o maior reservatório de água do planeta, contendo cerca de 97,5% da água total (Neves, 2022).

Apesar de sua importância no ciclo hidrológico, atuando como fonte de evaporação e influenciando o clima global, a água salgada dos oceanos não é diretamente utilizável para consumo humano ou irrigação sem processos de dessalinização, o que demanda altos custos e tecnologias específicas (Neves, 2022).

A Figura 1 representa a distribuição global dos recursos hídricos, permitindo visualizar que apenas 2,5% de toda a água do planeta é doce, dos quais 30,1% encontra-se no subsolo e apenas 1,2% está disponível de forma superficial, em rios e lagos.

Figura 1- Recursos Hídricos no Mundo.



Fonte: LAMORH (2001).

A distribuição e disponibilidade das águas doces são reguladas pelos processos climatológico, e por isso no Brasil sua distribuição é irregular, mesmo o país sendo detentor de aproximadamente 12% das águas doces disponíveis em todo o planeta Terra. Da mesma forma os recursos hídricos subterrâneos no Brasil também não são uniformes, mesmo com 48% de seu território ocupado por aquíferos sedimentares, temos regiões com grande disponibilidade, como o Aquífero Guarani no Sul do Brasil, e regiões com baixa disponibilidade, como os aquíferos das rochas cristalinas no Nordeste. (Tundisi, 2014).

A Divisão Hidrográfica Nacional, instituída pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estabelece as doze Regiões Hidrográficas brasileiras: Amazônica, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Tocantins-Araguaia, Parnaíba, São Francisco, Atlântico Sul, Paraguai, Paraná e Uruguai. As regiões hidrográficas são bacias, grupos de bacias ou sub-bacias hidrográficas próximas, com características naturais, sociais e econômicas similares. O monitoramento dos dados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) sobre a qualidade e quantidade de água que entra e sai de uma região orienta o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em todo o país (ANA, s.d). Na Figura 2, demonstra-se as regiões hidrográficas brasileiras.

Figura 2 – Regiões Hidrográficas Brasileiras.



Fonte: Mundo Educação-UOL (2023).

No Brasil encontramos as bacias hidrográficas Amazônica, a da Platina (formada pelas bacias Paraná, Paraguai e Uruguai) e a do São Francisco, sendo a bacia Amazônica a maior do mundo. O uso dos recursos hídricos para o abastecimento de cidades, uso da indústria, uso na irrigação e no turismo, é uma crescente e estima-se que haja, pelo menos, 416 mil poços no país, com projeção de aumento de 10,8 mil novas captações a cada ano. Avaliações preliminares indicam que os aquíferos

servem ao abastecimento de 30-40% da população do país, sobretudo em cidades de médio e pequeno porte, embora também sejam incluídas várias capitais como, por exemplo, Natal, Fortaleza, Belém, Maceió, Recife, Porto Velho e São Paulo, onde o abastecimento é feito, em alguma proporção, pelo recurso subterrâneo. No estado de São Paulo, 70% dos núcleos urbanos são abastecidos total ou parcialmente pelas águas subterrâneas, incluindo cidades de porte como Ribeirão Preto, Marília, Bauru e São José do Rio Preto (Hirata *et al.*, 2010).

2.1.2 Características do Sistema Aquífero Guarani

Em 1996 o Sistema Aquífero Guarani (SAG) foi denominado pelo geólogo uruguaio Danilo Anton, e refere-se à unidade hidrogeológica da bacia sedimentar do Paraná/Chaco-Paraná. A formação é de arenitos eólicos da era jurássica, depósitos fluviolacustres da idade Triássica e derrames de rochas vulcânicas de idade Jurássico Superior e Cretáceo Inferior, sem solução de continuidade hidráulica entre essas distintas formações, caracterizando-se uma unidade hidroestratigráfica, contendo em toda a sua extensão água doce, com profundidades máximas já perfuradas de dois mil metros (Rebouças; Amore, 2002).

Destaca-se por ser um grande manancial de água subterrânea com posição política, social e geográfica privilegiada, pois ocorre nos estados de grande concentração do PIB brasileiro, abrangendo estado do sul, sudeste e centro-oeste do país. Da sua gigantesca área de 1.200.000 km², 2/3 ocorre no Brasil e 1/3 em regiões do Paraguai, do Uruguai e da Argentina. Cerca de 90% dessa área está recoberta por espessos derrames de lavas basálticas, o que lhe confere características típicas de um aquífero regional confinado. Nas bordas leste e oeste da bacia, faixas alongadas afloram à superfície, constituindo áreas de recarga direta do aquífero, e a partir dessas áreas, suas águas confluem para a calha da bacia do Rio Paraná (Hirata *et al.*, 2006).

2.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO

O abastecimento de água é um tema de grande relevância, dada a importância desse recurso para o desenvolvimento econômico e social das cidades. Localizada

no estado de São Paulo, a cidade estudada possui porte médio que depende de fontes subterrâneas para suprir as necessidades hídricas de sua população.

O Município estudado tem uma população residente de aproximadamente 698.642 habitantes e área territorial 650.916Km², com PIB per capita R\$ 55.484,91, estando entre as dez cidades mais populosas do estado de São Paulo (IBGE, 2022).

Inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - URGHI 4, a cidade estudada ocupa uma área aproximada de 5,67% da área estimada 9.564km² do Rio Pardo (R. P.gov, 2015).

O sistema de abastecimento de água da cidade depende exclusivamente do Aquífero Guarani, uma das maiores reservas subterrâneas de água doce do mundo. O Aquífero Guarani é uma formação geológica que se estende por vários estados brasileiros e até por outros países da América do Sul, como Argentina, Paraguai e Uruguai.

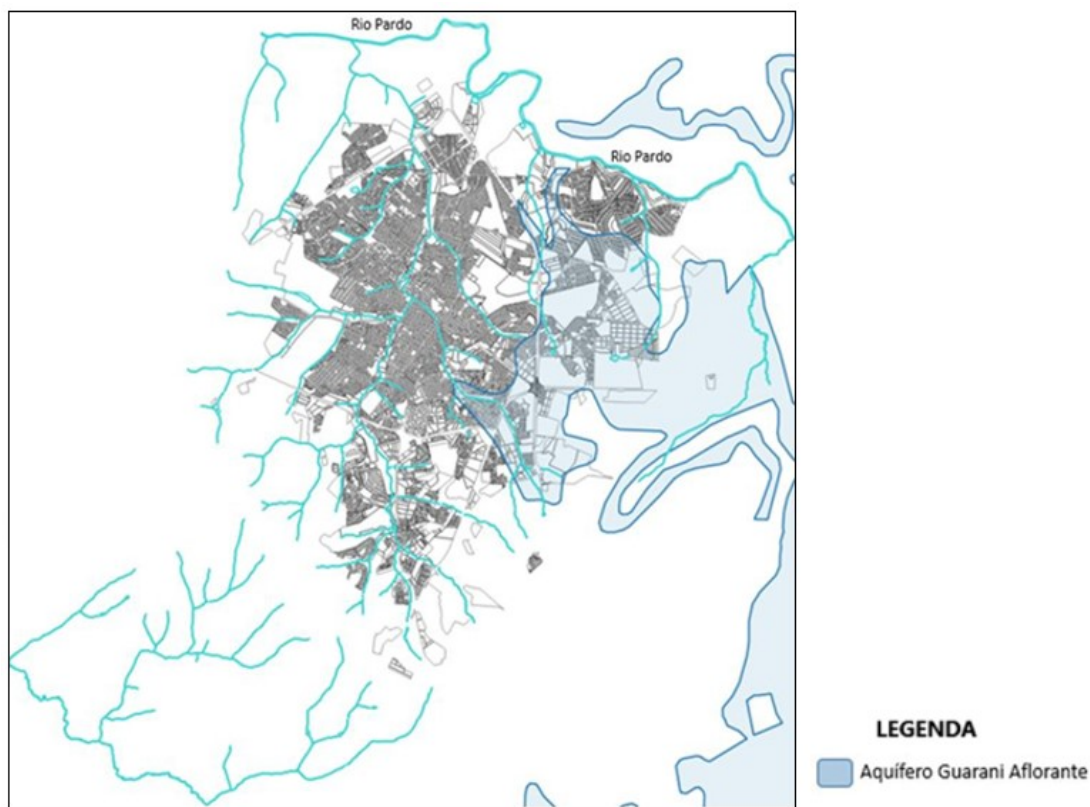
Atualmente, toda água capitada para abastecimento do município é oriunda de poços profundos que exploram água do aquífero Guarani, a uma profundidade média de aproximadamente 170 metros. Existem poços com profundidades menores, com nível estático de 12,72m e bomba instalada a 72m de profundidade, até poços mais profundos, com nível estático de 215,05m e bomba instalada a 308,28m de profundidade (Empresa Pública de Saneamento, 2024).

O uso intensivo do Aquífero Guarani no município começou na década de 1970, com a expansão urbana e o aumento da demanda por água. A gestão desse recurso tem sido um desafio, especialmente considerando a necessidade de garantir a sustentabilidade do aquífero para as gerações futuras. Estudos indicam que, embora o aquífero tenha uma capacidade significativa, a extração desenfreada pode levar à diminuição de sua capacidade de recarga, colocando em risco o abastecimento a longo prazo.

Os desafios enfrentados pela cidade no abastecimento de água são vários. Um dos principais é a gestão sustentável do Aquífero Guarani, que envolve não apenas o controle da extração de água, mas também a proteção das áreas de recarga e a prevenção da contaminação por atividades urbanas e agrícolas. A poluição do aquífero é uma preocupação constante, dado o uso intensivo de agrotóxicos na agricultura regional e a expansão urbana desordenada, que pode comprometer as

áreas de recarga, localizado na zona leste da cidade Figura 3 como região do aquífero aflorante (Empresa Pública de Saneamento, 2024).

Figura 3 – Aquífero Guarani Aflorante e Hidrografia.



Fonte: Empresa Pública de Saneamento (2024).

Outro desafio importante é a infraestrutura de distribuição de água. A cidade possui uma rede de distribuição que precisa ser constantemente mantida e modernizada para evitar perdas de água, que são comuns em sistemas antigos. As perdas físicas na rede de distribuição na cidade estudada são significativas, representando um desperdício de recursos financeiros e hídricos que poderia ser evitado com investimentos em tecnologia e gestão eficiente.

2.2.1 Legislação Brasileira Acerca da Água Potável

A regulação do serviço de abastecimento de água surgiu como uma necessidade de intervenção do Estado para corrigir as falhas de mercado e o interesse público generalizado porque se trata de uma necessidade básica dos cidadãos e de um serviço vital. Portanto, o estado não deve apenas estabelecer padrões, mas

também exercer controle e supervisão sobre as instituições e como elas operam (Marques, 2011).

O artigo 225 da Constituição Federal do Brasil reconhece o direito ao meio ambiente e dispõe sobre o uso comum de forma saudável e equilibrada, sendo dever do Poder Público e da Sociedade o cuidado com a preservação visando a manutenção dos recursos para uso também das gerações futuras.

A partir dessa premissa constitucional, a legislação brasileira se estruturou para assegurar a gestão sustentável dos recursos hídricos, com destaque para a lei nº 9.433/1997 que institui instrumentos para gestão dos recursos hídricos. A lei define a água como um bem de domínio público, recurso natural limitado, dotado de valor econômico, e que possui usos múltiplos, priorizando o consumo humano e a dessedentação animal.

A gestão dos recursos hídricos, segundo a lei, deve ser descentralizada e participativa, com a atuação conjunta de todas as esferas do poder público, além da sociedade civil, por meio dos Comitês de Bacia Hidrográfica. A outorga pelo uso da água, instrumento fundamental da Política Nacional de Recursos Hídricos, visa assegurar gestão de qualidade e de quantidade no uso da água, conciliando o desenvolvimento econômico e social com a proteção ambiental.

Com a Lei Federal n. 11.445/2007, o serviço público de saneamento básico ganhou seu marco regulatório mais significativo. A Lei 11.445/2007 distribuiu regras e planejamento para garantir a sustentabilidade econômico-financeira e requisitos mínimos de qualidade, regularidade e continuidade para os produtos oferecidos, para o atendimento ao usuário e para operação e manutenção de sistemas. (Galvão Junior; Melo; Monteiro, 2013).

Contribuindo para a melhoria da saúde pública, o esgotamento sanitário deve abranger toda a coleta, o transporte, bem como o tratamento e disposição final apropriado dos dejetos sanitários.

A Lei do Saneamento Básico reforça a importância da universalização do acesso aos serviços de água tratada e esgotamento sanitário, estabelecendo prazos e metas para os municípios. A lei também incentiva a participação da iniciativa privada na prestação dos serviços de saneamento básico, por meio de concessões e parcerias público-privadas.

Além das leis mencionadas, diversas outras normas regulamentam aspectos específicos relacionados à água potável, como:

A Resolução CONAMA nº 357/2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo padrões de qualidade para a água doce.

A Portaria MS nº 888/2021: Define os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, estabelecendo os parâmetros físico-químicos e microbiológicos para garantir a segurança da água.

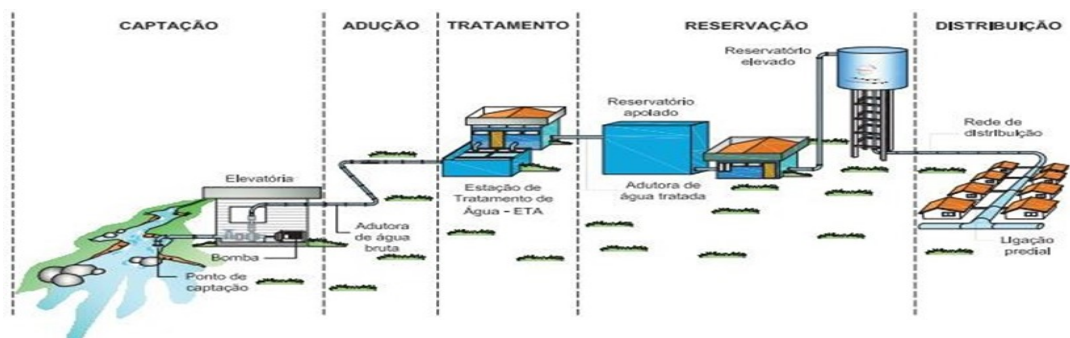
Os objetivos da regulação são estabelecer normas para adequada prestação de serviços, garantindo a satisfação do usuário; garantir o cumprimento das metas estabelecidas; prevenir o abuso do poder público; definir tarifas que assegurem o equilíbrio econômico e financeiro dos contratos (Mendes, 2009).

2.3 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

Um componente do saneamento básico é o sistema de abastecimento de água para consumo humano, que consiste numa série de infraestruturas, obras civis, materiais e equipamentos que se estendem desde a área de captação até às ligações prediais. Sua responsabilidade específica é produzir e fornecer água ao público por meio da rede de distribuição. Como mostra a Figura 4, as unidades típicas da via são captação, adução, tratamento, reserva, distribuição, estações elevatórias e ramal predial, que será detalhado em profundidade na sequência do trabalho.

Na implantação de um sistema de abastecimento de água, a escolha do manancial se constitui na decisão mais relevante. Para escolha, deve-se considerar todos os mananciais com condições sanitárias adequadas e vazão suficientes para atender à demanda máxima prevista para o alcance do plano. Ao longo do tempo, essa escolha deve ser tomada por meio de estudos técnicos, econômicos e ambientais que fazem comparações de várias opções viáveis (FUNASA, 2015).

Figura 4 – Unidades de um sistema de abastecimento de água.



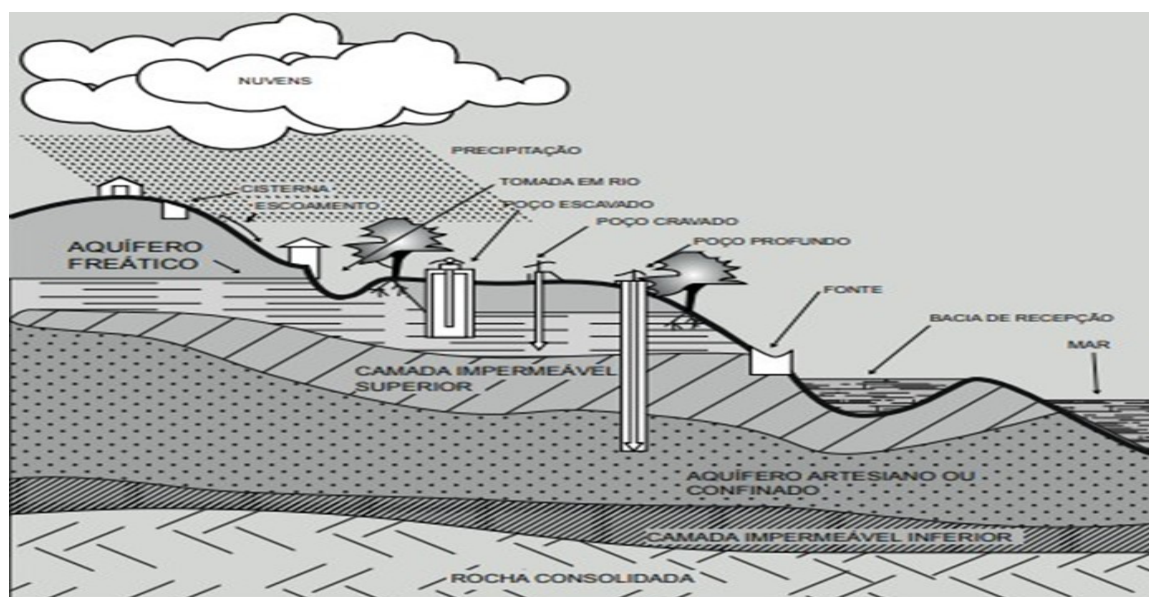
Fonte: FUNASA (2015).

Mendes (2009) afirma que os mananciais podem ser classificados de acordo com sua origem: mananciais de superfície ou texturas. Todas as partes de um manancial que escoam na superfície terrestre são considerados um manancial superficial, e seus principais problemas são observados de ocupação indevida das margens dos cursos d'água, lançamento de efluentes sanitários, contaminação com defensivos e produtos agrícolas, e falta de mata ciliar. A seção subterrânea do manancial, que inclui lençóis freáticos e profundos, é captada por poços rasos ou profundos, galerias de infiltração ou aproveitamento de nascentes.

Em conformidade com o manancial selecionado, podem ser utilizadas diferentes formas de captação, que consiste no conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao abastecimento coletivo ou individual. As formas de captação estão demonstradas conforme Figura 5.

Com o intuito de transportar a água captada, interligando unidades de captação, tratamento, estações elevatórias, reservação e rede de distribuição, a adutora consiste em um conjunto de tubulações, e em função da água que transporta, pode ser adutora de água bruta ou de água tratada, e em função de suas características hidráulicas pode ser em conduto livre, em conduto forçado por gravidade, ou em recalque (Heller; Pádua, 2006).

Figura 5 – Formas de Captação de Água Subterrânea.



Fonte: FUNASA (2015).

As estações elevatórias, por sua vez, são instalações essenciais no sistema de abastecimento de água, projetadas para transportar e elevar tanto a água bruta quanto a tratada. Elas desempenham um papel crucial na captação de água de mananciais superficiais ou poços (Mendes, 2009), especialmente em cenários onde a água precisa ser conduzida a níveis mais elevados, superando desníveis geométricos. Essas estações podem ser classificadas de acordo com o tipo de água que recalcam (bruta ou tratada) e pelo tipo de bomba utilizada no processo (Heller; Pádua, 2006).

Após a captação e o transporte da água, torna-se imprescindível adequar a qualidade da água bruta aos padrões de potabilidade exigidos. A escolha do tipo de tratamento necessário é determinada pelas características físico-químicas e bacteriológicas da água captada no manancial. Em geral, as águas superficiais demandam tratamentos mais rigorosos, devido à sua maior suscetibilidade a contaminações e a condições que as tornam impróprias para o consumo humano (Mendes, 2009). Esse processo de tratamento visa garantir que a água fornecida à população atenda às normas de segurança e saúde pública.

2.4 RESERVATÓRIOS DE DISTRIBUIÇÃO E REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Os reservatórios de distribuição são infraestruturas fundamentais no sistema de abastecimento de água, desempenhando um papel crucial na garantia da continuidade e da qualidade do fornecimento. Eles têm como principais funções compensar as variações horárias de vazão e assegurar a alimentação da rede de distribuição em situações de emergência. Isso significa que, durante períodos de alta demanda ou em eventos imprevistos que possam interromper o abastecimento, os reservatórios mantêm um estoque de água suficiente para fornecer a quantidade necessária e manter a pressão adequada na rede, evitando interrupções no serviço aos consumidores (Mendes, 2009).

A classificação dos reservatórios de distribuição pode ser realizada com base em dois critérios principais, a Posição no Terreno e Posição em Relação à Rede de Distribuição.

2.4.1 Posição no Terreno e à Rede de Distribuição

Quanto a Posição no Terreno, pode-se destacar:

- Reservatório Apoiado: Instalados sobre estruturas de apoio no solo.
- Reservatório Elevado: Situados em elevações naturais ou artificiais para utilizar a gravidade na distribuição.
- Reservatório Semienterrado: Parcialmente submersos no solo, combinando características de reservatórios apoiados e enterrados.
- Reservatório Enterrado: Instalados completamente abaixo da superfície terrestre, protegidos contra variações climáticas e vandalismo.

Posição em Relação à Rede de Distribuição:

- Reservatório de Montante: Localizados antes das principais ramificações da rede, servindo como ponto de entrada para a distribuição.

- Reservatório de Jusante: Posicionados após as ramificações principais, auxiliando na manutenção da pressão e no abastecimento das áreas mais distantes ou de difícil acesso.

Essa classificação permite um melhor planejamento e gestão das operações de distribuição, adaptando-se às necessidades específicas de cada região e garantindo a eficiência do sistema como um todo (Heller; Pádua, 2006).

A rede de distribuição é composta por um conjunto integrado de tubulações, conexões, registros e peças especiais, que formam o sistema responsável por transportar a água tratada desde os reservatórios até os consumidores finais. O principal objetivo dessa rede é distribuir a água de forma contínua e manter uma pressão adequada, assegurando que todos os usuários recebam o abastecimento necessário de maneira eficiente e confiável (FUNASA, 2015).

2.4.2 Elementos Chave da Rede de Distribuição

Os elementos-chave da rede de distribuição incluem:

- Tubulações: Conduzem a água através de diferentes trajetórias, conectando os reservatórios às diversas localidades atendidas.
- Conexões: Permitem a interligação das tubulações, possibilitando desvios e ramificações conforme a necessidade.
- Registros: Dispositivos de controle que regulam o fluxo de água, permitindo o fechamento ou abertura de determinadas seções da rede para manutenção ou em situações de emergência.
- Peças Especiais: Incluem válvulas, medidores, sensores e dispositivos de proteção que garantem o funcionamento adequado e a segurança do sistema.

A eficiência da rede de distribuição depende de fatores como a qualidade dos materiais utilizados, o planejamento adequado das rotas de tubulação e a manutenção periódica para prevenir vazamentos e outras falhas. Além disso, a gestão integrada das operações e o uso de tecnologias avançadas contribuem para a otimização do consumo de água e a sustentabilidade do sistema (FUNASA, 2015).

A correta implementação e gestão dos reservatórios de distribuição e da rede de distribuição são essenciais para:

- a) Garantir a continuidade do abastecimento, mesmo em períodos de alta demanda ou em situações de emergência;
- b) Manter a qualidade da água, prevenindo contaminações e assegurando que a água chegue em condições adequadas para o consumo humano;
- c) Minimizar perdas no sistema, como vazamentos, que podem comprometer a eficiência e a sustentabilidade do abastecimento;
- d) Atender ao crescimento populacional e às demandas urbanas, adaptando à infraestrutura às necessidades emergentes.

Os principais desafios enfrentados nesse contexto incluem a manutenção preventiva, a modernização das infraestruturas antigas, a gestão eficiente dos recursos hídricos e a implementação de práticas sustentáveis que garantam o abastecimento a longo prazo.

2.5 SISTEMA DE BOMBEAMENTO

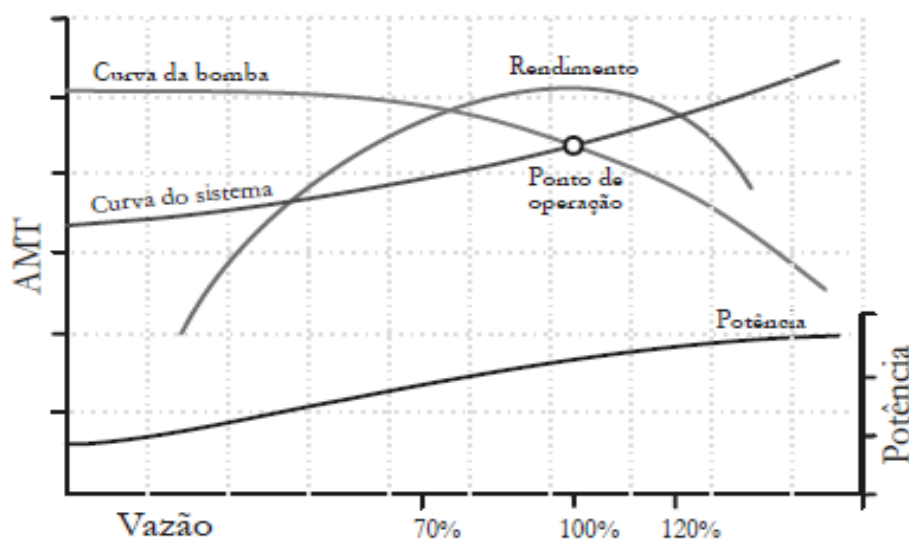
A bomba centrífuga é o equipamento mais comumente utilizado para transportar líquidos em sistemas de saneamento, sistemas hidráulicos de edifícios residenciais e instalações industriais, conforme afirmado por Bezerra et al. (2010). Uma bomba centrífuga é um dispositivo que usa força centrífuga para adicionar energia aos líquidos. Essa energia é então convertida em energia de pressão e cinética.

Os Conjuntos Motobomba (CMBs), compostos por um motor e uma bomba, são amplamente utilizados em sistemas de abastecimento de água. Eles são empregados tanto na coleta de água bruta quanto no transporte da água para estações de tratamento, em estações elevatórias, ou ainda para alimentar reservatórios e a rede de distribuição (Gomes, Otero, & Coura, 2009, p. 308).

Uma bomba ou um conjunto de bombas geralmente é escolhido para garantir a vazão máxima necessária ao sistema nas condições de rendimento máximo. No entanto, é necessário controlar sua rotação quando o sistema necessita de vazões menores, alterando suas características ou as características do sistema de bombeamento.

O dimensionamento dos conjuntos deve ser baseado nas necessidades de vazão e altura manométrica dos sistemas. Isso significa que as dimensões das grandezas hidráulicas são uma parte crítica da operação (Gomes, Otero, & Coura, 2009, p. 308). Para o correto dimensionamento de uma bomba centrífuga deve-se considerar a vazão recalçada com a altura manométrica total – ATM, diferença de pressão na sucção e no recalque da bomba, com a potência absorvida, com o rendimento e, às vezes, a altura máxima da sucção.

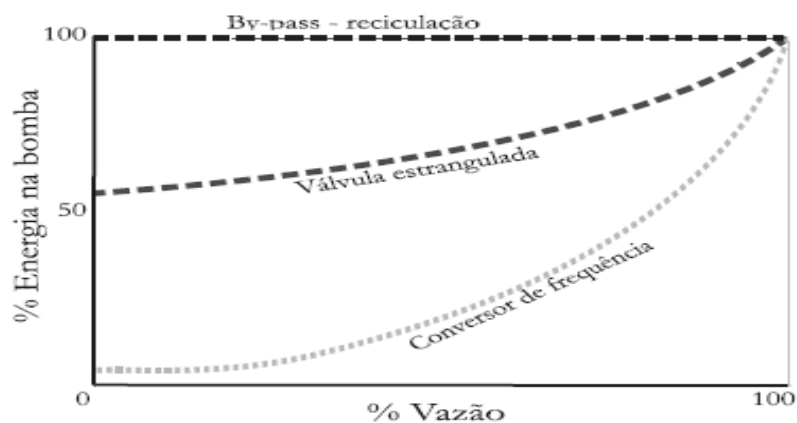
Figura 6 – Curvas característica de uma bomba centrífuga.



Fonte: Bezerra, Silva e Gomes (2010).

A alternativa para variação de vazão e pressão, conforme necessidade do sistema de abastecimento, é o controle de velocidade de rotação da bomba. À medida que a rotação diminui, a energia consumida diminui gradativamente. Na Figura 7 observa-se que dentre os três métodos mais utilizados para controle de vazão e pressão, *by-pass*, válvula estrangulada e conversor de frequência, a utilização de conversor de frequência acoplados a CMB demonstra nítida economia frente aos dois métodos (Bezerra; Silva; Gomes, 2010).

Figura 7 – Gráfico típico de comparação do consumo de energia para os métodos de controle de pressão/vazão: *by-pass*, válvula de manobra e conversor de frequência.



Fonte: Bezerra, Silva e Gomes (2010).

O gráfico demonstra que o método mais eficiente para economizar energia ao reduzir a vazão é o uso de um conversor de frequência. A válvula estrangulada oferece alguma economia, mas não é tão eficiente, enquanto o By-pass - recirculação é o menos eficiente, mantendo a bomba em plena capacidade de energia, independentemente da vazão.

Os motores elétricos dos CMBs, utilizados em diversos sistemas de bombeamento, podem ser acionados e controlados de diversas maneiras, dependendo das exigências operacionais.

O Quadro 1 mostra as principais formas de acionamento dos motores nos CMBs.

Alguns indicadores de eficiência são utilizados em sistemas de bombeamento de água para avaliar seu desempenho energético e hidráulico, com o objetivo de promover a sustentabilidade e a redução de custos operacionais. Como é o caso de indicador PH5 integrado na metodologia da PROEESA (Programa de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água), que avalia a eficiência operacional dos sistemas de abastecimento de água, com foco na relação entre o volume de água distribuído e as perdas físicas no sistema (PROEESA, 2017).

Quadro 1 – Tipos de acionamentos dos motores elétricos.

ACIONAMENTOS	DESCRIÇÃO
Partida direta	Método de acionamento na qual o motor é conectado diretamente a rede elétrica
Partida estrela-triângulo	Método de acionamento no qual o motor parte através de configuração estrela das bobinas, o que proporciona redução na corrente de partida. Posteriormente se efetua o fechamento das bobinas em triângulo e o motor passa a funcionar normalmente.
Partida compensada	A chave de partida compensadora alimenta o motor com tensão reduzida, com redução promovida pela ligação de um autotransformador em série com as bobinas do motor. Com a aceleração do motor, há normalização da tensão nominal nas bobinas.
Soft starter	Equipamento eletrônico para partida e parada suave do motor, proporcionando redução na corrente elétrica de partida.
Conversor de frequência	Equipamento eletrônico que permite a variação da velocidade do motor, proporcionando redução na corrente de partida e economia de energia.

Fonte: Bezerra e Silva (2010).

2.5.1 Conversores de Frequência

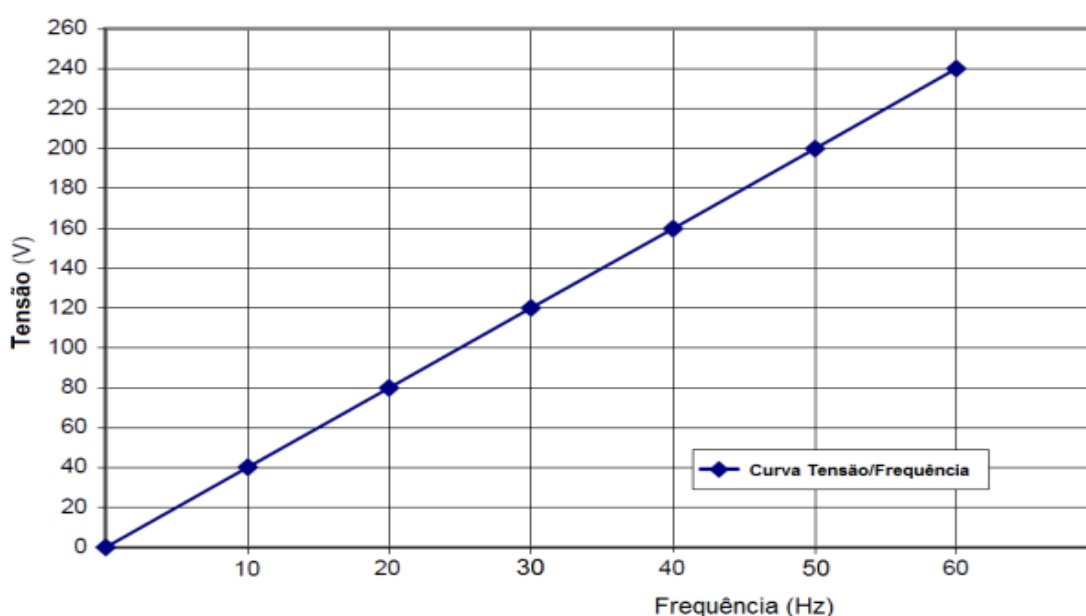
O método mais eficaz para a partida, parada e controle de motores elétricos é o sistema de acionamento por conversores de frequência. Seu uso em sistemas de abastecimento de água permite o controle do fluxo por meio da variação da velocidade de rotação da bomba. Esta é a solução mais eficiente para esse tipo de controle e oferece um grande potencial de economia. Além de reduzir o consumo de energia, esses equipamentos também aumentam a confiabilidade e a vida útil do equipamento (Bezerra; Silva; Gomes, 2010).

Por meio do princípio de modulação por largura de pulso, mais conhecido como Pulse Width Modulation (PWM), o conversor de frequência altera a rotação do motor elétrico conforme necessidade do sistema. Geralmente a relação entre tensão (V) e frequência (Hz) é linear até um certo ponto, que pode variar dependendo do tipo de motor e da aplicação específica. Essa relação linear é essencial para garantir que o motor mantenha o controle adequado da rotação e o conjugado (ou torque) necessário para operar a bomba.

No controle de motores de indução usando conversores de frequência, a relação linear entre tensão e frequência (V/f) é mantida até a frequência nominal para

assegurar que o motor opere de maneira eficiente, com torque constante. Entretanto, em frequências muito baixas, essa relação pode não ser perfeitamente linear, e o torque disponível pode diminuir, dependendo da configuração do conversor e do motor (Silva, 2009). A Figura 8 demonstra a Curva de Tensão e Frequência, onde essa curva mostra como a tensão aplicada a um motor elétrico varia com a frequência quando um conversor de frequência é utilizado. Em motores de indução, que são comumente usados em sistemas de bombeamento, essa relação linear é importante para manter o torque constante enquanto se ajusta a velocidade do motor.

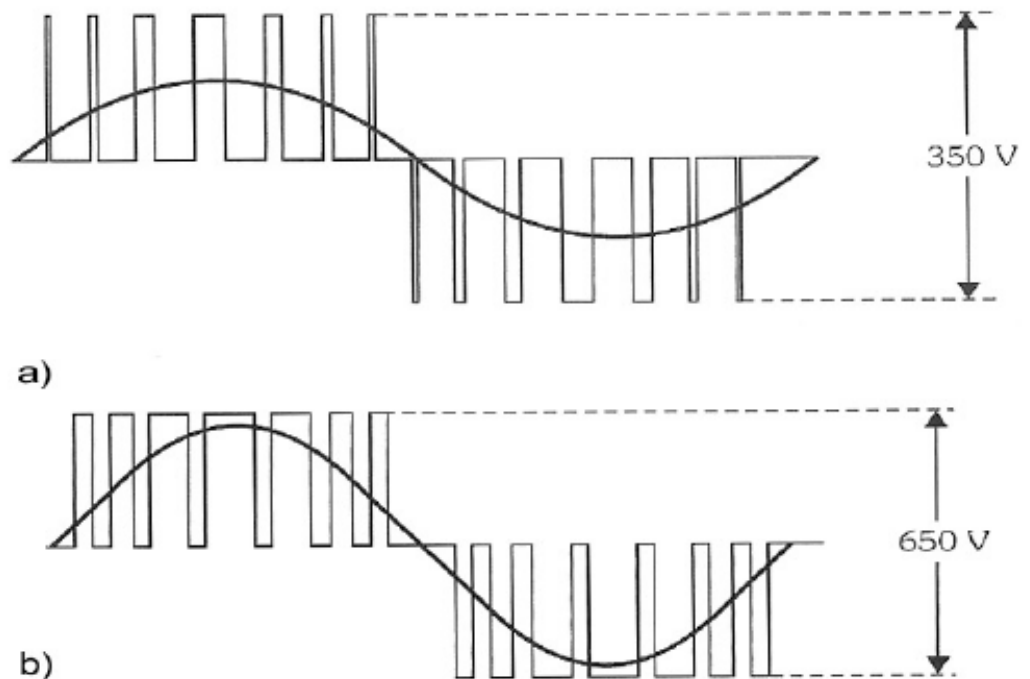
Figura 8 – Curva de Tensão e Frequência.



Fonte: Ribeiro (2012).

A modulação por largura de pulso (PWM) pode ser usada para alterar a tensão que vem do barramento de tensão contínua (DC). Os pulsos são alargados quando é necessário aumentar a tensão e são estreitados quando a tensão precisa ser reduzida, conforme demonstrado na Figura 9 (Rodrigues; Luvizotto Junior, 2013). A variação da frequência determinará a velocidade do motor, conforme maior a frequência maior será a rotação do motor.

Figura 9 – Modulação PWM (a) pulso estreito e (b) pulso alargado.



Fonte: Franchi (2009).

Silva (2009, p. 149) explica algumas características e vantagens dos conversores de frequência, a saber:

- Ajuste da velocidade de rotação sem o empobrecimento da regulação;
- Pode-se obter elevado conjugado de partida;
- Variação linear da velocidade de rotação com a frequência;
- Proteção contra falta de fase, sobre corrente e subcorrente;
- Precisão na movimentação da carga;
- Pode operar com fator de potência próximo da unidade;
- Pode executar frenagens com recuperação de energia;
- Sincronismo na operação conjunta de motores;
- Possibilidade de interligação em redes de automação;
- Economia de energia.

O conversor de frequência deve operar entre 30 e 60 Hz. Ao diminuir a frequência nessa faixa, há um declínio pequeno no rendimento; no entanto, esse declínio é insignificante em comparação com a economia de energia resultante da operação da bomba centrífuga com rotações reduzidas, que, em geral, permite uma economia de energia de 10 a 50 % (Tsutiya, 2007).

2.5.2 Válvulas

Uma válvula instalada à jusante da bomba, uma válvula instalada no by pass da bomba ou uma válvula reguladora de pressão (VRP) podem ser usadas para controlar a vazão e a pressão das elevatórias por meio de manobras de válvulas. Ao diminuir o coeficiente da circunferência, a válvula instalada a jusante da bomba controla a vazão e cria resistência adicional para alterar a curva do sistema (Tsutiya, 2007).

A vazão é controlada pela variação da abertura da válvula quando esta é instalada no tubo de desvio da bomba. A vazão na linha de recalque diminui com a abertura da válvula. Quando uma bomba de reforço utiliza menos água do que a vazão de recalque, parte da vazão retorna à linha de sucção por meio do by-pass. A água volta para o reservatório através da bomba adjacente (Tsutiya, 2007).

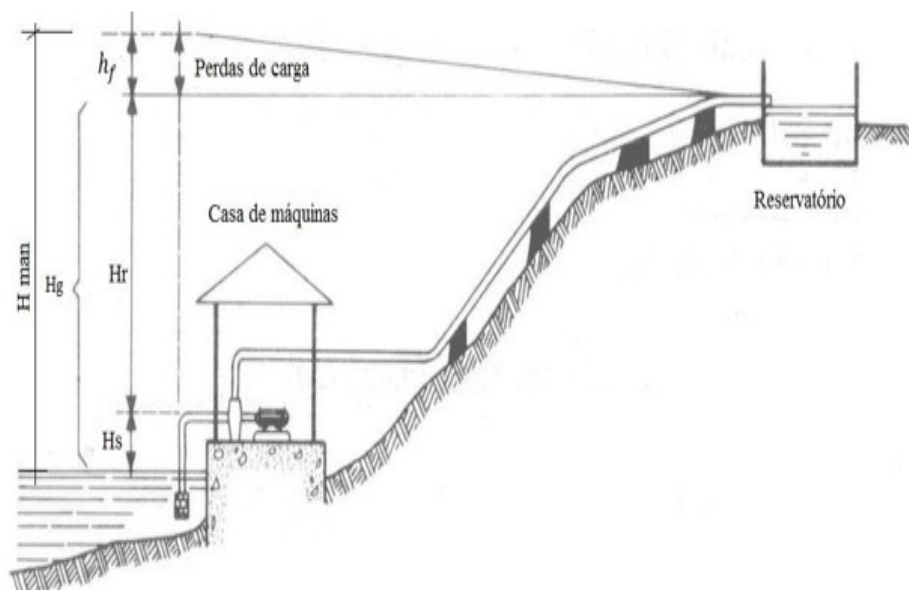
As VRPs limitam a pressão a jusante quando excede um determinado valor. Isso os torna uma das opções mais eficazes, simples de usar e econômicas para uniformizar e controlar a pressão em uma rede de distribuição (Covas; Ramos, 2007).

As VRP devem garantir que os consumidores finais tenham as exigências mínimas e máximas permitidas, conforme afirmado por Gonçalves e Alvim (2007).

Esse tipo de sistema é comum em locais onde a água precisa ser transportada de áreas baixas para áreas elevadas. O entendimento das alturas geométricas e das perdas de carga é fundamental para dimensionar corretamente a bomba e garantir a eficiência do sistema. Se a bomba não for corretamente dimensionada, pode ocorrer insuficiência na elevação da água ou um consumo excessivo de energia.

Na Figura 10, O esquema apresentado ilustra as principais nomenclaturas de um sistema de bombeamento de água expressado nas equações (1) e (2) .

Figura 10 – Nomenclatura das alturas usadas em sistema de bombeamento.



Fonte: Azevedo Netto *et al.* (1998).

$$H_g = H_s + H_r \quad (1)$$

Onde:

- H_g é a altura geométrica entre o nível do manancial e o nível da estação elevatória (m);
- H_s é a altura de sucção, isto é, altura do eixo da bomba com o nível do manancial (m);
- H_r é a altura de recalque, ou seja, desnível entre o eixo da bomba e o nível da estação elevatória (m).

A altura manométrica total é a soma da altura geométrica com a soma total das perdas de carga.

$$H_{man} = H_g + h_f \quad (2)$$

Onde:

- H_{man} é a somatória da altura geométrica e a perda de carga (mca);
- H_g é a altura geométrica (m)
- h_f é a perda de carga total (mca);

O CMB elevador deve superar a diferença de nível entre os dois pontos, bem como as perdas de carga em todo o percurso (perdas por atrito ao longo da canalização e perdas localizadas devido a peças especiais), de acordo com Azevedo Netto *et al.* (1998).

2.6 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A rede de distribuição de água (RDA) é um componente do sistema de abastecimento de água que garante que a água seja fornecida ao consumidor em quantidade, qualidade e pressão adequadas tanto para o sistema quanto para o consumidor.

O sistema de abastecimento público de água é composto por um conjunto de instalações, obras e serviços destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade em quantidade e qualidade adequadas para atender às necessidades da população, seja para uso doméstico, serviços públicos, uso industrial ou outros usos (FUNASA, 2006, p. 35).

Para Tsutiya (2006, p. 74), em geral, o sistema de abastecimento de água é composto pelas seguintes partes:

Manancial: Fonte de água superficial ou subterrânea com volume e qualidade adequados para atender ao consumo e adequada para a captação de água para o sistema.

Captação: Conjunto de estruturas e dispositivos utilizados para extrair água do manancial para o sistema de abastecimento.

Segundo Prince (2006), a parte mais importante de um sistema de abastecimento é a seleção do manancial e a correspondente captação de suas águas. Essa seleção depende da escolha adequada do local, da proteção eficiente do manancial, da construção e operação corretas dos dispositivos de captação, como barragens ou vertedouros para manter o nível ou regular a vazão, e de equipamentos para impedir a entrada de materiais flutuantes. A finalidade da captação é garantir que a água seja retirada do manancial em quantidade e qualidade suficientes para o consumo e que os tratamentos sejam dispensados ou minimizados (Medeiros Filho, 2009).

2.6.1 Estação Elevatória

O crescimento desordenado dos grandes centros urbanos é considerado a principal causa da complexidade operacional dos sistemas de abastecimento de água. Isso obriga as companhias de saneamento a ampliar seus sistemas para atender a todas as condições e demandas impostas pelas cidades.

Assim, as estações elevatórias são adicionadas à malha operacional com o objetivo de fornecer pressão e vazão adequadas aos pontos de consumo mais longos (Rodrigues; Luvizotto Junior, 2013).

Essas estações elevatórias elevam a água bruta ou tratadas para a unidade subsequentemente ou aumentam a pressão do líquido na rede de distribuição. Para isso o sistema de abastecimento de água normalmente possui várias estações elevatórias, cada uma das quais é composta por bombas hidráulicas e caixa de sucção (tanques). Segundo Tsutiya (2004), o motor elétrico, a bomba, o acionamento por conversor de frequência e as válvulas são os principais componentes de recalque das estações elevatórias.

Para fins de economia de energia, facilidade de operação, manutenção e segurança, os escoamentos devem ser totalmente por gravidade. Os locais a serem atendidos, no entanto, estão em pontos altos ou muito distantes das fontes de abastecimento de água. Devido a isso, as elevatórias são essenciais para a rede de coleta, adução, tratamento e distribuição de água, pois é responsável por bombear o líquido para cotas mais altas ou para aumentar a capacidade de adução do sistema (Coelho, 2006).

2.6.2 Reservatório

O reservatório é um componente do sistema de distribuição de água que tem como objetivo controlar a pressão na rede de distribuição e regular as flutuações entre as vazões de adução e distribuição.

Os reservatórios de distribuição de água desempenham um papel fundamental nos sistemas de abastecimento, conforme destaca Tsutiya (2004). Além de serem a parte mais visível do sistema, eles cumprem uma ampla gama de funções essenciais. Os principais objetivos dos reservatórios são:

- Regularizar a vazão: manter uma vazão constante que seja igual à demanda média no dia em que sua área de influência consome mais água, acumular água durante os dias em que a demanda é menor e fornecer vazões adicionais quando a demanda por mais alta;
- Segurança no abastecimento: fornecimento de água em caso de ruptura da adutora, paralização da captação ou estação de tratamento e falta de energia elétrica.
- Reserva de água para incêndio: fornecer vazões adicionais de combate a incêndio;
- Regularização de pressão: a localização dos reservatórios de distribuição pode variar conforme as condições de pressão da rede, principalmente ajustadas às variações de pressão;
- Aumento do rendimento dos conjuntos elevados: quando a altura manométrica e a vazão permanecem aproximadamente iguais, os conjuntos de motor bomba (CMB's) podem funcionar próximos ao seu ponto de rendimento máximo.

O reservatório permite que a água seja bombeada fora do horário de ponta, período de três horas consecutivas (geralmente das 18h às 21h, exceto sábados, domingos e feriados) em que as tarifas de energia e demanda podem triplicar (CPFL, 2023). Ao realizar o bombeamento em horários de menor demanda, os custos com energia elétrica são significativamente reduzidos.

Os reservatórios, considerados um ponto vulnerável no sistema de distribuição de água, requerem cuidados especiais. É fundamental protegê-los com uma estrutura adequada que inclua tubo de ventilação, impermeabilização, cobertura, sistema de drenagem, abertura para limpeza, registro de descarga e indicador de nível para prevenir contaminações. Além disso, é crucial realizar a limpeza e manutenção desses reservatórios regularmente (FUNASA, 2006).

Em nossa legislação, verifica-se que a quantidade de reservação de água exigida está relacionada à capacidade dos sistemas de abastecimento de garantir um fornecimento contínuo e seguro de água para a população, mesmo em situações de interrupção temporária do fornecimento ou em períodos de seca.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 e outras normas correlatas, estabelece diretrizes para a proteção dos corpos hídricos e para o uso sustentável dos recursos hídricos, mas quando se trata de reservação de água em sistemas de abastecimento, essa exigência é regulada principalmente por normas técnicas e regulamentos locais, que variam de acordo com o município ou estado.

Também, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 12217, que trata do projeto de sistemas públicos de abastecimento de água, recomenda que a capacidade de reservação de água seja dimensionada para atender a pelo menos um dia de consumo médio da população abastecida. Isso significa que o reservatório deve ser capaz de armazenar a quantidade de água necessária para um dia de consumo, considerando os diferentes usos, como consumo residencial, comercial e industrial.

Além disso, a quantidade de reservação de água pode variar conforme a localidade, levando em conta fatores como:

- População atendida: Quanto maior a população, maior deve ser a capacidade de reservação.
- Padrões de consumo: Regiões com altos índices de consumo per capita exigem maior capacidade de reservação.
- Disponibilidade hídrica: Em áreas onde a disponibilidade de água é limitada ou sujeita a variações sazonais, a capacidade de reservação deve ser ampliada para garantir o abastecimento contínuo.
- Planos de contingência: Em regiões sujeitas a interrupções frequentes no fornecimento de água, a legislação pode exigir uma capacidade de reservação adicional para garantir a continuidade do serviço.

2.6.3 Adutora

Trata-se de conjuntos de tubos ou canalizações que transportam água entre unidades antes da rede de distribuição.

O transporte de água é mais seguro e econômico quando feito por gravidade. Porém, é necessário um desnível suficiente para conduzir a vazão necessária entre os pontos a serem interligados, o que nem sempre é encontrado. Para tanto são

utilizadas elevatórias e adutoras, que quando tem essa função de interligar é classificada como adutora por recalque. As adutoras também são classificadas pela natureza da água transportada. Quando antecedem a estação de tratamento de água são denominadas de adutora de água bruta e após receber tratamento, por adutora de água tratada (Coelho; Baptista, 2006).

A FUNASA (2006, p. 83) afirma que as adutoras, tubulações utilizadas para transportar água entre diferentes unidades do sistema de abastecimento antes de chegar à rede de distribuição, podem se conectar nas seguintes situações:

- Captação e a ETA (Estação de Tratamento de Água);
- ETA e os reservatórios;
- Reservatórios de transferência e reservatórios de distribuição;
- Reservatórios e redes de distribuição;
- ETA e a rede de distribuição.

No processo de definição do material a ser empregado, é fundamental que, além do estudo teórico, haja um programa de visualização do material em estudo, pois dada a sua grande variedade estrutural e mercadológica a escolha dos materiais pode definir a qualidade e o custo benefício do sistema implementado (Kuroda; Pádua, 2006).

Como principais unidades de um sistema de abastecimento de água, as adutoras necessitam de um projeto e execução cuidadosos, conforme afirma Tsutiya (2004). Recomenda-se uma análise minuciosa de seu traçado em planta e perfil para garantir a colocação correta de seus componentes adicionais e ancoragens nos locais onde os esforços possam deslocar as peças.

2.6.4 Rede de Distribuição

É um sistema que conecta os consumidores a fontes de água potável. A fim de fornecer água potável aos consumidores, o sistema é composto por tubos com diferentes materiais e diâmetros variados, interligando fontes de reservação ou captação ao usuário final.

As Redes de Distribuição de Água (RDA) são construídas para fornecer vazões

e especificações específicas, reduzindo os custos de instalação e operação. A otimização de uma RDA consiste em encontrar a combinação ideal de diâmetros de tubos para que a implantação não custe muito e atenda às restrições de pressão nos nós de consumo e velocidades específicas nos trechos.

As redes de distribuição de um sistema de abastecimento de água geralmente são obras enterradas, localizadas sob as vias públicas e de difícil acesso. Isso, porém, não significa que as redes não possam funcionar adequadamente. Pelo contrário, sendo a seção do sistema de abastecimento mais próxima do consumidor, é essencial dar atenção especial à qualidade da água e às perdas de água. Os responsáveis pelo sistema de abastecimento de água devem estar sempre atentos a esses dois aspectos (Tsutiya, 2004).

As redes devem ser executadas com cuidado e em valas que tenham sido consideradas adequadas, a rede de água deve estar sempre em nível superior à rede de esgoto em qualquer rua. Além disso, é comum que a rede de água esteja localizada em um terço da rua e a rede de esgoto em outro. A fim de absorver o impacto de cargas móveis, as tubulações assentadas nas valas devem ser recobertas em camadas sucessivas de terra (FUNASA, 2006).

As redes principais têm a função de fornecer abastecimento às tubulações secundárias e devem ser instaladas em vias ou áreas públicas, formando circuitos fechados e direcionadas para as áreas de maior demanda, próximas às vazões específicas. As redes secundárias, que abastecem os pontos de consumo, por outro lado, devem ser instaladas indistintamente em todo o arruamento existente e, quando possível, sob os passeios (Tsutiya, 2004).

De acordo com Prince (2006), pode-se concluir que uma rede de distribuição mal operada ou mal projetada sempre causa problemas, principalmente em relação a perdas de água, problemas com a qualidade da água e reclamações dos usuários.

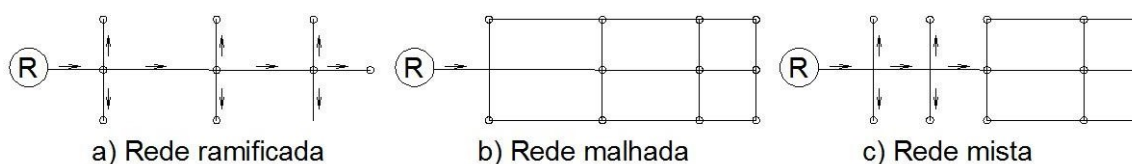
Para Tsutiya (2006), o custo de implantação de uma rede de distribuição para uma população com mais de 100.000 pessoas representa aproximadamente 76% do custo total do sistema de abastecimento de água. Como resultado, pesquisas são realizadas com o objetivo de minimizar os custos associados à implementação de RDA com um desempenho superior.

As condições possíveis para a elaboração do projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público são determinadas pela norma brasileira NBR 12218

(2017), "Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público". As zonas de pressão, por exemplo, devem ter pelo menos 100 kPa (10 mca) de pressão dinâmica e as pressões estáticas máximas não devem exceder 500 kPa (50 mca). A velocidade mínima dos condutores deve ser de 0,60 m/s e a velocidade máxima não deve exceder 3,50 m/s. O item 5.6.2 da NBR diz que "os condutos secundários devem formar rede malhada, podendo ou não ser interligados nos pontos de cruzamento", e o item 5.6.1 diz que os condutos principais devem ser localizados em vias públicas, formando preferencialmente circuitos interno. O item 5.7.2 especifica que "o diâmetro mínimo dos condutos secundários é de 50 mm".

Uma rede malhada tem vários anéis ou circuitos, enquanto uma rede ramificada não tem. Como mostrado na Figura 11, as pequenas comunidades de traçado arterial são muito conectadas à rede ramificada por meio de uma rede principal com partes transversais (secundárias). Essas partes dão à rede o formato de uma espinha de peixe.

Figura 11 – Tipos de configuração de redes.



Fonte: EOS (2023).

As redes malhadas têm condutos com malhas ou anéis que permitem que a água flua de um lado para o outro de acordo com a demanda. As redes mistas contêm anéis, mas alguns nós estão ligados a um único trecho.

Na Figura 12 segue um esquema típico de rede ramificada com seus principais componentes.

1. Rede Principal: tubulação de grande diâmetro que transporta grandes volumes de água de reservatórios ou de estações de tratamento para as regiões de distribuição;

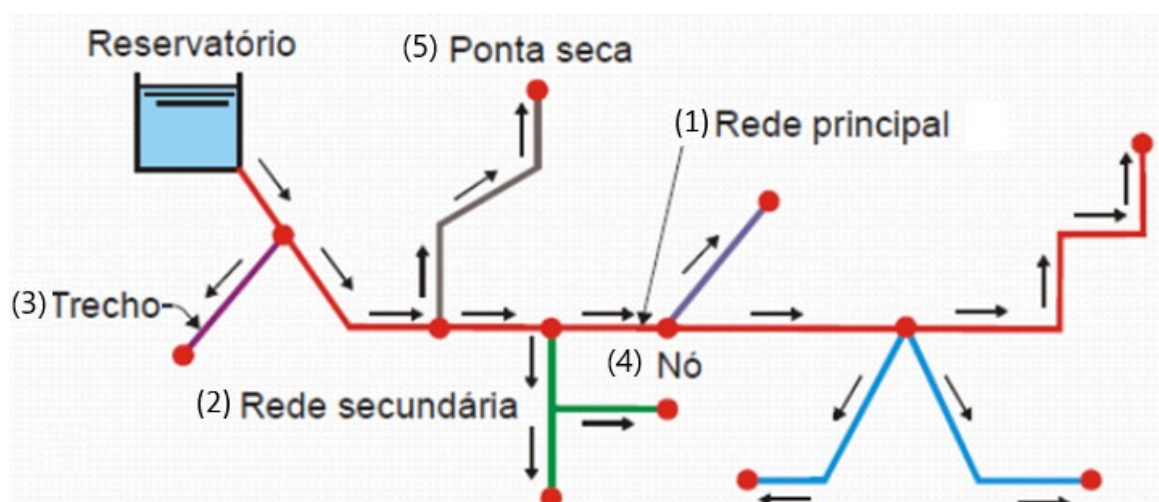
2. Rede secundária: tubulação de menor diâmetro que distribui a água da rede principal para áreas menores, como bairros e ruas;

3. Trecho: representa as tubulações que formam os percursos da rede de distribuição.

4. Nó: é um ponto de conexão entre dois ou mais trechos que pode ser representado como um ponto de consumo associado a uma demanda;

5. Ponta seca: extremo de uma tubulação sem continuidade, onde o fluxo de água é interrompido.

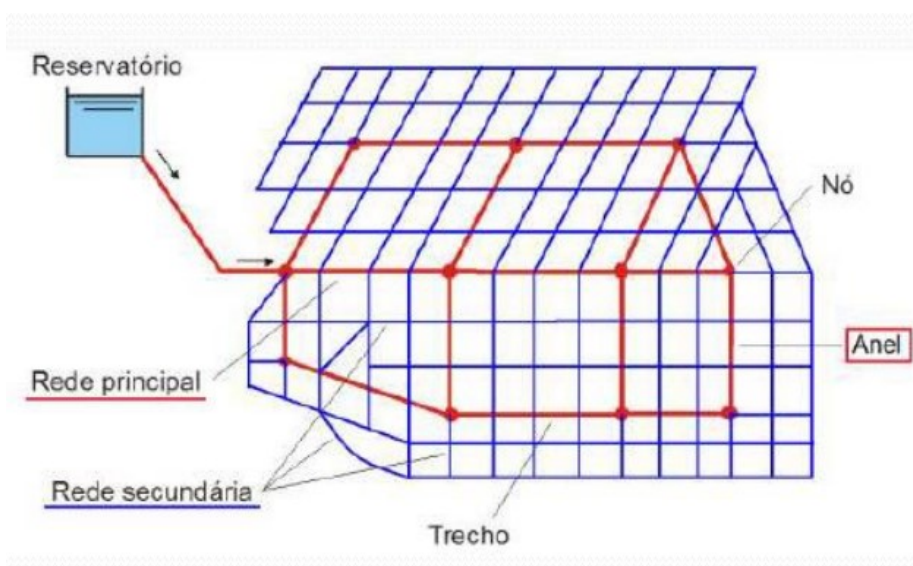
Figura 12 – Rede de distribuição ramificada.



Fonte: Adaptado de Alem Sobrinho e Contrera (2013).

A rede malhada, com fluxo bidirecional, demonstra maior eficiência em comparação com redes de sentido único. Em caso de interrupção no conduto principal, o abastecimento de água não será comprometido, pois o fluxo será automaticamente redirecionado no sentido oposto para atender à nova configuração gerada pela interrupção. Isso garante maior segurança e flexibilidade no sistema de distribuição Figura 13 (Guedes, 2018).

Figura 13 – Rede de distribuição malhada.



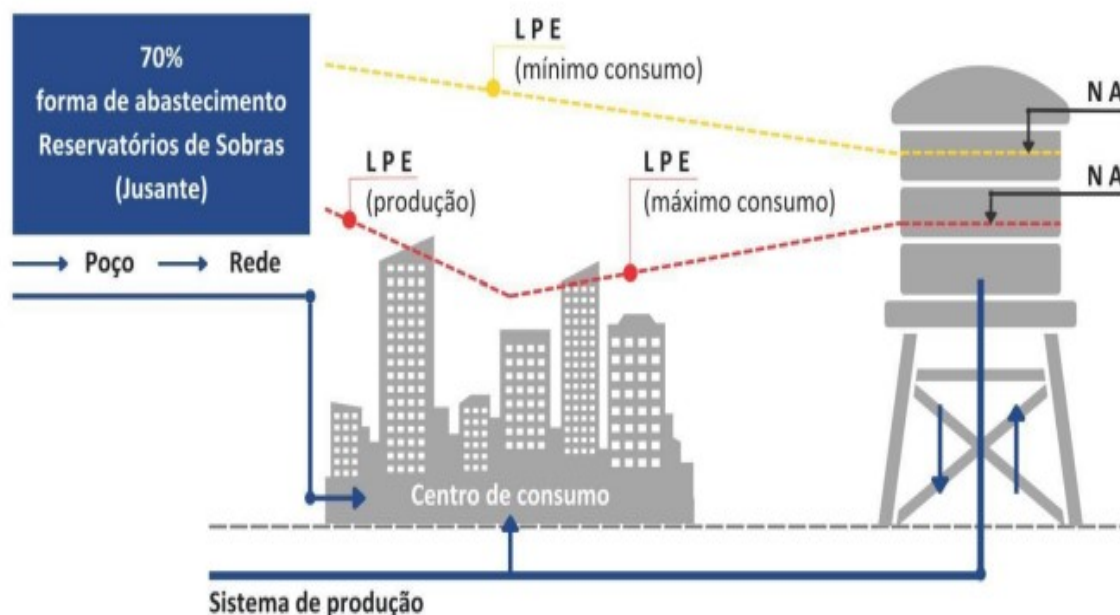
Fonte: Alem Sobrinho e Contrera (2013).

2.7 SISTEMA DE RESERVAÇÃO DE ÁGUA

Os reservatórios têm como principal função compensar a diferença entre o consumo e a vazão de produção. Outro benefício associado aos reservatórios é manter uma pressão mínima e constante na rede de distribuição, mesmo quando os equipamentos estão parados.

Para atender às necessidades de abastecimento nos municípios, as Estações de Pressurização de Água Tratada (EPAT) têm a função de promover a pressurização da água na rede de distribuição, garantindo o abastecimento em regiões desfavorecidas pela gravidade. Desta forma, as bombas captam água do reservatório e pressurizam a rede exclusiva da Zona Alta, mantendo a pressão superior à mínima e inferior à máxima exigida. Outra prática comum é a instalação do *booster* em conjunto com a bomba submersa, nos locais onde o abastecimento é realizado em marcha e o reservatório instalado a jusante. Neste caso, o reservatório fica localizado após a rede, funcionando como um pulmão, ou seja, a sobra de água do abastecimento é armazenada no reservatório e, em horários de pico, contribui com o abastecimento por gravidade, visto na Figura 14. (Empresa Pública de Saneamento, 2024).

Figura 14 – Fluxograma do Sistema de Abastecimento.



Fonte: Empresa Pública de Saneamento (2024).

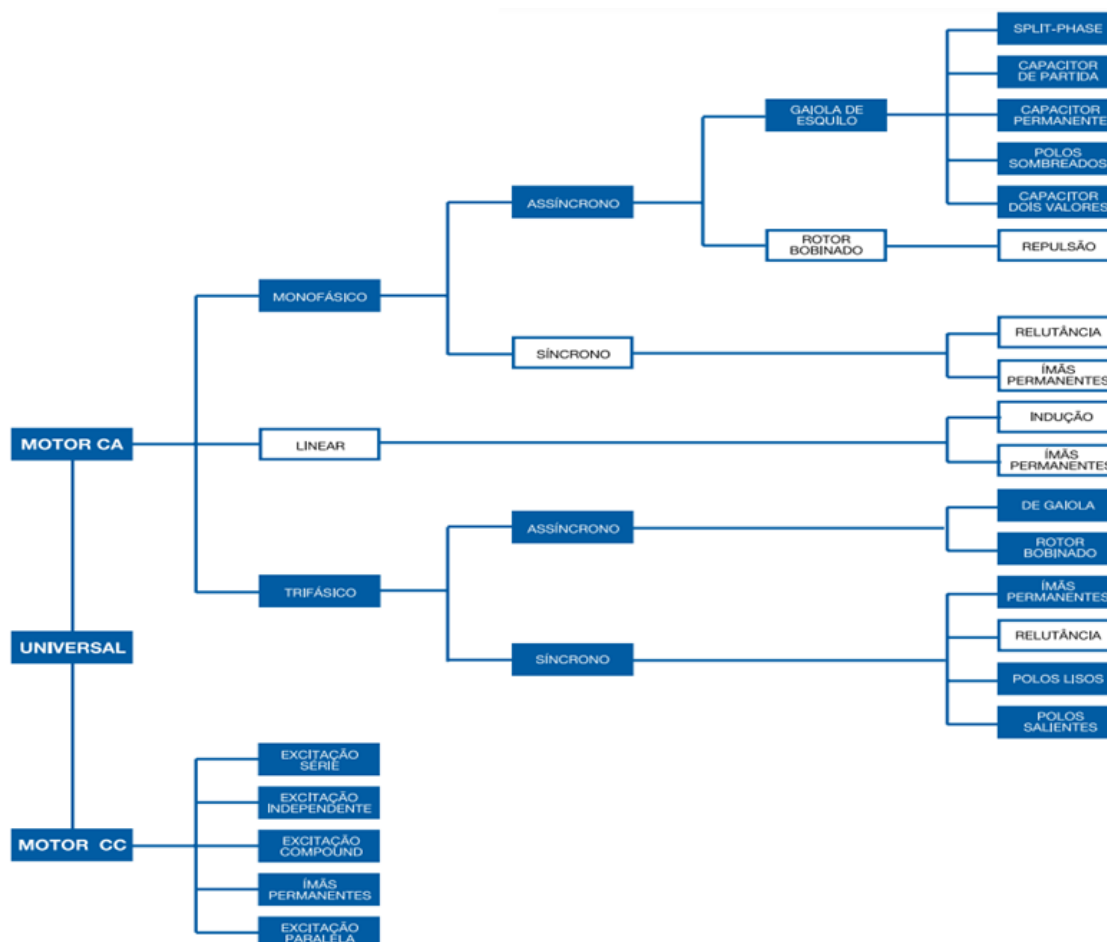
2.8 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A busca por maior eficiência energética tem impulsionado empresas de saneamento a adoção de motores de alto rendimento e a implantação de bancos de capacitores como estratégias para reduzir o consumo elétrico e melhorar o fator de potência. Motores mais eficientes minimizam perdas energéticas, enquanto os bancos de capacitores corrigem o deslocamento de fase da corrente elétrica, reduzindo custos operacionais e aliviando a carga sobre o sistema elétrico.

2.8.1 Motores Elétricos

O motor elétrico é um equipamento que transforma energia elétrica em energia mecânica, convertendo a energia elétrica em energia cinética. A corrente elétrica, contínua ou alternada, garante o movimento no eixo do motor (Franchi, 2007).

Figura 15 – Tipos de motores mais utilizados.



Fonte: WEG (2024).

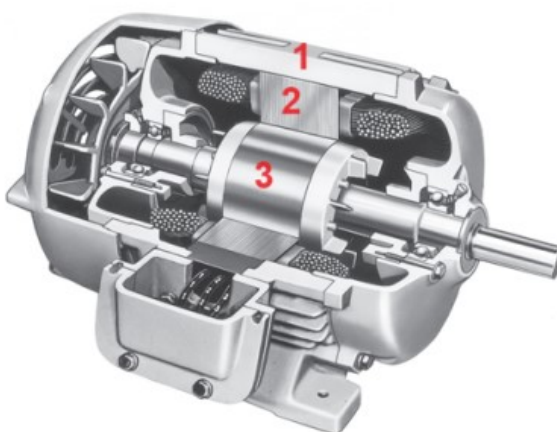
O motor de indução eletromagnética é o mais utilizado de todos os tipos de motores, devido ao baixo custo, simplicidade e adaptação a diversas cargas, demonstrado na Figura 16. Podem ser divididos em duas categorias: motores de corrente contínua (CC), que são mais complexos, permitem ampla variação de velocidade com precisão e têm custos mais elevados, e motores de corrente alternada (CA), que podem ser síncronos, funcionando com velocidade fixa e sem interferência do escorregamento, ou assíncronos, operando com velocidade constante que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada (Figura 15). Os motores assíncronos têm baixo custo devido à sua simplicidade e robustez, permitindo o controle de velocidade quando utilizado um dispositivo adicional chamado inversor de frequência (WEG, 2024).

Dentre as diversas categorias de motores elétricos existentes, o motor de indução trifásico (MIT) está presente nas mais diversas aplicações industriais, devido

às suas vantagens econômicas em relação aos custos, manutenção e vida útil, se comparado aos demais motores elétricos (Mazuca, 2014).

A utilização de motores elétricos de indução trifásicos de corrente alternada é comum na maioria das empresas de saneamento. Esses motores, especialmente do tipo gaiola de esquilo, são frequentemente adotados nos processos de bombeamento para captação e distribuição de água, devido à sua robustez, que garante longa durabilidade, baixa manutenção e a capacidade de operar com grandes potências, permitindo a movimentação de grandes volumes de água (Empresa Pública de Saneamento, 2019).

Figura 16 – Estrutura Física do MIT.



Fonte: Adaptado de Chapman (2013).

Conforme demonstrado na Figura 16, a carcaça (1) dos motores tem como principal função apoiar, proteger e proporcionar a troca de calor com o ambiente externo por meio das aletas (WEG, 2024). O estator (2) é a parte estacionária do motor, onde estão contidos os enrolamentos de fio de cobre. Quando a corrente elétrica percorre esses enrolamentos do estator, cria-se um campo magnético rotativo que induz correntes elétricas no rotor (3), que, por sua vez, forma um campo magnético próprio, produzindo torque e rotação no motor (Franchi, 2007).

2.8.2 Conjunto Motobomba para Captação e Distribuição de Água

A maioria das empresas de saneamento que captam água de poços artesianos profundos, a utilização de motobombas submersas para captação de água dos poços artesianos é muito comum. A substituição dos métodos antigos de captação de água

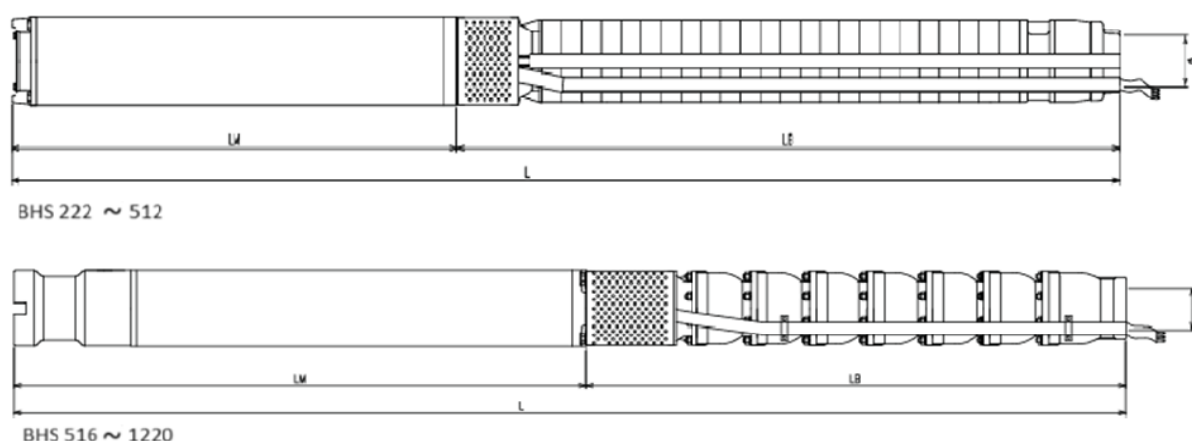
subterrânea, como bombas de eixo prolongado, compressores ou bombas ejetoras, foi realizada devido ao baixo rendimento e aos usos restritos desses métodos (Diniz; Michaluate, 2002).

Os conjuntos de motobombas submersas possuem formas estruturais diferenciadas das bombas centrífugas, devido à necessidade de serem instaladas dentro de poços tubulares estreitos; suas estruturas são mais finas e alongadas, visto na Figura 17, podendo chegar a diâmetros de 295 mm, comprimentos de 3.990 mm, somando o bombeador e o motor, e potência de 420 HP, nos modelos comerciais para poços com diâmetro de 13" (EBARA, 2024).

As potências desses conjuntos de motobombas variam conforme a profundidade de instalação e a vazão necessária em cada poço. As potências desses equipamentos variam conforme a profundidade de instalação e a vazão necessária em cada poço (Empresa Pública de Saneamento, Dimensionamento de Bombas Submersas, 2019).

Em cada aplicação, utiliza-se um conjunto de motobomba submersível específico, podendo variar de bomba com rotor radial, para vazões até 35 m³/h, e rotor semiaxial, para vazões maiores (Figura 20) (Diniz; Michaluate, 2002).

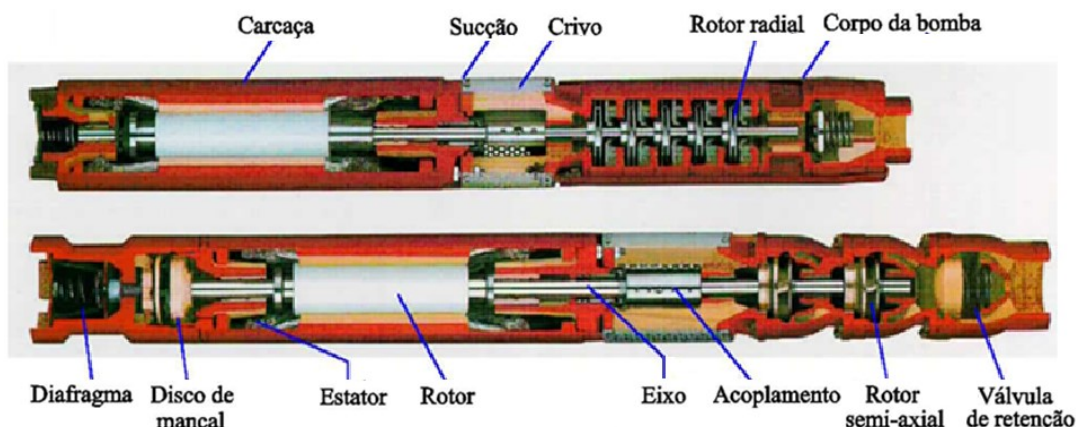
Figura 17 – Conjunto motobomba submerso com rotor radial (cima) e rotor semiaxial (embaixo).



Fonte: Diniz, Michaluate (2002).

Na Figura 18 é mostrado o corte transversal de um conjunto motobomba submerso com rotor radial (cima) e motobomba submersa com rotor semiaxial (embaixo).

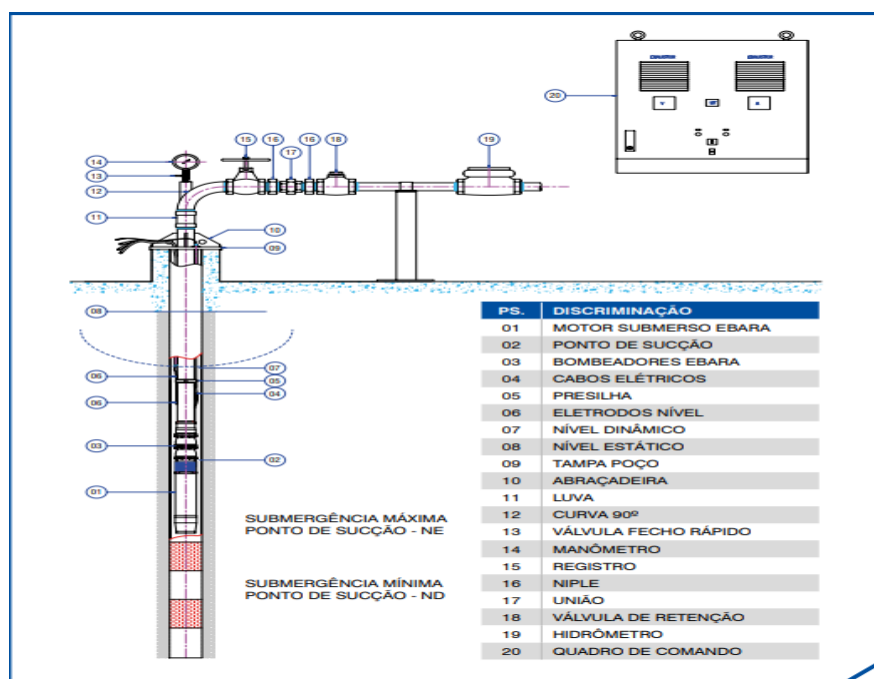
Figura 18 – Corte transversal de um conjunto motobomba submerso com rotor radial (cima) e motobomba submersa com rotor semiaxial (embaixo).



Fonte: Adaptado de EBARA (s.d.).

Os conjuntos de motobombas submersas para captação de água subterrânea, através de poços tubulares, demonstrado na Figura 19, buscam atender às mais variadas aplicações, podendo ser residencial, industrial, agrícola e de abastecimento público. Na área industrial, auxiliam a construção civil e a exploração mineral quando se faz necessário o rebaixamento de lençóis freáticos; na agricultura, com a irrigação dos cultivos no campo; e no abastecimento público, com a captação e distribuição de água (EBARA, 2024).

Figura 19 – Instalação de Bomba Submersa em poço tubular profundo.

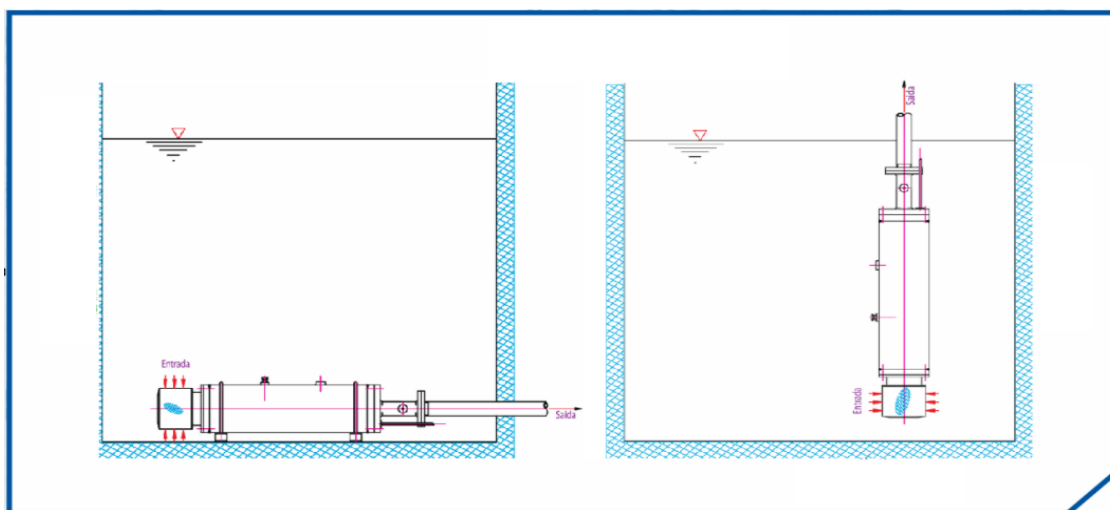


Fonte: Ebara (2024).

Os conjuntos de motobombas submersas podem ser utilizados de outras maneiras, além de sua instalação em poços tubulares profundos. Permitem a instalação em reservatórios para captação de água, visto na Figura 20 ou como *booster* para pressurizar a rede de distribuição visualizado na Figura 21. Em ambas as aplicações, permitem as instalações de forma vertical e horizontal, conforme definições e particularidades de cada fabricante (EBARA, 2024).

A bomba submersa, vista na Figura 20 é instalada dentro do próprio reservatório ou corpo d'água, ficando submersa no líquido que será bombeado. A bomba submersa é projetada para operar totalmente submersa na água. Ela aspira a água pela entrada localizada na base ou lateral e a impulsiona através da tubulação de descarga até o ponto de destino, seja outro reservatório, um sistema de tratamento, ou diretamente para a rede de distribuição.

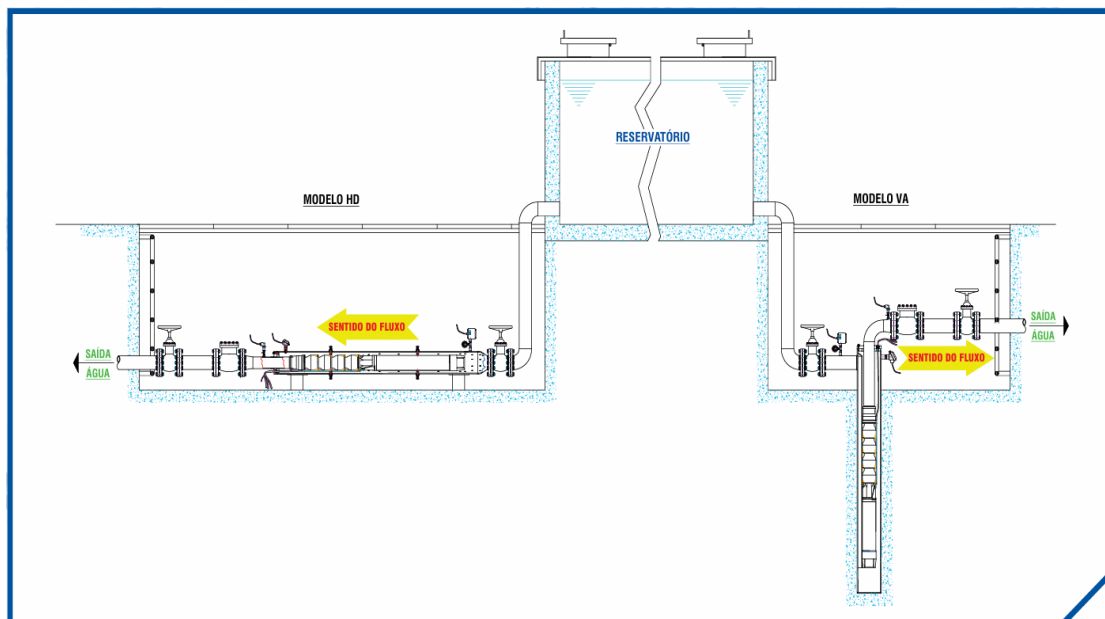
Figura 20 – Captação de água de reservatório por bomba submersa.



Fonte: Adaptado de Ebara (2024).

A Figura 21, demonstra que a instalação de *boosters*, é fundamental para garantir um fornecimento de água eficiente e confiável, especialmente em sistemas de distribuição complexos ou que atendem áreas com variações significativas de altitude.

Figura 21 – Instalação de *booster* no sistema de distribuição de água.



Fonte: Ebara (2024).

A utilização de *boosters* em Estações Elevatórias (EE), instalações de bombeamento destinadas a transportar água a pontos mais distantes e elevados, apresenta vantagens consideráveis no combate a perdas, pois auxiliam a manter a pressão adequada de operação em regiões altas e reduzem vazamentos por rupturas nas redes, mantendo a pressão adequada e uniforme.

Dependendo do projeto, o *booster* pode ser instalado em conjunto com a bomba submersa para aumento na vazão do poço, proporcionando maior eficiência e menor consumo de energia (EBARA, 2024).

A instalação de *boosters* como pressurizadores de rede não dispõe de caixa ou poço para sucção, pois são instalados diretamente na adutora ou rede de distribuição, conforme visualizado na Figura 22. Dependendo do projeto, o *booster* pode ser instalado em conjunto com a bomba submersa para aumento na vazão do poço, demonstrado na Figura 23.

Figura 22 – *Booster* no sistema de distribuição de água em um dos pontos da cidade.



Fonte: Autor (2024).

Figura 23 – *Booster* instalado em um Poço da Empresa Pública de Saneamento.



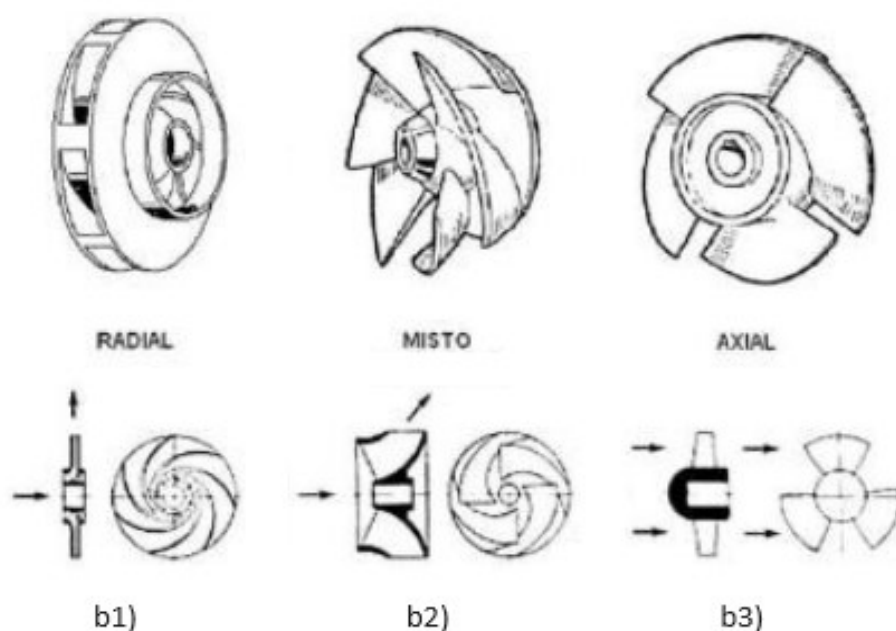
Fonte: Autor (2024).

Por trabalhar totalmente submersa, as bombas submersas são refrigeradas com a própria passagem da água pelo motor a uma velocidade específica. Assim,

para assegurar sua devida refrigeração, a instalação do conjunto motobomba deve ocorrer acima dos filtros, instalados nas paredes do poço profundo, e atender ao nível mínimo de submersão de cada conjunto motobomba, considerando a profundidade de instalação do motor abaixo do nível de água. O atendimento ao nível de submersão, recomendado por cada fabricante, garante a correta refrigeração e evita a cavitação do equipamento (EBARA, 2024).

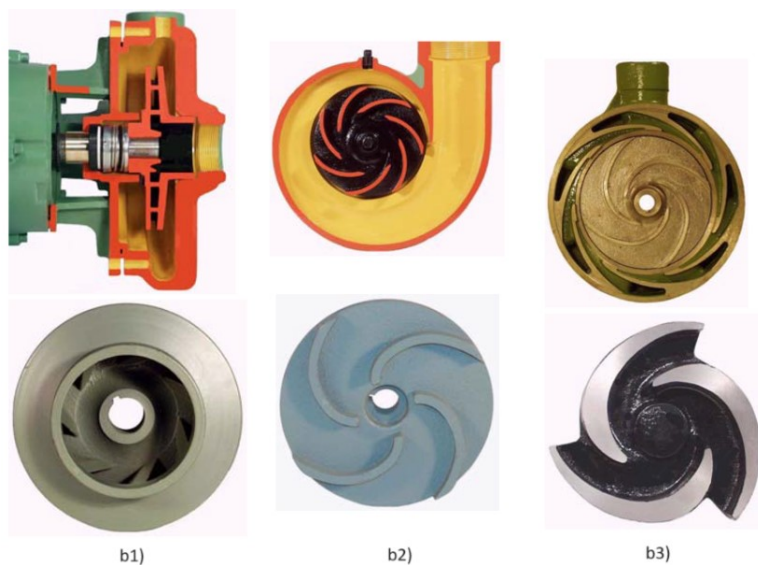
As motobombas centrífugas de eixo horizontal, utilizadas como booster ou como recalque no sistema de distribuição de água, são projetadas para atender às demandas de vazão e pressão necessárias, conforme a demanda do sistema de abastecimento de água em empresas de saneamento. As bombas centrífugas podem ser basicamente divididas em três categorias: radial (b1), para maiores pressões e menores vazões; mista (b2), onde o fluxo é diagonal, sendo parte axial e parte radial; e axial (b3), para maior vazão e menor pressão, demonstrado nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 – Tipos de rotores de bombas centrífugas.



Fonte: Projetap (2023).

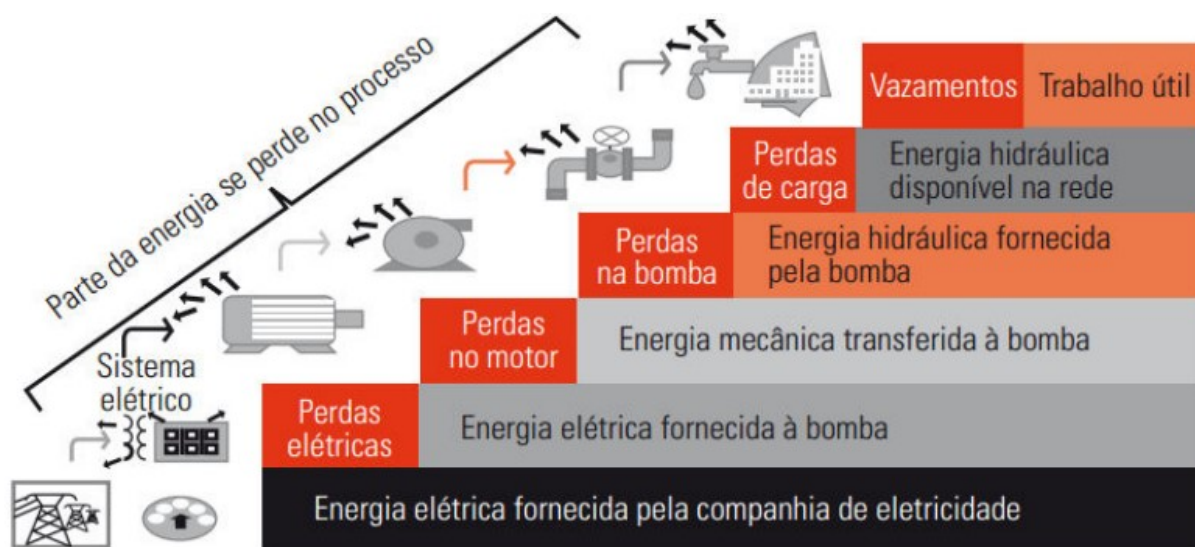
Figura 25- Bombeador radial (esquerda), misto (centro) e axial (direita)



Fonte: SENAI (2014).

Em um Sistema de Distribuição de Água o bombeamento é responsável pela maior parte do consumo de energia. A energia que não se transforma em trabalho útil representa uma perda e, portanto, oportunidade de economia, conforme visto na Figura 26 (Castiglio, 2014).

Figura 26 - Balanço das Perdas de Energia Elétrica em SAA.



Fonte: BID (2011), apud Castiglio (2014).

Segundo relatório de Balanço Energético Nacional (BEN) de 2018, cerca de 37,7% de toda energia elétrica da matriz energética brasileira é consumida na Indústria (BRASIL, 2018). De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), os motores elétricos são responsáveis por aproximadamente **68%** da energia elétrica consumida nas fábricas brasileiras (CANAL BIOENERGIA, 2024). Estima-se que, a cada recondicionamento de um mesmo motor elétrico, seu rendimento reduza até 2% da sua eficiência (BORTONI et al., apud INMETRO, 2017).

Pesquisa realizada pela PUC-Rio em 2012 revelou que a perda de rendimento provocada pelo recondicionamento de motores elétricos é de aproximadamente 8,7%. Considerando que 84% dos motores elétricos comercializados são reconicionados, o consumo de energia motriz no Brasil é de 111,52 TWh e a perda de energia devido ao baixo rendimento desses motores reconicionados é de 8,7%, pode-se afirmar que a perda de energia elétrica com a utilização desses motores atinge o patamar de 8,12 TWh. Isso representa 1,8% de toda a energia consumida no ano de 2016 (Teixeira, 2017).

Em junho de 2017, o Ministério de Minas e Energia publicou a Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017, que estabelece os níveis máximos de consumo específico de energia, definindo os valores mínimos de eficiência energética dos aparelhos consumidores de energia. O programa de metas trabalh elétricos trifásicos de indução com rotor gaiola de esquilo regulamentou os níveis mínimos de eficiência energética dos motores elétricos trifásicos de indução referentes às potências compreendidas entre 0,12 kW (0,16 cv) a 370 kW (500 cv) em dois, quatro, seis e oito polos (BRASIL, 2017).

Conforme a Portaria nº 1, de 29 de junho de 2017, do Ministério de Minas e Energia, em seus artigos 4º, 5º, 6º e 7º, ficam definidas as datas limites para adequações aos níveis mínimos de rendimentos nominais (Tabela 1) dos motores elétricos trifásicos de indução para fabricação, importação e comercialização no País (BRASIL, 2017).

Tabela 1 – Rendimentos nominais mínimos de motores.

Potência Nominal		Velocidade Síncrona (rpm)			
kW	CV	3600	1800	1200	900
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
Rendimento Nominal					
0,12	0,16	62	66	64	59,5
0,18	0,25	65,6	69,5	67,5	64
0,25	0,33	69,5	73,4	69	68
0,37	0,5	73,4	78,2	75,3	72
0,55	0,75	76,8	79	79,5	74
0,75	1	80,5	83,5 ^a	82,5	75,5
1,1	1,5	84	86,5 ^b	87,5 ^c	78,5
1,5	2	85,5	86,5	88,5 ^d	84
2,2	3	86,5	89,5 ^e	89,5 ^f	85,5
3	4	88,5	89,5	89,5	86,5
3,7	5	88,5	89,5	89,5	86,5
4,4	6	88,5	89,5	89,5	86,5
5,5	7,5	89,5	91,7 ^g	91	86,5
7,5	10	90,2	91,7	91	89,5
9,2	12,5	91	92,4	91,7	89,5
11	15	91	92,4	91,7	89,5
15	20	91	93	91,7	90,2
18,5	25	91,7	93,6	93	90,2
22	30	91,7	93,6	93	91,7
30	40	92,4	94,1	94,1	91,7
37	50	93	94,5	94,1	92,4
45	60	93,6	95	94,5	92,4
55	75	93,6	95,4	94,5	93,6
75	100	94,1	95,4	95	93,6
90	125	95	95,4	95	94,1
110	150	95	95,8	95,8	94,1
132	175	95,4	96,2	95,8	94,5
150	200	95,4	96,2	95,8	94,5
185	250	95,8	96,2	95,8	95
220	300	95,8	96,2	95,8	95
260	350	95,8	96,2	95,8	95
300	400	95,8	96,2	95,8	95
330	450	95,8	96,2	95,8	95
370	500	95,8	96,2	95,8	95
^a Motores na carcaça 80, o valor mínimo de rendimento é 83%.					
^b Motores na carcaça 80, o valor mínimo de rendimento é 84%.					
^c Motores na carcaça 90, o valor mínimo de rendimento é 85,5%.					
^d Motores na carcaça 100, o valor mínimo de rendimento é 86,5%.					

^e Motores na carcaça 90, o valor mínimo de rendimento é 87,5%.
^f Motores na carcaça 100, o valor mínimo de rendimento é 87%
^g Motores na carcaça 112, o valor mínimo de rendimento é 91%

Fonte: BRASIL (2017).

Segundo pesquisa realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024), os motores elétricos recuperados indicaram perda média de eficiência que variou entre 1,5% e 7%, dependendo da qualidade dos serviços executados e da faixa de potência do motor. Motores elétricos que foram recuperados com materiais de alta qualidade e técnicas preconizadas em normas apresentaram perdas de eficiência menores, variando entre 1,5% e 3%.

A preocupação de diversos setores da economia pelo aumento na eficiência energética, principalmente o de saneamento, se justifica pela necessidade constante de redução nos custos operacionais e na diminuição dos impactos ambientais. Uma medida eficaz para enfrentar esse desafio no setor de saneamento é a substituição de motores antigos, com alto índice de rebobinamentos, e o redimensionamento da potência dos sistemas de bombeamento (ANEEL, 2020).

Ações de eficiência energética, incentivadas por programas públicos como a Chamada Pública de Projetos de Eficiência Energética, apresentam benefícios substanciais para empresas e para o meio ambiente (ANEEL, 2020).

2.8.3 Banco de Capacitores

A potência elétrica é uma grandeza física utilizada nos equipamentos eletroeletrônicos para dimensionar a capacidade que um aparelho consumidor possui de produzir trabalho em um determinado tempo. Podemos classificar as potências em corrente alternada (CA) de três maneiras: aparente, que é a combinação da potência ativa e reativa, e que não é real, pois não considera a defasagem entre tensão e corrente elétrica, e tem como unidade de medida o volt-ampere (VA); ativa, que também é chamada de potência real, pois é ela que se transforma em trabalho, e tem como unidade de medida o watt (W); e reativa, que é a porção da potência aparente fornecida ao circuito, com a função de constituir o circuito magnético nas bobinas dos

motores elétricos e o campo elétrico nos capacitores, e tem como unidade de medida o volt-ampere reativo (VAr). A potência elétrica normalmente é o que determina as dimensões das máquinas e equipamentos (Cavalin; Cervelin, 2012).

O fator de potência (FP), também conhecido como $\cos \varphi$, representa o cosseno do ângulo de defasagem entre a onda senoidal da tensão e a onda senoidal da corrente. No momento em que a onda da corrente está atrasada em relação à onda de tensão, o fator de potência é indutivo; quando a onda da corrente está adiantada em relação à onda da tensão, o fator de potência é capacitivo (Filho, 2015).

O fator de potência é aquele que determina qual a porcentagem da potência aparente está sendo fornecida para produzir trabalho. A fórmula para calcular o fator de potência é a razão entre potência ativa e potência aparente (Equação 3). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) determina a obrigatoriedade de se manter o fator de potência no valor mínimo de 0,92, medido junto ao medidor de energia da concessionária. O fator de potência deve ser o mais próximo de 1; assim, com a mesma corrente e tensão em fases, consegue-se maior potência ativa (Franchi, 2007).

$$FP = \frac{kW}{kVA} = \cos \varphi = \cos(\arctg \frac{kVAr}{kW}) = FP = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kVArh^2}} \quad (3)$$

Fonte: Engeletrica (2011).

Os motores elétricos, amplamente utilizados por grandes consumidores de energia elétrica, como indústrias e empresas de saneamento, geram muita energia reativa durante seu funcionamento e precisam ter seu fator de potência corrigido por meio de bancos de capacitores (Filho, 2015). O fator de potência (FP) pode variar entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo do valor 1, menor é o consumo de energia reativa em relação à energia ativa. Quanto mais baixo for o valor do FP, menor é a eficiência e o rendimento do equipamento; e quanto mais próximo da unidade, maior é a eficiência da instalação elétrica (CPFL, 2022).

A ANEEL, criada pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, foi instituída como autarquia sob regime especial, regulamentada pelo decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), com a finalidade

de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no território nacional (Planalto, 1997).

A distribuição de energia elétrica no Brasil segue a resolução normativa nº 1000, de 7 de dezembro de 2021, da ANEEL, que define grupos e subgrupos para a classificação do nível de tensão de fornecimento às unidades consumidoras. Os grupos são divididos em A e B, sendo o grupo B composto por unidades consumidoras com conexão em tensões menores que 2,3 kV, e o grupo A com conexão às tensões elétricas acima de 2,3 kV até 230 kV (ANEEL, 2021). Unidade consumidora é o termo utilizado para representar a instalação de um único cliente, caracterizada pela entrega de energia elétrica em um ponto com medição individualizada (CPFL, 2020).

Normalmente, grandes consumidores de energia estão classificados dentro do grupo A, onde o custo de energia é mais barato do que no grupo B. Essa diferença no custo de energia se justifica pela menor necessidade de investimento das concessionárias em infraestrutura para fornecimento de energia a esse grupo. No grupo A, o cliente é responsável por montar toda a infraestrutura, como poste, transformador e medição, para o recebimento da energia da concessionária em níveis de tensão de distribuição, que no caso da região do interior de São Paulo é de 13,8 kV (Barros; Gedra, 2013).

Segundo a resolução nº 1000/21 da ANEEL, em seu art. 302, o fator de potência de referência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido o valor de 0,92 para as unidades consumidoras do grupo A. No caso das unidades consumidoras do grupo B, que não têm fator de potência de referência, conforme definido no art. 303, a distribuidora de energia não pode cobrar pelo consumo de energia elétrica reativa excedente (ANEEL, 2021).

Os montantes de energia elétrica e demanda de potência reativas que ficarem abaixo do limite do fator de potência inferior a 0,92 serão adicionados ao faturamento regular com a nomenclatura de energia reativa excedente. As medidas básicas para evitar os desperdícios com energia reativa e também riscos eventuais decorrentes do baixo fator de potência podem ser as seguintes: a) dimensionar corretamente motores e equipamentos; b) utilizar e operar convenientemente os equipamentos; c) elevar o consumo de energia ativa expressa em quilowatt-hora (kWh) se for conveniente à unidade consumidora; d) instalar bancos de capacitores onde for necessário (CPFL, 2022).

A Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), concessionária de energia que atende as cidades do interior de São Paulo, possui o serviço de telemetria que disponibiliza informações em tempo real do consumo da demanda e FP. Esse equipamento envia alertas para as pessoas cadastradas no sistema quando os níveis determinados forem ultrapassados, mas esse sistema é meramente informativo, ficando a cargo do cliente fazer as adequações necessárias na unidade (CPFL, 2022). Alguns clientes conferem os valores do FP diretamente no medidor da concessionária, instalado na unidade consumidora, ou mesmo fazem a conferência do montante de energia reativa consumida na fatura de energia.

A medida mais comum e eficiente para a correção do baixo fator de potência (FP) é a instalação de bancos de capacitores Figura 27, mas existem também outras ações, como a instalação de conversores de frequência para acionamento e controle dos motores elétricos (CPFL, 2022).

Figura 27 – Banco de capacitor trifásico.



Fonte: FIOCAMP (2023).

Os bancos de capacitores para correção do FP são divididos em três tipos: bancos de capacitores fixos, que possuem células capacitivas fixas ligadas à rede elétrica, recomendados para utilização em sistemas com cargas de consumo fixas ou pouco variáveis; bancos de capacitores programáveis, que monitoram a rede e entram

em funcionamento quando identificam o excesso de carga indutiva na rede ou mesmo em horários estipulados, dividindo o dia em horários capacitivo e indutivo; e bancos de capacitores automáticos, que possuem um controlador que acrescenta ou exclui células ou blocos capacitivos (estágios) da rede conforme a necessidade da unidade consumidora (FIOCAMP, 2023).

Os bancos de capacitores devem ser instalados após o medidor da concessionária, dentro da unidade consumidora, pois a correção do FP é realizada no trecho entre a fonte geradora, rede de energia elétrica da concessionária, e a carga consumidora. Assim, o banco de capacitores fornece a corrente reativa capacitiva à carga, dispensando ou reduzindo o consumo de reativo da rede elétrica da concessionária de energia (Filho, 2015).

2.9 CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA

O ano de 2000 foi um marco evolutivo nas pesquisas e ações para controle de perdas com a publicação do relatório *Manual of Best Practice Series - Performance Indicators for Water Supply Services - Indicadores de Desempenho para Sistemas de Abastecimento de Água*, concluído a partir do trabalho da força-tarefa liderada pela Associação Internacional de Água (International Water Association – IWA), que teve estabelecido uma ferramenta gerencial para medição da eficiência e efetividade das ações contra perdas nas empresas de saneamento, denominada Matriz do Balanço Hídrico. (Alegre, 2004)

Assim no processo de entrada de água no sistema por meio de rede de distribuição pode haver consumo autorizado ou perdas do recurso hídrico. As perdas são classificadas como perdas físicas ou reais, que são aquelas que ocorrem durante as diferentes etapas de produção, e perdas aparentes ou comerciais, que são decorrentes de erros de medição ou consumos não autorizados. (Oliveira,2023)

2.9.1 Perdas Físicas ou Reais

Ocorre quando há perda de recursos hídricos durante o processo de captação, tratamento, armazenamento ou distribuição e a magnitude das perdas é variável (Tsutiya, 2005) (Tabela 2).

As perdas reais afetam diretamente a demanda hídrica e os custos de produção. Assim, o alto nível de perdas reais eleva os índices de captação a níveis superiores ao volume efetivamente demandado, gerando ineficiências na produção, com maior custo dos insumos químicos e energia para bombeamento, com maior necessidade de manutenção da rede e dos equipamentos, bem como uso excessivo da capacidade de produção e de distribuição existente e maior custo oriundo da possível utilização de fontes de abastecimento alternativas.

No âmbito ambiental perdas reais implicam em maior sobrecarga sobre as fontes de abastecimento do recurso hídrico e uma maior necessidade de intervenção nos impactos negativos gerados. (Oliveira,2023)

Tabela 2 – Perdas Físicas por Subsistema: Origem e Magnitude.

SUBSISTEMA	ORIGEM	MAGNITUDE
Adução de Água Bruta	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção ⁵	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
Tratamento	Vazamentos estruturais Lavagem de filtros ⁵ Descarga de lodo ⁵	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional
Reservação	Vazamentos estruturais Extravasamentos Limpeza ⁵	Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional
Adução de Água Tratada	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção ⁵ Descargas	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
Distribuição	Vazamentos na rede Vazamentos em ramais Descargas	Significativa, função do estado das tubulações e principalmente das pressões

Fonte: Werdine (2002).

2.9.2 Perdas na Captação/Adução de Água Bruta

Os vazamentos nas adutoras podem ser atribuídos a uma combinação de fatores. O estado físico da tubulação, o material utilizado na construção, a idade das instalações, a pressão operacional e a qualidade da execução das obras são determinantes chave para a integridade dessas estruturas. Com o passar do tempo, as tubulações podem se deteriorar devido à corrosão, deslocamento do solo, pressões excessivas ou falhas na execução inicial. Além disso, os vazamentos podem ser exacerbados durante interrupções no fornecimento de energia, que causam variações bruscas de pressão dentro das adutoras, resultando em rompimentos e perdas significativas de água (Tsutiya, 2005).

Os vazamentos não só resultam na perda direta de água, mas também contribuem para o aumento das perdas de carga ao longo da adutora. Perdas de carga referem-se à perda de pressão dentro da tubulação, o que exige um maior esforço das bombas para manter o fluxo de água, elevando o consumo energético do sistema e conseqüentemente seus custos operacionais (Tsutiya, 2005).

Quando as adutoras se encontram em mau estado de conservação, as perdas de carga podem se tornar significativas, elevando o risco de falhas generalizadas no sistema. Em adutoras de grande extensão, que muitas vezes atravessam áreas remotas e de difícil acesso, as dificuldades para realizar manutenções preventivas e reparos emergenciais são ainda maiores. Nessas situações, a falha em abordar as perdas de água e carga pode levar a um aumento substancial no risco de rompimentos, com conseqüências graves para o abastecimento e para a sustentabilidade do recurso hídrico. A prática da manutenção preventiva, que envolve a inspeção regular e o reparo das adutoras, é uma medida essencial para garantir a longevidade e a eficiência dos sistemas de abastecimento de água. Isso inclui a remoção de incrustações que obstruem o fluxo de água, o reforço de tubulações deterioradas e a reparação de vazamentos antes que se tornem problemas maiores. Embora possa haver resistência a essas práticas devido ao desconforto temporário causado pelas interrupções no fornecimento, os benefícios a longo prazo superam em muito os inconvenientes de curto prazo (Tsutiya, 2005).

É fundamental que os gestores e operadores de sistemas de abastecimento de água adotem uma abordagem proativa em relação à manutenção preventiva,

incorporando tecnologias modernas para a detecção precoce de vazamentos e o monitoramento contínuo das condições das adutoras. Com isso, é possível reduzir significativamente as perdas, garantir a segurança no fornecimento e contribuir para a preservação dos recursos hídricos.

2.9.3 Perdas no Tratamento

As perdas físicas nas Estações de Tratamento de Água (ETA), embora pequenas em percentual, representam volumes significativos em termos de vazão. Parte dessas perdas é inevitável devido ao próprio processo de tratamento, mas é possível reduzir os desperdícios ao máximo. A recuperação da água de lavagem através do tratamento de lodo, mesmo sem reutilização para abastecimento público, é benéfica para o meio ambiente e contribui para a conservação dos recursos hídricos. As perdas podem resultar tanto do processo de tratamento quanto de vazamentos na estação. (Martins Júnior, 2020).

As perdas por vazamentos em ETAs podem ocorrer devido a falhas na estrutura, como trincas, problemas de impermeabilização e vedação inadequada de comportas. Já as perdas de processo de tratamento da água estão relacionadas à água descartada durante a limpeza de flocladores, decantadores, filtros e nas descargas de lodo. Essas perdas podem variar entre 2% e 10%, dependendo do estado das instalações e da eficiência operacional. As melhorias operacionais e reparos estruturais podem rapidamente reduzir as perdas e os custos de produção (Martins Júnior, 2020).

2.9.4 Perdas na Reservação

As perdas em reservatórios de água podem ser causadas por procedimentos operacionais inadequados, que provocam extravasamentos, ou por deficiências estruturais, como trincas e impermeabilização inadequada. Extravasamentos podem ser mitigados com a implementação de alarmes ou controle automático de vazões e níveis (Almeida, 2017). Já as deficiências estruturais requerem análise técnica e econômica para avaliar a viabilidade de reparos, sempre com a supervisão de especialistas para garantir a estabilidade da obra. Embora as perdas em reservatórios

geralmente não sejam significativas no contexto geral do sistema, é essencial abordá-las continuamente, pois a recuperação de perdas é um processo permanente que depende da acumulação de pequenos êxitos (Lima, 2017).

2.9.5 Perdas na Adução de Água Tratada

As perdas por vazamentos ou rompimentos nas tubulações adutoras, que transportam grandes volumes de água tratada, são uma das principais preocupações nos sistemas de distribuição de água. Além dos vazamentos, há também perdas físicas quando a tubulação é esvaziada para reparos ou para melhorar a qualidade da água; nesse caso, apenas o excesso de água descartada além do necessário é considerado uma perda (Morais, Cavalcante e Almeida, 2010).

Vazamentos são críticos devido ao grande volume de água envolvido, o que exige que sejam rapidamente localizados e reparados para evitar danos significativos. Se não forem detectados e controlados rapidamente, esses rompimentos podem causar graves danos materiais, pois a força erosiva da água é extremamente destrutiva (Moraes, Cavalcante e Almeida, 2010).

A manutenção preventiva é essencial para evitar rompimentos, especialmente aqueles causados por aumentos súbitos de pressão que podem resultar em uma série de falhas em cascata nas tubulações. A correta instalação e manutenção de ventosas são cruciais, pois essas peças ajudam a controlar os transientes de pressão, que podem causar rompimentos (Cheung; Reis, 2018).

Em sistemas pressurizados por bombeamento, é vital atentar-se a necessidade de aplicações dos dispositivos de alívio de pressão, que protegem o sistema em caso de paradas inesperadas das bombas. A magnitude das perdas pode variar amplamente, dependendo do estado das tubulações, das pressões envolvidas e da eficiência operacional do sistema.

2.9.6 Perdas na Distribuição

As perdas de água em sistemas de distribuição ocorrem principalmente devido a vazamentos na rede de distribuição e nos ramais prediais, além de descargas necessárias para a melhoria da qualidade da água ou para reparos. Essas perdas

físicas podem ser significativas, especialmente quando as tubulações estão em mau estado ou operam sob altas pressões (Silva Júnior *et al.*, 2015).

Os vazamentos na rede de distribuição e nos ramais prediais são particularmente desafiadores porque estão dispersos e são difíceis de localizar, tornando as ações corretivas complexas e custosas. Para serem eficazes, essas ações precisam ser baseadas em análises técnicas e econômicas rigorosas. Em termos de quantidade, a maior parte dos vazamentos ocorre nos ramais prediais, mas o maior volume de água perdido está nas tubulações principais da rede de distribuição (Silva Júnior *et al.*, 2015).

Para minimizar as perdas, é crucial utilizar materiais de qualidade e contar com mão de obra treinada e bem equipada, além de realizar testes de estanqueidade durante a construção. Há situações em que as obras são realizadas rapidamente, sem projetos adequados ou fiscalização rigorosa, resultando em redes problemáticas que são entregues aos prestadores de serviços com altos níveis de perdas.

Para redes já implantadas, uma estratégia eficaz para reduzir as perdas é a diminuição das pressões na rede de distribuição. Isso pode ajudar a limitar os vazamentos, que tendem a ocorrer em maior número e intensidade quando as tubulações operam sob altas pressões (Silva Júnior *et al.*, 2015).

2.9.7 Perdas Aparentes ou Comerciais

As perdas aparentes correspondem aos volumes de água consumidos, mas não autorizados nem faturados, também denominadas perdas comerciais. Em termos gerais, são perdas decorrentes de erros na medição dos hidrômetros, como por equívoco de leituras ou por falha nos equipamentos, de fraudes, de ligações clandestinas ou mesmo de falhas no cadastro comercial. (Oliveira,2023)

2.10 AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA

A quantidade real de água perdida em um sistema de distribuição varia de acordo com fatores locais, como a topografia, o comprimento das tubulações, o número de conexões e a qualidade dos serviços prestados, além de como o sistema é operado e mantido. Em sistemas bem operados, as perdas de água devem ser

monitoradas e controladas continuamente, com relatórios específicos apresentados anualmente.

A estimativa das perdas de água em um sistema de abastecimento é feita comparando o volume de água transferido de um ponto do sistema com o volume recebido em outros pontos situados na área de influência. A separação das perdas físicas (devido a vazamentos) das não físicas (como consumos não autorizados) é tecnicamente possível através de pesquisas de campo, utilizando a análise de histogramas de consumo. A perda física pode ser identificada, por exemplo, pela oferta noturna estabilizada durante a madrugada, após descontar os consumos contínuos de usuários específicos como fábricas e hospitais. A perda não física é calculada como a diferença entre a perda total e a perda física identificada.

Em sistemas com quase 100% de micromedicação, poucas ligações clandestinas e um programa eficaz de manutenção preventiva de hidrômetros e combate a fraudes, as perdas mensuráveis tendem a refletir principalmente as perdas físicas. Embora os vazamentos nos ramais prediais sejam os mais frequentes, as maiores perdas em volume ocorrem por extravasamento de reservatórios e vazamentos nas adutoras de água tratada e nas tubulações da rede de distribuição.

2.11 A IMPORTÂNCIA DE MEDIÇÕES CONFIÁVEIS

Medições confiáveis de todos os volumes de água são essenciais para a gestão eficiente de um sistema de abastecimento, administração da demanda e determinação das perdas. O passo mais crucial para identificar quanta água está sendo perdida é quantificar com precisão o volume de água que entra no sistema. Isso inclui medir as várias fontes de entrada, como a produção nas estações de tratamento, água importada ou exportada, e os volumes distribuídos e recebidos nos setores de distribuição (Martins Júnior, 2020).

Medições de vazões noturnas em setores do sistema são extremamente úteis para detectar rapidamente novos vazamentos não identificados, permitindo reparos imediatos. Essa técnica pode ser aplicada independentemente de os consumidores serem hidrometrados ou não (Werdine, 2002).

Embora a principal função dos hidrômetros seja gerar receitas baseadas no consumo medido, a precisão desses dispositivos é crucial para os cálculos do balanço

de água. Para garantir resultados representativos, a administração dos hidrômetros deve ser cuidadosa, abordando problemas como hidrômetros inadequados, instalação incorreta, incrustações, desgaste com o tempo, e a necessidade de calibração e manutenção regular.

Nos casos em que medições diretas não são possíveis, como em atividades de combate a incêndios ou lavagens de locais públicos, é importante fazer estimativas precisas para contabilizar esses volumes no balanço de água. Isso ajuda a determinar de forma realista as quantidades envolvidas e a melhorar a gestão do sistema (Werdine, 2002).

2.12 INDICADORES DE PERDAS

Os métodos para coleta de informações e construção de indicadores baseiam-se em análises de diversos estudos. Ao comparar indicadores de possíveis perdas em sistemas de abastecimento, nota-se que os critérios adotados podem causar variações significativas na avaliação da eficiência dos serviços no uso da água.

A eficiência no uso da água pode ser avaliada por meio de diversos indicadores (Tabela 3), mas é importante lembrar que percentuais podem dar uma falsa impressão de uniformidade entre serviços que operam sob condições muito diferentes. Para uma avaliação precisa, as perdas de água devem ser analisadas considerando os subsistemas do processo de produção, comparando a quantidade de matéria-prima (água bruta) com o produto final (água tratada), e na distribuição, comparando a água tratada ofertada com o consumo real (Werdine, 2002).

Os indicadores mencionados são representativos da realidade operacional de um sistema de abastecimento de água, mas sua precisão depende da qualidade dos dados obtidos. Para medir volumes como o volume captado (VC), volume aduzido (VA) e volume disponibilizado (VD), a confiabilidade das informações depende da instalação e manutenção adequadas de medidores como calhas Parshall e macromedidores eletromagnéticos. Se esses dispositivos não forem instalados corretamente, sua precisão pode ser comprometida, tornando as estimativas menos confiáveis (Werdine, 2002).

Os principais indicadores, como o Índice de Perda na Distribuição (IPD), que inclui perdas físicas e não físicas, e o Índice de Perda de Faturamento (IPF) ou Água

Não Faturada (ANF), que mede a diferença entre o volume disponibilizado e o volume faturado, são essenciais para avaliar a eficiência do sistema. Contudo, o IPF pode ser influenciado pelo fato de que, em muitos lugares, os consumidores pagam por um consumo mínimo, mesmo que usem menos água, o que pode fazer com que o volume faturado pareça maior que o utilizado (Werdine, 2002).

Para que esses indicadores sejam precisos, é necessário que tanto os dados macromedidos quanto os micromedidos sejam representativos. O Índice de Hidrometração (IH), que relaciona o número de ligações micromedidas ao total de ligações ativas, é um indicador importante nesse contexto. Se o IH for menor que 1, significa que parte do consumo é estimado, o que pode introduzir imprecisões.

Tabela 3 – Perdas no Sistema de Saneamento.

Índice de Perda Física na Produção (PFP)
Leva em conta as perdas na adução de água bruta e na estação de tratamento ou unidade de tratamento simplificado. Relaciona os dados observados de volume captado (VC) e volume produzido (VP).
Índice de Perda Física na Adução (PFA)
É um subconjunto do Índice de Perda Física na Produção, e resulta da relação entre o volume captado (VC) e o volume aduzido (VA) afluyente a ETA ou unidade de tratamento simplificado.
Índice de Perda Física no Tratamento (PTR)
É também um subconjunto do Índice de Perda Física na Produção, e relaciona os dados observados de volume aduzido (VA) e volume produzido (VP).
Índice de Perda Física na Distribuição (PFD)
Relaciona o volume fisicamente utilizado (VFU) com o volume disponibilizado (VD). A informação mais estrita de volume fisicamente utilizado vai incorporar os fatores efetivamente apurados de desvios sistemáticos de micromedição (km) e macromedição (kM), inicialmente igualados a 1, assim como os fatores estatísticos de confiabilidade aplicados sobre os consumos estimados.
Índice Total de Perda Física (TPF)
Será indiretamente composto pelas perdas físicas parcialmente apuradas nos sistemas de produção e de distribuição. A perda física total será uma função do volume captado (VC), mais o volume importado (VIm), menos o exportado (VEx), em relação ao volume fisicamente utilizado (VFU) no sistema.

Fonte: Werdine (2002).

Quando os dados de medição são insuficientes ou inexistentes, pode-se estimar as perdas usando a média de consumos micromedidos, aplicada às economias não medidas da mesma categoria, assumindo que os padrões de consumo sejam semelhantes. Outra abordagem é a amostragem, onde uma área representativa é selecionada e todas as ligações são hidrometradas, permitindo uma estimativa das perdas que pode ser extrapolada para o sistema como um todo. A precisão dos resultados depende de quão bem a área-piloto representa o sistema de distribuição completo.

Para analisar as perdas de água em um sistema, podem ser utilizados diferentes indicadores. Um exemplo é o indicador volumétrico de vazões perdidas, que mede o volume de água perdido em um intervalo de tempo (em l/s ou m³/h). Esse indicador é útil porque permite uma avaliação quantitativa direta e pode ser relacionado ao número de habitantes beneficiados, caso essas perdas sejam recuperadas.

Outro indicador importante é o de perdas por quilômetro de rede, que avalia a quantidade de água perdida ao longo de cada quilômetro da rede de distribuição. A principal dificuldade nesse caso é obter uma medida confiável da extensão total das redes de distribuição (Werdine, 2002).

Por fim, a perda estimada em litros por hora por habitante (l/h.hab) também é um indicador utilizado, como no caso da SABESP (1981), que permite estimar a perda de água em relação ao número de habitantes atendidos, oferecendo uma perspectiva sobre o impacto das perdas no nível de serviço prestado.

2.12.1 Indicador Percentual de Perdas

O indicador percentual de perdas refere-se à idéia traduzida pela expressão (4).

$$IP\% = \frac{\text{Volume Produzido} - \text{Volume Consumido}}{\text{Volume Produzido}} \times 100 \quad (4)$$

Aqui estão alguns pontos importantes a serem considerados em relação a esse

indicador de perdas:

Limitação na Comparação de Desempenho: Este indicador não permite comparar efetivamente o desempenho em termos de perdas de água entre diferentes sistemas e serviços.

Desconsideração das Variações de Características: O indicador não leva em conta as diferenças nas características de um sistema para outro, como topografia, comprimento das tubulações, número de ligações, padrões dos serviços prestados e a maneira como o sistema é operado e mantido.

Influência do Consumo Per Capita: O indicador é significativamente afetado pelo consumo per capita, o que pode distorcer a avaliação real das perdas em diferentes contextos.

2.12.2 Indicadores de Perdas: IWA, AGHTM, AESBE/ASSEMAE e CEN/PH5

Os indicadores de perdas de água e eficiência energética são ferramentas essenciais para avaliar a eficiência e sustentabilidade dos sistemas de abastecimento, permitindo que gestores identifiquem onde estão ocorrendo desperdícios e tomem medidas corretivas. Existem diferentes metodologias e padrões internacionais para medir essas perdas, entre os quais se destacam os indicadores da *International Water Association* (IWA), da *Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux* (AGHTM) e os adotados pela Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE) e pela Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (ASSEMAE) (Werdine, 2002; PROEESA, 2021).

a) Indicadores da IWA (*International Water Association*)

A IWA é uma referência mundial na definição de indicadores de perdas de água, tendo desenvolvido uma metodologia abrangente e amplamente adotada. O principal indicador de perdas proposto pela IWA é o **Índice de Perdas Reais**, que quantifica a

água perdida por vazamentos nas redes de distribuição, tanto em termos absolutos quanto relativos (Werdine, 2002).

A IWA utiliza um conceito chamado **Balanco Hídrico**, que divide o volume de água distribuída em diferentes categorias:

- **Água Autorizada Consumida:** Inclui o volume efetivamente consumido, tanto medido quanto estimado.
- **Água Não Autorizada Consumida:** Refere-se ao volume de água consumido de forma não autorizada, como furtos ou ligações clandestinas.
- **Perdas Reais:** Vazamentos e rupturas nas tubulações.
- **Perdas Aparentes:** Perdas de água que ocorrem por submedição dos hidrômetros, fraudes ou erros administrativos.

O indicador **Índice de Perdas Reais** (IPR) é essencial para comparar o desempenho de diferentes sistemas de abastecimento e identificar áreas que necessitam de melhorias. A IWA também propõe o **Índice de Consumo Noturno** como uma ferramenta para identificar perdas reais, considerando que o consumo noturno de água é tipicamente baixo, permitindo uma detecção mais precisa de vazamentos.

b) Indicadores da AGHTM (Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux)

A AGHTM, uma associação francesa, propõe uma metodologia de indicadores que é particularmente detalhada e utilizada na Europa. Os indicadores da AGHTM se concentram em uma visão ampla do ciclo de abastecimento de água, com atenção especial à eficiência técnica e econômica do sistema (Werdine, 2002).

Entre os principais indicadores, destaca-se:

- **Volume de Água Produzida:** Quantidade total de água tratada e disponível para distribuição.
- **Volume de Água Faturada:** Volume que efetivamente gera receita, após deduzidas as perdas aparentes e reais.

- **Índice de Rendimiento de la Red (IRR):** Relaciona a quantidade de água faturada com o volume de água disponibilizado para o sistema de distribuição, proporcionando uma medida da eficiência operacional.

Este índice é particularmente importante para avaliar o desempenho econômico dos sistemas de abastecimento, pois diretamente relaciona as perdas com a receita do serviço de água, permitindo um melhor planejamento financeiro e tarifário.

c) Indicadores da AESBE/ASSEMAE

No Brasil, as associações AESBE e ASSEMAE adotam indicadores que são amplamente utilizados pelas empresas estaduais e municipais de saneamento. Esses indicadores foram desenvolvidos para refletir as particularidades do contexto brasileiro, onde a variabilidade regional, a infraestrutura desigual e as condições socioeconômicas exigem uma abordagem diferenciada (Werdine, 2002).

Os principais indicadores adotados incluem:

- **Índice de Perdas na Distribuição (IPD):** Similar ao índice da IWA, mede a diferença entre o volume de água que entra no sistema de distribuição e o volume que chega ao consumidor final, expressando essa perda em termos percentuais ou absolutos.
- **Índice de Hidrometração:** Mede a proporção de ligações de água que possuem medidores instalados, o que é fundamental para a precisão dos indicadores de perdas aparentes.
- **Índice de Perda de Faturamento (IPF):** Também conhecido como **Água Não Faturada (ANF)**, esse indicador mostra a diferença entre o volume de água disponibilizado e o volume efetivamente faturado, proporcionando uma visão clara do impacto econômico das perdas.

d) Indicador da PROEESA - CEN ou PH5 (IWA)

O conceito do indicador “Consumo Energético Normalizado” (CEN) foi desenvolvido no contexto do Programa Nacional de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental (PROEESA), baseado no indicador PH5 da IWA que equipara

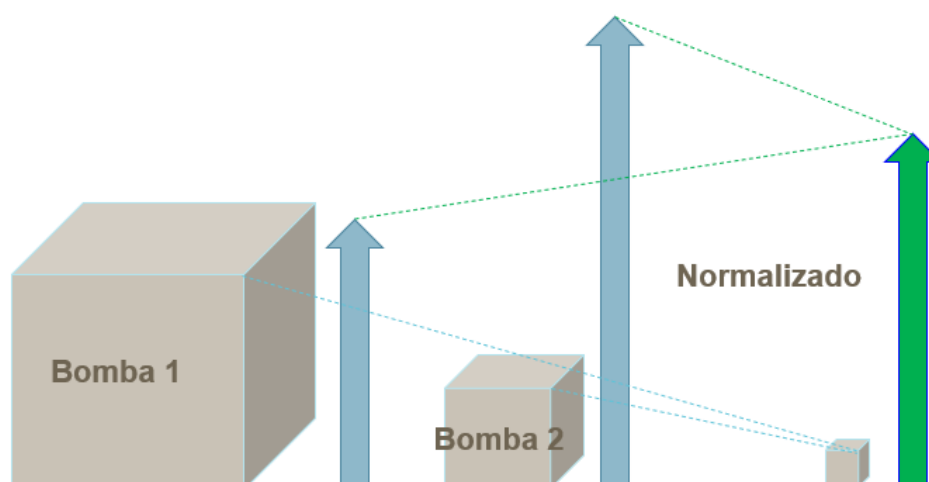
todos os bombeamentos convertendo o volume elevado para 1m^3 a 100m de altura manométrica em equivalência porcentual (%) (Figura 28). De uma iniciativa brasileira voltada para melhorar a eficiência energética em sistemas de água e esgoto, esse programa destaca o indicador como uma ferramenta prática para gestores e engenheiros avaliarem o desempenho de bombas hidráulicas em instalações existentes ou novas (PROEESA, 2021). Este indicador avalia a eficiência energética de sistemas de abastecimento de água em um determinado período de referência, permitindo realizar um pré-diagnóstico do percentual de eficiência do sistema de bombeamento com poucos dados.

O indicador PH5 ou CEN é utilizado para avaliar e comparar o desempenho de sistemas de bombeamento em diferentes condições de operação.

Suas aplicações incluem:

- 1) Avaliação da Eficiência Energética;
- 2) Análise de Projetos de substituição;
- 3) Tomada de decisões em investimentos;
- 4) Programas de sustentabilidades;
- 5) Conformidade normativa.

Figura 28 – Normalização de bombas – Indicador PH5 da IWA.



Fonte: PROEESA (2017).

Dessa forma, cada um desses indicadores oferece uma perspectiva única e complementar sobre as perdas de água nos sistemas de abastecimento. Enquanto a IWA fornece uma estrutura amplamente aceita e detalhada para análise técnica, a AGHTM oferece uma abordagem focada na eficiência econômica e técnica, e a AESBE/ASSEMAE adaptam essas metodologias ao contexto brasileiro, enfatizando a necessidade de considerar as peculiaridades locais (Werdine, 2002). A combinação desses indicadores permite uma gestão mais eficaz e estratégica dos sistemas de abastecimento de água, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos hídricos e a viabilidade econômica dos serviços de saneamento. Nesse trabalho o indicador utilizado foi o PH5 da PROEESA, direcionado para bombas hidráulicas.

É crucial que os gestores utilizem essas ferramentas de forma integrada para identificar oportunidades de melhoria, otimizar operações e reduzir perdas, garantindo um abastecimento de água mais eficiente e confiável.

2.13 REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS

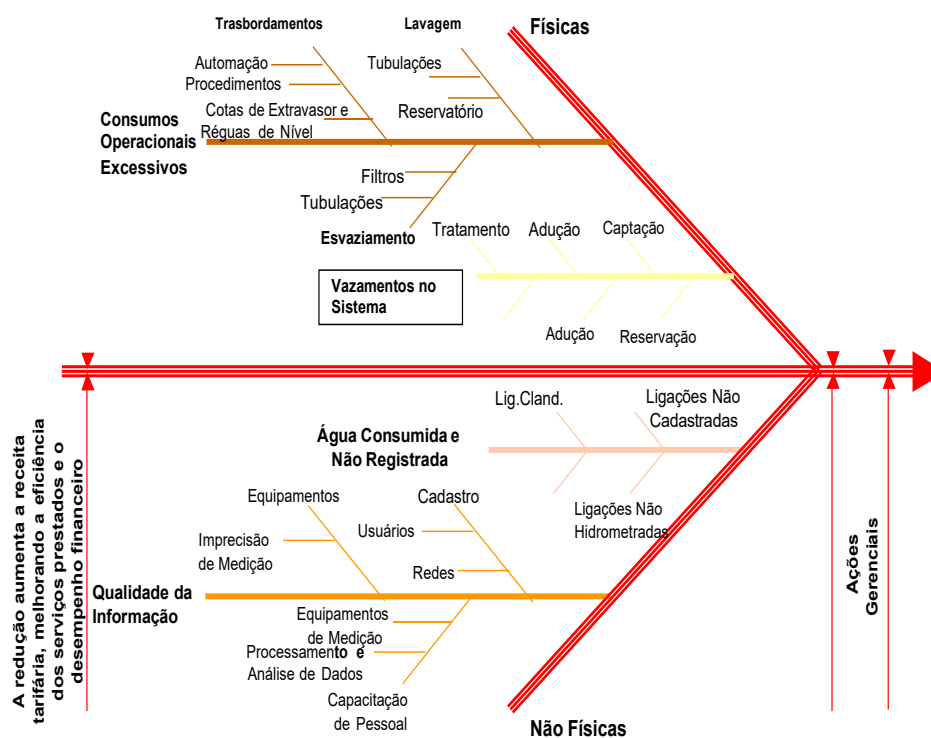
Melhorar a operação e a gestão comercial para reduzir desperdícios e prejuízos tem se tornado uma meta comum para os sistemas de abastecimento de água no Brasil, independentemente de serem operados por entidades públicas ou privadas. As causas e a dimensão das perdas, assim como as estratégias para seu controle, variam significativamente entre os diferentes componentes de um sistema de abastecimento de água. Por isso, é ideal que o controle de perdas seja feito de maneira segmentada, por subsistema, para ser mais eficaz (Hamdan; Resende; Souza, 2023).

Pode-se classificar o sistema de controle nos seguintes subsistemas:

- 1) Adução de Água Bruta - compreende a captação e adução de água bruta;
- 2) Tratamento - ETA ou unidade de tratamento simplificado;
- 3) Reservação – consiste em unidades de reserva de água tratada;
- 4) Adução de Água Tratada - consiste nas adutoras e subadutoras de água tratada e instalações de recalque;
- 5) Distribuição - consiste na rede de distribuição de água tratada e ramais

prediais.

Figura 29 – Diagrama de Relacionamento - Visão Sistêmica do Problema.



Fonte: Werdine (2002).

Dividir o sistema de abastecimento em subsistemas facilita o diagnóstico das perdas e a implementação de ações preventivas e corretivas (Figura 29). Por exemplo, nas Estações de Tratamento de Água (ETA), as perdas ocorrem de forma concentrada e, mesmo que pequenas percentualmente, podem ser significativas em termos de vazão. Simples melhorias operacionais ou reparos estruturais podem trazer retornos rápidos (Hamdan; Resende; Souza, 2023).

No subsistema de reservação, as perdas também podem ser localizadas, permitindo ações corretivas específicas. No entanto, na distribuição, que inclui os ramais prediais, as perdas são frequentemente elevadas e dispersas.

Reduzir as perdas físicas é importante, pois diminui os custos de produção, como consumo de energia e produtos químicos, e permite utilizar as instalações existentes para aumentar a oferta sem precisar expandir o sistema. A redução de vazamentos e perdas é essencial para a eficiência das companhias de água. Embora as taxas de água não faturada variem entre as companhias, todas enfrentam o desafio de grandes perdas e vazamentos (Hamdan; Resende; Souza, 2023).

Companhias de água com problemas de vazamento são forçadas a bombear mais água do que o necessário e a aumentar a pressão do sistema para garantir que a água chegue aos consumidores. No entanto, aumentar a pressão pode ser menos eficiente em termos de custo do que consertar os vazamentos e reduzir a pressão. Além disso, sistemas de alta pressão tendem a agravar os vazamentos, desperdiçando ainda mais água e energia.

Reduzir as perdas não físicas, como consumos não autorizados ou erros de medição, aumenta a receita tarifária e melhora a eficiência dos serviços e o desempenho financeiro das companhias de água. Implementar um sistema de faturamento desde a fonte até o usuário final é um passo crucial para controlar essas perdas, ajudando a identificar vazamentos, medidores imprecisos e desvios ilegais de água (Hamdan; Resende; Souza, 2023).

Mesmo com bom gerenciamento, a água não contabilizada geralmente representa de 10% a 15% da água produzida. Se essa perda exceder 15% a 20%, ações corretivas são necessárias. Programas de redução de água não contabilizada precisam de manutenção constante, pois vazamentos podem reaparecer se as companhias não estiverem vigilantes.

O combate às perdas envolve a redução do volume de água não contabilizada, tanto física quanto não física, exigindo medidas permanentes que sejam técnica e economicamente viáveis. O desenvolvimento de medidas preventivas de controle de perdas, desde as fases de projeto e construção do sistema, é essencial. Isso inclui a boa concepção do sistema de abastecimento, qualidade na instalação das tubulações e equipamentos, implantação de mecanismos de controle operacional, elaboração de cadastros, e a execução de testes pré-operacionais para ajuste do sistema.

2.14 AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS

A conservação e o combate ao desperdício de água estão diretamente ligados a todas as fases do ciclo de gestão de sistemas de abastecimento: planejamento, projeto, construção, operação e manutenção. É incorreto associar essas ações exclusivamente a uma dessas fases, pois a convergência de informações entre

planejamento e operação é essencial para melhorar a conservação e os padrões de monitoramento dos serviços (Coelho, 2001).

Historicamente, as áreas de planejamento e gestão dos serviços de abastecimento trabalharam com informações limitadas, o que resultou em planejamentos pouco eficazes e, conseqüentemente, menos prioritários. No entanto, com a adoção de bases de dados informatizadas mais sofisticadas e integradas, é possível compartilhar um conhecimento mais detalhado da realidade, o que beneficia tanto o planejamento quanto a operação.

No contexto da conservação de água, essa maior capacidade de informação permite um controle mais eficaz da demanda, reduzindo os custos de recuperação das vazões perdidas e aumentando os benefícios econômicos. Entre os principais sistemas que contribuem para esse controle estão os Sistemas de Informação Geográfica (GIS), que mapeiam as áreas de operação; os Sistemas de Aquisição e Controle de Dados Operacionais (SCADA), que monitoram as condições do serviço em tempo real; e os dispositivos de telecomando e autocontrole, que ajustam as condições do sistema conforme necessário (Hamdan; Resende; Souza, 2023).

Além disso, há um esforço crescente para conhecer melhor os usuários e integrar dados mais detalhados sobre eles nos sistemas de informação, o que reforça a capacidade de resposta e eficiência dos serviços de abastecimento de água.

Embora seja inegável que sistemas de monitoramento mais precisos e sofisticados tragam benefícios, é importante reconhecer que eles não substituem as melhorias básicas na operação dos sistemas de abastecimento de água. Internacionalmente, esses sistemas avançados são implementados em serviços que já alcançaram níveis satisfatórios de setorização, macromedição, e conhecimento real do consumo, servindo como complemento, e não como substituição dessas medidas fundamentais.

No Brasil, os serviços de abastecimento de água ganharam eficiência significativa nas décadas de 70 e 80. Porém, a crise de investimentos a partir dos anos 90 desacelerou ou paralisou esse progresso. Enquanto alguns serviços continuaram a melhorar, outros perderam capacidades técnicas antes de amadurecer completamente. Nesse contexto, não é razoável adotar uma política generalizada de incentivo à aquisição de tecnologias sofisticadas sem antes avaliar o estágio atual de desenvolvimento dos serviços. É essencial primeiro entender o conhecimento da

demanda existente e, a partir disso definir ações que realmente atendam às necessidades identificadas (Hamdan; Resende; Souza, 2023).

Embora alguns vazamentos sejam perceptíveis durante inspeções em áreas propensas a problemas, muitos ocorrem em canos subterrâneos, onde podem passar despercebidos por longos períodos. Para identificar esses vazamentos, as empresas podem usar uma variedade de aparelhos, como medidores de vazão e equipamentos de detecção sônica e acústica.

Esses equipamentos, embora exijam um investimento inicial significativo, rapidamente se pagam ao localizar vazamentos de forma precisa. Um detector sônico, por exemplo, mede o tempo que o som do vazamento leva para viajar entre sensores colocados em ambos os lados do cano, permitindo a localização exata do problema. Para obter medições precisas, é necessário ter informações detalhadas sobre o tipo e tamanho do cano em questão.

Além disso, o uso de equipamentos de medição de fluxo pode ajudar a isolar vazamentos ao comparar a quantidade de água que entra em uma parte do sistema com a quantidade entregue ao usuário final. Ao medir em diferentes pontos de acesso, é possível localizar os pontos exatos que precisam de reparo. Este método é especialmente eficaz em sistemas de canos de PVC ou concreto, que não propagam bem o som.

2.15 REDUÇÃO DO VAZAMENTO E DE OUTRAS PERDAS

A redução de vazamentos e perdas de água é essencial para a eficiência das companhias de abastecimento. Embora existam grandes diferenças nas taxas de água não faturada entre as companhias, nenhuma delas está imune a perdas significativas. Em países como os Estados Unidos e Israel, mais de 85% da água que entra no sistema chega ao usuário final. Por exemplo, Austin, Texas, mantém uma taxa de apenas 8% de água não contabilizada graças a um programa agressivo de redução de vazamentos (Hamdan; Resende; Souza, 2023).

No entanto, em outros países, como Turquia e Egito, a água não contabilizada pode chegar a 50%. Um estudo do Banco Mundial em 54 projetos de países em desenvolvimento mostrou que a média de perda de água era de 34%, muitas vezes

devido à manutenção inadequada e sistemas de medição deficientes ou inexistentes (Werdine, 2002).

Companhias com problemas de vazamento são obrigadas a bombear mais água e aumentar a pressão do sistema para garantir o abastecimento, o que é menos eficiente em termos de custo do que consertar os vazamentos e reduzir a pressão. Além disso, sistemas com alta pressão tendem a agravar os vazamentos, desperdiçando ainda mais água e energia. Reduzir essas perdas é, portanto, fundamental para melhorar a eficiência geral do sistema de abastecimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A modalidade desta pesquisa é identificada como Análise Documental e está relacionada à abordagem qualitativa. Para Minayo (2009), a pesquisa qualitativa pode trazer os significados, os motivos, as aspirações, as crenças e valores do pesquisador, trazendo interpretações dentro de uma realidade vivida e que pode ser partilhada como experiência para uma comunidade (Minayo, 2009).

Kripka, Scheller e Bonotto (2015) salientam que “Os estudos qualitativos se caracterizam como aqueles que buscam compreender um fenômeno em seu ambiente natural, onde esses ocorrem e do qual faz parte”, tornando, assim, o investigador como principal instrumento na obtenção das informações. Os referidos autores destacam, ainda, o uso da análise documental que, em sua essência, utiliza documentos que:

O desafio a esta técnica de pesquisa é a capacidade que o pesquisador tem de selecionar, tratar e interpretar a informação, visando compreender a interação com sua fonte. Quando isso acontece há um incremento de detalhes à pesquisa e os dados coletados tornam-se mais significativos (Kripka; Scheller; Bonotto, 2015, p. 57).

Na análise documental, é fundamental que o pesquisador adote uma postura proativa, conduzindo o processo de forma organizada e meticulosa. Isso envolve etapas como a seleção cuidadosa do material, seguida de sua análise, organização, leitura e releitura, além da sistematização das informações.

Lüdke e André (1986, p. 40) afirmam que, “A escolha dos documentos não é aleatória. Há geralmente alguns propósitos, ideias ou hipóteses guiando a sua seleção”.

É importante destacar que qualquer tipo de pesquisa possui suas limitações e potencialidades. Cabe ao pesquisador, com base em sua experiência e perspicácia, avaliar a confiabilidade das fontes, entender as nuances e subjetividades, identificar o que é explicitamente mencionado e o que está implícito, além de reconhecer as vantagens do uso dos documentos (Fávero, 2019). Dessa forma, o pesquisador deve realizar uma análise detalhada, valorizando cada documento como uma fonte significativa de informação.

A metodologia a ser apresentada neste trabalho de pesquisa abrange um estudo de caso em uma Empresa Pública de Saneamento localizada em uma cidade

no interior do estado de São Paulo, que implementou medidas de eficiência energética, além do programa de gestão, controle e redução das perdas de água.

O estudo foi conduzido em um ambiente real, com coleta de dados no período de setembro a novembro de 2024, com levantamentos de: quantitativos de equipamentos instalados (bancos de capacitores); análise de eficiência energética na substituição de um motor antigo por outro de alta eficiência e nas ações de reparos de vazamentos.

Dentro do programa de gestão, controle e redução das perdas de água e eficiência energética, conduzido pela Empresa de Saneamento, destacam-se: instalação de motores de alto rendimento; instalação de banco de capacitores; as ações de combate a vazamentos visíveis e não visíveis; os contratos para instalação de adutoras, redes e válvulas de corte para implantação de setores de abastecimento; contratação de serviços comerciais para identificação, caracterização, regularização, monitoramento e mitigação de irregularidades em ligações de água (caça fraude); implantação de distritos de medição e controle – DMC com a instalação de medidores de pressão; implantação de sistema de telemetria e de um novo centro de controle operacional – CCO; construção de novos poços e reservatórios visto na Figura 30.

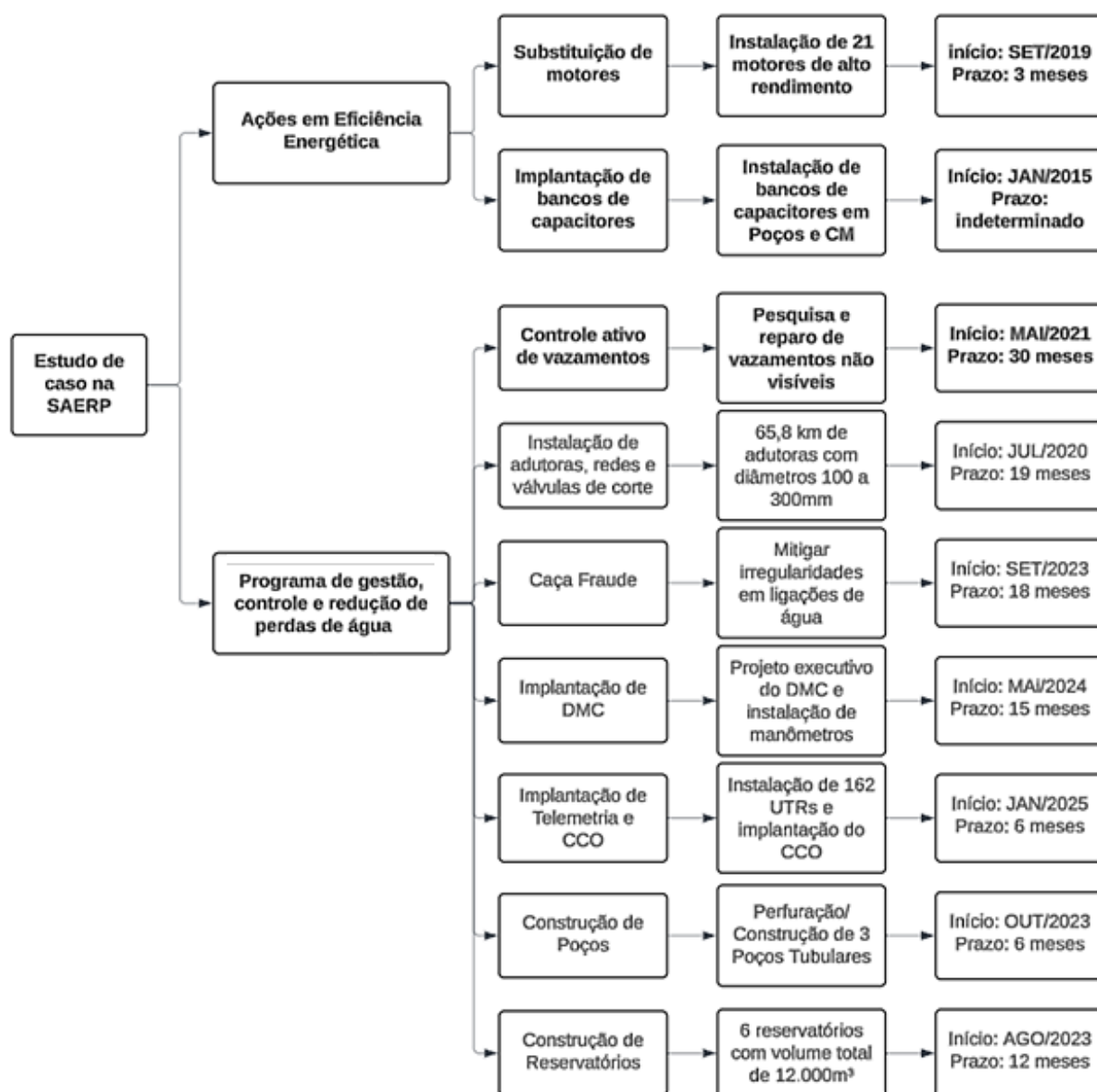
Este estudo enfatizou analisar três dessas ações: instalação de motores de alto rendimento; instalação de banco de capacitores e as ações de combate a vazamentos visíveis e não visíveis.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL DA EMPRESA

Foi realizado levantamento de dados da Empresa de Saneamento com base em documentos oficiais da Empresa de Saneamento, publicados no Plano Municipal de Saneamento. Para o estudo considerou-se:

- Quantidades, tipos e diâmetros das redes de abastecimento de água;
- Estações elevatórias de água tratada;
- Quantidade de reservatórios e volume de reservação;
- Quantidade de poços tubulares em operação;
- Volume de água produzido e consumido.

Figura 30 – Fluxograma das ações de eficiência energética e gestão de combate a perdas na Empresa Pública de Saneamento.



Fonte: Autor (2024).

Para registrar e gerir os vazamentos visíveis e não visíveis a Empresa utiliza o Software *GSAN*, e a partir dos relatórios exportados desse banco de dados, foi possível analisar as quantidades e tipos de vazamentos, e tempo gasto entre os reparos. Com posse dessas informações e consulta na literatura, foi possível determinar a vazão de perda por vazamento, o volume de água tratada perdida e a energia elétrica gasta na produção de água perdida com o vazamento.

3.2 AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.2.1 Motores Elétricos

A coleta de dados abrange variáveis como o consumo de energia elétrica, os registros de volumes de água bombeados e pressões manométricas de uma unidade (EEAT Aliança), antes e após a substituição do motor.

Para analisar a eficiência na substituição dos motores foi utilizado o indicador PH5 ou CEN - *Consumo Específico Normalizado*, que baseado na relação entre a vazão, potência elétrica consumida e altura manométrica, ou seja, consiste na quantidade média de energia consumida por 1m³ elevado a uma altura manométrica de 100m (kWh/m³x100m), diferenciando-se do conceito de consumo específico de energia elétrica medida por volume (kWh/m³), adotado no indicador IN058 do SNIS (PROEESA, 2017).

A aplicação do CEN é dada pela equação (5).

$$CEN = \frac{E}{F_{unif}} \quad (5)$$

Onde:

- *CEN* é o indicador de desempenho do consumo energético normalizado [kWh/(m³x100m)];
- *E* é o total de energia elétrica consumida para o bombeamento (kWh);
- *F_{unif}* é o fator de uniformização (m³x100m).

O indicador CEN, converte todas as estações elevatórias para uma mesma unidade, podendo assim equiparar diferentes motobombas de instalações elevatórias distintas. Para isso é utilizado o fator de uniformização representado na equação (6).

$$F_{unif} = \frac{V \cdot H}{100} \quad (6)$$

Onde:

- F_{unif} é o fator de uniformização ($m^3 \times 100m$);
- V é o volume total de água elevado no período de referência (m^3);
- H é a altura manométrica média verificada no período de referência (mca).

A planilha PROEESA-CEN possui a indicação de parâmetros para análise do resultado encontrado, que pode ser classificado como satisfatório, mediano ou insuficiente (Tabela 4). É importante lembrar que são parâmetros diferentes considerando se o conjunto motobomba é submerso ou externo.

Tabela 4 – Índice PH5 para classificação de eficiência energética.

Intervalo de potências (kW)		Valores sem credibilidade (%)	Rendimento insuficiente e baixa confiabilidade (%)	Rendimento insuficiente (%)	Rendimento mediano (%)	Bom rendimento (%)	Bom rendimento, mas baixa confiabilidade (%)	Valores sem credibilidade (%)
de	a							
5,6	15,7	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 52%	de 52% a 64%	de 64% a 83%	de 83% a 120%	superior a 120%
15,7	38	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 56%	de 56% a 68%	de 68% a 83%	de 83% a 125%	superior a 125%
38	96	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 60%	de 60% a 72%	de 72% a 83%	de 83% a 131%	superior a 131%
96	261	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 64%	de 64% a 72%	de 72% a 83%	de 83% a 131%	superior a 131%

Fonte: PROEESA (2017).

Considerando análise de viabilidade financeira o cálculo do payback constitui-se como uma abordagem para mensurar o prazo de retorno de um investimento (CORREIA & RODRIGUES, 2018). Por meio dessa técnica, procede-se à análise dos fluxos de caixa projetados ao longo dos anos, estimando-se o período necessário para a recuperação integral do capital inicialmente aplicado (URTADO, 2009). A Taxa Interna de Retorno (TIR) constitui um indicador percentual de atratividade financeira de um projeto (URTADO, 2009).

3.2.2 Banco de Capacitores

Para a caracterização das ações de eficiência energética foram considerados dados referentes à instalação do banco de capacitores em todas as unidades operacionais entre os anos de 2014 e 2023, e à substituição de um motor antigo de baixo rendimento por outro considerado de alto rendimento na EEAT Aliança.

Na análise dos dados relacionados a instalação dos bancos de capacitores foram comparados os valores de energia reativa consumida entre os anos de 2014 a 2023 e correlacionado com os consumos de energia ativa do mesmo período. Para isso, os índices de economia foram calculados tomando como referência uma linha base de consumo e comparado a projeção de economia utilizando o valor do kVAr, com impostos de 2023, de R\$ 0,40981315. Todos os dados coletados foram organizados e analisados utilizando o software Excel, o que permitiu a criação de modelos de projeção e a visualização das economias ao longo do período estudado.

As faturas de energia são utilizadas mensalmente para a conferência do consumo de energia reativa e para avaliar a necessidade de instalação dos bancos de capacitores, conforme exemplificado da Figura 31. Quando detectado alto consumo de reativo, faz-se a análise do fator de potência registrado no medidor da concessionária de energia ou com o equipamento Wattímetro Figura 32, para correção ao valor mínimo do FP de 0,92 (Empresa Pública de Saneamento, 2024).

Figura 31 - Fatura de energia elétrica da Empresa Pública de Saneamento.

ATENDIMENTO CPFL		PN	SEU CÓDIGO		CONTA MÊS		
0800 770 4140					MAR/2023		
www.cpflempresas.com.br							
DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO							
Cod. 115	Descrição da Operação	Mês Ref.	Quant. Registrada	Quant. Faturada	Unid. Med.	Tarifa com Tributos R\$	Valor Total Operação R\$
0605	Consumo Ponta - TUSD-3.00%	MAR/23	13.145,108	13.145,108	kWh	0,13723280	1.803,94
0605	Consumo Fora Ponta - TUSD-3.00%	MAR/23	127.902,739	127.902,739	kWh	0,13723241	17.552,40
0601	Cons Ponta - TE-3.00%	MAR/23	13.145,108	13.145,108	kWh	0,56701701	7.453,50
0601	Cons FPonta TE-3.00%	MAR/23	127.902,739	127.902,739	kWh	0,34702557	44.385,52
0605	Dem Reat Exced Ponta -TUSD	MAR/23		15,963	KW	19,72943440	314,94
0605	Dem Reat Exc Fora Ponta -TUSD	MAR/23		15,008	KW	19,72953517	296,11
0601	Consumo Reativo Exc Ponta	MAR/23	893,322	893,322	KVr	0,37666152	336,48
0601	Consumo Reativo Exc Fora Ponta	MAR/23	6.807,416	6.807,416	KVr	0,37665984	2.564,08
0602	Demanda Ponta - TUSD-3.00%	MAR/23	192,372	192,372	KW	49,60857090	9.543,30
0602	Demanda F Ponta -TUSD-3.00%	MAR/23	198,145	198,145	KW	19,13721683	3.791,94

Fonte: CPFL/ Empresa Pública de Saneamento (2023).

Figura 32 – Alicate Wattímetro utilizado pela Empresa Pública de Saneamento.



Fonte: Autor (2024).

Na maioria das unidades operacionais da empresa, apenas um motor (bomba submersa) está em operação, possibilitando a conferência do FP diretamente no medidor da concessionária de energia, visto na Figura 33, entretanto existem unidades que operam com dois ou mais motores simultaneamente (bomba submersa, bomba de recalque e/ou *booster*), onde são necessários fazer suas medições individualizadas.

Figura 33 – Medidor de energia da concessionária.



Fonte: Autor (2024).

Para a análise dos resultados, foi utilizado o consumo de energia registrado nas faturas emitidas pela concessionária de energia CPFL. O histórico coletado,

referente aos últimos 10 anos, do consumo de energia reativa foi comparado com as reduções obtidas em 2023. Com o auxílio do software Excel, os dados coletados nas faturas de energia foram analisados estatisticamente para elaboração de gráficos representativos do consumo de energia reativa kVAr, energia ativa kW e correlação de Pearson, a fim de medir a relação linear entre a quantidade de energia consumida, ativa e reativa, com os valores registrados nesse período.

Sempre que é verificado a cobrança de “Demanda Reativo Excedente” ou “Consumo Reativo Excedente” em alguma das 164 faturas de energia elétrica da empresa de saneamento, significa que o Fator de Potência (FP) de alguma dessas unidades está menor que 0,92. Para sanar esse consumo indesejado de energia reativa é adotado o procedimento de verificação do valor instantâneo do FP *in loco*, conferindo o valor do fator de potência registrado no multimetedor de energia, instalado no CCM Figura 34, no medidor de energia da concessionária ou com o alicate wattímetro. Caso seja comprovado o índice de FP inferior a 0,92 é verificado o motivo do banco de capacitor não estar funcionando, nos casos necessários de substituição ou redimensionamento instalação, a empresa de saneamento providencia o redimensionamento e substituição do banco de capacitor para a potência correta do equipamento em operação.

Figura 34 – Multimetedor de grandezas elétricas instalado no CCM.



Fonte: Foto do autor na Empresa Pública de Saneamento, 2024.

Os motores de bombas, com baixo fator de potência, demandam grande consumo de energia reativa durante seu funcionamento, e precisam ter seu fator de potência corrigido por meio de bancos de capacitores (Filho, 2015). Para encontrar o dimensionamento correto do banco de capacitor de forma prática e rápida, a Empresa de Saneamento utiliza uma tabela de Coeficiente para Dimensionamento do Capacitor (Figura 45), encontrada nos catálogos de fabricantes de capacitores e nas normas técnicas GED2856 da CPFL. Com base nos dados operacionais coletados, o poço Botafogo possui uma bomba trifásica de 235CV, operando com 100% da potência nominal, com Fator de Potência FP = 0,81 e rendimento de 91,5%. Nesse caso deseja-se atingir o fator de potência FP=0,95.

O fator de potência deve ser corrigido para no mínimo 0,92, mas nesse caso será ajustado o Fator de Potência para 0,95. Para isso utiliza-se a seguinte equação (7) e o fator de correção obtido em tabela, valor encontrado na intersecção da linha 0,81 e a coluna de 0,95 representado na Figura 35.

$$Q = \frac{P \cdot 0,736 \cdot F \cdot 100\%}{\text{Rend.}} \quad (7)$$

Onde:

- Q: Potência trifásica do banco de capacitor a ser instalado em (kVAr);
- P: Potência nominal do motor (cv);
- F: Fator de correção (Figura 45);
- Rend.: Rendimento do motor (%).

$$Q = \frac{235 \cdot 0,736 \cdot 0,395 \cdot 100\%}{93,5\%} \quad (7.1)$$

$$Q = 73,07\text{kVAr} \quad (7.2)$$

Figura 35 – Coeficiente para Dimensionamento do Capacitor CCM.

Fator de potência original	Fator de potência desejado																		
	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	
0,5	0,982	1,008	1,034	1,06	1,086	1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,442	1,481	
0,51	0,937	0,962	0,989	1,015	1,041	1,067	1,094	1,120	1,147	1,175	1,203	1,231	1,261	1,292	1,324	1,358	1,395	1,436	
0,52	0,893	0,919	0,945	0,971	0,997	1,023	1,060	1,076	1,103	1,131	1,159	1,187	1,217	1,248	1,280	1,314	1,351	1,392	
0,53	0,850	0,876	0,902	0,928	0,954	0,980	1,007	1,033	1,060	1,088	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	
0,54	0,809	0,835	0,861	0,887	0,913	0,939	0,966	0,992	1,019	1,047	1,075	1,103	1,133	1,164	1,196	1,230	1,267	1,308	
0,55	0,769	0,795	0,821	0,847	0,873	0,899	0,926	0,952	0,979	1,007	1,035	1,063	1,090	1,124	1,456	1,190	1,228	1,268	
0,8	0,000	0,026	0,062	0,078	0,104	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,264	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	
0,81	0,000	0,026	0,062	0,078	0,104	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,264	0,321	0,355	0,387	0,421	0,395	0,433	0,473
0,82			0,000	0,026	0,062	0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	

Fonte: WEG (2024).

Assim, para ajustar o fator de potência de 0,81 para 0,95, seria necessário, nesse caso, instalar um banco de capacitores trifásicos de 73,06kVAr. No entanto, essa potência específica não é encontrada comercialmente, podendo, assim, ser instalados dois bancos de capacitores de 35kVAr, ligados em paralelo. Consequentemente, o fator de potência nessa aplicação estaria próximo de 0,95.

3.3 COMBATE A PERDAS DE ÁGUA NA DISTRIBUIÇÃO

Neste trabalho foi explorado o histórico de reparos de vazamentos de água realizados pela empresa de saneamento, utilizando valores de pressão mínimos e máximos normatizados, bem como valores de diâmetro da fissura de aproximadamente 1mm, considerado o mínimo valor para a caracterização da fissura.

Assim, foi possível estimar as perdas de água nos sistemas de distribuição, calcular o volume recuperado após os reparos e determinar a energia elétrica economizada em função da redução dessas perdas. Este processo considera dados operacionais do sistema, como a quantidade de vazamentos, o intervalo entre reparos, a pressão do sistema, e o custo da energia elétrica. Os cálculos apresentados podem ser adaptados a diferentes condições de operação e servem como base para análises de eficiência em sistemas de abastecimento de água.

Foram estudados reparos realizados em tubulação DN25, dos vazamentos registrados no asfalto, calçada, cavalete e local público, visível e não visível,

considerando um furo de 1mm^2 , com a pressão mínima de 10 mca e um pressão máxima de 50 mca. No cálculo foi considerado o intervalo de tempo entre abertura da solicitação, via sistema GSAN realizada nos canais de atendimento ao munícipe, e a conclusão do reparo.

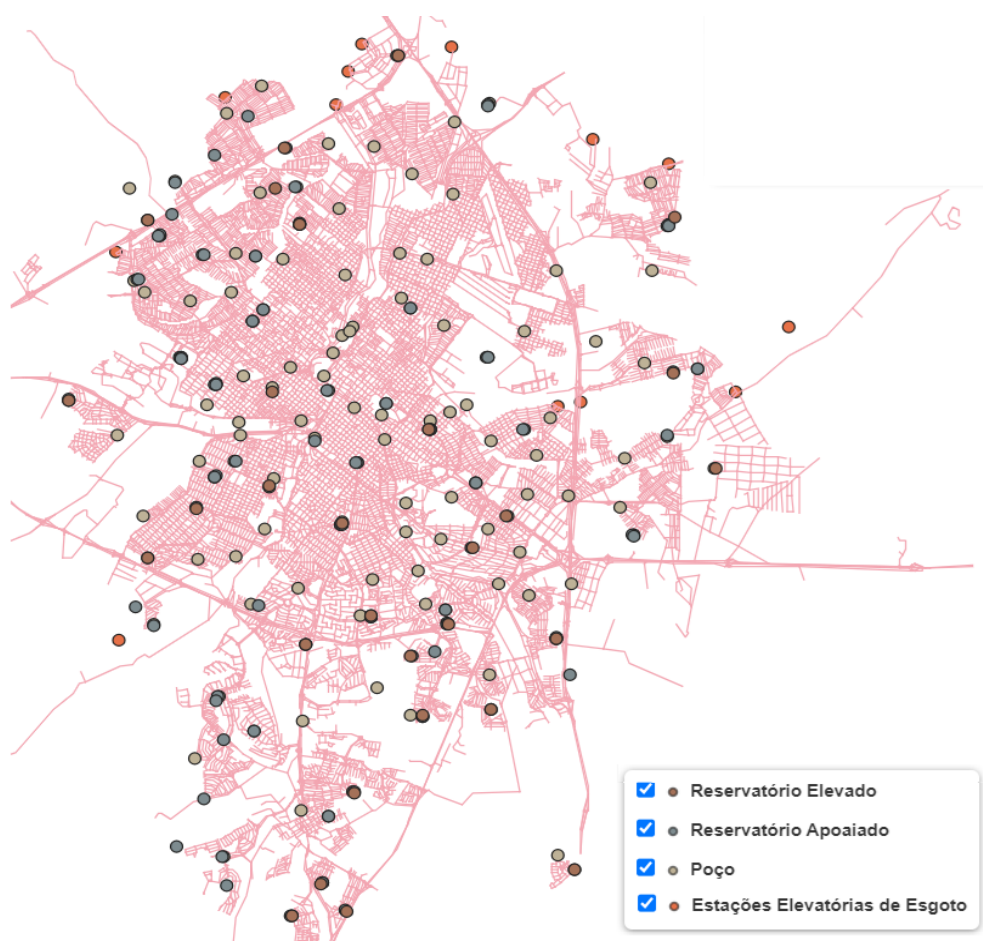
Para estimar a economia de energia com o reparo de vazamento, foi considerado custo médio da energia gasto na empresa de saneamento, incluindo impostos e não considerando bandeiras tarifárias.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA OPERACIONAL

A estrutura da Empresa de Saneamento possui 164 unidades ativas, divididas entre operacionais e administrativas. São 120 poços tubulares profundos (unidades de captação subterrânea), 110 reservatórios de abastecimento públicos de água e 10 elevatórias de esgoto Figura 36. A empresa ainda possui 6 unidades administrativas, que gerenciam todas as operações e o atendimento ao público.

Figura 36 – Localização das unidades ativas da Empresa de Saneamento.

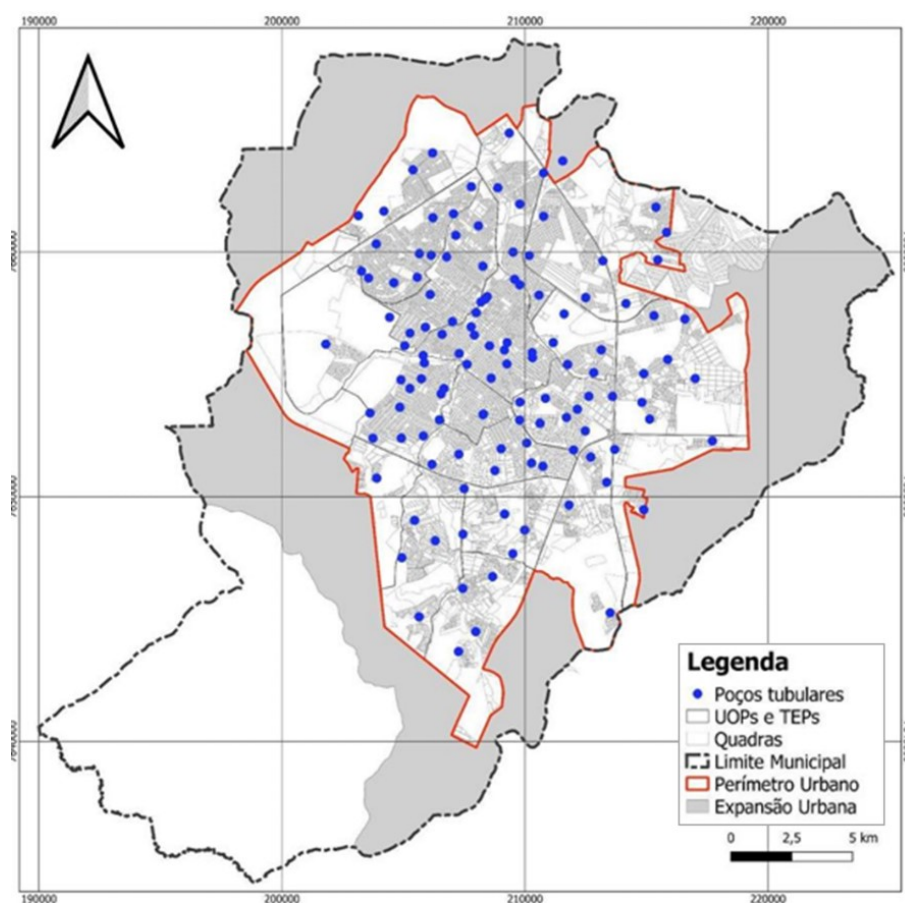


Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2024).

A concepção atual da operação do abastecimento de água é 70% realizado por meio de distribuição em marcha, a partir dos poços, diretamente para a rede de distribuição. No ANEXO I - Unidades de Capitação de Água do Município observa-se relatório com os dados dos poços existentes no município.

Os poços captam a água do Aquífero Guarani atingindo uma produção de 19.830 m³/h. Esses poços possuem profundidades variadas, sendo alguns bem próximos da superfície, com suas bombas submersas de baixa potência, aproximadamente 25 HP, instaladas a 18 m de profundidade em relação à superfície enquanto outros poços mais profundos, que necessitam de bombas de potências maiores, aproximadamente 360 HP, instalados a 360 m em relação à superfície (Empresa Pública de Saneamento, 2024). Analisando a distribuição dos poços é possível mapear os pontos de captação no município conforme a Figura 37.

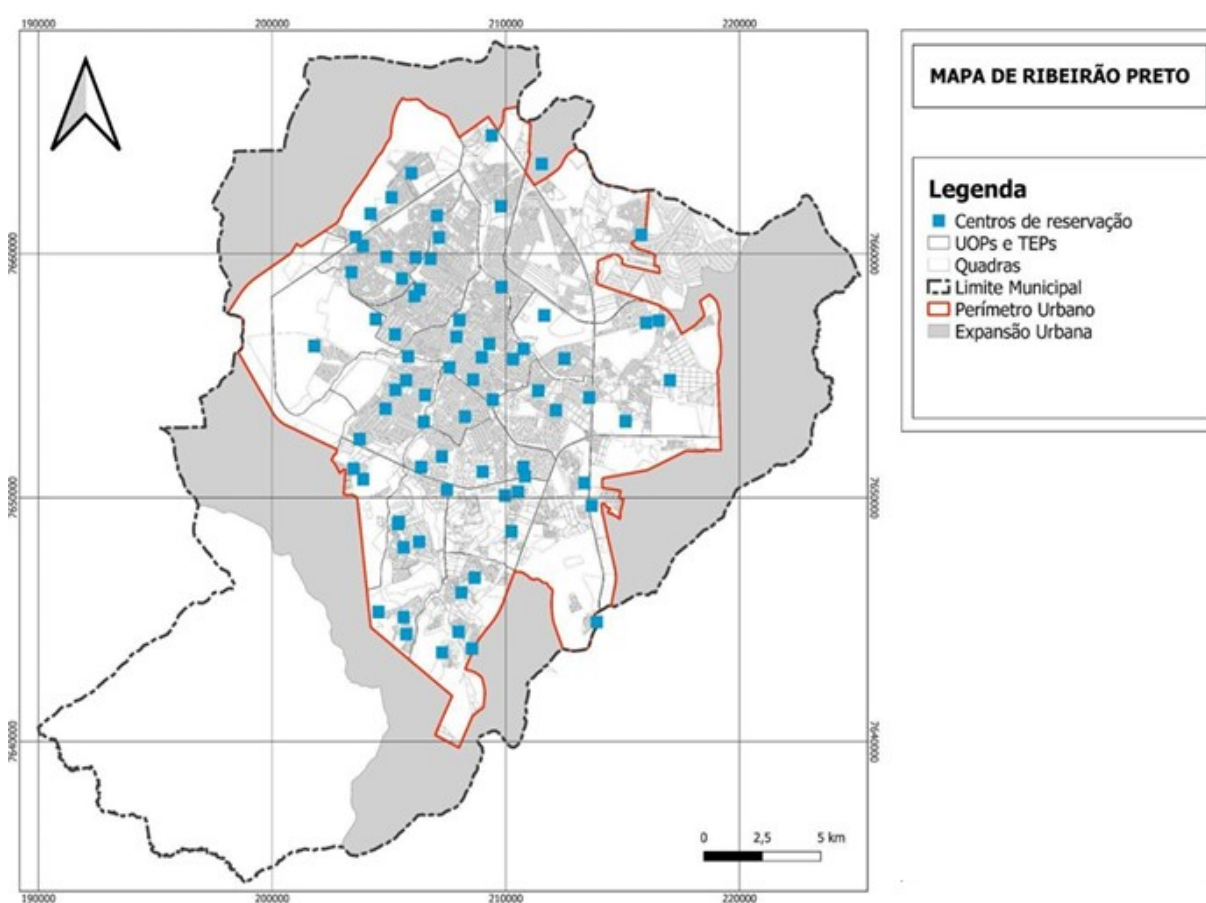
Figura 37 – Localização dos poços de captação de água.



Fonte: Adaptados de Empresa Pública de Saneamento (2024).

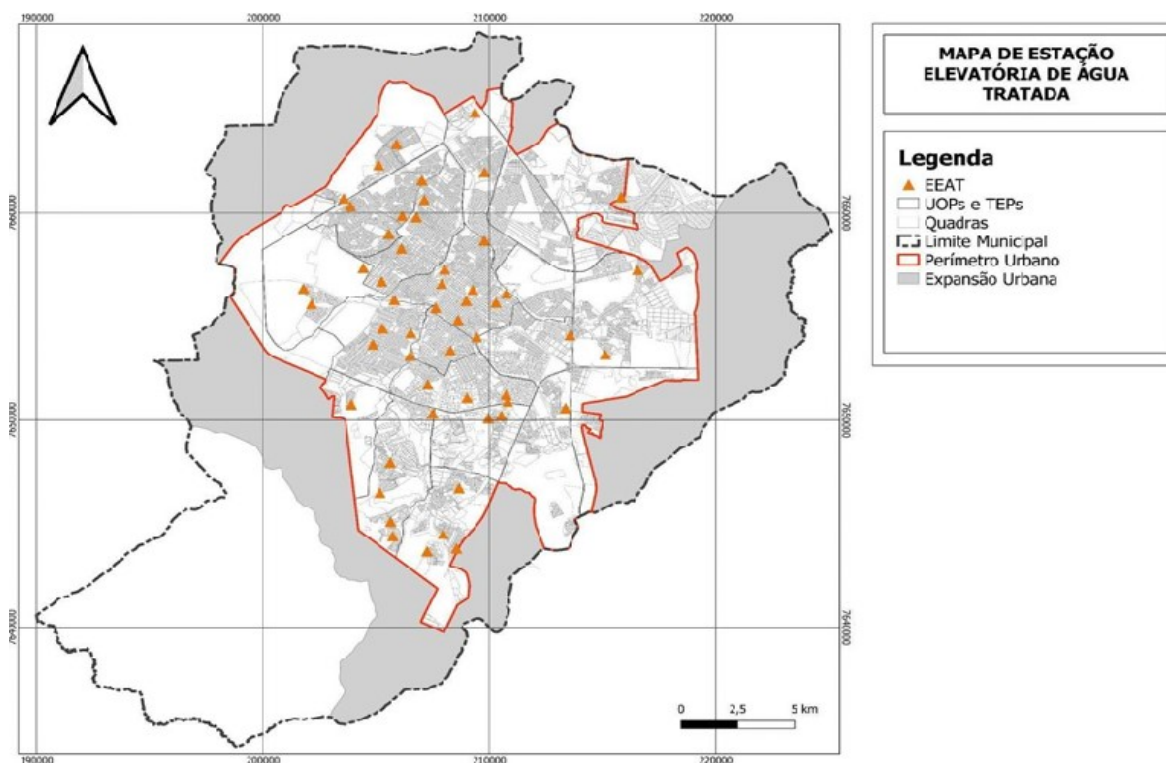
Os reservatórios setoriais funcionam, em sua maioria, como armazenamento de sobras de água a jusante, com capacidade de armazenamento total de 162.700m³, contribuindo para o abastecimento em horários de pico. A construção da Figura 38 permite visualizar a distribuição total dos reservatórios no município, distribuídos entre as 53 estações elevatórias de água tratada. São 121 reservatórios ativos e 6 desativados caracterizados no ANEXO II - Unidades de Reservação de Água no Município.

Figura 38 – Localização das unidades de reservação de água no município.



Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2024).

As elevatórias de água cadastradas abastecem reservatórios e rede de distribuição e podem ser identificadas na Figura 39.

Figura 39 – Localização das Estações Elevatórias de Água Tratada no município.

Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2024).

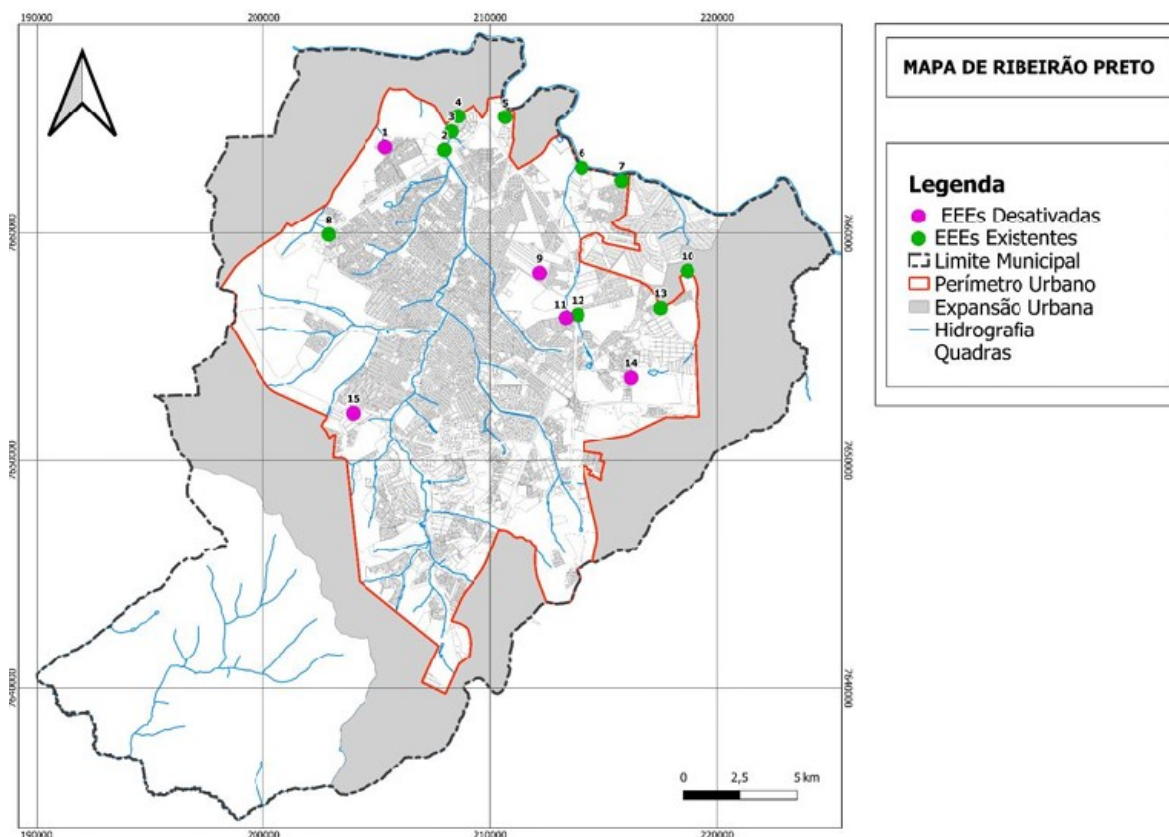
Os sistemas de elevação de esgoto são constituídos por 15 Estações Elevatórias de Esgotos (EEE), sendo que 5 delas já se encontram desativadas. Na Figura 40 são apresentadas as localizações de cada EEE e na Tabela 5 as respectivas identificações.

Tabela 5– Estações Elevatórias de Esgoto em atividade.

UNIDADE	BAIRRO	TIPO
EEE Palmeiras I	RCT DAS PALMEIRAS	Esgoto
EEE Dt. Empresarial I e II	Dt. Empresarial	Esgoto
EEE Palocci	Jd. Juliana	Esgoto
EEE Jd. Angelo Jurca	JD ANGELO JURCA	Esgoto
EEE Liliane Tenuto	Jd. Liliane Tenuto	Esgoto
EEE Dt. Empresarial III	Dt. Empresarial	Esgoto
EEE Palmeiras II	Rural	Esgoto
EEE Caiçara	Aldeia dos Cajueiros	Esgoto
EEE Recreativa	Rural	Esgoto
EEE Macaúbas	Cond. Macaúba	Esgoto

Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2024).

Figura 40 – Localização das Estações Elevatórias de Esgoto no município.



Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2024).

Toda a infraestrutura descrita contribui para que o município apresente excelentes índices de saneamento básico, ocupando o 32º lugar no Ranking de Saneamento Básico do Instituto Trata Brasil (ITB), com abastecimento de água para 100 % da população e 100 % de tratamento de esgoto coletado, melhorando qualidade de vida e saúde da população, além da preservação do meio ambiente (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2024).

Uma empresa pública de saneamento na mesma região da empresa estudada é o Departamento de Água e Esgoto (DAE) de Bauru, que promove abastecimento através da captação de água subterrânea e superficial. Possui 35 poços profundos para captar água dos Aquífero Guarani e Bauru, que abastecem cerca de 65% da população da cidade. A captação de água do Rio Batalha abastece cerca de 38% da população. (DAE, 2021).

A caracterização do sistema operacional demonstra que a empresa do no estudo abrange uma população aproximadamente 2 vezes maior que a de Bauru e com captação exclusiva de água subterrânea abastecendo 100% da população.

4.2 EFICIÊNCIA ENERGETICA

4.2.1 Motores Elétricos

A utilização de motores elétricos de melhor desempenho parece ser uma estratégia eficiente na redução dos gastos com energia (VIANA, 2021). Motores elétricos antigos apresentam baixo fator de potência, o que impacta diretamente sua eficiência energética. Além disso, os recorrentes rebobinamentos realizados nos motores elétricos durante sua vida útil, em decorrência de falhas ou procedimentos mal executados durante o rebobinamento do motor, resultam em uma redução adicional considerável no rendimento desses motores (Empresa Pública de Saneamento, 2019). Como exemplo o motor elétrico antigo da marca Bufalo, de 100 CV, que operava continuamente por 20 horas diárias como *booster* no poço Branca Sales da Empresa. Este motor possui idade de fabricação superior a 50 anos e mais de cinco rebobinamentos (Figura 41).

Figura 41 – Motor elétrico de baixo rendimento.



Fonte: Autor (2019).

Em 2019, a Empresa Pública de Saneamento possuía 103 motores-elétricos trabalhando como *booster* ou bombas de recalque, distribuídos em poços e casas de máquinas. Com a implementação de medidas de eficiência energética e modernização dos equipamentos, a empresa deu início ao processo de substituição de 21 motores elétricos de baixo rendimento por motores de alto rendimento, seguindo os requisitos mínimos de rendimento prescritos na Portaria Interministerial nº 01, de 29 de junho de 2017, do MME, e na ABNT NBR 17.094-1/2013 (Figura 42).

Nesse projeto foram identificados os motores mais antigos e com menor rendimento, devido aos vários rebobinamentos sofridos durante seu tempo operacional (Empresa Pública de Saneamento, 2019).

Figura 42 – Instalação do motor de alto rendimento.



Fonte: Autor (2019).

Os motores priorizados para substituição na Empresa de Saneamento estudada seguiram os seguintes critérios:

- A idade ou o tempo de trabalho do motor desde sua primeira instalação (anos);
- A média de horas de trabalho do motor em um ano (horas/ano);
- Quantidade de rebobinamentos realizados no motor na sua vida de serviço;
- A eficiência nominal especificada pelo fabricante.

Os 21 sistemas de abastecimento de água que utilizam esses motores foram analisados e, em alguns casos, redimensionados para a substituição dos motores antigos por novos, ajustando-os ao carregamento mínimo de 75%. Em vários casos, as potências nominais dos motores foram reduzidas, conforme detalhado na Tabela 6.

O dimensionamento adequado de motores elétricos é essencial para garantir seu desempenho eficiente. A ineficiência dos motores pode ser atribuída a fatores como superdimensionamento, manutenção inadequada, uso de motores com baixo rendimento e inadequação entre o motor e o tipo de carga acoplada (FERNANDES & SILVA, 2009).

O correto dimensionamento de carga em motores elétricos é caracterizado pela operação com demandas de potência situadas entre 75 % e 100 % da capacidade nominal do equipamento, condição na qual se assegura desempenho energético otimizado e fator de potência favorável. Em contrapartida, o sobredimensionamento induz a perdas de eficiência, provoca a redução do fator de potência e eleva a corrente de partida, comprometendo tanto a performance quanto a durabilidade do sistema (FERNANDES & SILVA, 2009).

Conforme apresentado na Tabela 6, uma parcela significativa dos motores apresentou redução de potência (HP) em razão do redimensionamento das cargas, ajustadas para atender à demanda do sistema na faixa de 75 % a 100 % de sua capacidade nominal, o que possibilitou o aproveitamento de seu elevado rendimento.

Tabela 6 – Substituição de motores antigos por novos de alto rendimento na Empresa Pública de Saneamento.

Motor antigo baixo rendimento potência (HP)	Motor novo Alto rendimento Potência (HP)	Local de Instalação
400	300	EEAT Aliança
400	300	EEAT Santa Teresa
300	250	EEAT Jd. América
300	250	EEAT Pômpolo
200	200	EEAT Jd. América
200	150	EEAT Aliança
200	150	EEAT Quintino II
125	125	Booster Poço Ribeirânia III
100	100	Booster Poço Branca Salles
100	75	EEAT Pq. RP
75	75	EEAT Dom Mielle
75	75	EEAT Jd. Paulista
60	60	EEAT Pq. RP
60	60	EEE Palocci
60	60	EEAT Vila Augusta
50	50	EEAT Dom Mielle
50	50	EEAT João Fiúsa
40	40	EEAT City
40	30	EEAT City
20	20	EEAT Sumaré
15	15	EEE Ângelo Jurca

Fonte: Autor (2019).

O carregamento de um motor elétrico, ou percentual de carga, expressa a quantidade de potência elétrica entregue ao eixo do rotor (DELAIBA, 2008). Estudos recomendam um carregamento mínimo de 75% e valores inferiores a esse patamar caracterizam o sistema como sobredimensionado em relação à carga (FERNANDES et al., 2009)

Os Motores de alto rendimento têm como características principais:

- Maior quantidade de cobre – o que reduz as perdas de “Joules” (perdas no estator);
- Chapa magnética com baixas perdas – o que reduz a corrente magnetizante e as perdas no ferro;
- Enrolamento dupla camada – o que promove melhor dissipação de calor;
- Rotores tratados termicamente – o que reduz as perdas suplementares;
- Menor região de entreferro – o que reduz as perdas suplementares.

Assim apesar de possuírem custo mais elevado quando comparados com as outras categorias, possuem uma melhor performance, com principal objetivo de reduzir ao máximo as perdas (LIMA, 2022). Na Tabela 7 dispõe os dados referentes a substituição dos motores e a economia anual com energia elétrica estimada no projeto da empresa de saneamento.

A substituição dos motores antigos pelos novos motores de alto rendimento envolveu um custo de aquisição de R\$ 595.075,98 com a previsão de economia de 3.143.625 kWh por ano. Esses resultados sugerem a viabilidade econômica e os benefícios operacionais de investir em tecnologias de eficiência energética, comprovando que o retorno financeiro e a sustentabilidade podem ser alcançados simultaneamente. Dos 21 motores relacionados para substituição no projeto a média do *payback* simples é de aproximadamente 9,17 meses.

O presente estudo levantou dados relacionados a substituição de um desses motores, localizado na casa de máquinas EEAT (Estação Elevatória de Água Tratada) Aliança (Figura 43). O motor operava por 24 horas por dia como bomba de recalque, com potência de 400 CV, tempo operacional superior a 20 anos, histórico de cinco rebobinamentos e eficiência de 92%. O novo motor, de alto rendimento, possui potência de 300 CV e eficiência superior a 96%.

Tabela 7 – Dados da substituição dos motores e economia estimada no projeto.

Potência Motor Retirado (CV)	Potência Motor Novo (CV)	Valor Motor (Alto Rendimento) NOVO	Local de Instalação	Economia Estimada (R\$/Ano)	Payback (meses)
400	300	R\$ 80.000,00	EEAT Aliança	R\$ 123.569,17	7,77
400	300	R\$ 80.000,00	EEAT Santa Teresa	R\$ 123.569,17	7,77
300	250	R\$ 54.325,00	EEAT Jd. América	R\$ 91.015,42	7,16
300	250	R\$ 54.325,00	EEAT Pômpolo	R\$ 91.015,42	7,16
200	200	R\$ 49.200,00	EEAT Jd. América	R\$ 48.812,69	12,10
200	150	R\$ 33.676,00	EEAT Aliança	R\$ 39.264,57	10,29
200	150	R\$ 33.676,00	EEAT Quintino II	R\$ 46.112,69	8,76
125	125	R\$ 31.033,00	Booster Poço Ribeirânia 3	R\$ 32.447,88	11,48
100	100	R\$ 21.869,00	Booster Poço Branca Salles	R\$ 23.924,91	10,97
100	75	R\$ 18.666,66	EEAT Pq. R.	R\$ 37.592,06	5,96
75	75	R\$ 18.666,66	EEAT Dom Mielle	R\$ 32.192,06	6,96
75	75	R\$ 18.666,66	EEAT Jd. Paulista	R\$ 32.192,06	6,96
60	60	R\$ 16.930,00	EEAT Pq. R.	R\$ 28.738,98	7,07
60	60	R\$ 16.930,00	EEE Palocci	R\$ 28.738,98	7,07
60	60	R\$ 16.930,00	EEAT Vila Augusta	R\$ 28.738,98	7,07
50	50	R\$ 11.245,00	EEAT Dom Mielle	R\$ 15.930,00	8,47
50	50	R\$ 11.245,00	EEAT João Fiúsa	R\$ 15.930,00	8,47
40	30	R\$ 8.473,00	EEAT City	R\$ 10.200,19	9,97
40	40	R\$ 10.300,00	EEAT City	R\$ 9.187,11	13,45
20	20	R\$ 5.290,00	EEAT Sumaré	R\$ 4.397,56	14,44
15	15	R\$ 3.629,00	EEE Ângelo Jurca	R\$ 3.299,02	13,20

Fonte: Empresa Pública de Saneamento (2019).

Figura 43 – Motor de baixo rendimento à esquerda e motor novo de alto rendimento à direita instalados em EEAT da Empresa Pública de Saneamento.



Fonte: Autor (2019; 2023).

Para analisar os resultados de eficiência energética dessa substituição, utilizou-se o indicador CEN, também conhecido como PH5 da IWA. Devido à ausência de medição de energia individualizada dos conjuntos motobombas instalados na unidade, os dados utilizados para o cálculo foram obtidos por meio de medições realizadas pela empresa de saneamento antes e após a substituição dos motores. Para determinar os valores de energia consumida, considerou-se o cálculo baseado na potência nominal dos motores, expressa em quilowatt-hora (kWh). Já os valores de pressão, em metros de coluna d'água (mca), e de volume bombeado foram determinados a partir da média das medições realizadas ao longo de uma hora, tanto antes quanto após a substituição dos motores, por meio do macromedidor de vazão eletromagnético. O ciclo padrão de funcionamento do motor da empresa estudada para análise foi considerado 31 dias (744 horas).

Segundo recomendações do PROEESA, para cálculo do CEN deve-se considerar um intervalo de tempo significativo de análise, preferencialmente o intervalo de estudo deve abranger um ou mais ciclos de padrão de funcionamento do sistema (PROEESA, 2021).

Para a análise, foram coletados os principais parâmetros de operação e dados de placa dos equipamentos:

- Potência nominal do motor, dados de placa: P_{motor} [kW];
- Pressão manométrica total em metros de coluna de água: H_{man} [mca];
- Vazão bombeada em metros cúbicos por hora: Q_{bomba} [m³/h];
- Eficiência do motor, dados de placa: η_{motor} ;
- Eficiência da bomba, dados de placa: η_{bomba} ;
- Tempo de operação mensal em horas: t_{op} [h];
- Valor médio do custo de energia elétrica da empresa: C_{energ} [R\$].

Seguem os dados do sistema anterior a substituição - Sistema de bombeamento com motor antigo de baixo rendimento:

- Potência mecânica do motor 1 ($P_{m1} = 400\text{CV}$)
- Pressão manométrica total ($H_{man1} = 64,5\text{mca}$)
- Vazão da bomba: ($Q_{bomba1} = 357,40\text{m}^3/\text{h}$)
- Eficiência do motor: ($\eta_{motor1} = 0,920$)
- Eficiência da bomba: ($\eta_{bomba1} = 0,85$)
- Tempo de operação registrado no mês de abr/20: ($t_{op1} = 744\text{h}$)
- Valor médio da energia nos meses de abr/20: ($C_{ener1} = \text{R\$ } 0,4049153$)

Seguem os dados do sistema posterior a substituição - Sistema de bombeamento com motor novo de alto rendimento:

- Potência mecânica do motor 2 ($P_{m2} = 300\text{CV}$)
- Pressão manométrica total ($H_{man2} = 68\text{mca}$)
- Vazão da bomba: ($Q_{bomba2} = 372,71\text{m}^3/\text{h}$)
- Eficiência do motor: ($\eta_{motor2} = 0,962$)
- Eficiência da bomba: ($\eta_{bomba2} = 0,85$)
- Tempo de operação registrado nos meses de jul/20: ($t_{op2} = 744\text{h}$)
- Custo médio da energia entre o período jul/20: ($C_{ener2} = \text{R\$ } 0,4062626$)

Para aplicação da fórmula é necessário a conversão das unidades de medida, com os seguintes resultados das equações (8.1 e 8.2):

- Motor antigo de baixo rendimento:
 - Potência mecânica do motor antigo de 400CV:

$$P_{m1} = 400 \times 0,7355 \quad (8.1)$$

$$P_{m1} = 294,20 \text{ kW} \quad (8.1.1)$$

- Motor novo de alto rendimento:
 - Potência mecânica do motor de alto rendimento de 300CV:

$$P_{m2} = 300 \times 0,7355 \quad (8.2)$$

$$P_{m1} = 220,65 \text{ kW} \quad (8.2.1)$$

Para cálculo da potência nominal elétrica do motor utiliza-se a razão da potência mecânica pela eficiência do motor, conforme equação (9).

$$P_{en} = \frac{P_m}{\eta_m} \quad (9)$$

Onde:

- P_{en} é a potência elétrica expressa em (kW);
- P_m é a potência mecânica do motor em (kW);
- η_m é a eficiência do motor.

Assim temos no motor antigo de baixo rendimento, equação (9.1) e no motor novo de alto rendimento, equação (9.2).

- Potência nominal elétrica do motor antigo 400CV:

$$P_{e1} = \frac{P_{m1}}{\eta_{m1}} \quad (9.1)$$

$$P_{e1} = 319,78 \text{ kW} \quad (9.1.1)$$

- Potência nominal elétrica do motor novo 300CV:

$$P_{e2} = \frac{P_{m2}}{\eta_{m2}} \quad (9.2)$$

$$P_{e2} = 229,42 \text{ kW} \quad (9.2.1)$$

O fator de uniformização converte os dados de diferentes sistemas de bombeamento para uma mesma unidade, indicando o quanto de energia foi utilizado para elevar 1m³ de água a 100m de altura (PROEESA, 2017). Esta uniformização permite equiparar a eficiência energética de diferentes sistemas de bombeamento, antes da substituição do motor de baixo rendimento e após a substituição pelo novo de alto rendimento. Para uniformização dos dados em diferentes situações será utilizado a equação (10).

$$F_{unif} = \frac{V \cdot H}{100} \quad (10)$$

Onde:

- F_{unif} é o fator de uniformização (m³x100m);
- V é o volume total de água elevado no período de referência (m³);
- H é a altura manométrica média verificada no período de referência (mca).

Assim temos como resultado da uniformização do sistema de bombeamento antigo com motor de baixo rendimento a equação (10.1) e do novo com motor de alto rendimento a equação (10.2).

- Potência nominal elétrica do **motor antigo** de 400CV:

$$F_{unif1} = \frac{V_1 \cdot H_1}{100} \quad (10.1)$$

$$F_{unif1} = 230,52 \text{ m}^3/100\text{m} \quad (10.1.1)$$

- Potência nominal elétrica do **motor novo** de 300CV:

$$F_{unif2} = \frac{V_2 \cdot H_2}{100} \quad (10.2)$$

$$F_{unif2} = 253,44 \text{ m}^3/100\text{m} \quad (10.2.1)$$

Com a adequação das unidades de medida, deve-se determinar o valor do indicador PH5 por meio da aplicação da fórmula CEN.

Assim temos o cálculo do CEN para o sistema antigo de baixo rendimento na equação (11.1):

$$CEN_1 = \frac{E_1}{F_{unif1}} \quad (11.1)$$

$$CEN_1 = 1,387 \text{ kWh/m}^3 \cdot 100\text{m} \quad (11.1.1)$$

E temos o cálculo do CEN para o sistema novo de o rendimento na equação (11.2):

$$CEN_2 = \frac{E_2}{F_{unif2}} \quad (11.2)$$

$$CEN_2 = 0,905 \text{ kWh/m}^3 \cdot 100\text{m} \quad (11.2.1)$$

Com a conversão em rendimento percentual $\eta(\%)$ o motor antigo o percentual encontrado foi conforme a equação (12.1).

$$\eta_1 (\%) = 19,64\% \quad (12.1)$$

E para o motor novo o percentual encontrado foi conforme a equação (12.2):

$$\eta_2 (\%) = 30,10\% \quad (12.2)$$

No presente estudo o sistema analisado é submerso e encontra-se no intervalo de potência de 96 a 261 kW. Assim considera-se rendimento insuficiente o intervalo entre 20-64%; rendimento mediano entre 64 a 72% e satisfatório entre 72 e 83%. O resultado obtido no cálculo de eficiência energética para o sistema antigo foi de 19,64%, enquanto no sistema novo foi de 30%, ambos considerados insuficientes (Tabela 8).

Tabela 8 – Análise de eficiência energética dos sistemas em (%).

Estação	Nº da Bomba ou Total	Volume elevado (m ³)	Energia consum. (kWh)	Altura manom. (mca)	Fator de uniform. (m ³ /100m)	Eficiência energética (kWh/m ³ *100m)	Eficiência energética (%)	Avaliação
Motor de baixo rendimento (400CV)	3	357,40	319,78	64,5	230,52	1,387	19,64%	Rendimento Insuficiente - requer manutenção
Motor de alto rendimento (300CV)	3	372,71	229,42	68,0	253,44	0,905	30,10%	Rendimento Insuficiente - requer manutenção

Fonte: Adaptado de PROEESA (2017).

Dados de eficiência energética da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp, foram divulgados em 2018, durante o 3º Seminário de Eficiência Energética no Abastecimento de Água (Tabela 9), caracterizando a mesma como uma das maiores empresas de saneamento do mundo, com consumo de energia de aproximadamente de R\$796 milhões. Mas apesar disso no relatório são apontadas dificuldades nas ações de eficiência energética, justificada pela complexidade da metodologia para levantamento dos dados das variáveis de processo; a morosidade para obtenção dos dados e a terceirização dos trabalhos (SABESP, 2018). Em análise do indicador PROEESA em 2017 na SABESP observa-se que 50% das elevatórias de água estão com nível de eficiência energética classificados como insatisfatórios.

Tabela 9 – Levantamento de Eficiência Energética na SABESP 2018.

Eficiência energética	Valores de referência ($\frac{kWh}{m^3}$ 100 m)	Eficiências médias de referência	Quantidade de estações elevatórias avaliadas na Sabesp (metodologia ProEESA)
Boa 	Abaixo de 0,4258	Acima de 64%	17% (3% consumo água)
Mediana 	0,4258 a 0,57978	47% a 64%	33% (5% consumo água)
Insatisfatória 	Acima de 0,5798	Abaixo de 47%	50% (1% consumo água)

Fonte: SABESP (2018).

Assim é possível inferir que mesmo em empresas de capital misto e de grande porte os desafios para alcançar níveis satisfatórios de eficiência energética são semelhantes.

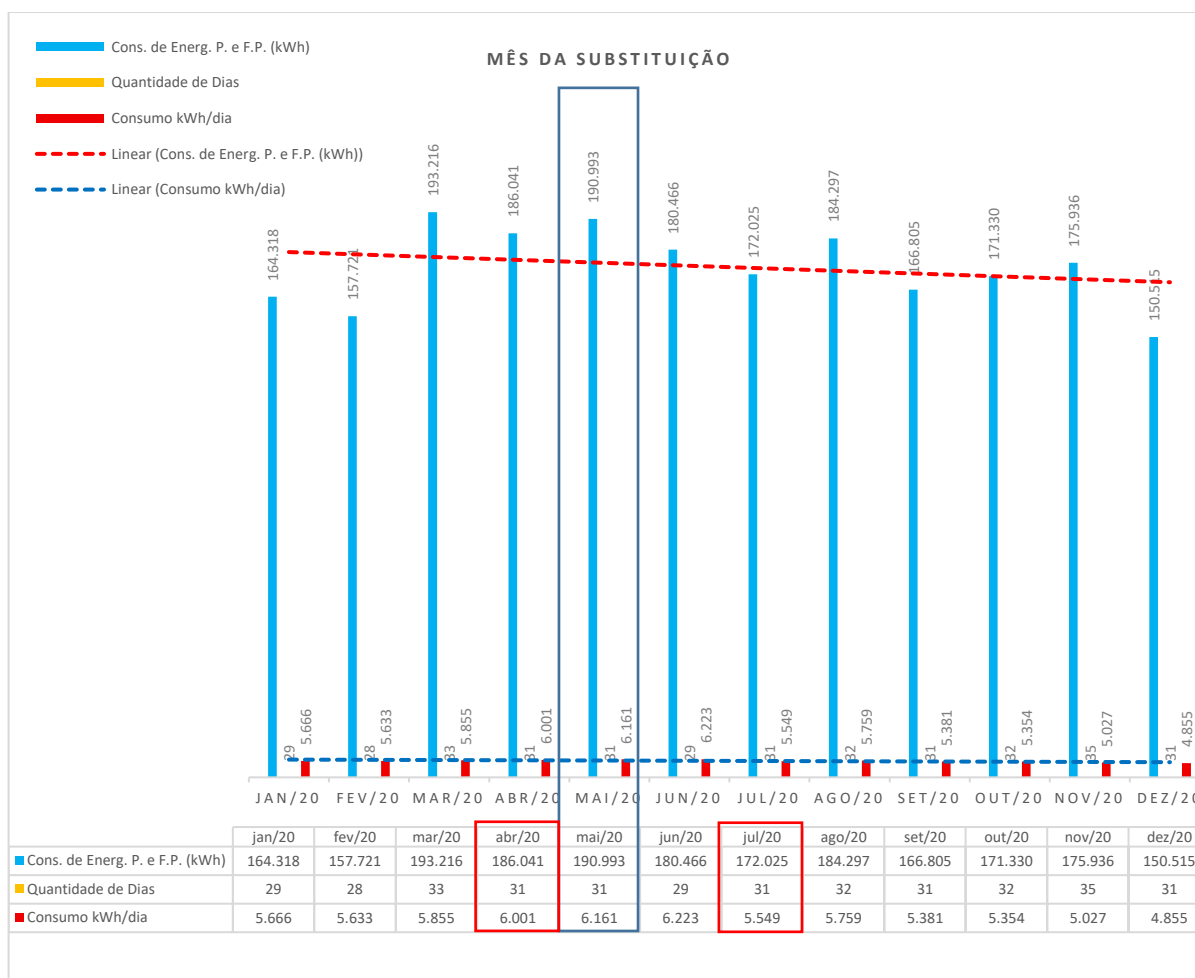
Além do investimento em motores de alto rendimento e do adequado dimensionamento da potência do motor para um carregamento superior a 75%, imprescindível proceder com a revisão ou substituição do conjunto de bombeamento, realizar redimensionamento hidráulico da bomba e considerar alterações mecânicas que interfiram no adequado funcionamento do bombeador, como desgastes de rolamento, desalinhamento e desbalanceamento. (IBRAM, 2024).

Outra análise realizada em relação a substituição dos motores foi a comparação de consumo de energia na unidade EEAT Aliança, antes e após a substituição do motor de baixo rendimento por um novo de alto rendimento em maio de 2020. Os registros de consumo de energia do (Gráfico 1) referem-se aos três conjuntos motobombas existentes na unidade, sendo uma bomba submersa de captação de água e as outras duas centrífugas de recalque. A intervenção foi realizada somente na bomba estudada, permanecendo as demais bombas com a mesma operação antes e após a substituição do motor de baixo rendimento.

Em análise do consumo de energia da unidade, pode-se observar uma redução de aproximadamente 452 kWh/dia, comparando o mês de abril/2020, com consumo aproximado de 6.001 kWh/dia, e julho/2020, com consumo aproximado de 5.549 kWh/dia. Para evitar interferência de medição de ciclo de leitura do medidor de energia da concessionária de energia, instalada na EEAT Aliança, foi considerado para comparação o mês de julho/2020 ao invés de escolha do mês de junho/2020 que é o

subsequente a data de substituição. O Gráfico 1 apresenta o consumo de energia do período de 12 meses da unidade EEAT Aliança, sendo 4 meses antes da instalação e 7 meses posteriores à instalação do motor de alto rendimento, onde pode-se observar na linha de tendência uma suave queda no consumo de energia elétrica.

Gráfico 1 – Comparativo do Consumo de Energia na EEAT Aliança – Empresa Pública de Saneamento.



Fonte: Coletado pelo Autor na *Empresa Pública de Saneamento*, 2023.

O volume de água bombeado também pode ser considerado como uma variante para análise de eficiência energética, sendo que aumentou de 357,40m³/h para 372,71m³/h, após a substituição do motor, um acréscimo de 4,28%.

Em análise do consumo de energia elétrica da unidade, observa-se que o consumo diário (kWh/dia) apresentou um crescimento contínuo de janeiro a maio de 2020, atingindo o pico de 6.161 kWh/dia no mês da substituição (maio/20). A partir

desse ponto, nota-se uma tendência de redução no consumo, que se manteve relativamente estável, com pequenas variações, até dezembro de 2020, quando atingiu o menor valor do período analisado (4.855 kWh/dia). Essa queda após a substituição sugere um impacto positivo da intervenção realizada, indicando possível melhoria na eficiência energética do sistema. Conclui-se assim que a economia de energia elétrica resultante dessa ação foi positiva, mas não expressiva quando comparada aos custos associados e o baixo acréscimo de volume de água bombeado.

4.2.2 Banco de Capacitores

As empresas de saneamento utilizam bombas com grandes potências para a captação e distribuição de água no abastecimento dos municípios. Os motores dessas bombas, com baixo fator de potência, demandam grande consumo de energia reativa durante seu funcionamento e precisam ter seu fator de potência corrigido por meio de bancos de capacitores (Filho, 2015).

Segundo a resolução nº 1000/21 da ANEEL, em seu art. 302, o fator de potência de referência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido o valor de 0,92 para as unidades consumidoras do grupo A (ANEEL, 2021). Os montantes de energia elétrica e demanda de potência reativas que ficam abaixo desse limite são adicionados ao faturamento regular com a nomenclatura de energia reativa excedente (CPFL, 2022).

A utilização de banco de capacitores fixos tem sido uma alternativa vantajosa e eficiente na redução do consumo energético, pois as bombas de captação e distribuição de água, bombas submersas e de recalque, mantêm-se em funcionamento constante e sem variação expressiva de potência consumida (Empresa Pública de Saneamento, 2024).

A Empresa Pública de Saneamento estudada iniciou a implantação dos capacitores no ano de 2015, junto aos Centros de Controle de Motores (CCM) (Figura 44), painel responsável pelo acionamento das bombas, e que, através de um dispositivo eletromecânico chamado contator, é acionado concomitantemente ao funcionamento das bombas. Em algumas unidades maiores, que possuem subestações com transformadores de potencial igual ou superior a 300 KVA, os bancos de capacitores também são instalados na saída do secundário do

transformador para correção do baixo fator de potência (Figura 45) (Empresa Pública de Saneamento, 2024). No ponto de vista técnico, a melhor solução é instalar os capacitores juntos aos CCMs dos motores e cargas com baixo fator de potência (Figura 44), pois proporcionam melhora no nível de tensão e reduzem perdas de energia no sistema de distribuição (CPFL, 2024).

Figura 44 – Banco de capacitor trifásico instalado dentro do CCM.



Fonte: Foto do autor na Empresa Pública de Saneamento, 2024

Figura 45 – Bancos de capacitores trifásicos instalados no secundário do transformador.



Fonte: Foto do autor na Empresa Pública de Saneamento, 2024

A instalação de Bancos de Capacitores nas unidades operacionais da empresa de saneamento iniciou em 2015. Na Tabela 10, segue a representação do investimento realizado pela empresa de saneamento para aquisição dos bancos de capacitores entre os anos de 2015 a 2023.

Tabela 10 - Instalação de Bancos de Capacitores nas unidades operacionais da Empresa Pública de Saneamento entre os períodos 2015 a 2023.

Referência	Aquisição de Capacitores (unid.) anual	Investimento na Compra (R\$) anual	Instalação de Capacitores (unid.) anual
2015	68	58.869,76	15
2016	220	44.041,50	255
2017	164	125.048,00	90
2018	0	0,00	21
2019	0	0,00	33
2020	38	29.205,00	50
2021	52	40.368,00	25
2022	10	5.026,95	34
2023	42	72.541,99	54
TOTAL	594	375.101,20	577

Fonte: Coletado pelo Autor na Empresa Pública de Saneamento (2023).

Entre o período de 2015 a 2023 houve investimento de R\$ 375.101,20 na aquisição de 594 bancos de capacitores, destes foram instaladas 577 unidades. Entre os anos 2016 e 2017, período esse com maior quantidade de instalação desses bancos de capacitores, totalizando 345 unidades instaladas.

Na Tabela 11, demonstra-se o consumo de Energia Reativa (kVArh) e Energia Ativa (kWh), da Empresa Pública de Saneamento.

Tabela 11 – Consumo de Energia Reativa (kVArh) e Energia Ativa (kWh).

Referência	Cons. de Energia Ativa	Cons. de Energia Reativa	Gasto c/ Energia Reativa²
	(kWh) anual	(kVArh) anual	(R\$) anual
2014	132.493.841	8.578.536	3.508.008,35
2015	134.201.160	7.612.725	3.119.794,81
2016	143.696.767	6.176.405	2.531.171,99
2017	145.529.351	3.182.064	1.304.051,67
2018	143.247.867	1.436.793	588.816,67
2019	146.653.362	1.161.554	476.020,10
2020	150.571.287	897.645	367.866,73
2021	146.365.082	1.186.827	486.377,31
2022	144.529.717	1.066.446	437.043,59
2023	144.905.337	830.986	340.548,99

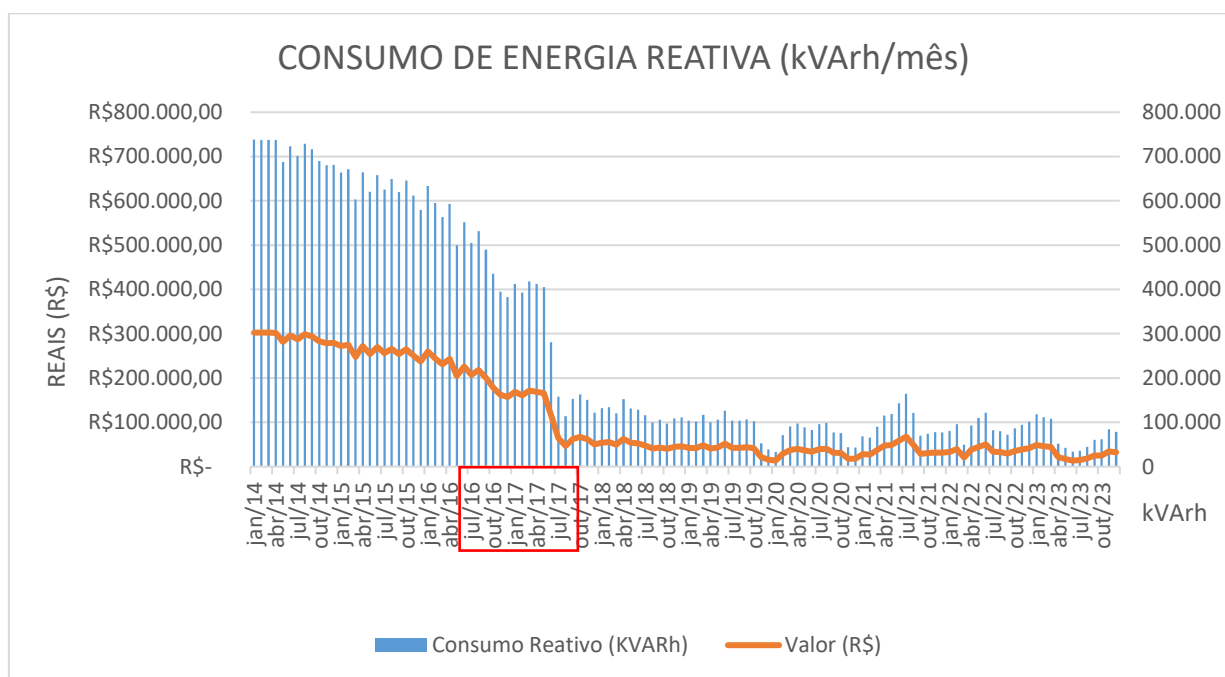
² Valor do kVAr considerado com impostos R\$0,40981315

Fonte: Coletado pelo Autor na Empresa Pública de Saneamento, 2023.

Com a análise do consumo de energia reativa na Tabela 11, fica evidente que houve uma redução expressiva no consumo de kVArh. O consumo de energia reativa apresentou uma redução de aproximadamente 90% em 10 anos (2014–2023), sendo que, em 2014, o consumo era de 8.578.536 kVArh e, em 2023, foi de 830.986 kVArh. Os dados mostram que não houve alteração expressiva no consumo de energia ativa (kWh), levando à conclusão de que os bancos de capacitores instalados reduziram o consumo de energia reativa (kVArh).

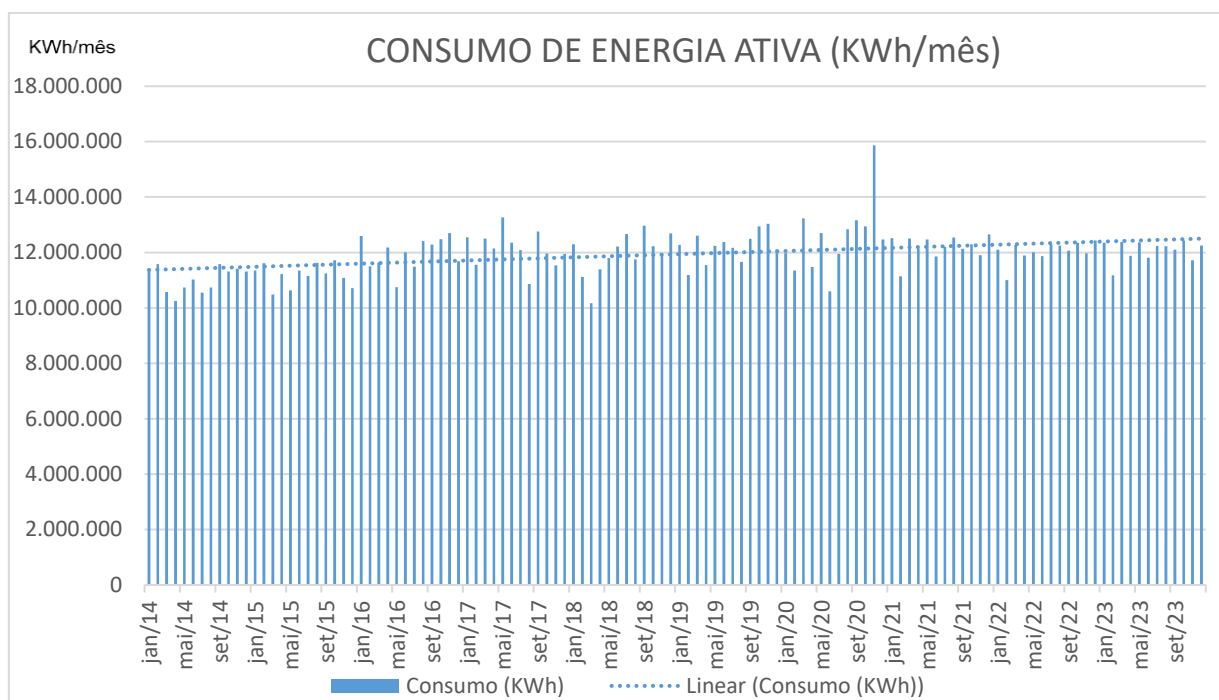
A maior redução no consumo de energia reativa (Gráfico 2) foi registrada entre os anos de 2016 e 2017, período esse em que houve a maior quantidade de bancos de capacitores instalados, totalizando 345 unidades, ou seja, quase 60% de toda instalação entre os períodos 2015 a 2023, foi realizada entre os anos de 2016 e 2017.

Gráfico 2 – Consumo de Energia Reativa.



Fonte: Autor (2023).

Conforme observado no Gráfico 3, não houve alteração expressiva no consumo de energia ativa (kWh).

Gráfico 3 – Consumo de Energia Ativa.

Fonte: Autor (2023).

No período de 2016 e 2017, pode-se notar uma redução expressiva no consumo de reativo, considerando que houve a instalação de 345 bancos de capacitores, como apresentado na Tabela 12.

Utilizando a correlação de Pearson e regressão (Gráfico 4) para medir a força e a direção da relação linear entre a quantidade consumida de (kVArh) e a despesa mensal com energia reativa em reais (R\$) nas faturas de energia elétrica da empresa de saneamento comprova que o valor cobrado se refere exclusivamente a quantidade de (kVArh) consumido (Tabela 12).

Tabela 12 – Consumo de (kVArh) x despesa mensal (R\$).

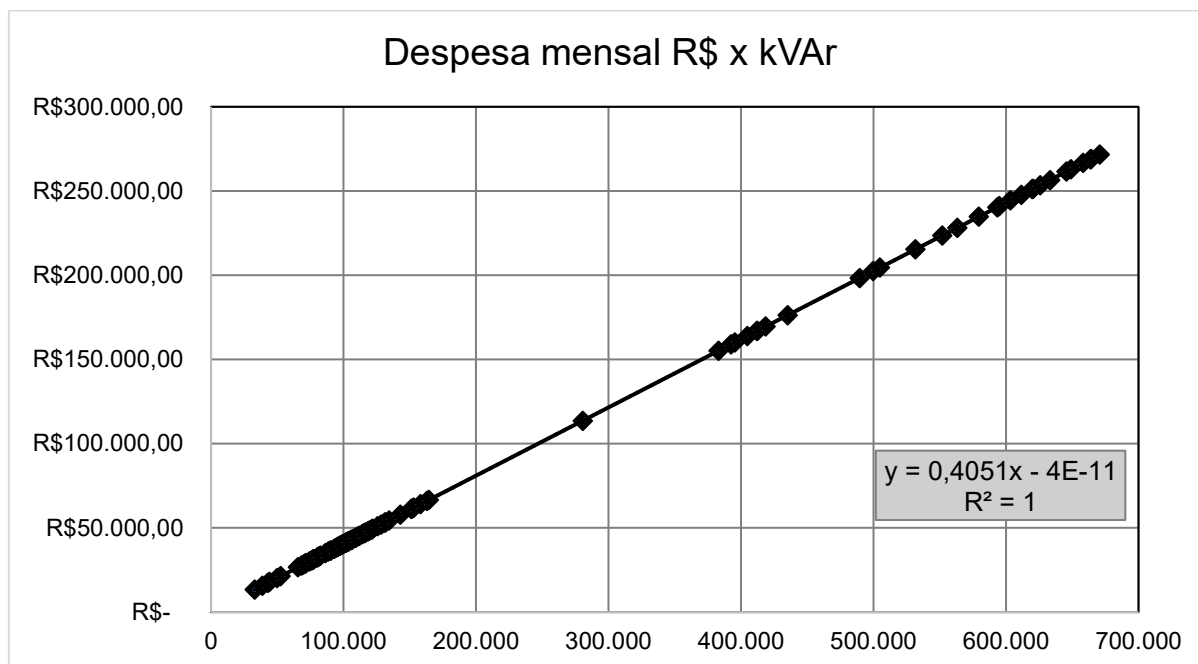
Data	KVArh	Despesa mensal R\$	Data	KVArh	Despesa mensal R\$
jan/15	663.779	R\$ 268.878,72	fev/19	101.927	R\$ 41.287,84
fev/15	670.843	R\$ 271.740,15	mar/19	116.632	R\$ 47.244,43
mar/15	603.414	R\$ 244.426,51	abr/19	99.916	R\$ 40.473,24
abr/15	664.292	R\$ 269.086,52	mai/19	105.895	R\$ 42.895,17
mai/15	620.536	R\$ 251.362,16	jun/19	125.871	R\$ 50.986,90
jun/15	658.329	R\$ 266.671,07	jul/19	103.598	R\$ 41.964,72
jul/15	625.779	R\$ 253.485,96	ago/19	103.409	R\$ 41.888,16
ago/15	649.070	R\$ 262.920,50	set/19	106.836	R\$ 43.276,34

Data	KVArh	Despesa mensal R\$	Data	KVArh	Despesa mensal R\$
set/15	619.801	R\$ 251.064,43	out/19	102.126	R\$ 41.368,45
out/15	645.763	R\$ 261.580,93	nov/19	52.549	R\$ 21.286,16
nov/15	611.567	R\$ 247.729,07	dez/19	38.858	R\$ 15.740,31
dez/15	579.552	R\$ 234.760,66	jan/20	32.909	R\$ 13.330,54
jan/16	633.350	R\$ 256.552,76	fev/20	71.062	R\$ 28.785,27
fev/16	595.054	R\$ 241.040,10	mar/20	90.520	R\$ 36.667,18
mar/16	563.290	R\$ 228.173,37	abr/20	97.508	R\$ 39.497,82
abr/16	593.406	R\$ 240.372,54	mai/20	88.675	R\$ 35.919,82
mai/16	499.783	R\$ 202.448,42	jun/20	82.590	R\$ 33.454,95
jun/16	551.860	R\$ 223.543,39	jul/20	95.802	R\$ 38.806,77
jul/16	504.835	R\$ 204.494,85	ago/20	98.748	R\$ 40.000,11
ago/16	531.727	R\$ 215.388,06	set/20	76.903	R\$ 31.151,30
set/16	489.576	R\$ 198.313,85	out/20	75920	R\$ 30.753,12
out/16	435.260	R\$ 176.311,92	nov/20	44096	R\$ 17.862,08
nov/16	395.293	R\$ 160.122,38	dez/20	42912	R\$ 17.382,48
dez/16	382.971	R\$ 155.131,08	jan/21	68338	R\$ 27.681,85
jan/17	412.335	R\$ 167.025,63	fev/21	65754	R\$ 26.635,15
fev/17	392.551	R\$ 159.011,67	mar/21	90346	R\$ 36.596,69
mar/17	418.500	R\$ 169.522,90	abr/21	115470	R\$ 46.773,74
abr/17	412.198	R\$ 166.970,14	mai/21	119089	R\$ 48.239,70
mai/17	404.793	R\$ 163.970,57	jun/21	142978	R\$ 57.916,48
jun/17	280.541	R\$ 113.639,49	jul/21	164510	R\$ 66.638,50
jul/17	158.115	R\$ 64.048,06	ago/21	121370	R\$ 49.163,67
ago/17	114.119	R\$ 46.226,49	set/21	69774	R\$ 28.263,54
set/17	153.016	R\$ 61.982,60	out/21	74401	R\$ 30.137,81
out/17	162.979	R\$ 66.018,34	nov/21	77.716	R\$ 31.480,63
nov/17	151.066	R\$ 61.192,70	dez/21	77.081	R\$ 31.223,40
dez/17	121.851	R\$ 49.358,51	jan/22	80939	R\$ 32.786,18
jan/18	131.739	R\$ 53.363,87	fev/22	95482	R\$ 38.677,15
fev/18	134.420	R\$ 54.449,87	mar/22	49921	R\$ 20.221,63
mar/18	120.185	R\$ 48.683,66	abr/22	92828	R\$ 37.602,08
abr/18	151.831	R\$ 61.502,59	mai/22	109262	R\$ 44.259,05
mai/18	131.096	R\$ 53.103,40	jun/22	122012	R\$ 49.423,72
jun/18	128.475	R\$ 52.041,71	jul/22	81783	R\$ 33.128,06
jul/18	116.321	R\$ 47.118,46	ago/22	80143	R\$ 32.463,74
ago/18	99.716	R\$ 40.392,22	set/22	71844	R\$ 29.102,04
set/18	105.588	R\$ 42.770,81	out/22	86485	R\$ 35.032,71
out/18	97.185	R\$ 39.366,99	nov/22	94069	R\$ 38.104,78
nov/18	108.928	R\$ 44.123,75	dez/22	101678	R\$ 41.186,98
dez/18	111.309	R\$ 45.088,23	jan/23	118436	R\$ 47.975,18
jan/19	103.937	R\$ 42.102,04	fev/23	112061	R\$ 45.392,85

Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2023).

No (Gráfico 04), de dispersão e linha de tendência, fica evidenciado a análise de regressão.

Gráfico 4 – Gráfico de dispersão e linha de tendência de (R\$) x (kVArh).



Fonte: Autor (2024).

Utilizando a correlação de Pearson para medir a força e a direção da relação linear entre a quantidade consumida de (kWh) e a despesa mensal com energia em reais (R\$), nas faturas de energia elétrica da empresa de saneamento (Tabela 13), fica evidenciado no (Gráfico 5) que os valores mensais não referem-se exclusivamente ao consumo de energia ativa (kWh), como é o caso do consumo de kVArh, pois nessas faturas há cobranças de impostos, bandeiras tarifárias e o consumo de energia reativa kVAh que interfere diretamente na relação do valor mensal. No (Gráfico 5), de dispersão e linha de tendência, fica evidenciado a essa dispersão com valor de $R^2=0,1725$ e $r= 0,42$. Portanto, pode-se dizer que não há uma regressão linear pois o valor de R^2 é muito baixo.

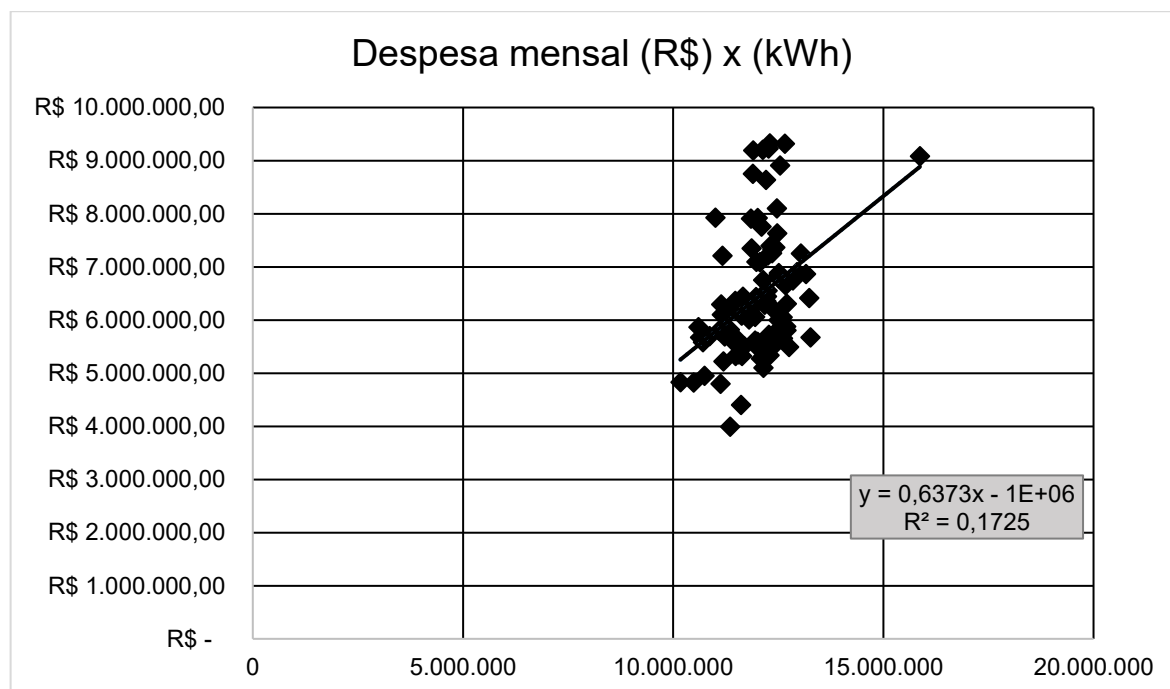
Tabela 13 – Consumo de (kWh) x despesa mensal (R\$).

Data	KWh	Despesa mensal R\$	Data	KWh	Despesa mensal R\$
jan/15	11.352.693	R\$ 3.994.535,10	fev/19	11.191.733	R\$ 5.223.350,05
fev/15	11.611.231	R\$ 4.398.948,96	mar/19	12.610.300	R\$ 5.656.316,79
mar/15	10.483.018	R\$ 4.821.922,30	abr/19	11.550.241	R\$ 5.611.081,94
abr/15	11.221.875	R\$ 5.688.911,91	mai/19	12.242.049	R\$ 6.554.360,13
mai/15	10.634.819	R\$ 5.672.675,70	jun/19	12.381.730	R\$ 6.201.309,16
jun/15	11.350.943	R\$ 6.189.208,18	jul/19	12.173.451	R\$ 6.289.250,76
jul/15	11.156.173	R\$ 6.098.819,72	ago/19	11.658.506	R\$ 6.439.294,11
ago/15	11.628.697	R\$ 6.079.992,21	set/19	12.487.789	R\$ 6.828.692,35
set/15	11.249.219	R\$ 5.872.998,24	out/19	12.943.194	R\$ 6.901.878,69
out/15	11.717.421	R\$ 6.099.753,60	nov/19	13.035.984	R\$ 7.250.930,69
nov/15	11.084.771	R\$ 5.798.576,64	dez/19	12.107.911	R\$ 6.458.766,81
dez/15	10.710.300	R\$ 5.583.004,25	jan/20	11.973.458	R\$ 6.434.688,71
jan/16	12.601.248	R\$ 6.053.758,24	fev/20	11.345.902	R\$ 5.817.198,18
fev/16	11.496.434	R\$ 5.580.428,85	mar/20	13.236.507	R\$ 6.413.903,45
mar/16	11.636.082	R\$ 5.326.031,83	abr/20	11.478.445	R\$ 6.357.691,67
abr/16	12.174.850	R\$ 5.320.135,82	mai/20	12.703.650	R\$ 6.305.101,18
mai/16	10.745.660	R\$ 4.947.447,22	jun/20	10.598.690	R\$ 5.863.796,41
jun/16	12.006.879	R\$ 5.587.595,39	jul/20	11.947.867	R\$ 6.285.556,07
jul/16	11.485.226	R\$ 5.321.652,74	ago/20	12.843.623	R\$ 6.742.804,91
ago/16	12.408.607	R\$ 5.681.984,55	set/20	13.156.530	R\$ 6.864.425,65
set/16	12.278.987	R\$ 5.721.111,17	out/20	12.942.219	R\$ 6.847.922,27
out/16	12.477.527	R\$ 5.737.478,59	nov/20	15.870.067	R\$ 9.081.890,27
nov/16	12.696.807	R\$ 5.807.614,69	dez/20	12.474.329	R\$ 7.631.129,57
dez/16	11.688.460	R\$ 5.506.086,84	jan/21	12.518.357	R\$ 6.781.663,70
jan/17	12.546.200	R\$ 5.857.173,95	fev/21	11.143.851	R\$ 6.293.963,32
fev/17	11.559.768	R\$ 5.352.177,58	mar/21	12.507.829	R\$ 6.882.079,03
mar/17	12.505.051	R\$ 5.997.972,66	abr/21	12.141.111	R\$ 6.753.518,56
abr/17	12.149.246	R\$ 5.102.138,44	mai/21	12.469.056	R\$ 8.103.330,95
mai/17	13.266.783	R\$ 5.671.342,31	jun/21	11.851.611	R\$ 7.905.203,40
jun/17	12.352.398	R\$ 5.487.620,30	jul/21	12.208.197	R\$ 8.636.438,45
jul/17	12.087.117	R\$ 5.277.123,17	ago/21	12.542.472	R\$ 8.907.898,84
ago/17	10.865.839	R\$ 5.697.929,37	set/21	12.128.366	R\$ 9.202.770,26
set/17	12.757.193	R\$ 5.494.902,47	out/21	12.298.940	R\$ 9.326.010,86
out/17	11.962.637	R\$ 5.523.169,47	nov/21	11.899.955	R\$ 9.188.520,25
nov/17	11.531.539	R\$ 5.558.534,07	dez/21	12.655.337	R\$ 9.318.925,09
dez/17	11.945.580	R\$ 5.612.364,29	jan/22	12.096.676	R\$ 7.758.164,97
jan/18	12.293.006	R\$ 5.338.140,66	fev/22	11.006.787	R\$ 7.924.452,69
fev/18	11.122.353	R\$ 4.801.641,94	mar/22	12.267.137	R\$ 9.225.079,29
mar/18	10.173.154	R\$ 4.828.841,79	abr/22	11.894.990	R\$ 8.749.920,05
abr/18	11.395.370	R\$ 5.622.966,61	mai/22	12.007.895	R\$ 7.917.830,93
mai/18	11.801.807	R\$ 6.011.268,12	jun/22	11.864.578	R\$ 7.346.587,42
jun/18	12.215.294	R\$ 6.354.491,12	jul/22	12.310.878	R\$ 7.396.245,94
jul/18	12.667.724	R\$ 6.652.700,92	ago/22	12.253.878	R\$ 7.213.322,14
ago/18	11.748.985	R\$ 6.328.309,17	set/22	12.065.487	R\$ 7.087.392,64
set/18	12.963.853	R\$ 6.884.531,90	out/22	12.354.905	R\$ 7.259.657,67

Data	KWh	Despesa mensal R\$	Data	KWh	Despesa mensal R\$
out/18	12.231.042	R\$ 6.444.507,61	nov/22	11.975.240	R\$ 7.095.573,74
nov/18	11.951.383	R\$ 6.058.145,45	dez/22	12.431.266	R\$ 7.363.083,41
dez/18	12.683.896	R\$ 5.875.811,94	jan/23	12.355.654	R\$ 7.329.166,71
jan/19	12.270.474	R\$ 5.652.232,17	fev/23	11.174.666	R\$ 7.212.059,04

Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2023).

Gráfico 5 – Gráfico de dispersão e linha de tendência de (R\$) e (kWh).



Fonte: Autor (2024).

Utilizando a correlação de Pearson para medir a força e a direção da relação linear entre a quantidade consumida de energia ativa (kWh) e a quantidade de energia reativa (kVArh), nas faturas de energia elétrica da empresa de saneamento (Tabela 14), fica comprovado que a redução no consumo de energia reativa não interfere no consumo de energia ativa, que realiza trabalho, pois o R^2 possui um valor muito baixo para caracterizar como uma regressão linear. Pode-se observar os valores das variáveis no (Gráfico 6), com valor de $R^2 = 0,1142$ e $r = -0,34$.

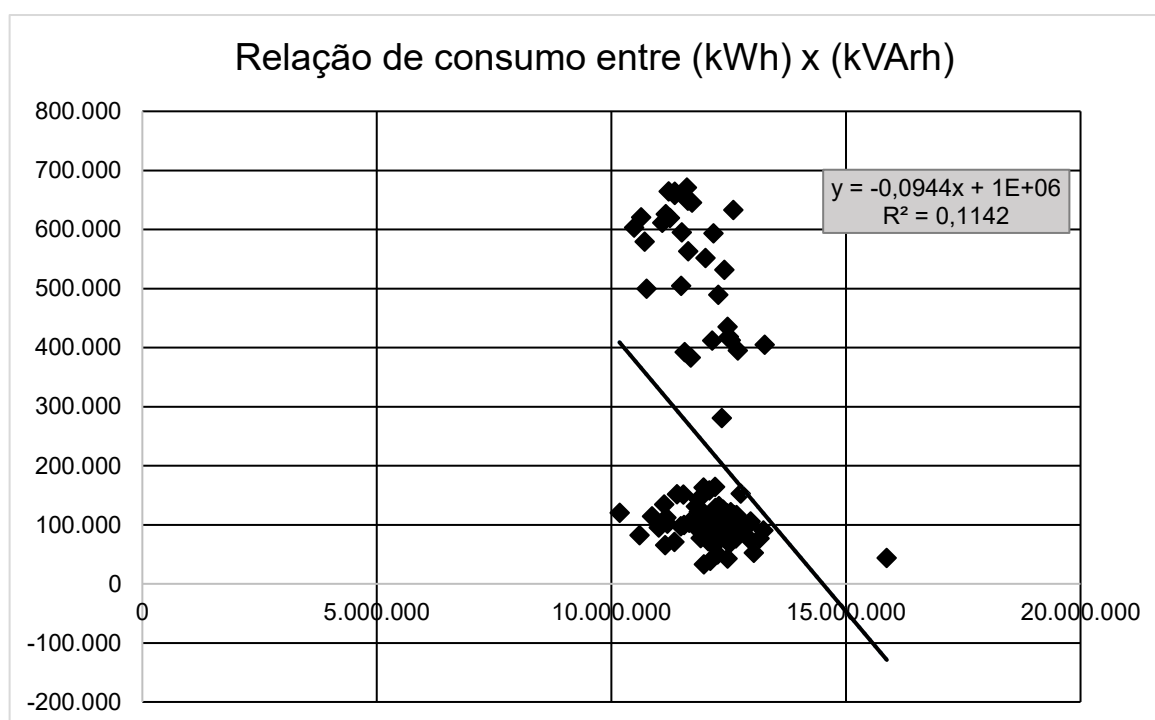
Tabela 14 – Consumo de (kWh) x (kVArh).

Data	kWh	KVArh	Data	kWh	kVArh
jan/15	11.352.693	663.779	fev/19	11.191.733	101.927
fev/15	11.611.231	670.843	mar/19	12.610.300	116.632
mar/15	10.483.018	603.414	abr/19	11.550.241	99.916
abr/15	11.221.875	664.292	mai/19	12.242.049	105.895
mai/15	10.634.819	620.536	jun/19	12.381.730	125.871
jun/15	11.350.943	658.329	jul/19	12.173.451	103.598
jul/15	11.156.173	625.779	ago/19	11.658.506	103.409
ago/15	11.628.697	649.070	set/19	12.487.789	106.836
set/15	11.249.219	619.801	out/19	12.943.194	102.126
out/15	11.717.421	645.763	nov/19	13.035.984	52.549
nov/15	11.084.771	611.567	dez/19	12.107.911	38.858
dez/15	10.710.300	579.552	jan/20	11.973.458	32.909
jan/16	12.601.248	633.350	fev/20	11.345.902	71.062
fev/16	11.496.434	595.054	mar/20	13.236.507	90.520
mar/16	11.636.082	563.290	abr/20	11.478.445	97.508
abr/16	12.174.850	593.406	mai/20	12.703.650	88.675
mai/16	10.745.660	499.783	jun/20	10.598.690	82.590
jun/16	12.006.879	551.860	jul/20	11.947.867	95.802
jul/16	11.485.226	504.835	ago/20	12.843.623	98.748
ago/16	12.408.607	531.727	set/20	13.156.530	76.903
set/16	12.278.987	489.576	out/20	12.942.219	75920
out/16	12.477.527	435.260	nov/20	15.870.067	44096
nov/16	12.696.807	395.293	dez/20	12.474.329	42912
dez/16	11.688.460	382.971	jan/21	12.518.357	68338
jan/17	12.546.200	412.335	fev/21	11.143.851	65754
fev/17	11.559.768	392.551	mar/21	12.507.829	90346
mar/17	12.505.051	418.500	abr/21	12.141.111	115470
abr/17	12.149.246	412.198	mai/21	12.469.056	119089
mai/17	13.266.783	404.793	jun/21	11.851.611	142978
jun/17	12.352.398	280.541	jul/21	12.208.197	164510
jul/17	12.087.117	158.115	ago/21	12.542.472	121370
ago/17	10.865.839	114.119	set/21	12.128.366	69774
set/17	12.757.193	153.016	out/21	12.298.940	74401
out/17	11.962.637	162.979	nov/21	11.899.955	77.716
nov/17	11.531.539	151.066	dez/21	12.655.337	77.081
dez/17	11.945.580	121.851	jan/22	12.096.676	80939
jan/18	12.293.006	131.739	fev/22	11.006.787	95482
fev/18	11.122.353	134.420	mar/22	12.267.137	49921
mar/18	10.173.154	120.185	abr/22	11.894.990	92828
abr/18	11.395.370	151.831	mai/22	12.007.895	109262
mai/18	11.801.807	131.096	jun/22	11.864.578	122012
jun/18	12.215.294	128.475	jul/22	12.310.878	81783
jul/18	12.667.724	116.321	ago/22	12.253.878	80143

Data	kWh	KVArh	Data	kWh	kVArh
ago/18	11.748.985	99.716	set/22	12.065.487	71844
set/18	12.963.853	105.588	out/22	12.354.905	86485
out/18	12.231.042	97.185	nov/22	11.975.240	94069
nov/18	11.951.383	108.928	dez/22	12.431.266	101678
dez/18	12.683.896	111.309	jan/23	12.355.654	118436
jan/19	12.270.474	103.937	fev/23	11.174.666	112061

Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2023).

Gráfico 6 – Gráfico de dispersão e linha de tendência de (kWh) e (kVArh).



Fonte: Autor (2024).

Considerando que empresas de Saneamento são grandes consumidoras de energia elétrica, os dados apresentados acima colocam a Empresa de Saneamento estudada em sintonia com as metas propostas (ODS) na Agenda 2030 da ONU, garantindo água potável, saneamento para todos e no caminho para até 2030 contribuir para a meta da ODS 7 de dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

Como esse mesmo intuito outras grandes companhias de saneamento também já adotaram medidas de eficiência energética. Como exemplo temos a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), com sede em Curitiba, foi criada em 23 de janeiro de 1963 (Lei nº 4.684), como uma sociedade de economia mista e de capital aberto, controlada pelo Estado do Paraná. No Ranking do Saneamento Básico

Brasileiro de março de 2023 mantém suas principais cidades entre as 20 primeiras em saneamento. A Sanepar administra 168 estações de tratamento de água (ETAs), 1.019 poços de água, 234 estações de tratamento de esgoto (ETEs), 3 áreas de disposição de resíduos sólidos e mais de 7 mil empregados. (SANEPAR, 2023)

Somando todas as cidades em que atua, a Sanepar opera mais de 57,5 milhões de metros de redes de distribuição de água e em 2020, a empresa consumiu 715,55 GWh de energia elétrica, o que faz da Companhia o maior consumidor corporativo de energia elétrica do Paraná.

O tema da eficiência energética está entre os estudos técnicos e científicos desenvolvidos pela Sanepar de maior importância. Nesse sentido, a Companhia tem tratado de assuntos como a recuperação energética de biogás, lodo e espuma, provenientes do tratamento de esgoto, a realização de diagnósticos hidroenergéticos e o emprego da automação em infraestruturas sanitárias, a instalação de equipamentos eletromecânicos eficientes, a geração hidroenergética em sistemas de abastecimento de água, o uso de ferramentas para gestão eficiente de energia, a redução de perdas de água e o aproveitamento das energias solar e eólica. Entre os projetos para otimização de sistemas e diminuição do consumo de energia da empresa estão redução da altura manométrica de bombeamento de água, uso de equipamentos com maiores rendimentos, projeção da modulação de carga com o uso de inversores de frequência, estudo da redução da demanda em horários de pico de consumo de energia e projetos que otimizam a reservação de água com aumento de bombeamento fora do horário de pico.

A utilização de equipamentos (motobombas) com grande tempo de uso, conjuntos de acionamento/operação obsoletos e sistema de pressurização ineficiente destacam-se como aspectos que induzem elevado consumo de energia elétrica nas empresas de Saneamento, como apontado em estudo dos dados da autarquia de saneamento básico que gerencia as operações no Vale do Rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul. O estudo demonstra a redução no consumo de energia elétrica promovida pela automação e otimização operacional de um bombeamento de água tratada, com o uso de inversor de frequência, sensores de pressão e vazão e substituição de bombas antigas por um equipamento de maior rendimento mecânico e elétrico. Na conclusão fica evidente que a substituição do conjunto motobomba de

maior rendimento proporciona economia de energia relevante, com indicadores financeiros de viabilidade econômica do projeto (SANEPAR, 2017).

4.3 CONTROLE ATIVO DE VAZAMENTOS

4.3.1 Pesquisa e Reparos de Vazamentos não Visíveis

Dados divulgados pelo Instituto Trata Brasil na nova edição do estudo “Perdas de água 2023 (SNIS 2021): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no Brasil”, elaborado com dados públicos do ano base 2021, apontam um volume total de água não faturada de cerca de 7,3 bilhões de m³ por dia, sendo 3,8 bilhões de m³ o volume correspondente as perdas físicas. Para entender o impacto esse volume de perdas físicas seria suficiente para abastecer aproximadamente 67 milhões de brasileiros em um ano.

No município estudado a Empresa de Saneamento tem trabalhado para reduzir as perdas de água com sucesso. Em 2022, as perdas de água no município foram de 43,64%, o que representa uma redução em relação a 2016, quando os índices chegavam a 62% (SNIS, 2023).

As perdas de água trazem prejuízos a população por redução do abastecimento de água, prejudicando hábitos de higiene pessoal, alimentação e cuidados com os espaços sociais. Além disso há aumento do risco de transmissão de doenças infectocontagiosas por necessidade de uso de água de fontes não seguras, como fontes, poços artesianos e carros pipas. O meio ambiente também é lesado por redução do volume de água nas reservas hídricas.

Ferreira et al. (2019), descreveram estratégias para incentivar a redução de perdas de água e promover melhorias da eficiência energética para 2030, e entre os eixos de atuação destacamos as ações para redução de perdas de água nos sistemas de distribuição no âmbito de infraestrutura, com:

- Substituição de redes de distribuição e ramais;
- Aplicação de um percentual do financiamento em ações de redução de perdas;
- Aprimoramento do controle operacional de rede.

Diante desse cenário, é fundamental aprimorar estratégias de monitoramento, manutenção preventiva e reparo para minimizar perdas, melhorar o uso dos recursos e garantir a qualidade e continuidade do abastecimento para a população.

Para auxílio nas manutenções a empresa de saneamento realizou uma contratação para detecção e reparo de vazamentos não visíveis, por meio de licitação pública, com início das atividades da empresa licitada em 2021, com contrato finalizado em 2023. A justificativa para essa contratação é o número elevado de vazamentos visíveis e não visíveis e quantitativo de mão de obra insuficiente para execução dos reparos, o que gera um tempo de espera elevado para correção do vazamento, com então maior desperdício de água e consequentemente gasto energético.

Durante o período de atividade da empresa licitada foram realizados detecção e reparo de 1537 vazamentos. A empresa era acionada toda vez que era aberto um registro de atendimento de usuário por redução de pressão ou falta de água, ou quando na vigência de outra demanda determinada pela empresa de saneamento.

Tal ação reduziu o tempo médio de atendimento da solicitação do usuário, que em 2021 era de 33 dias, em 2022 foi de 37 dias e em 2023 uma média de 2 dias. Pode-se observar que no ano de 2022 houve maior número de atendimentos, o que provavelmente impactou no tempo de atendimento. O tempo menor de reparo gera a redução do volume de perdas (Tabela 15).

Tabela 15 – Reparos de vazamentos não visíveis.

Ano	Contagem de Ordem de Serviço	Soma tempo [dias]	Tempo médio de reparo em dias
2021	689	23.398	33,96
2022	750	25.793	37,44
2023	98	1.403	14,32
Total Geral	1537	50.594	

Fonte: Autor (2024).

Assim, nesse estudo foi realizado levantamento das quantidades de vazamentos sanados pela contratada e a quantidade de energia gasta no

bombeamento dessa água perdida, considerando o tempo de abertura da solicitação no sistema e sua finalização.

Para avaliar a quantidade de energia gasta deve-se considerar as variáveis:

- ρ = Densidade da água (1.000 kg/m³);
- g = Aceleração da gravidade (9,81 m/s²);
- H = Altura manométrica (10 e 50 mca);
- V = Volume de água perdido (m³).

Para os cálculos foram feitas simulações para o sistema em pressão mínima de 10mca e pressão máxima de 50mca, conforme faixa de pressões determinadas na NBR 12.218, que trata das normativas para os projetos de rede de distribuição de água para abastecimento público.

Considerou-se que o vazamento de todas as 1537 solicitações de reparos estava associado a um furo na tubulação de aproximadamente 1mm², sendo a equação (13) utilizada para cálculo da vazão no orifício de vazamento:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gH} \quad (13)$$

Onde:

- Q = Vazão de perda (m³/s);
- C_d = Coeficiente de descarga (adotado 0,6 p/ orifícios irregulares);
- A = Área do vazamento (3,14160x10⁻⁶m²);
- g = Aceleração da gravidade (9,81 m/s²);
- H = Altura de pressão (10 e 50 mca).

A determinação da vazão em escoamentos através de orifícios é um tema amplamente estudado na hidráulica, sendo o coeficiente de descarga (C_d) um dos principais parâmetros para sua caracterização. Estudos clássicos, como os de Smith e Walker (1923, apud Brater et al., 1996), indicam que o coeficiente de contração (C_c) varia entre 0,67 e 0,61 para orifícios circulares com bordas afiadas, sendo usualmente

adotado $C_c = 0,61$ para relações comprimento/diâmetro (L/D) inferiores a 1,5 (Lienhard V & Lienhard IV, 1984). Por outro lado, King (1954) destaca que, em orifícios com bordas arredondadas, a contração do jato é minimizada, aproximando (C_c) da unidade. Para $L/D > 1,5$, o escoamento inicialmente contrai e depois se expande, resultando em um coeficiente de contração igual a 1,0. Considerando que o coeficiente de descarga é o produto entre os coeficientes de contração e de velocidade ($C_d = C_c \cdot C_v$), a vazão escoada pode ser expressa pela equação (13) fórmula derivada da Equação de Bernoulli aplicada ao escoamento através de orifícios (DRUMOND; COELHO; MOURA, 2014).

Desta forma obtém-se os resultados de vazão de perdas (Q) para pressão mínima de $2,6402 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ e para pressão máxima $5,90387 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

O cálculo do volume de água perdida (V) considera a vazão de perda (Q) e o tempo (t) em segundos, que se refere ao período entre abertura da solicitação e finalização do reparo (Equação 14). Também deve-se considerar os dois cenários de pressão, mínima de 10 mca e máxima de 50 mca.

$$V = Q \cdot t \quad (14)$$

Onde:

- V = Volume de água perdido (m^3);
- Q = Vazão de perda (m^3/s);
- t = Tempo de duração do vazamento antes do reparo (seg.)

Os resultados desse cálculo são apresentados na Tabela 16, por ano de operação da empresa contratada.

Tabela 16 – Volume de água perdida durante o vazamento.

Volume de Água Perdida no vazamento [m^3]		
ANO	Volume [m^3] na (P.min)	Volume [m^3] na (P.máx)
2021	53.375,77	119.351,84
2022	58.839,27	131.568,60
2023	3.200,54	7.156,62
Total Geral	115.415,57	258.077,06

Fonte: Autor (2024).

Diante desses cálculos realizados pode-se fazer o levantamento da energia elétrica consumida para bombeamento da água perdida durante o vazamento, utilizando a equação (15):

$$E = \frac{\rho \times g \times H \times V}{\eta \times 3600} \quad (15)$$

Onde:

- E = Energia Elétrica consumida (kWh);
- ρ = Densidade da água (1.000 kg/m³);
- g = Aceleração da gravidade (9,81 m/s²);
- H = Altura manométrica (10 e 50 mca);
- V = Volume de água perdido (m³);
- η = Eficiência da bomba (0,7).

Os resultados desse cálculo são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Energia Elétrica consumida no bombeamento de água perdida.

ANO	EE c/ Pmin [kWh]	EE Pmax [kWh]
2021	2.077.842,31	23.230.983,29
2022	2.290.528,54	25.608.887,59
2023	24.592,39	1.392.985,28

Fonte: Autor (2024).

Observa-se assim redução expressiva do consumo de energia elétrica associado a redução das perdas oriundas dos vazamentos não visíveis. Considerando uma análise financeira da energia gasta, com o valor do kWh em R\$ 0,73 (custo médio da energia gasta na empresa de saneamento, incluindo impostos e não considerando bandeira tarifária) fica evidenciado um consumo de R\$1.523.134,67 (em pressão mínima) e de R\$17.029.163, 33 (em pressão máxima) no ano de 2021. Enquanto que no ano de 2023 esses valores reduziram respectivamente pra R\$ 91.330,80 e R\$ 1.021.109,33 (Tabela 18).

Tabela 18 – Gasto estimado com energia elétrica para bombeamento da água perdida.

Energia Elétrica Economizada - Estimativa c/ pressão mínima 10mca e máxima 50mca				
ANO	EE c/ Pmin (kWh)	EE Pmax (kWh)	Economia Pmin (R\$)	Economia Pmax (R\$)
2021	2.077.842,31	23.230.983,29	R\$ 1.523.134,67	R\$ 17.029.163,33
2022	2.290.528,54	25.608.887,59	R\$ 1.679.041,48	R\$ 18.772.254,45
2023	124.592,39	1.392.985,28	R\$ 91.330,80	R\$ 1.021.109,33
TOTAL	4.492.963,24	50.232.856,16	R\$ 3.293.506,95	R\$ 36.822.527,11

Fonte: Autor (2024).

Então a contratação da empresa, como investimento em controle operacional para gestão de perdas de água, reduziu o tempo de vazamento, o volume de água desperdiçado e o gasto de energia para produção dessa água perdida.

Por meio do Decreto Federal nº 10.588/20, o Governo Federal dispõe sobre a regularização de operações e o apoio técnico e financeiro de que trata as leis que estabelecem as diretrizes nacionais para o saneamento básico (Leis nº 11.445/07 e nº 14.026/20 e fica estabelecido que o indicador de perdas de água na distribuição (IPD) deverá ser o instrumento utilizado como meio de comprovação para que um município se habilite à obtenção de recursos federais, ficando caracterizados: (SNIS, 2020).

- IN049 - Índice de Perdas na Distribuição (IPD): avalia em termos percentuais do volume de água produzido quanto é efetivamente consumido no sistema de abastecimento;
- IN051: Índice de Perdas por Ligação (IPL): avalia o volume de água perdida em termos unitários, ou seja, por ligação ativa.

A Tabela 19 apresenta os principais indicadores relacionados às perdas de água nos sistemas de abastecimento, permitindo uma análise mais aprofundada da eficiência operacional e do desempenho do sistema de distribuição de água.

Tabela 19 – Evolução nos indicadores SNIS de 2016 a 2023.

INDICADORES ÁGUA*	ANO							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
IN022	242,29	215,93	225,74	228,62	240,11	251,93	276,41	275,83
IN023	99,68	99,96	99,47	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
IN049	61,48	59,36	55,00	52,90	49,06	47,00	43,64	43,22
IN051	1.358,25	1.113,59	965,82	885,11	799,48	773,10	711,13	700,46
IN053	17,20	15,17	15,53	15,23	15,80	16,41	17,08	16,82
IN055	99,40	100,00	99,19	99,74	99,72	99,73	99,78	100,00

*IN022: Consumo Médio per capita (l/hab./dia). IN023: Índice de Atendimento Urbano (%). IN049: Índice de Perdas na Distribuição (%). IN051: Índice de Perdas por Ligação (l/lig./dia). IN053: Consumo médio de água por Economia (m³/mês/economia). IN055: Índice de Atendimento de Água (%). Fonte: Adaptados de Empresa Pública de Saneamento (2024).

A empresa estudada apresentou nos dados SNIS (Tabela 19) uma evolução desses índices, considerando a meta do marco legal do saneamento que é uma redução de perdas para 25% até 2033. Em 2023 alcançou o patamar de IPD de 43%, aproximadamente e IPL de 700,46 l/lig./dia (SNIS, 2024). A empresa estudada tem evoluído na gestão de perdas conforme as exigências da legislação vigente e as necessidades apresentadas pelas agências mundiais de preservação do meio ambiente e sustentabilidade.

5. CONCLUSÃO

Diante dos novos desafios impostos ao setor de Saneamento Básico após o Marco Legal do Saneamento e a Agenda 2030 da ONU, este estudo buscou avaliar a eficácia das medidas adotadas para redução de perdas e eficiência energética em empresa pública de saneamento, em uma cidade de médio porte, no interior do Estado de São Paulo.

Quanto a caracterização de sistema operacional da empresa de saneamento estudada fica evidente que a ampla rede de captação, reservação e distribuição, que se estende por todo o município, garante bons resultados com distribuição de água para 100% população e tratamento de 100% do esgoto coletado, trazendo a empresa uma boa colocação no Ranking Nacional do Saneamento.

Como estratégia de eficiência energética a Empresa promoveu a substituição de motores antigos por novos motores de alto rendimento, o que teve um custo de aquisição de R\$ 595.075,98 com a previsão de economia de 3.143.625 kWh por ano. Esses resultados sugerem a viabilidade econômica e os benefícios operacionais de investir em tecnologias de eficiência energética, comprovando que o retorno financeiro e a sustentabilidade podem ser alcançados simultaneamente. Dos 21 motores relacionados para substituição no projeto a média do *payback* em aproximadamente 9,17 meses.

A troca de motores foi analisada também de forma individual através do indicador de eficiência energética PH5 que evidencia que o processo ainda é considerado ineficaz para eficiência energética, com a sugestão de reavaliação da intervenção. Deve se considerar que apenas a troca de motores de forma isolada ou direta ou a substituição de um motor de baixo rendimento por outro de alto rendimento, não é capaz de tornar a medida satisfatória para o planejamento de alcançar eficiência energética. Como fatores intervenientes se apresentam as análises de fator de carregamento dos motores e eficiência do bombeador, que pode apresentar falhas mecânicas ou hidráulicas que aumentam a perda de energia.

O volume de água bombeado aumentou com a utilização de motores mais eficientes, reduzindo o consumo médio de energia, que caiu de aproximadamente 6,0 kWh/dia (período pré-troca) para cerca de 5,4 kWh/dia (período pós-troca),

representando uma redução de aproximadamente 10 % na energia consumida por dia.

A instalação de banco de capacitores também é considerada estratégia de eficiência energética e a análise dos dados demonstra que na Empresa Pública de Saneamento foi determinante para a correção do fator de potência dos sistemas de bombeamento, evidenciando uma redução de aproximadamente 90% no consumo de energia reativa em 10 anos, partindo de 8.578.536 (kVArh) em 2014 para 830.986 (kVArh) em 2023, com o consumo de energia ativa praticamente inalterado. Os gráficos de dispersão evidenciaram uma demonstração perfeita ($R^2 = 1$; $r = 1$) entre a quantidade de energia reativa consumida e a despesa mensal. Por outro lado, uma análise entre energia ativa e reativa revelou uma falta de correlação ($R^2 = 0,1142$; $r = -0,34$), o que confirma que a redução na energia reativa não impactou o consumo de energia que efetivamente realiza trabalho.

A redução de perdas no sistema de abastecimento é uma das principais metas da Empresa de Saneamento, que vem investindo mais de R\$ 130 milhões na implantação do programa. Com a contratação de uma empresa para melhorar a operação de detecção e reparos de vazamentos não visíveis, no período entre 2021 e 2023, apresentou-se de como uma medida complementar importante na redução das perdas, com diminuição do tempo de vazamento no período considerado, o que representa um menor gasto para produção de água.

Ainda seguindo as recomendações do marco legal do Saneamento a empresa apresenta os indicadores de perdas recomendados pela legislação em evolução para redução progressiva, almeja alcançar a meta de até 25 % de perda na distribuição. As medidas de eficiência energética e gestão de perdas de água estão presentes na empresa de saneamento estudada em várias etapas no processo operacional apresentando resultados favoráveis, apesar de ainda não significativos em alguns quesitos. É importante a manutenção e continuidade dessas medidas, bem como novos estudos para melhorias nas ações já implementadas e para projetos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. A. M. et al. **O Sistema Aquífero Grande Amazônica – SAGA: Um Imenso Potencial de Águas Subterrâneas no Brasil**. 2013. Trabalho apresentado no III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, São Paulo, 2013.
- AGÊNCIA BRASIL. **Reserva subterrânea da Amazônica pode abastecer o planeta por 250 anos**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/meio-ambiente/audio/2020-12/reserva-subterranea-da-amazonia-pode-abastecer-o-planeta-por-250-anos>> Acesso em: 20 maio 2023.
- ALEGRE, H.; HIRMER, W.; MELO BAPTISTA, J.; PARENA, R. Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. Lisboa: LNEC, 2004. Série Guias Técnicos.
- ALMEIDA, D. F. C. Controle e Redução de Perdas Reais em Sistemas de Abastecimento de Água. Montes Claros: Unimontes, 2017.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **As Regiões Hidrográficas**. Brasília: ANA, s.d. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas>>. Acesso em: 22 maio 2024.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2023.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Hidráulica Aplicada**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BARROS, B. F.; GEDRA, R. L. Subestação primária de consumidor conectada em tensão inferior a 69kV. In: **Cabine primária**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- BAZURTO, Alvaro Jose; QUISPE, Enrique Ciro; MENDOZA, Rosaura Castrillon. *Causes and failures classification of industrial electric motor*. In: IEEE ANDESCON 2016, 2016, Arequipa. Proceedings... Piscataway: IEEE, 2017. p. 1–4.
- BEZERRA, S. T. M.; SILVA, S. A.; GOMES, H. P. Controle Automático de Pressão em Sistemas de Distribuição de Água. **Sistemas de Saneamento - Eficiência Energética**, 1. ed. João Pessoa: UFPB, 2010. p. 9-28.

BRASIL. Ministério de Minas Energia. **BEN – Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese 2024, Ano base 2023**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Eficiência energética e normas regulatórias no setor de saneamento: um guia para operadores e reguladores**. Brasília: Ministério das Cidades, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/arquivos/EficienciaEnergeticaNormasRegulatoriasSaneamento.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, DF, 07 maio 2021. Disponível em: <https://www.unirio.br/prograd/dmp/nutricao-integral/legislacao/PORTARIA%20GM_MS%20No%20888-%20DE%204%20DE%20MAIO%20DE%202021.pdf>. Acesso em: 01 set. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Programa de concessão de bônus para substituição de motores elétricos antigos por novos mais eficientes. Brasília: MME, 2018. Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br/documents/36193/866467/participacao_pdf_0.5718262846099004.pdf/6727ccf0-3abb-e957-a273-be693156cfff>. Acesso em: 19 ago. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Portaria Interministerial n.º 1, de 29 de junho de 2017. Aprova o Programa de Metas para Motores Elétricos Trifásicos de Indução Rotor Gaiola de Esquilo. Diário Oficial da União : Seção 1, Brasília, 30 ago. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/cgiee-1/2017portariainterministerialmmemcticmdicn_12017motores-eletricostrifasicos.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/2005: BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450>. Acesso em: 01 set. 2024.

CANAL BIOENERGIA. Motores elétricos são responsáveis pelo consumo de 68% da energia elétrica das fábricas, diz Procel. *Canal Bioenergia*, 20 fev. 2024. Disponível em: <<https://www.canalbioenergia.com.br/motores-eletricos-sao-responsaveis-pelo-consumo-de-68-da-energia-eletrica-das-fabricas-diz-procel/>>. Acesso em: 22 fev. 2025.

CASTIGLIO, G. S. Capacitação em Diagnóstico Hidroenergético de Sistemas de Bombeamento. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/112822/Poster_35811.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2024.

CAVALIN, G.; CERVELIN, S. Potência Elétrica. *In: Instalações Elétricas Prediais*. 21ª ed. Editora: Érica. São Paulo - SP, 2012.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Águas Subterrâneas: Aquífero Guarani**, 2023. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/aquifero-guarani/>>. Acesso em: 24 maio 2023.

CHEUNG, P. B.; REIS, L. F. R. Contribuição ao planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23863781.2018.1495991#d1e210>>. Acesso em: 08 jan. 2025.

CNM - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Brasileiro consome, em média, 154 litros de água por dia**. Brasília: CNM, 2018. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/brasileiro-consome-em-media-154-litros-de-agua-por-dia-aponta-onu>>. Acesso em: 20 maio 2023.

COELHO, A. L.; BAPTISTA, M. S. **Sistemas de Abastecimento de Água: Planejamento e Operação**. 2. ed. São Paulo: Editora Hidráulica, 2006.

COELHO, S. T. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água. **Revista DAE**, 2001

CORREIA, L. A. P.; RODRIGUES, A. L. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉTRICOS: **UM ESTUDO DE CASO EM UMA FÁBRICA DE ÓLEO VEGETAL**. 2018. Monografia de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção – Departamento de Engenharia de Produção - DEP, UEM, Paraná, v. 13, n. 1.

COVAS, D.; RAMOS, H. Válvulas Redutoras de Pressão: Aplicações e Eficiência. **Revista de Engenharia Hidráulica**, v. 15, n. 2, p. 58-65, 2007.

CPFL - COMPANHIA DE FORÇA E LUZ. **Entenda o que é energia reativa excedente**. Brasil: 2022. Disponível em: <<https://cpflsolucoes.com.br/energia-reativa-excedente/>>. Acesso em: 09 jun. 2023.

CPFL - COMPANHIA DE FORÇA E LUZ. **Fornecimento de Tensão Secundária de Distribuição**, GED 13. Brasil: 2020. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/sites/cpfl/files/2021-12/GED-13.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2023.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DE BAURU (DAE). **Poços em Bauru**. Disponível em: <<https://www.daebauru.sp.gov.br/empresa.php?item=AR2>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

DELAIBA, A. C. et al. **Estudo da eficiência energética e dimensionamento de motores de indução trifásicos a partir da plotagem de suas curvas características**. Artigo. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2008.

DINIZ, H. N.; MICHALUATE, W. J. **Interpretação De Testes De Vazão Em Poços Tubulares Profundos, Dimensionamento E Especificações De Bombas Submersas**. São Paulo: 2002. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2019/02/Boletim_IG_16_Interpretacao_de_Testes_de_Vazao_Pocos_e_Bombas-2002.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2024.

DRUMOND, P. P.; COELHO, M. M. L. P.; MOURA, P. M. Investigação experimental dos valores de coeficiente de descarga em tubos de saída de micro reservatórios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 267–279, abr./jun. 2014.

EBARA. **Catálogo de seleção de curvas e cabos**. 2024. Disponível: <<https://www.ebara.com.br/download/ZG93bmxvYWQvY2F0LXNlbGVjYW8tbGluaGEtYi1jdC0yNTUtMDUtMjQtMi5wZGY>>. Acesso em: 19 jul.2024.

FÁVERO, A. A. et al. **A pesquisa documental nas investigações de políticas educacionais: potencialidades e limites**. Contrapontos vol. 19 nº 1. Florianópolis. 2019. Disponível em: <http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-71142019000100170>. Acesso em: maio 2023.

FERNANDES, U. B. et al. **Análise econômica na especificação do motor de indução trifásico**. Artigo. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Sergio-De-Paula-Silva/publication/271516311_ANALISE_ECONOMICA_NA_ESPECIFICACAO_DO_MOTOR/links/54ca74cd0cf22f98631b00c0/ANALISE-ECONOMICA-NA-ESPECIFICACAO-DO-MOTOR.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.

FERREIRA, Rita Cavaleiro de et al. **Caderno temático: Perdas de água e eficiência energética**. 2019

FERREIRA, R. C. **Uso do indicador consumo específico de energia (kWh/m³)**. In: Proposta para abordar Eficiência. Brasil, 2021.

FILHO, J. M. Fator de Potência. *In: Instalações Elétricas Industriais*. 5ª ed. Editora: LTC. Rio de Janeiro – RJ, 2015.

FIOCAMP. **Banco de Capacitores**: Conheça os três tipos. Campinas – SP. Disponível em: <<https://fiocamp.com.br/os-3-tipos-de-banco-de-capacitores/>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

FRANCHI, C. M. Acionamentos Elétricos. *In: Motores Trifásicos*. São Paulo: editora Érica, 2007.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. Indicadores de Perdas e suas variáveis, estabelecidos pelos Sistemas de Informações. *In: Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água*. 2ª ed. Brasília, 2014.

FUNASA- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. 4ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, FUNASA. 2015.

GALVÃO JUNIOR, Alceu de Castro; MELO, Allison José Maia; MONTEIRO, Mario Augusto P. (Org.). **Regulação do Saneamento Básico**. Barueri: Manole, 2013.

GOMES, H. P.; OTERO, R. R.; COURA, J. R. Conjuntos motobomba: aplicações e eficiência. **Revista de Engenharia Hidráulica**, v. 14, n. 3, p. 308-315, 2009.

GONÇALVES, A. C.; ALVIM, A. C. Controle de Pressão em Redes de Distribuição de Água. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 58-65, 2007.

GUEDES, H.A.S. **Rede de Distribuição de Água**. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/11/Aula-9-Distribuição-Parte2.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

HAMDAN, O.H.C. RESENDE, R.G.C.; SOUZA, A.L.S. de. **Avaliação das perdas de água nos sistemas de abastecimento no Brasil: evolução, conjuntura e perspectivas**. Proceedings Blucher, 2023

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

HIRATA, R. *et al.* Água Subterrânea: Reserva Estratégica ou Emergencial. *In: Bicudo, C. E. M. et al. (orgs.). Águas no Brasil: Análises estratégicas*. Academia Brasileira De Ciências; Secretaria Meio Ambiente, Estado de São Paulo. 222 pp. 2010. Acesso em: <<https://www.agrolink.com.br/downloads/%C3%A1gua%20subterr%C3%A2nea%20-%20reserva%20estrat%C3%A9gica%20ou%20emergencial.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2024.

HIRATA, R. *et al.* **Aquífero Guarani: Oportunidades e desafios do grande manancial do Cone Sul**. Grupo de Trabalho 4, In: 58a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Florianópolis, SC, julho 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>>. Acesso em: 01 set. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Nota Técnica nº 10005/2017/Diqre/Dconf-Inmetro: Análise de Impacto Regulatório: Motores Elétricos Trifásicos. Rio de Janeiro: Inmetro, 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/regulamentacao/analise-de-impacto-regulatorio/realizadas/2017/motores-eletricos-recondicionados/relatorio>>. Acesso em: 22 fev. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2024: tabela completa**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Tabela-Completa-Ranking-do-Saneamento-de-2024-TRATA-BRASIL-GO-ASSOCIADOS.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2025.

KRIPKA, R. M. L.; SCHELLER, M.; BONOTTO, D. M. L. Pesquisa documental na pesquisa qualitativa: conceitos e caracterização. **Revista de Desenvolvimento Regional**, v. 10, n. 2, p. 57-68, 2015.

KURODA, M.; PÁDUA, J. Seleção de Materiais: Qualidade e Custo-Benefício. **Revista de Engenharia de Materiais**, v. 10, n. 4, p. 685-690, 2006.

LAMORH – Laboratório de Modelagem em Recursos Hídricos. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Universidade Federal do Espírito Santo. [S.l.]: LAMORH/UFES, 2001. Disponível em: <https://lamorh.ufes.br/sites/lamorh.ufes.br/files/field/anexo/introducao_ao_gerenciamento_de_recurso_hidricos.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2025.

LIMA, V.F.; et al. **Estudo sobre Motores Elétricos de Alta Performance**. Revista acadêmica - Ensino de Ciências e Tecnologias IFSP – Campus Cubatão número 10, pg 141-142, 2022.

LIMA, I.M. **Perdas de água em sistemas de abastecimento: Um estudo comparativo entre prestadores no Brasil**. Brasília: UniCEUB, 2017

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MARQUES, R.C. **A regulação dos serviços de abastecimento de água e de saneamento de águas residuárias - Uma perspectiva internacional**. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e resíduos, 2011.

MARTINS JÚNIOR, J.A. **Determinação do coeficiente de consumo e perdas de estações de tratamento de água**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020. Disponível em: <<http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2019.2/determinacao-do-coeficiente-de-consumo-e-perdas-de-estacoes-de-tratamento-de-agua.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2024.

MAZUCA, V. C. **Proposta de uma metodologia de rebobinamento para converter motor de indução trifásico em monofásico**. Trabalho de Graduação – Universidade Estadual Paulista (UNESP) Guaratinguetá, 2014. Disponível em:

<<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/e2065b19-5ed2-42f8-83f3-d93fc5fa00ba/content>>. Acesso em: 06 jun.2024.

MEDEIROS FILHO, J. **Captação de Águas**: Princípios e Práticas. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Saneamento, 2009.

MENDES, Adalberto Joaquim. **Saneamento Básico para Gestores Públicos**. Brasília: Confederação Nacional de Municípios, 2009.

MINAS JR. **SAGA: O maior aquífero do mundo**. Belo Horizonte: Minas Jr, 2021. Disponível em: <<https://www.minasjr.com.br/saga-o-maior-aquifero-do-mundo/>>. Acesso em: 20 maio 2023.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2009.

MIRANDA, E.C.; Heller, L.; Pádua, V. L. (Org.) **Gerenciamento de Perdas de Água**. In: Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: editora UFMG, 2006.

MORAIS, D.C.; CAVALCANTE, C.V.; ALMEIDA, A.T de. **Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água**. Pesquisa Operacional, 2010.

NEVES, A. Distribuição da água no planeta: desafios e soluções. **Revista de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 123-135, 2022.

OLIVEIRA G.; SAYON P.L.; SCAZUFCA P.; **Perdas de Água 2023 (SNIS 2021): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico** - GO Associados, São Paulo, 2023.

PERRONI, J. C. A. **Avaliação do Consumo de Energia Elétrica para Produção de Água Subterrânea – O Caso do Abastecimento Público da Cidade de São Carlos – SP**: Eficiência energética em sistemas de saneamento. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PLANALTO – PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997**. Brasil: 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2335.HTM>. Acesso em: 08 jun. 2023.

PRINCE, M. J. **Sistemas de Abastecimento de Água**: Seleção e Captação de Mananciais. 2. ed. São Paulo: Editora Hidráulica, 2006.

PROEESA. **Eficiência Energética em Normas Regulatórias de Saneamento**. Programa Nacional de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/proeesa-projeto-de-eficiencia-energetica-no-abastecimento-de-agua/publicacoes-proeesa>>. Acesso em: 03 dez. 2024.

PROEESA. **Manual de cálculo do consumo energético normalizado e do potencial de economia em instalações de bombeamento**. Programa Nacional de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental, 2017.

REBOUÇAS, A.C.; AMORE, L. **O Sistema Aquífero Guarani – SAG**. Brasil, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267834950_O_SISTEMA_AQUIFERO_GUARANI_-SAG>. Acesso em: 10 set. 2023.

RODRIGUES, M. A.; LUVIZOTTO JUNIOR, G. Controle de Motores por Modulação por Largura de Pulso. **Revista de Engenharia Elétrica**, v. 18, n. 2, p. 123-130, 2013.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Eficiência Energética na SABESP**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/apresentacoes/Monitoramentodeeficienciaenergetica.pdf>>. Acesso em: 24 de maio de 2024.

SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Eficiência Energética no Saneamento**. Curitiba-PR, 2017. Disponível em: <https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/publicacoes/Livro-Eficiencia_Energetica_no_Saneamento.pdf>. Acesso em: 08 fevereiro 2025.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e logística. **O que são os ODS e o que você tem a ver com isso?** Disponível em: <<https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/2023/09/o-que-sao-os-ods-e-o-que-voce-tem-a-ver-com-isso/>>. Acesso em: 02 jan. 2025.

SILVA, J. A. Controle de Motores por Modulação por Largura de Pulso. **Revista de Engenharia Elétrica**, v. 12, n. 4, p. 149-150, 2009.

SILVA JÚNIOR, J. F.; OLIVEIRA, G. R. S.; MENDONÇA, S. F. T. O.; ALENCAR, F. M. R. Perdas em sistemas de distribuição de água: uma revisão sistemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2015.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Brasília: 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO. **Série Histórica**. Brasília: 2023. Disponível em: <<https://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

SOBRINHO, R. A. **Gestão das Perdas de Água e Energia em Sistemas de Abastecimento de Água da EMBASA: Um estudo dos Fatores Intervenientes na RMS.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica, Salvador, 2012.

TEIXEIRA, R. S. D. **Perda de eficiência energética causada por motores elétricos recondicionados no Brasil.** 2017. Monografia. Curso de Engenharia Elétrica na Pontifícia. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/33150/33150.PDF>>. Acesso em: 20 maio 2023.

TRATA BRASIL. **Tabela Resumo – Ranking do Saneamento 2023.** Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Tabela-Resumo_Ranking-do-Saneamento-de-2023.pdf>. Acesso em: 20 maio 2023.

TSUTIYA, M. T. Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 110-115, 2007.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água: Planejamento e Operação.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005

TSUTIYA, M. T. **Estações Elevatórias: Projeto e Operação.** 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004

TUNDISI, J. G. **RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL problemas, desafios e estratégias para o futuro.** Rio de Janeiro - RJ, 2014. Disponível em: <<https://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-5923.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2024.

URTADO, E. S. et al. **Aplicação do método do valor presente líquido (VPL) na análise da viabilidade econômica de projetos na indústria metal mecânica: um estudo de caso.** Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, v. 9, p. 1-4, 2009.

VIANA, A.N.C. et al; **Eficiência Energética – Fundamentos e Aplicações.** 2 ed. Rio de Janeiro – RJ, 2021.

WEG. **Guia de especificação motores elétricos.** 2024 Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2024.

WERDINE, D. **Perdas de água em sistemas de abastecimento.** 2002. **Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia)** – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2002. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3767/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_200331253.pdf>. Acesso em: 03 set. 2024.

ANEXOS

ANEXO I: Unidades de Captação de Água do Município.

UNIDADE	BAIRRO	TIPO
E,E, Santa Teresa	RIBEIRAO PRETO	Poço
Sumaré	AT DA BOA VISTA	Poço
Piratininga	JD PIRATININGA	Poço
E.E. Pq. R.P	JD PIRATININGA	Poço
E.E. Baixadão	PL VERDE	Poço
Monte Alegre	VL MONTE ALEGRE	Poço
E.E. Canadá	RIBEIRAO PRETO	Poço
Dom Mielle	DOM BERNARDO JOSE MIELLE	Poço
Parque das Oliveiras	JOSE SAMPAIO JUNIOR	Poço
E.E. Quintino	QUINTINO FACCI II	Poço
Poço Seme Cury	PAIVA	Poço
Pômpolo	AT DO IPIRANGA	Poço
Aroeira	NUC S LUIS	Poço
Jd. Paulista	JD PAULISTANO	Poço
Jd.Marchesi	JD MARCHESI	Poço
E.E. Coronel Camisão	MT ALEGRE	Poço
Reserv. Nildo Tarozo	JOSE SAMPAIO JUNIOR	Poço
Irajá Novo	CDO ITAMARATY	Poço
Jd. Botânico	JD BOTANICO	Poço
Ribeirânia III	RIBEIRANIA	Poço
Poço Splash Park	BONFIM PAULISTA	Poço
Patriarca	JD PIRATININGA	Poço
Poço Paulo Gomes Romeu	JD PAIVA I	Poço
Castro Alves	VL TIBERIO	Poço
Pq. dos Lagos	PQ DOS LAGOS	Poço
Jd. Independência	JD INDEPENDENCIA	Poço
Vila Virgínia	JD PIRATININGA	Poço
João Fiusa	AT DA BOA VISTA	Poço
Maria da Graça	PQ RIB PRETO	Poço
Costa e Silva	VL MARIANA	Poço
C.D.H.U.	VL SEIXAS	Poço
E.E. Dutra	JD PRES DUTRA	Poço
Epídio Gomes	VL AMELIA	Poço
Quinta da Primavera	QUINTA DA PRIMAVERA	Poço
Poço Mabel	NOVA RIBEIRANIA	Poço
Bananal II	JD ZARA	Poço
Bandeirantes	JD PIRATININGA	Poço
Vila Virgínia	JD PIRATININGA	Poço

E.E. City RP	CITY RIBEIRAO	Poço
Baixadão II	PL VERDE	Poço
E.E. Schimidt	CENTRO	Poço
Vila Tecnológica	JD ORESTES LOPES CAMARGO	Poço
Alexandre Balbo	JD ORESTES LOPES CAMARGO	Poço
Vila Albertina	VL ALBERTINA	Poço
Poço Jardim Recreio Novo	JD RECREIO	Poço
Flamboyans	PQ DOS FLAMBOYANS	Poço
Poço Vilico Cantarelli	VILICO CANTARELLI	Poço
Jd. Cadacaan	JD CADACAAM	Poço
Distrito Empresarial	DT EMPRES PREF LUIZ ROBE	Poço
Pq. dos Lagos	PQ DOS LAGOS	Poço
Major Ricardo	SUMAREZINHO	Poço
Bonfim Pta	BONFIM PAULISTA	Poço
D'Elboux	JD PIRATININGA	Poço
Educandário	JD INDEPENDENCIA	Poço
E.E. São Bento	CAMPOS ELISEOS	Poço
Jd. Branca Sales	JD D BRANCA SALLES	Poço
Bananal I	JD ANHANGUERA	Poço
Jd. Heitor Rigon	JD HEITOR RIGON	Poço
Avelino Palma	ADELINO SIMIONI	Poço
Poço Cava do Bosque	JD. MOSTEIRO	Poço
Poço Botafogo	RIBEIRANIA	Poço
Saldanha Marinho	CENTRO	Poço
Recreio Anhanguera	RECREIO ANHANGUERA	Poço
Ribeirânia II	RIBEIRANIA	Poço
Poço Curupira	RIBEIRANIA	Poço
Palmares	JD PALMARES	Poço
Nova Aliança Sul	JD NOVA ALIANCA SUL	Poço
Clubinho	VL ELISA	Poço
Andradas	PQ RIB PRETO	Poço
Jd. Antônio Palocci	JD ANTONIO PALOCCI	Poço
Pq. São Sebastião	PQ S SEBASTIAO	Poço
Said Sobrinho	JOAO J SAID SOBRINHO	Poço
Procópio	JOAQUIM PROCOPIO A FERRAZ	Poço
Lagoinha I	PQ IND LAGOINHA	Poço
Arnaldo Vitaliano	JD PALMA TRAVASSOS	Poço
Dina Rizzi	RES CANDIDO PORTINARI	Poço
FEAPAM	JD JOQUEI CLUBE	Poço
São José	JD S JOSE	Poço
E.E. Via do Café	VL AMELIA	Poço
Simioni	ADELINO SIMIONI	Poço
Cianê II	CAMPOS ELISEOS	Poço
RP Verde II	DAS PALMEIRAS	Poço

Poço 224-Invernada	TERRAS DE SIENA	Poço
Itaberiti	JD AEROPORTO	Poço
Pedreira Santa Luzia	VL AMELIA	Poço
Poço 233-Quinta do Golf	BONFIM PAULISTA	Poço
Vila Elisa	VL CARVALHO	Poço
Vila Tibério	VL TIBERIO	Poço
Vila Augusta	VL ALBERTINA	Poço
Lagoinha II	PQ IND LAGOINHA	Poço
E.E. Tanquinho	CAMPOS ELISEOS	Poço
E.E. UNAERP	RIBEIRANIA	Poço
Poço Alphaville	BONFIM PAULISTA	Poço
Pernambuco	CAMPOS ELISEOS	Poço
Amim Calil	CAMPOS ELISEOS	Poço
Jd. Irajá	STA CRUZ	Poço
Avelino Palma	CDO BAL RECREATIVA	Poço
Cianê I	IPIRANGA	Poço
Poço Santa Martha	PQ DAS FIGUEIRAS	Poço
Jd. Itaú Mirim	JD RECREIO	Poço
Jandaia	IPIRANGA	Poço
Fregonesi	JD MOSTEIRO	Poço
Pq. São Sebastião	S SEBASTIAO	Poço
Poço Topázio	Campos Eliseos	Poço
Poço Alto do Castelo	ALTO DO CASTELO	Poço
Royal Park	BONFIM PAULISTA	Poço
A-SESC	CENTRO	Poço
E.E. Bonfim	BONFIM PAULISTA	Poço
João Nutti (SAMU)	PAULISTANO	Poço
Bosque Santa Tereza	BQ DE STA TEREZA	Poço
Poço 2 Pacaembu	Jd. Vida Nova RP	Poço
Poço 1 Pacaembu	Jd. Vida Nova RP	Poço
Poço Manoel Pena	Manoel Pena	Poço
Poço Macauba	Macauba	Poço
Jd. Olhos D'água	Jd. Olhos D'água	Poço
Poço Nilza	Campos elísios	Poço
Poço Ouro Branco	Jd. Ouro Branco	Poço
Poço Recreio Internacional	Recreio Internacional	Poço
Poço Fazenda Picadão	Fazenda Picadão	Poço
Poço Veludo	Bonfim Paulista	Poço

Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2024).

ANEXO II - Unidades de Reservação de Água no Município.

RESERVATÓRIO	TIPO	MATERIAL	VOLUME [m³]	STATUS
Alto da Boa Vista I	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Alto da Boa Vista II	Apoiado	Concreto	3.500	Ativo
Alto da Boa Vista III	Apoiado	Concreto	3.500	Ativo
Alto da Boa Vista IV	Elevado	Concreto	300	Ativo
Alto do Castelo	Apoiado	Concreto	500	Ativo
Alto do Castelo	Elevado	Concreto	350	Ativo
Aliança Sul	Apoiado	Metálico	1.000	Ativo
Aliança Sul	Elevado	Metálico	200	Ativo
Alphaville I	Apoiado	Metálico	1.000	Ativo
Alphaville II	Apoiado	Metálico	500	Ativo
Alphaville III	Apoiado	Metálico	500	Ativo
Avelino Palma I	Apoiado	Concreto	2.000	Desativado
Avelino Palma II	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Avelino Palma III	Apoiado	Metálico	5.000	Ativo
Bonfim Paulista (COHAB)	Apoiado	Metálico	5.000	Ativo
Bonfim Paulista (COHAB)	Elevado	Concreto	500	Ativo
Bonfim Paulista	Semienterrado	Concreto	250	Ativo
Bonfim Paulista	Apoiado	Metálico	500	Ativo
Casa Grande	Apoiado	Concreto	500	Ativo
Cateto 1	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Cateto 2	Apoiado	Concreto	1.000	Ativo
Cateto 3	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
City R 1	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
City R 2	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
City R 3	Elevado	Concreto	300	Ativo
City	Semienterrado	Concreto	250	Ativo
CDHU - João Rossi	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Coronel Camisão 1	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Coronel Camisão 2	Apoiado	Concreto	700	Ativo
Coronel Camisão 3	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Delboux Div 1	Elevado	Concreto	750	Ativo
Distrito Empresarial	Apoiado	Metálico	1.500	Ativo
Distrito Empresarial	Elevado	Concreto	200	Ativo
Dom Miele 1	Apoiado	Concreto	1.000	Ativo
Dom Miele 2	Apoiado	Metálico	1.000	Ativo
Dutra II	Apoiado	Metálico	5.000	Ativo
Dutra I	Apoiado	Concreto	1.000	Ativo
Dutra III	Elevado	Concreto	500	Ativo

Educandário	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Educandário	Apoiado	Metálico	3.000	Ativo
Flamboyans	Apoiado	Metálico	1.000	Ativo
Heitor Rigon	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Heitor Rigon	Elevado	Concreto	500	Ativo
Invernada T. F.	Apoiado	Concreto	500	Ativo
Invernada T. S.	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Jardim Paulista 1	Apoiado	Concreto	500	Ativo
Jardim Paulista 2	Apoiado	Concreto	500	Ativo
Jardim Paulista 3	Apoiado	Concreto	500	Ativo
Jardim Paulista 4	Apoiado	Concreto	2.300	Ativo
Jardim Paulista	Elevado	Concreto	500	Ativo
Jardim Recreio 1	Semienterrado	Concreto	500	Ativo
Jardim Recreio 2	Elevado	Metálico	120	Ativo
João Fiúsa 1	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
João Fiúsa 2	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
João Fiúsa 3	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
João Fiúsa 4	Elevado	Metálico	280	Ativo
Junqueira S. M.	Enterrado	Concreto	1.300	Ativo
Kaiser	Apoiado	Concreto	5.000	Ativo
Laguna 1	Apoiado	Metálico	1.000	Ativo
Laguna 2	Apoiado	Metálico	2.500	Ativo
Mabel	Elevado	Concreto	500	Ativo
Macaúba	Apoiado	Metálico	700	Ativo
Macaúba	Elevado	Metálico	170	Ativo
Maranhão	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Maranhão	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Maria Casa grande	Elevado	Concreto	200	Ativo
Maria da Graça	Elevado	Concreto	500	Ativo
Monte Alegre 1	Apoiado	Concreto	500	Ativo
Monte Alegre 2	Apoiado	Concreto	500	Ativo
Monte Alegre 3	Apoiado	Metálico	1.000	Ativo
Monte Alegre 4	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Monteiro Lobato	Apoiado	Concreto	1.000	Ativo
Nildo Tarozo J.S.	Apoiado	Metálico	5.000	Ativo
Palmares	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Palmares	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Parque das Andorinhas	Apoiado	Concreto	80	Ativo
Parque das Oliveiras	Apoiada	Metálico	1.000	Ativo
Parque dos Lagos 1	Apoiado	Metálico	1.000	Ativo
Parque dos Lagos 2	Apoiado	Metálico	5.000	Ativo

Parque R. P. 1	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Parque R. 2	Elevado	Concreto	500	Desativado
Parque São Sebastião	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Piratininga 1	Apoiado	Concreto	1.000	Ativo
Piratininga 2	Semienterrado	Concreto	500	Desativado
Piratininga 3	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Planalto Verde	Apoiado	Metálico	1.000	Ativo
Planalto Verde	Apoiado	Concreto	1.000	Ativo
Pompolo Antena	Enterrado	Concreto	1.800	Ativo
Pompolo Antena	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Portal da Mata (B. Sta. T.)	Apoiado	Metálico	250	Ativo
Portinari	Apoiado	Concreto	500	Desativado
Portinari	Elevado	Concreto	500	Ativo
Primavera 1	Apoiado	Metálico	2.500	Ativo
Primavera 2	Apoiado	Metálico	2.500	Ativo
Primavera 3	Elevado	Metálico	500	Ativo
Quinta do Golfe 1	Apoiado	Metálico	500	Ativo
Quinta do Golfe 2	Apoiado	Metálico	1.500	Ativo
Recreio Internacional	Elevado	Concreto	50	Ativo
Reserva Real Sul	Apoiado	Metálico	590	Ativo
Ribeirão	Apoiado	Concreto	2.000	Ativo
Ribeirão	Elevado	Concreto	300	Ativo
R. Verde	Elevado	Metálico	200	Ativo
R. Verde I	Apoiado	Metálico	2.500	Ativo
R. Verde II	Apoiado	Metálico	1.500	Ativo
R. Verde III	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Royal Park	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Said 1	Apoiado	Metálico	500	Ativo
Said 2	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Said 3	Elevado	Metálico	50	Ativo
Santa Cecília	Apoiado	Metálico	300	Ativo
Santa Cecília	Elevado	Metálico	75	Ativo
Santa Martha	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
Santa Martha	Elevado	Metálico	85	Ativo
São Bento Morro	Apoiado	Concreto	4.000	Ativo
São Bento (Rod. Anh.)	Apoiado	Metálico	5.000	Desativado
São José	Apoiado	Concreto	250	Ativo
São José	Apoiado	Metálico	500	Ativo
São José	Elevado	Concreto	250	Ativo
Schmidt 1	Enterrado	Concreto	1.300	Ativo
Schmidt 2	Apoiado	Concreto	1.000	Ativo

Saint Gerard I	Apoiado	Metálico	500	Ativo
Saint Gerard II	Apoiado	Metálico	300	Ativo
Saint Gerard II	Elevado	Metálico	50	Ativo
Tanquinho	Apoiado	Metálico	500	Ativo
Vila Tibério	Elevado	Concreto	500	Desativado
Jd. Cristo Redentor 01	Apoiado	Metálico	1.400	Ativo
Jd. Cristo Redentor 02	Apoiado	Metálico	2.000	Ativo
			171.700	Ativos e Desativados
CAPACIDADE TOTAL DE RESERVAÇÃO [m³]				
			162.700	Ativos

Fonte: Adaptado de Empresa Pública de Saneamento (2024).