

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - GUARAPUAVA
ENGENHARIA CIVIL**

GABRIELA NASCIMENTO REIS

**DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO EM SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM CAPTAÇÃO SUPERFICIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2021

GABRIELA NASCIMENTO REIS

**DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO EM SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM CAPTAÇÃO SUPERFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof.^a Dra. Joice Cristini Kuritza

GUARAPUAVA

2021

ATA DA DEFESA

Realizou-se no dia **30**, de **agosto** de 2020, às **10 h 30 min**, no Campus Guarapuava da UTFPR, a defesa Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para aprovação do aluno **Gabriela Nascimento Reis**, na disciplina de TCC2 do Curso de Engenharia Civil intitulado: **Diagnóstico hidroenergético em sistema de abastecimento de água com captação superficial**.

A Banca foi composta pelo Presidente:

Prof^a Dra. Joice Cristini Kuritza (orientadora) (Orientador), e pelos seguintes membros:

Eng. Civil. Me. Tiago Kuk (Sanepar)

Prof^o Dr. Raynner Menezes Lopes (UFPR)

Guarapuava, 30 de agosto de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Rudimar e Suzana, por todo amor investido em mim, por nunca terem medido esforços para que eu pudesse realizar os meus sonhos e por serem meus principais incentivadores.

Agradeço aos meus irmãos, meus familiares e meu namorado por todo suporte, torcida e amor.

Agradeço aos meus colegas e amigos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná que de alguma forma me auxiliaram nessa fase tão importante.

À professora Joice Cristini Kuritza, pela dedicação, disponibilidade e instrução durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa e à professora Mariane Kempka por ter me incentivado e dado suporte para realização deste estudo.

Agradeço à equipe da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) pela colaboração para a realização desse trabalho.

E finalmente, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todo o corpo docente por promover oportunidades de aprendizado.

RESUMO

REIS, Gabriela Nascimento. **Diagnóstico hidroenergético em sistema de abastecimento de água com captação superficial**. 2021. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

Os custos relativos à energia elétrica constituem parcela significativa dentre as despesas das companhias de saneamento básico. Esse fato tem conduzido diversos pesquisadores e profissionais da engenharia a centralizar seus trabalhos na investigação e análise de sistemas de abastecimento de água (SAA), sistemas de esgotamento sanitário e, principalmente, das estações elevatórias que fazem parte destes. Diante disso, esta pesquisa teve por objetivo realizar um diagnóstico para identificar pontos sujeitos a implantação de ações de eficiência hidroenergética de um subsistema de abastecimento de água por captação superficial em um município do interior do estado do Paraná, Brasil. Para isso, foram realizadas visitas ao SAA, coletadas informações técnicas sobre os equipamentos e a operação do subsistema, efetuou-se a coleta de dados de energia, volume de água aduzido e horas de operação das estações elevatórias.

Palavras-chave: Indicador de desempenho. Eficiência Energética. Energia no saneamento.

ABSTRACT

REIS, Gabriela Nascimento. **Hydroenergetic diagnosis of a Water Supply System with surface intake**. 2021. 87 f. Work of Conclusion Course in Civil Engineering - Federal Technology University - Paraná. Guarapuava, 2021.

Electricity costs represent an important part of the Sanitation Company's total production expenditures. This fact has led several researchers and engineering professionals to centralize their work in the investigation and analysis of water supply systems (WSS), sanitary sewage systems and especially in the pumping stations that are part of them. Thus, this research aimed to carry out a diagnosis to identify points subject to the implementation of hydro-energy efficiency actions of a Water Supply Subsystem with Surface intake in a municipality in the interior of the state of Paraná, Brazil. In this regard, visits to the WSS were carried out, technical information about the equipment and the operation of the subsystem was collected, and data on energy, adducted water volume and operating hours of the pumping stations were collected.

Keywords: Performance indicator. Hydroenergetic Efficiency. Energy in Sanitation.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AAT	Adutora de água tratada
AAB	Adutora de água bruta
C	Coefficiente de Hazen Williams
CEN	Consumo de energia normalizado
CE	Consumo específico de energia
CMB	Conjunto Motobomba
E	Energia Elétrica
EEB	Estação Elevatória de Água Bruta
EET	Estação Elevatória de Água Tratada
ETA	Estação de Tratamento de Água
FP	Fator de potência
Ha	Perda de carga singular
Hf	Perda de carga
hf	Perdas de carga lineares
Hg	Altura estática ou geométrica de elevação
Hgs	Alturas geométrica de sucção
Hgr	Altura geométrica de recalque
Hm	Altura manométrica
ID	Indicadores de desempenho
kVA	Quilovolt-ampere
kvar	Quilovolt-ampere-reativo
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
m ³	Metros Cúbicos
mca	Metros de Coluna de Água
P	Potência
PA	Potência Ativa
Pap	Potência Aparente
Pothid	Potência hidráulica útil
Pm	Potência motriz
Preat	Potência Reativa

Q	Vazão
RDA	Rede de Distribuição
RSE	Reservatório semienterrado
SAA -	Sistemas de abastecimento de água
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
V	Volume
η_{motor}	Rendimentos do motor
η_{bomba}	Rendimento da bomba

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Unidades componentes de um sistema de abastecimento de água	15
Figura 2 – Exemplo de adutora por gravidade	17
Figura 3 - Exemplo de adutora por recalque	17
Figura 4 – Exemplo de adutora mista.....	17
Figura 5 - Classificação dos reservatórios em relação ao nível do terreno	19
Figura 6 - Composição média das despesas de exploração de serviços de saneamento.....	25
Figura 7 - Grupos de custos operacionais e de manutenção de uma Estação de Tratamento de Água (ETA)	26
Figura 8 - Ponto de operação de uma bomba	29
Figura 9 - Fluxograma geral da metodologia da pesquisa	39
Figura 10 - Diagrama Hidráulico simplificado da distribuição de água da ETA	40
Figura 11 - Captação de água bruta.....	41
Figura 12 - Adutora de água bruta	41
Figura 13 – Painel elétrico da EEB – 01.....	45
Figura 14 - Banco de capacitores instalado no painel elétrico da EEB - 01	45
Figura 15 - Analisador de energia da marca Fluke.....	49
Figura 16 - Instalação do analisador de energia no painel elétrico	49
Figura 17 - Macromedidor na EET – 01 da marca Conault Krohne, modelo IFC 010 D	50
Figura 18 - Macromedidor na EET – 02 da marca Conault Krohne, modelo IFC 010 D	50
Figura 19 - Totalizador de horas da marca Coel, modelo DH do CMB – 01 da EEB	51
Figura 20 - Totalizador de horas da marca Coel, modelo DH do CMB – 02 da EEB	51
Figura 21 - Fluxograma para diagnóstico hidroenergético	52
Figura 22 - Volume bombeado pelas elevatórias de água tratada, EET - 01 e EET – 02, de janeiro de 2019 a setembro de 2020.....	53
Figura 23 - Curva de permanência no tempo para as horas de funcionamento dos conjuntos da EET – 01 e EET - 02.....	54
Figura 24 - Volume médio mensal bombeado pelos conjuntos 01 e 02 da EEB – 01	57
Figura 25 - Curva de permanência diária para a EEB – 01.....	58

Figura 26 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e.....	61
Figura 27 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e.....	61
Figura 28 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 14 de fevereiro.....	63
Figura 29 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 18 de fevereiro.....	63
Figura 30 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 02) no dia 28 de janeiro.....	63
Figura 31 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 02) nos dias 31 de janeiro	63
Figura 32 - Curva de permanência do volume diário diária para a EET – 01	66
Figura 33 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e.....	68
Figura 34 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 18 de março.....	69
Figura 35 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 21 de março.....	69
Figura 36 - Curva de permanência do volume diário diária para a EET – 02.....	72
Figura 37 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e.....	73
Figura 38 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e.....	73
Figura 39 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 03 de março.....	75
Figura 40 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 06 de março.....	75
Figura 41 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 02) no dia 14 de março.....	75
Figura 42 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 02) no dia 16 de março.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores de desempenho de referência de acordo com a potência elétrica instalada.....	38
Quadro 2 – Especificações técnicas dos equipamentos das estações elevatórias de água bruta (EEB – 01).....	41
Quadro 3 – Especificações técnicas do motor elétrico trifásico do conjunto 01 e do conjunto 02 da EEB - 01	42
Quadro 4 - Especificações técnicas dos equipamentos de água tratada	42
Quadro 5 - Características da adutora de água tratada presentes no subsistema operado na ETA	43
Quadro 6 - Especificações técnicas dos motores elétricos trifásicos da EET - 01	43
Quadro 7 - Especificações técnicas dos motores elétricos trifásicos da EET - 02	44
Quadro 8 – Procedimento, período de aquisição e fonte dos dados utilizados para diagnóstico hidroenergético.....	47
Quadro 9 - Indicadores de desempenho propostos Alegre <i>et al.</i> (2004) e utilizados por Kuritiza (2017).....	51
Quadro 10 - Volume médio mensal aduzido pelos conjuntos CMB – 01 e CMB – 02 da EEB – 01	56
Quadro 11 – Dados médios de operação do CMB – 01 e do CMB – 02 no mês de janeiro de 2021.....	59
Quadro 12 - Dados médios de operação do CMB – 01 e do CMB – 02 no mês de fevereiro de 2021	60
Quadro 13 - Indicadores hidroenergéticos do CMB 01 da EEB - 01	64
Quadro 14 - Indicadores hidroenergéticos do CMB 02 da EEB - 01	64
Quadro 15 - Volume médio mensal aduzido pela EET - 01	65
Quadro 16 - Dados médios de operação do CMB – 01 pertencente à EET – 01 no mês de março de 2021.....	67
Quadro 17 - Indicadores hidroenergético do CMB - 01 da EET - 01	70
Quadro 18 - Volume médio mensal aduzido pela EET - 02	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	14
2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	15
3.1.1 Estações Elevatórias de Água.....	21
3.2 CUSTO E DESPESAS DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	24
3.3 MEDIDAS PARA EFICIENTIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	26
3.3.1 Medidas Relacionadas com a Tarifa	27
3.3.2 Medidas para Aumentar a Eficiência das Bombas	28
3.3.3 Medidas para Aumentar a Eficiência dos Motores	30
3.3.4 Medidas para Reduzir as Perdas de Carga.....	32
3.3.5 Medidas para Reduzir os Vazamentos.....	33
3.3.6 Medidas para Melhorar a Operação dos Sistemas de Bombeamento	35
3.4 DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	36
3.4.1 Indicadores de Desempenho.....	37
4 METODOLOGIA	39
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	39
4.1.1 Caracterização da Captação Superficial, Estação de Tratamento de Água (ETA) e Estações Elevatórias de Água Bruta e Tratada	40
4.2 DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1 PRODUÇÃO DE ÁGUA NO SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL ...	53
5.2 DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO	55
5.2.1 Estação Elevatória de Água Bruta (EEB-01).....	55
5.2.1.1 Registros médios diários de operação	55
5.2.1.2 Dados instantâneos de energia.....	61
5.2.1.3 Indicadores de desempenho	63
5.2.2 Estação Elevatória de Água Tratada (EET-01)	65

5.2.2.1 Registros médios diários de operação	65
5.2.2.2 Dados instantâneos de energia	68
5.1.2.2 Indicadores de desempenho	69
5.2.3 Estação Elevatória de Água Tratada (EET-02)	70
5.2.3.1 Registros médios diários de operação	70
5.2.3.2 Dados instantâneos de energia	72
5.2.3.3 Indicadores de desempenho	76
5.2.4 Considerações	76
6 CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS.....	79
ANEXO 1 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS BOMBAS DA EEB - 01.....	85
ANEXO 2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS BOMBAS DA EET - 01	86
ANEXO 3 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS BOMBAS DA EET - 02	87

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade econômica das companhias de saneamento depende substancialmente de uma gestão eficiente de recursos hídricos e energéticos. A interação do nexo água-energia se reflete nos serviços de distribuição de água potável, visto que vários processos primordiais dos sistemas de abastecimento de água (SAAs) dependem de equipamentos elétricos para garantir sua funcionalidade (MOURA, 2010).

Conforme informações fornecidas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), do Ministério do Desenvolvimento Regional, o setor de saneamento básico consumiu 11,84 TWh de energia elétrica, apenas com abastecimento de água (BRASIL, 2020).

O Plano Nacional de Eficiência Energética, do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2019), aponta pontos preponderantes de ineficiência energética do setor de saneamento básico devido às perdas reais de água, aos processos de operação das estações elevatórias e aos sistemas de reservação. Gomes *et al.* (2009) estima para o setor um potencial técnico de redução de consumo de energia elétrica entre 25 e 30%.

Apesar disso, por vezes, a escolha de ações de eficiência energética do setor de saneamento acaba sendo dificultada pela ausência de detalhamento dos valores de consumo de energia, ou ainda, pela falta de estudos técnicos que embasem a tomada de decisão nas prestadoras dos serviços de saneamento (PEREIRA; CONDURÚ, 2014).

Desse modo, as companhias necessitam de parâmetros confiáveis do ponto de vista técnico e econômico para avaliar com êxito o desempenho dos serviços prestados e, com isso, fornecer diretrizes assertivas aos gestores. Nesse âmbito, o uso de ferramentas tecnológicas de medição, aliadas a utilização de técnicas de otimização e de procedimentos de simulação hidráulica, tornam-se um aliado dos gestores no processo de tomada de decisão de forma eficiente (GOMES; CARVALHO, 2012).

No contexto dos sistemas de abastecimento de água, um diagnóstico hidroenergético pode ser realizado para definir as ações de eficiência a serem implantadas e os estudos que serão executados para sua melhoria e tem por

finalidade detectar pontos de desperdício de energia elétrica e perdas de água, indicando as soluções, custos de implantação das medidas e ganhos financeiros e energéticos obtidos, além de reduzir o consumo de eletricidade, perdas de água e, conseqüentemente, seus custos, sem interferir na qualidade da produção (GOMES; CARVALHO, 2012).

Nessa perspectiva, indicadores de desempenho (ID) tornam-se um instrumento oportuno para as empresas de abastecimento (ALEGRE *et. al*, 2004), pois retratam o estado de um fenômeno, sintetizam as informações relevantes e possibilitam uma comparação com outras empresas, a partir de critérios adequadamente selecionados.

À vista disso, a pesquisa foi desenvolvida no SAA de uma cidade localizada na região central do Paraná, composto por dois subsistemas distintos, um com captação superficial outro com captação subterrânea. Este trabalho apresenta os resultados de diagnóstico eficiência energética para o subsistema de captação superficial, associado à estação de tratamento de água (ETA) da localidade.

2 OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Avaliar a eficiência hidroenergética de um subsistema de abastecimento de água por captação superficial.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

São objetivos específicos desta pesquisa:

- Identificar as particularidades e o arranjo do subsistema em estudo;
- Identificar as grandezas hidráulicas do subsistema em estudo;
- Avaliar as grandezas elétricas das estações elevatórias a partir da instalação de equipamentos de medição;
- Avaliar a eficiência hidroenergética das estações elevatórias de água bruta e tratada existentes junto à ETA a partir de indicadores de desempenho.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

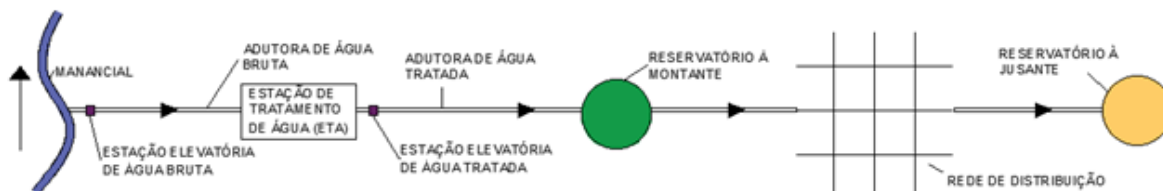
Este tópico contempla a fundamentação teórica da pesquisa, cujo objetivo é apresentar tópicos pertinentes ao tema. Inicialmente são expostos os conceitos básicos para concepção e operação de sistemas de abastecimento de água, com ênfase nas estações de elevatórias.

Em seguida são abordados os custos e despesas relativos aos serviços de saneamento, com enfoque no processo de produção de água. São expostas, também, algumas práticas para efficientização do setor, ainda, no mesmo tópico são apresentadas pesquisas relevantes para o desenvolvimento desse estudo. Por fim, é apresentada a importância do diagnóstico hidroenergético para que, dessa forma, as companhias tenham parâmetros confiáveis para avaliar o desempenho dos serviços prestados, além de explicar sobre a principal ferramenta utilizada no estudo, os indicadores de desempenho.

3.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os SAAs possuem como finalidade o atendimento à demanda de água da população, estando intimamente relacionado aos aspectos sanitários, sociais e econômicos (ARAUJO NETO, 2008). O sistema é constituído pela interconexão de estruturas, equipamentos e dispositivos (CHEUNG *et al*, 2010). As unidades que compõe o SAA são: captação, adução, tratamento, reservatórios e rede de distribuição, conforme um exemplo demonstrado Figura 1.

Figura 1 - Unidades componentes de um sistema de abastecimento de água



Fonte - Adaptado de Heller e Pádua (2010)

A parte encarregada por obter água bruta para o sistema é constituída das etapas de captação, elevação e adução de água. A matéria prima é aduzida dos mananciais em quantidade suficiente para atender ao mercado consumidor de uma

determinada região. A escolha do manancial utilizados pelo sistema de abastecimento de água procede de uma série de análises, permeadas por aspectos técnicos, econômicos e ambientais e deve haver a compatibilização com as diretrizes estabelecidas pelo plano diretor da bacia hidrográfica (HELLER; PÁDUA, 2010).

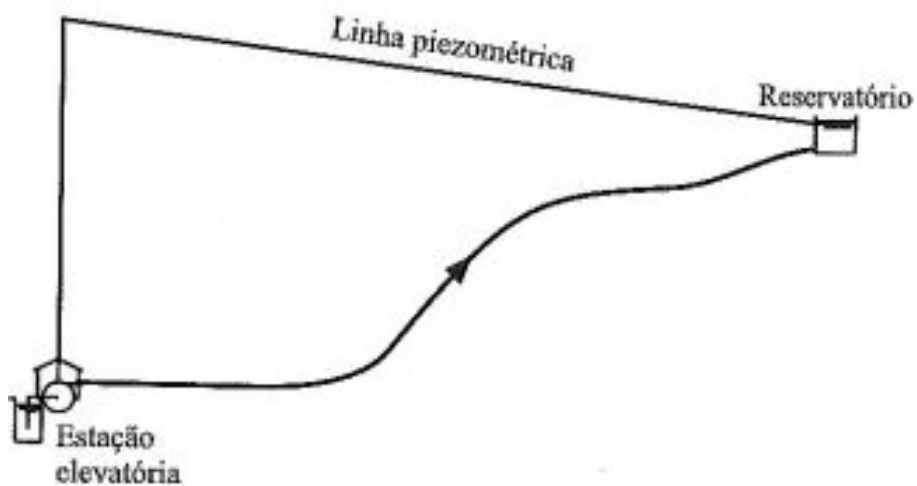
Os mananciais podem ser subterrâneos ou superficiais. Durante o desenvolvimento do projeto de captação da água, devem ser efetuados estudos na bacia hidrográfica em que o manancial está inserido, já que as suas especificidades interferem diretamente nas características das instalações de adução e nos procedimentos de tratamento pelos quais a água deverá passar para atingir os padrões de potabilidade. Levantamentos hidrológicos da bacia, suas características sanitárias e ambientais, suas condições a montante e a jusante, a tratabilidade da água do manancial, caracterizações topográficas e geotécnicas na área de captação, além de porte e conformação do leito dos mananciais são informações imprescindíveis (HELLER; PÁDUA, 2010). Os dispositivos de tomada d'água necessários para a captação de água são as adutoras e as estações elevatórias. As adutoras de água bruta transportam a água do manancial até o local onde ocorrerá o tratamento, enquanto as estações elevatórias fornecem energia para esse processo. As características das instalações da captação são ditadas pela planialtimetria da área, e características geológicas locais (GOMES, 2009).

Sob a perspectiva hidráulica, as adutoras podem ser classificadas em (ARAUJO NETO, 2008):

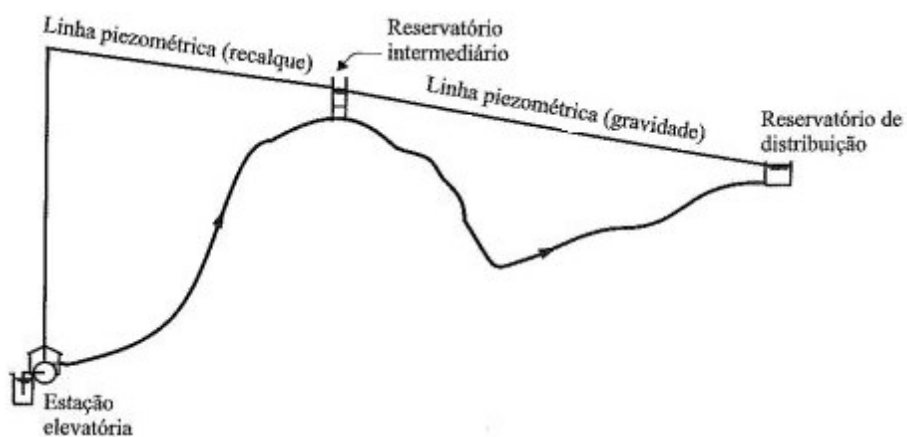
- Adutoras por gravidade (Figura 2) – Transportam a água de uma cota mais elevada para uma cota mais baixa;
- Adutoras por recalque (Figura 3) – Necessitam de estações elevatórias para conduzir a água para um ponto mais elevado;
- Adutoras Mistas (Figura 4) - Apresentam trechos por gravidade e trechos por recalque.

Figura 2 – Exemplo de adutora por gravidade

Fonte - Tsutiya (2006)

Figura 3 - Exemplo de adutora por recalque

Fonte - Tsutiya (2006)

Figura 4 – Exemplo de adutora mista

Fonte - Tsutiya (2006)

Através de operações tecnológicas, a água bruta é transformada em água tratada. O tratamento remove as impurezas presentes na água e e/ou as inativa. Os procedimentos pelos quais a água captada superficialmente é, comumente, submetida são: pré-cloração, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. O conjunto desses procedimentos é denominado tratamento de ciclo completo (BEZERRA; CHEUNG, 2013). A Portaria de Consolidação nº 888/21, de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde estabelece os padrões de potabilidade nos quais a água fornecida para o abastecimento humano deve ser atendida (BRASIL, 2021). Os sistemas frequentemente operados pelas Estações de Tratamento de Água dos municípios brasileiros podem ser de Ciclo Completo, Filtração Direta ou Desferrização (PEREIRA, CONDURÚ, 2014).

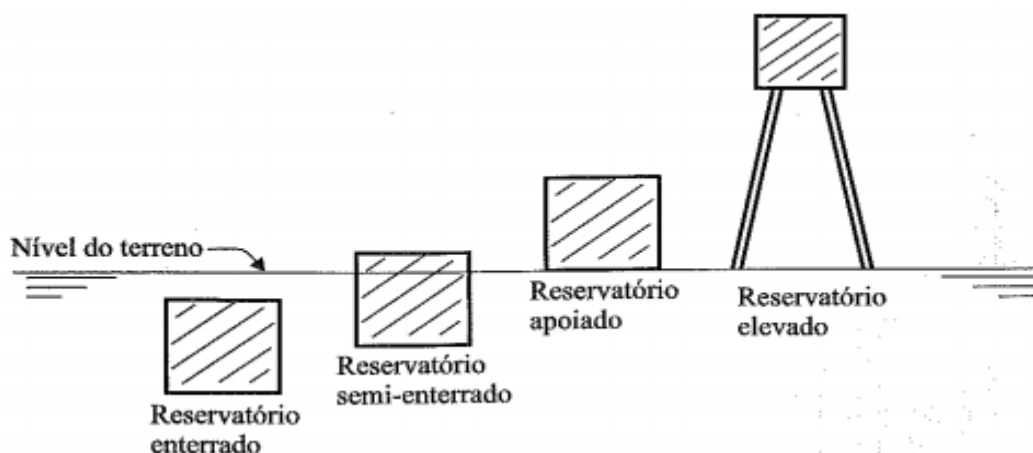
Vários SAAs possuem um sistema de reservação - onde a água que foi tratada é alocada - com a finalidade de manter a regularidade do abastecimento. As especificidades de cada sistema de abastecimento de água podem acarretar diferentes modos de operação do sistema de reservação. A classificação dos reservatórios pode ser feita quanto a sua posição em relação à rede de distribuição (BEZERRA; CHEUNG, 2013):

- Montante – localizado antes da rede de distribuição;
- Jusante- localizado após a rede de distribuição.

A prerrogativa dos reservatórios à jusante é o armazenamento de água nos períodos em que a demanda simultânea é inferior a capacidade de produção da rede ou para complementar o abastecimento quando a situação for inversa (BEZERRA; CHEUNG, 2013).

Os reservatórios podem também ser identificados de acordo com sua posição relativa ao nível do terreno: enterrados, semienterrados, apoiados e elevados, conforme Figura 5 (TSUYA, 2006).

Figura 5 - Classificação dos reservatórios em relação ao nível do terreno



Fonte - TSUTIYA (2006)

Os reservatórios possuem reserva de equilíbrio e reserva de emergência. A primeira delas regulariza as variações entre as vazões de adução e de distribuição, enquanto a reserva de emergência promove continuamente o abastecimento, mesmo em caso de paralisação de produção de água. A operação dos reservatórios é feita de modo a satisfazer condições hidráulicas do sistema, como pressões e velocidade (ABNT, 1994).

A capacidade de reserva de um sistema está correlacionada diretamente com a sua flexibilidade operacional. A água armazenada permite que a demanda seja suprida sem que esteja ocorrendo bombeamento naquele momento. Isso se torna significativo principalmente nos horários de ponta, onde a tarifa de energia elétrica é mais cara. Em função disso, essa estrutura hidráulica do sistema pode ser um grande aliado na otimização dele, pois diminui os custos operacionais relacionados às despesas de energia elétrica (KURITZA, 2017).

A etapa que disponibiliza água potável aos usuários é nomeada de distribuição. Formada por tubulações, órgãos e acessórios, a rede de distribuição fornece água potável de forma contínua e em quantidade e pressão recomendadas (ABNT, 2017).

Ainda que a rede de distribuição seja um componente importante do sistema, por vezes acaba por ser negligenciada pela dificuldade de acesso - normalmente as obras são efetuadas em vias públicas. Ressalta-se que entre 50 e 75% dos custos das obras relativas ao abastecimento referem-se à rede de distribuição (TSUTIYA, 2006). Os órgãos e equipamentos acessórios habitualmente empregados nas redes de distribuição são:

- Válvula de manobra - Isola trechos de canalização para reparos, delimita os setores de abastecimento;
- Válvula de descarga - Alocadas em pontos baixos da rede, para esvaziar totalmente a tubulação;
- Válvula redutora de pressão (VRP) - Reduz a pressão a montante e mantém constante a pressão a jusante;
- Válvula sustentadora de pressão (VSP) - Sustenta as pressões mínimas a montante;
- Ventosa - Permite a saída e entrada de ar nas canalizações;
- Hidrante- Fornecimento de água para combate a incêndios, limpeza das tubulações.

As velocidades interferem em questões de segurança e durabilidades das tubulações. Velocidades baixas estão correlacionadas a índices menores de abrasão das peças e das tubulações. Velocidades altas diminuem o custo de implantação devido à diminuição dos diâmetros, em contrapartida elas acarretam acréscimo de perda de carga e, portanto, nos custos relacionados à energia elétrica despendida no bombeamento (GOMES, 2019).

No que concerne as pressões nas redes, a pressão estática deve ter valor máximo de 500 kPa e a pressão dinâmica mínima deve corresponder a 100 kPa (ABNT, 2017). O controle desses limites é imprescindível para que o sistema apresente um desempenho técnico e econômico satisfatório (BEZERRA; CHEUNG, 2013). O limite inferior possibilita que a água tenha energia suficiente para chegar aos reservatórios domiciliares, enquanto o limite superior auxilia no controle de perdas de água e na resistência das tubulações (ABNT, 2017). A Norma Brasileira ABNT NBR 12218: 2017 estabelece diretrizes relacionadas à rede de distribuição.

Nesse contexto, percebe-se que o projeto e a operação de sistemas de abastecimento de água podem ser bastante complexos, especialmente quando se deseja alcançar bons indicadores de eficiência e de sustentabilidade. Uma maneira de contribuir com a melhoria desses sistemas é por meio da implementação de projetos de eficiência hidroenergética nas unidades do sistema (GOMES; CARVALHO, 2012).

3.1.1 Estações Elevatórias de Água

Estações de bombeamento são formadas, basicamente, por um conjunto motobomba e suas tubulações de sucção e recalque. Por sua vez, as bombas hidráulicas são máquinas que fornecem a energia necessária para o funcionamento de um sistema. Elas obtêm energia de uma fonte motora e concedem energia ao fluido em forma de pressão, energia cinética ou ambas (ÇENGEL; CIMBALA, 2007).

As bombas dispõem de uma curva característica, gráfico que expressa conjuntos de valores de altura manométrica (H_m) e sua respectiva vazão (Q), velocidade de rotação, diâmetros dos rotores, rendimento da bomba, potência motriz e a altura de aspiração (GOMES, 2012).

A altura manométrica (H_m) expressa a energia total que a bomba deve fornecer ao fluido para que uma dada vazão seja transportada de uma posição a outra de um sistema, incluindo a altura estática ou geométrica de elevação (H_g), e a perda de carga (H_f), conforme equação (1). Esse valor depende tanto da vazão requerida pelo sistema quanto das condições de instalação dele.

$$H_m = H_{gs} + H_{fs} + H_{gr} + H_{fr} + \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Onde:

H_{gs} : altura geométrica de sucção, em m;

H_{gr} : altura geométrica de recalque, em m;

H_{fs} : perda de carga de sucção, em m;

H_{fr} : perda de carga de recalque, em m;

H_m : altura manométrica fornecida pela bomba, em m;

H_g : altura geométrica total;

v : velocidade média do escoamento na seção, em m/s;

g : aceleração da gravidade, em m/s^2 .

A altura geométrica (H_g) representa a energia necessária para o fluido vencer o desnível geométrico entre as cotas, cujo valor representa a soma entre as alturas geométrica de sucção (H_{gs}) e de recalque (H_{gr}).

A perda de carga total (H_f) em uma tubulação se divide em perdas lineares (h_f) e perdas singulares (h_a), conforme equação (2).

$$H_f = h_f + h_a \quad (2)$$

Onde:

H_f : perda de carga total em uma tubulação, em m;

h_f : perda de carga linear, em m;

h_a : perda de carga singular, em m.

As perdas de carga lineares (h_f) são resultantes da resistência oferecida ao escoamento do fluido ao longo do trecho analisado, como consequência do atrito interno do fluido e deste com as paredes dos tubos. A fórmula mais indicada para o cálculo das perdas lineares é a de Darcy-Weisbach (fórmula universal). No entanto, especialmente em instalação de água fria com diâmetros superiores a 50 mm, a formulação mais utilizada é a desenvolvida empiricamente por Hazen-Williams, equação (3) (GOMES; CARVALHO, 2012). O coeficiente “C” refere-se ao valor de rugosidade característica da tubulação definido de acordo com o seu material e tempo de uso, conforme indicado na equação (3) (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015).

$$h_f = 10,667 \frac{LQ^{1,85}}{C^{1,85}D^{4,87}} \quad (3)$$

Onde:

h_f : perda de carga linear, em m;

L: comprimento, em m;

Q: vazão, em m³/s;

D: diâmetro, em m;

C: coeficiente de rugosidade característico do conduto.

As perdas de carga singulares decorrem devido à utilização de acessórios e peças especiais ao longo de uma tubulação, cujo cálculo é feito por meio da equação (4), onde se considera o coeficiente de perda de carga (k) de cada acessório (ABNT, 1992) e a velocidade média do escoamento na seção analisada.

$$h_a = \sum k \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Onde:

ha: perda de carga singular;

k: fator adimensional que representa o coeficiente de perda de carga do acessório;

v: velocidade média do escoamento na seção, em m/s.

No contexto dos sistemas de abastecimento de água, em função dos elevados comprimentos das linhas adutoras, as perdas lineares, geralmente, são muito mais expressivas que as perdas localizadas (PORTO, 2006).

A potência útil (P_{othid}) é a energia efetivamente utilizada pelo líquido para seu escoamento, para obtê-la basta multiplicar a altura manométrica (H_m) pela vazão bombeada (Q) e o peso específico do fluido bombeado, conforme equação (5).

$$P_{othid} = Q \gamma H_m \quad (5)$$

Onde:

P_{othid} : potência hidráulica útil, em watts;

γ : peso específico do líquido, em N/m^3 ;

Q : vazão bombeada, em m^3/s ;

H_m : altura manométrica, em m.

Devido às perdas provenientes da transformação de energia, para que a bomba consiga fornecer a potência necessárias ao líquido (P_{othid}), a potência fornecida pelo motor a ela, denominada potência motriz (P_m), deve apresentar valor superior. O conceito de rendimento exprime estas perdas (GOMES, 2019).

O rendimento expressa a relação entre a energia fornecida e a energia que de fato é produzida. O rendimento da bomba é dado pela equação (6), a qual relaciona a potência hidráulica (P_{othid}) e a potência motriz (P_m). O rendimento do motor elétrico se dá em relação às potências motriz (P_m) e elétrica (P), equação (7).

$$\eta_{bomba} = \frac{P_{othid}}{P_m} \quad (6)$$

$$\eta_{motor} = \frac{P_m}{P} \quad (7)$$

Onde:

η_{bomba} : rendimento da bomba;

η_{motor} : rendimento do motor elétrico

P_{thid} : potência hidráulica útil, em watts;

P_m : potência motriz, em watts;

P : potência elétrica, em watts.

O rendimento global de um conjunto motobomba (η) é dado pela multiplicação entre os rendimentos do motor (η_{motor}) e da bomba (η_{bomba}), conforme equação (8).

$$\eta = \eta_{motor} \cdot \eta_{bomba} \quad (8)$$

Onde:

η_{bomba} : rendimento da bomba;

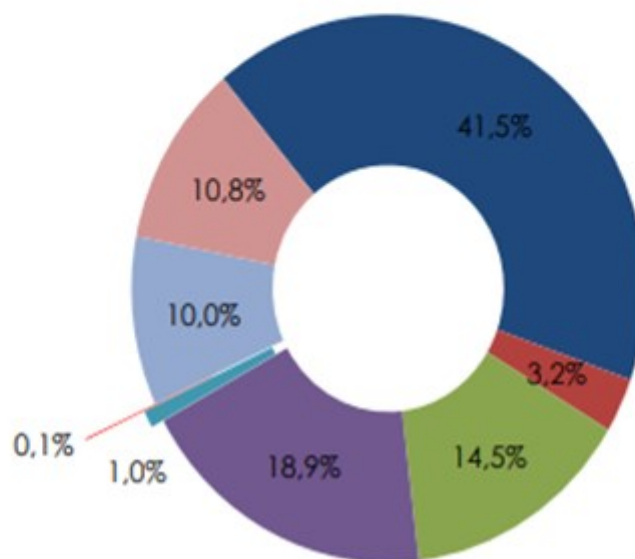
η_{motor} : rendimento do motor elétrico

η : rendimento do conjunto motobomba;

3.2 CUSTO E DESPESAS DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Companhias de saneamento possuem vários custos atrelados à operação e à manutenção de SAAs. Para a produção da água tratada, as empresas prestadoras de serviços despendem recursos financeiros com mão de obra, energia elétrica, produtos químicos, ensaios laboratoriais para monitoramento de qualidade de água, manutenção dos equipamentos, tratamento e disposição dos resíduos e subprodutos gerados, entre outros. O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, ano base 2018, apontou que dentre as despesas de exploração das companhias de saneamento (Figura 6), a maior parcela na composição média refere-se aos recursos humanos, cujo valor corresponde a 41,5% das despesas (BRASIL, 2019). Estão incluídos neste custo os pagamentos de salários e encargos trabalhistas.

Figura 6 - Composição média das despesas de exploração de serviços de saneamento



Fonte - BRASIL (2019)

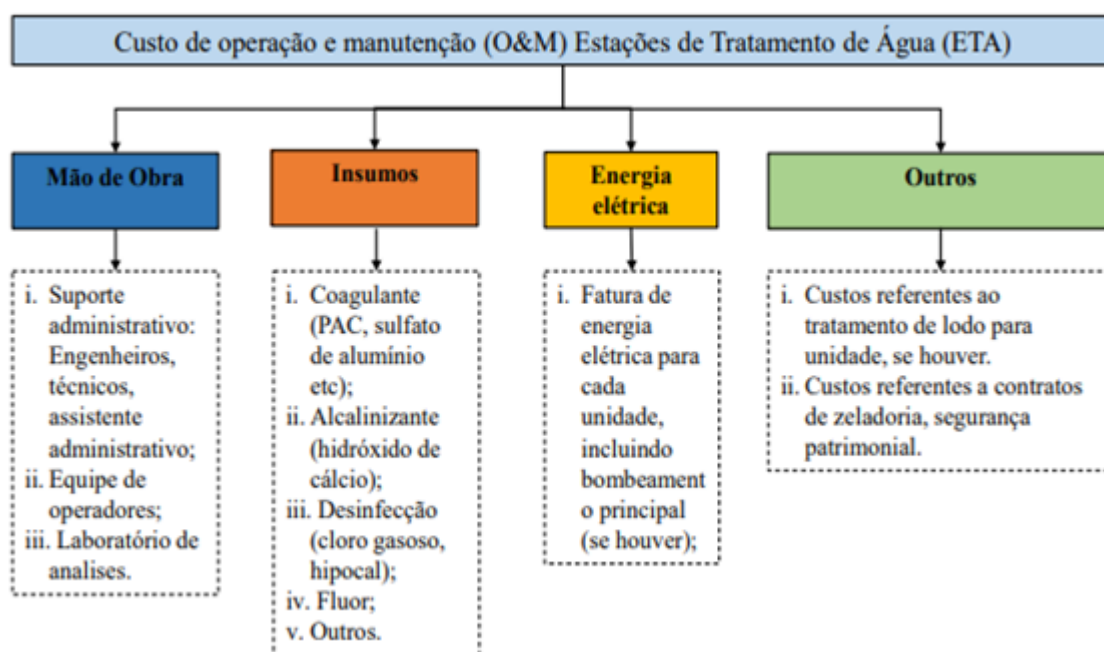
Ainda se aponta que os custos relativos à energia elétrica constituem uma parcela significativa de sua composição média, cerca de 14,5% dos custos totais (BRASIL, 2019).

A potabilização da água ocorre durante a etapa de tratamento na qual se emprega produtos químicos para torná-la apta para o abastecimento público, tais como: coagulantes, polímeros, desinfetantes, adsorventes, acidificantes, alcalinizantes e oxidantes (BRASIL, 2017). Os recursos financeiros aplicados nesse processo são resultantes da qualidade da água bruta, do volume produzido e da tecnologia empregada. A qualidade da água bruta impacta diretamente no consumo de produtos químicos, quanto maior a sua qualidade, menor será a quantidade de substâncias para tratá-la. O principal indicador no Brasil é o Índice de Qualidade de Água (IQA). A tecnologia empregada na produção de água tratada também depende deste índice.

Especialmente no que tange à etapa de tratamento de água, Trennepohl; Soares e Kossatz (2017) examinaram os custos operacionais e de manutenção de

três Estações de Tratamento de Água (ETA) pertencentes ao sistema de abastecimento da Região Metropolitana de Florianópolis. Os custos avaliados foram mão de obra, insumos, energia elétrica entre outros e o período analisado foi de março/2015 a março/2016. O uso dos indicadores de desempenho (ID) possibilitou a comparação entre as unidades estudadas com outras da bibliografia e, por fim, apontou algumas ações que poderiam ser priorizadas com o objetivo de minimizar os custos de operação. A Figura 7 mostra os quatro grupos de custos avaliados por estes pesquisadores.

Figura 7 - Grupos de custos operacionais e de manutenção de uma Estação de Tratamento de Água (ETA)



Fonte – Trennepohl, Soares e Kossatz (2017)

3.3 MEDIDAS PARA EFICIENTIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A sustentabilidade econômica das companhias de saneamento depende substancialmente de uma gestão eficiente de recursos hídricos e energéticos (GOMES, 2009). Em sistemas de abastecimento de água, a energia elétrica é empregada em processos primordiais.

O Plano Nacional de Eficiência Energética, do Ministério de Minas e Energia, aponta pontos preponderantes de ineficiência energética do setor de

saneamento básico devido às perdas reais de água, aos processos de operação das estações elevatórias e aos sistemas de reservação. O potencial técnico de recuperação de energia elétrica previsto chega a 45% do consumo total desse insumo pelo setor (BRASIL, 2019).

Neste item serão abordadas as medidas de economia citadas pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), com vistas à redução dos custos e o combate às perdas de água e energia (BID, 2011).

3.3.1 Medidas Relacionadas com a Tarifa

O sistema tarifário de energia elétrica no Brasil é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (BRASIL, 1996). Constituído de normativas e regulamentações, o sistema foi elaborado com a intenção de estabelecer o valor de eletricidade para diferentes classes e subclasses de unidades consumidoras.

O sistema brasileiro dispõe de três categorias de tarifa de energia elétrica: convencional, horo-sazonal azul ou horo-sazonal verde. A tarifa é aplicada conforme a finalidade de consumo da unidade - residencial, comercial, serviços, industrial, rural, poder público, iluminação pública, serviço público, entre outras divisões- e, também, de acordo com nível de tensão em que a energia é fornecida a ela - alta tensão, baixa tensão. O nível de tensão está associado à carga instalada na unidade consumidora, e classifica-se, de acordo com ele, em dois grupos: Grupo A (alta tensão) e Grupo B (baixa tensão) (BRASIL, 2010).

A modalidade convencional fixa um valor para a tarifa de consumo de energia (kWh) e aplica também uma tarifa única para a demanda de potência ativa (kW), independente do horário de utilização do dia.

A estrutura tarifária horo-sazonal distingue-se da modalidade anterior por estabelecer valores distintos para o consumo de energia elétrica (kWh) conforme a modalidade do sistema de bandeiras tarifárias do período (bandeira verde, bandeira amarela, bandeira vermelha 1 e bandeira vermelha 2) e as horas utilizadas do dia (posto tarifário - horário de ponta e horário fora de ponta) (BRASIL, 2013). Essa modalidade ainda se subdivide entre: horo-sazonal verde e horo-sazonal azul. A tarifa verde detém de um único valor para demanda de potência (kW), independente

de posto horário utilizado, já a tarifa azul discrimina, além do consumo elétrico (kWh), a demanda de potência (kW) conforme o posto tarifário de utilização.

Denomina-se horário de ponta, ou horário de pico, o horário corresponde ao período em que o consumo de energia elétrica tende a ser superior ao restante do dia, geralmente refere-se a um período de 3 horas consecutivas, cuja definição é feita pela concessionária, e, no estado do Paraná, a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) estipulou como sendo o horário compreendido entre 18h e 20h59 min, de segunda-feira a sexta-feira. O horário denominado fora de ponta é formado pelas horas suplementares àquelas definidas como horário de ponta.

Os consumidores do grupo A, ditos de alta tensão, possuem tarifação binômica, independente da modalidade tarifária aplicada, ou seja, são cobradas tanto pela potência (demanda), como pelo consumo de energia elétrica (BRASIL, 2010).

As unidades cuja tensão de alimentação é de até 2,3 kV são classificadas como Grupo B, ou ainda, grupo de baixa tensão. Esses consumidores são faturados exclusivamente pela energia consumida (BRASIL, 2010).

As companhias de saneamento são consideradas consumidores do grupo A e sua fatura de energia pode estar tarifada sob a modalidade tarifária verde ou azul. Assim, uma das ações administrativas pertinentes para os gestores dessas companhias é avaliar o histórico de contas para aferir se a modalidade tarifária contratada está adequada ou se é cabível negociar sua alteração para promover economia de recursos financeiros (TSUTIYA, 2006).

3.3.2 Medidas para Aumentar a Eficiência das Bombas

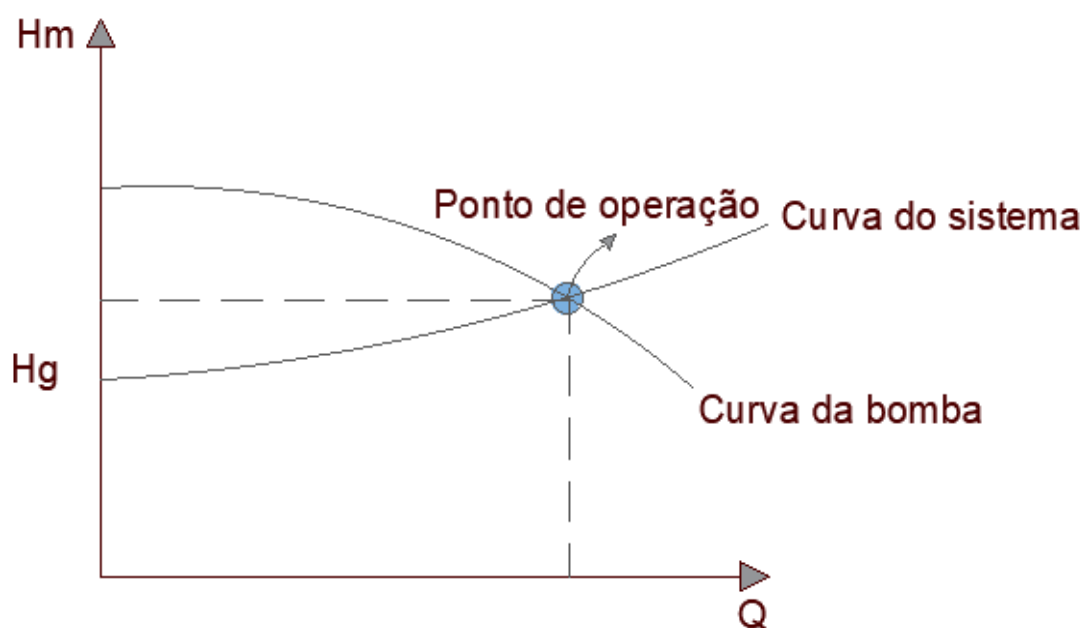
As bombas hidráulicas são máquinas que fornecem a energia necessária para o funcionamento de um sistema. Elas obtêm energia de uma fonte motora e concedem ao fluido, energia em forma de pressão, energia cinética ou ambas (ÇENGEL; CIMBALA, 2007).

Cada um desses dispositivos dispõe de uma curva característica, que é um gráfico que expressa conjuntos de valores de altura manométrica (H_m) e sua respectiva vazão (Q), velocidade de rotação, diâmetros dos rotores, rendimento da bomba, potência motriz e a altura de aspiração (GOMES, 2009). O desenvolvimento desse gráfico é realizado pelo fabricante mediante ensaios. É com base nas

informações fornecidas por ele, que os projetistas selecionam qual bomba terá a melhor performance frente às necessidades operacionais do sistema. Cada ponto do gráfico possui uma eficiência correspondente. Bombas de pequeno porte possuem rendimento aproximado de 40% enquanto bombas de grande porte podem alcançar mais de 85% (GOMES, 2012).

O ponto em que essa máquina hidráulica opera é dado pela interseção da curva característica da bomba com a curva do sistema como demonstrado pela Figura 8, e ele depende das perdas de carga na tubulação, velocidade, posição de instalação do equipamento e pressão em que ele está submetido (HELLER; PÁDUA, 2010).

Figura 8 - Ponto de operação de uma bomba



Fonte - Adaptado de GOMES (2009)

No decorrer dos anos, o ponto de funcionamento da bomba pode ser alterado em consequência do aumento da perda de carga do sistema, deslocamento da curva do sistema para a esquerda, reduzindo a vazão e aumentando a altura manométrica. Nessas situações, por vezes, a bomba está funcionando fora da faixa de maior rendimento, e com isso, ocasionando custos operacionais mais elevados. Uma maneira de ajustar o ponto de operação pode ser, por exemplo, com uso de conversores de frequência para variação da rotação, e assim, alcançar rendimentos maiores (KURITZA, 2017).

Outras situações prejudiciais ao desempenho das bombas estão relacionadas à cavitação, bloqueios, interrupções, vibrações excessivas e com configurações imprecisas dos controladores de bombas.

Geralmente, considera-se que uma bomba está superdimensionada, quando seu ponto de funcionamento se encontra em uma faixa menor que 20% do ponto de máxima eficiência. Ainda assim, considera-se aceitável a operação estar entre 50% e 110% da vazão deste ponto. Durante a elaboração do projeto, inúmeras razões podem conduzir os projetistas à escolha de equipamentos superdimensionados para o sistema, tais como: escolha baseada prevendo desgastes do equipamento e incrustações na tubulação, prevendo aumentos futuros da planta entre outras. (SUSTAINABILITY VICTORIA, 2015). Assim, ocasionalmente, o dimensionamento da bomba na fase de projeto está inadequado para as reais características operacionais, e cabem medidas de efficientização hidroenergética.

3.3.3 Medidas para Aumentar a Eficiência dos Motores

As máquinas motrizes ou motores são dispositivos que transformam energia em trabalho de eixo. O acionamento de potência de motores elétrico é feito com energia elétrica (MATOS, 1982).

Gomes (2009) ressalta que, dentre a gama de motores elétricos existentes, os modelos extensivamente empregados são os motores de indução trifásico e monofásico. Esse modelo é o mais detectado no setor de saneamento e em outros setores - chegando a representar mais de 95% dos equipamentos instalados - como: industrial, rural, comercial e residencial.

BID (2011) aponta quatro perdas típicas em um motor elétrico: perdas elétricas, perdas de carga por dispersão, perdas no ferro e perdas mecânicas. As duas últimas são independentes à variação da carga.

Algumas das medidas que podem ser tomadas para um consumo mais proveitoso da energia elétrica mencionadas por WEG (2019) são:

- Realizar avaliação de viabilidade técnico-econômica para a troca de máquinas motrizes em operação por outras mais eficientes;
- Instalar equipamentos apropriados para o regime de trabalho;

- Implantar inversores de frequências em situações em que há alterações de carga;
- Controlar os motores, em especial em situações em que há ruídos, vibrações e aquecimento excessivo.

No sentido de controlar os custos decorrentes da energia consumida pelos motores, aponta-se ainda a importância do monitoramento dos parâmetros elétricos dos equipamentos, como, por exemplo, a potência de operação e o fator de potência (FP) das unidades consumidoras. O acompanhamento periódico dos dados elétricos torna possível identificar baixos rendimento dos dispositivos. Em casos em que os equipamentos elétricos operam com baixo fator de potência, sugere-se propor a instalação de um banco de capacitores para otimizar o FP (BID, 2011).

Salienta-se que o índice de fator de Potência relaciona a potência ativa e a potência reativa de um equipamento, cujo valor reflete a eficiência das instalações e o valor estabelecido como mínimo pela resolução vigente é de 0,92 (BRASIL, 2010).

Destaca-se, ainda, que modelos novos de motores possuem elevado índice de eficiência - em 2016 atingiu-se o valor de aproximadamente 96,5%. O nível mínimo de rendimento em IR3 (faixa de potência de 0,16 a 500 cv, de 2 a 8 pólos) é determinado pela lei de Eficiência Energética para motores elétricos, válida desde 2019 para todos os modelos comercializados - tanto para os equipamentos novos, quanto os usados. No entanto isso não se aplica aos dispositivos já instalados (WEG, 2019).

Barry (2007) *apud* Alexandre (2017) aponta que a medida de substituição de um motor convencional por um de maior eficiência leva de 2 a 3 anos para dar retorno do investimento empregado. Ressalta-se que 96% dos custos relacionados aos motores elétricos, quando analisados os investimentos realizados em 10 anos, são referentes ao custo de energia elétrica para operação da máquina, e apenas 2,5% correspondem à aquisição e instalação do equipamento PROCEL (2017) *apud* (WEG, 2019).

Com a finalidade de aumentar a eficiência energética das instalações do sistema elétrico de bombeamento na Agespisa - Empresa de Águas e Esgotos do Piauí S/A, entre 2012 e 2013, a Eletrobras Distribuição Piauí implementou ações de eficiência energética no sistema por meio da avaliação de dez poços tubulares

localizados na cidade de Picos (PI) e quatro estações elevatórias em Teresina. A ação escolhida foi a substituição de motores e bombas e resultou na redução da fatura de energia elétrica em 37% resultando em uma economia anual de R\$ 431.335,21.

3.3.4 Medidas para Reduzir as Perdas de Carga

As técnicas adotadas para reduzir os custos operacionais através da diminuição do consumo elétrico são por meio da redução da altura manométrica, da redução no volume de água e do aumento no rendimento dos conjuntos motor-bomba (TSUTIYA, 2006).

A altura manométrica é a energia despendida para transportar uma dada vazão de uma posição à outra de um sistema, por exemplo, conduzir o fluido do reservatório de sucção para o reservatório de descarga. Esse valor depende tanto da vazão requerida pelo sistema quanto das condições de instalação dele.

Há duas formas de reduzir o consumo de energia elétrica mediante redução da altura manométrica:

- (1) Redução da altura geométrica;
- (2) Redução das perdas de carga.

A altura geométrica é a medida que indica o desnível geométrico existente entre o nível do líquido na extremidade da tubulação de recalque e o nível do líquido no poço de sucção e, por isso, está relacionada às características intrínsecas às condições de instalação e operação do projeto, e, por isso, dificilmente consegue-se reduzir essa parcela da altura manométrica. Já a segunda estratégia pode ser efetuada mediante adequação do diâmetro das linhas adutoras, limpeza ou revestimento da tubulação, instalação de dispositivos para eliminar o ar dos condutos forçados, análise da disposição da tubulação na elevatória e na entrada do reservatório (TSUTIYA, 2006).

Pinnto *et al.* (2016) abordam o dimensionamento das redes de distribuição com a finalidade de obter o diâmetro das tubulações que representa o menor custo considerando a implantação e a manutenção. Por um lado, condutos de maior diâmetro são mais caros no momento de implantação, no entanto sofrem menos

com a rugosidade, e assim apresentam uma frequência menor de manutenção e por consequência menor custo nesse aspecto. Dessa maneira, os pesquisadores buscaram estabelecer o equilíbrio entre esses dois custos e obter o menor valor possível. Para o estudo utilizou-se o algoritmo MINPGA (*Multiscale Island Injection Genetic Algorithm*), onde se analisou 666 trechos e 9 possíveis diâmetros para cada um dos trechos. Os testes feitos mostraram que o algoritmo oferece boas soluções em um tempo razoável para essa problemática.

Almeida e Accorsi (2006) aplicaram medidas de efficientização no sistema de bombeamento de água bruta para tratamento no município de São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul e obtiveram redução de aproximadamente 50% nas faturas mensais de energia elétrica. O resultado foi possível graças à diminuição da carga dinâmica nas tubulações através da substituição das adutoras (alterando o material e o diâmetro), que possibilitou trocar dois motores (de 125 CV II Pólos por 75 CV IV Pólos) e alterar as bombas centrífugas. No total foram 1.740 m de tubulações substituídas. O indicador aplicado para diagnóstico hidroenergético do sistema foi o índice de consumo de energia elétrica – kWh/m³.

3.3.5 Medidas para Reduzir os Vazamentos

A perda de água é um problema inerente aos sistemas de abastecimento de água e a redução do índice de perdas trata-se de um desafio ao setor de saneamento. Gomes (2009) aponta a relevância desse contratempo devido aos impactos econômicos, ambientais e sociais decorrentes dele. Essas perdas na rede de distribuição reduzem os valores de pressão na rede, aumentam a demanda de água, aumentam o consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento, o consumo de produtos químicos para tratamento de água, e geram custos sociais associados à interrupção do tráfego, negócios e fornecimento de água além dos riscos de contaminação da água (TSUTIYA, 2006).

O aumento da produção de água devido ao acréscimo da demanda ocasionado por vazamentos eleva significativamente o consumo de energia elétrica. Moreiraa, Ferreira e Pereira (2017) indicam que incremento de 30% na vazão bombeada aumenta em quase 30% a despesa de energia elétrica.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, SNIS, em 2018, o Índice de perdas na distribuição (IN049) no Brasil atingiu 38,5% do volume produzido, seja por problemas operacionais, falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas. Apesar da média nacional não ser tão elevada, na região Norte o índice alcançou 55,5% com alguns estados acima de 70%, como é o caso de Amazonas e Roraima (BRASIL, 2019).

No que corresponde aos problemas operacionais, salientam-se os vazamentos decorrentes desde a captação de água bruta até a sua distribuição. Nas tubulações das redes de distribuição, os vazamentos são provocados principalmente pelo excesso de pressão derivados da ausência de sistemas adequados de medição e controle. A quantidade de água dispersa da tubulação durante o vazamento dependerá das particularidades da tubulação e das medidas tomadas pela prestadora de serviços de saneamento quanto ao reparo e detecção do problema (BRASIL, 2008).

Por isso, mostra-se relevante a adoção de tecnologias e práticas para monitoramento contínuo da rede de distribuição de água aliado às políticas eficientes de reparo, com prognóstico e intervenção imediata (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010).

A previsão de falhas tem se mostrado um instrumento importante de prognóstico da rede e uma ferramenta de apoio a gestão operacional do sistema de abastecimento de água. Akagia e Cheung (2017) destacam um modelo probabilístico LEYP (*Linear Extension of the Yule Process*) que permite identificar os trechos de rede com maior tendência de falha. Esse modelo foi capaz de prever 77% das falhas reais.

Caso haja falha na prevenção de vazamento, se faz necessário medidas de diagnóstico e reparo na rede. Ao longo dos últimos anos pesquisadores têm buscado maneiras de reduzir o número desta intercorrência bem como sua duração.

Fabbiano; Vacca e Dinardo (2020) citam diversas pesquisas desenvolvidas para diagnosticar os vazamentos de água em tubulações de maneira não invasivas. Entre estes destacam-se os métodos de detecção acústica, no entanto as detecções são altamente influenciadas pelos ruídos locais. Algumas técnicas são difíceis e custosas de implementar em larga escala: técnica de inspeção por georadar (GPR - Radar de penetração no solo), técnica termográfica e técnica de detecção da sonda TDR (*Time Domain Reflectometry*).

Utilizando sensores inteligentes para detectar vazamentos e localizá-los com suficiente precisão, Fabbiano; Vacca e Dinardo (2020) propõe uma técnica eficiente e menos custosa, que consiste em medir o status vibracional radial dos tubos oportunos da rede.

3.3.6 Medidas para Melhorar a Operação dos Sistemas de Bombeamento

Dentre os custos operacionais de um sistema de distribuição de água, uma expressiva parte refere-se ao consumo de energia elétrica oriundo da operação de estações elevatórias para captação, recalque e distribuição de água. Os sistemas de bombeamento representam a maior parte do consumo energético do setor de água, podendo atingir 90% do consumo total (GOMES *et al.*, 2010).

Devido à complexidade das análises relativas às maneiras operacionais mais eficientes dos sistemas de bombeamento, algumas ferramentas tornam-se aliadas dos gestores no processo de tomada de decisão de forma eficiente, tais como: algoritmos de otimização, procedimentos de simulação e análise de dados.

O padrão de consumo de água varia durante o dia (horário específico), dia da semana e durante as estações do ano. Nesse cenário onde a demanda requerida não é fixa, surgiu um importante dispositivo capaz de melhorar a operação de sistemas de bombeamento de forma automatizada: inversores de frequência. A premissa desse dispositivo é proporcionar flexibilidade de controle de velocidade, aliados à economia de energia elétrica e maior durabilidade aos componentes mecânicos, alterando a frequência da corrente elétrica e, portanto, a velocidade de rotação dos motores de forma contínua e suave (GRUNDFOS, 1996).

Dutra e Altafini (2014) propuseram melhorias em um sistema de bombeamento do município de Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. O SAA do município apresentava problemas principalmente em horários e dias de pico de consumo. As propostas analisadas envolviam a troca de conjuntos de bombeamento e utilização de inversor de frequência para controle de velocidade de rotação do sistema. Com auxílio do software de simulação hidráulica denominado EPANET, estimou-se que a implementação dessas modificações promoveria uma redução em 37,7% nos custos mensais com energia elétrica.

Outra estratégia para se obter melhorias na operação dos sistemas de bombeamento é mediante a utilização da capacidade de reservação do sistema. Desse modo pode-se evitar a operação das bombas durante o período de ponta do sistema elétrico.

Luna *et al.* (2019) desenvolveram um algoritmo com função-objetivo a otimização operação de bombeamento de um sistema de abastecimento de água através do agendamento diário de um sistema específico em Portugal. Considerou-se a variação da tarifa energética e utilizou-se da melhor forma a capacidade de reservação do sistema. Mantendo os reservatórios em níveis seguros (gerenciamento de risco de armazenamento) e atendendo as restrições hidráulicas do sistema (pressão e vazão). Concluiu-se que o bombeamento ideal reduz em até 25% do consumo de energia. O uso do nível de risco nos tanques de água pode ser crucial na redução de custos.

3.4 DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Um diagnóstico hidroenergético visa analisar a performance de um sistema de saneamento. Com ele, pontos preponderantes de dissipação de energia elétrica e de perdas de água são reconhecidos, tornando-se possível apontar, após análise criteriosa, as melhores soluções para as problemáticas, com suas respectivas estimativas de redução de consumo de energia elétrica e redução da demanda de potência no horário de maior custo tarifário.

Gomes (2012) sugere que sejam levantadas preliminarmente as seguintes informações:

- Plantas de localização: adutoras, instalações de bombeamento e reservatórios;
- Diagramas elétricos e hidráulicos dos sistemas;
- Contas de energia das unidades consumidoras;
- Diagrama unifilar elétrico das unidades consumidoras;
- Cadastro dos equipamentos das unidades consumidoras (características técnicas de tubos, adutoras, catálogos de bombas, identificação dos pontos de medição, entre outras informações);

- Informações de centro de controle (sistemas que registram as variáveis elétricas e hidráulicas);
- Operação dos reservatórios e comportamento das curvas de demanda do sistema;
- Volumes bombeados, produzidos ou disponibilizados.

3.4.1 Indicadores de Desempenho

Companhias encarregadas no tratamento e distribuição de água necessitam de parâmetros para avaliar o desempenho dos serviços e que possam forneçam diretrizes aos gestores. Nessa perspectiva, indicadores de desempenho (ID) tornam-se um instrumento oportuno para as empresas de abastecimento (ALEGRE *et. al*, 2004). Os indicadores retratam o estado de um fenômeno sintetizando as informações relevantes.

Dentre a numerosa gama de indicadores, a IWA (*International Water Association*) – que representa cerca de 130 países - propõe um sistema, no qual eles são fragmentados em seis grupos: recursos hídricos, recursos humanos, infraestrutura, operacionais, qualidade de serviço e econômico-financeiros. No total o manual apresenta 158 indicadores. O primeiro manual de boas práticas para serviços de fornecimento de água sobre indicadores de água produzido pela associação foi publicado em 2000 e tornou-se a principal referência internacional para o assunto. A terceira edição - intitulada de *Performance Indicators for Water Supply Services* - foi divulgada em 2016.

No que concerne o sistema de bombeamento, dois indicadores relevantes são o consumo específico de energia elétrica (CE) e o consumo específico de energia elétrica normalizada (CEN). O primeiro dos indicadores estabelece a energia elétrica despendida para aduzir um metro cúbico do líquido, descrito na equação (9).

$$CE = \frac{E}{V} \quad (9)$$

Onde:

CE: Consumo específico de energia, em kWh/m³;

E: Energia elétrica consumida, em kWh;

V: Volume do líquido bombeado, em m³.

Ressalta-se que o indicador CE não permite um diagnóstico comparativo com outros sistemas, para tal o CEN é apropriado pois representar a energia elétrica despendida para bombear o líquido a uma altura manométrica de 100 metros (ALEGRE *et al*, 2004). O indicador é calculado por meio da equação (10).

$$CEN = \frac{E}{V \times \left(\frac{Hm}{100}\right)} \quad (10)$$

Onde:

CEN: consumo específico normalizado, em KWh/m³/100m;

Hm: Altura manométrica, em m;

E: Energia elétrica consumida, em KWh;

V: Volume do líquido bombeado, em m³.

Ainda sobre ferramentas para mensurar a eficiência de sistemas de bombeamento, mediante cooperação entre a Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, foi desenvolvida uma metodologia de pré-diagnóstico de estação elevatória de água elaborada através do Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA). A referida metodologia é baseada no uso de indicadores de desempenho e fundamentou as pesquisas desenvolvidas por Gama, Ferreira e Silveira (2019) e Silva *et al.* (2019).

No estudo apontam-se valores de desempenho de referência para avaliação dos motores de acordo com o tipo do motor e a potência elétrica instalada, elencados no Quadro 1.

Quadro 1 - Valores de desempenho de referência de acordo com a potência elétrica instalada

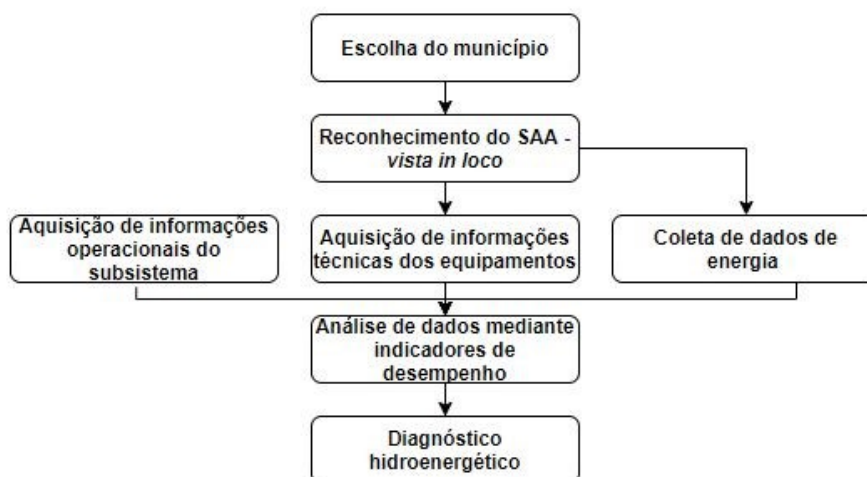
Tipo de motor	Externo			
	0	16	38	96
Potência a partir de [kW]				
Bom desempenho (kWh/m ³ x100m)	0,426	0,401	0,378	0,378

Fonte - Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015.

4 METODOLOGIA

Este capítulo detalha a metodologia empregada para diagnóstico hidroenergético de um sistema de abastecimento de água. São especificados a área de estudos, as características dos equipamentos, o processo de aquisição dos dados, os indicadores de desempenho empregados e, também, as proposições de ações de eficiência energética. Na Figura 9 estão indicadas as etapas da pesquisa em forma de fluxograma.

Figura 9 - Fluxograma geral da metodologia da pesquisa



Fonte – Autoria própria

A primeira parte da pesquisa consistiu na coleta de informações junto ao corpo técnico da companhia de saneamento para verificar qual município ou sistema de abastecimento poderia ser escopo de ações de eficiência hidroenergética. As demais etapas da metodologia estão detalhadas nos itens subsequentes.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade localiza-se na região central do estado do Paraná, e possui aproximadamente 30 mil habitantes (IBGE, 2010).

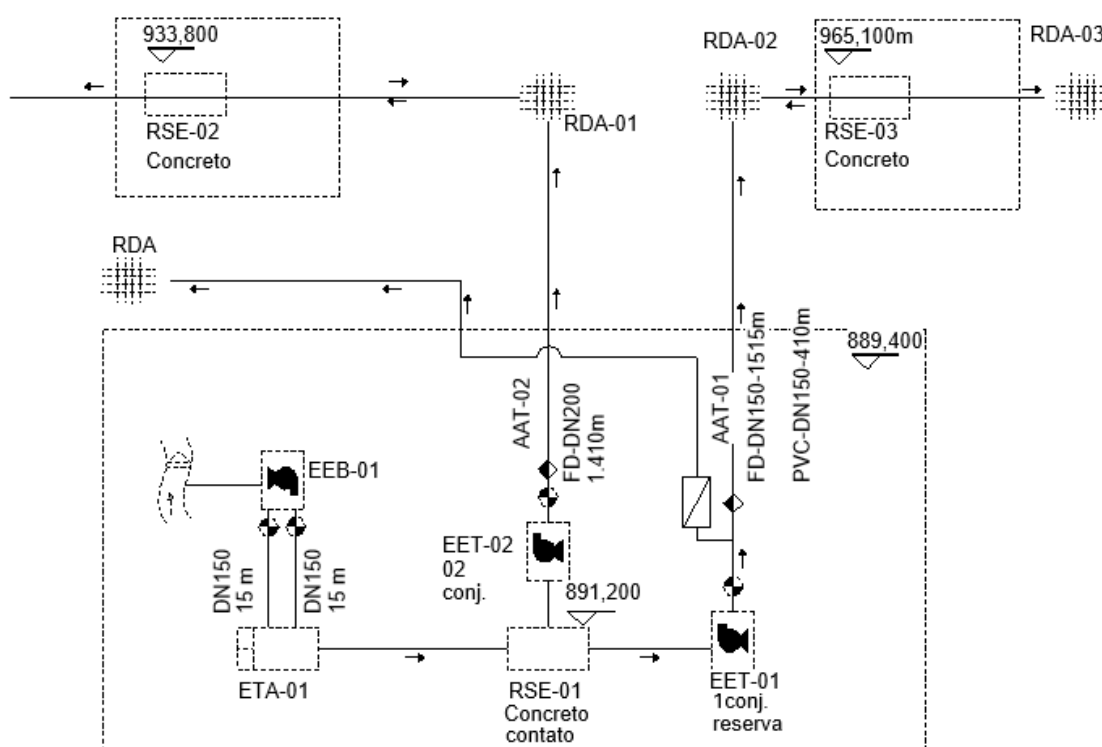
O SAA possui dois subsistemas, sendo um com captação superficial e outro com captação subterrânea, contudo, o escopo deste trabalho está no subsistema por captação superficial.

4.1.1 Caracterização da Captação Superficial, Estação de Tratamento de Água (ETA) e Estações Elevatórias de Água Bruta e Tratada

A captação de água bruta ocorre num manancial superficial localizado próximo à ETA, apresentado na Figura 11, onde a companhia de saneamento possui outorga para captação e tratamento. A energia necessária para que a água seja recalçada até o local de tratamento é fornecida por dois conjuntos elevatórias que fazem parte da Estação Elevatória de Água Bruta, EEB - 01, caracterizados no Quadro 2. A vazão é encaminhada por duas adutoras de água bruta AAB-01 (Figura 12), que possuem 150 mm de diâmetro nominal (DN) e comprimento de 15 m, aproximadamente.

Na Figura 10 pode-se observar como se dá, de forma esquemática, o processo de distribuição de água no subsistema de captação superficial, escopo deste trabalho.

Figura 10 - Diagrama Hidráulico simplificado da distribuição de água da ETA



Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

Figura 11 - Captação de água bruta



Fonte – Autoria própria

Figura 12 - Adutora de água bruta



Fonte - Autoria própria

Quadro 2 – Especificações técnicas dos equipamentos das estações elevatórias de água bruta (EEB – 01)

Conjunto motobomba	Marca/ Modelo da bomba	Especificações técnicas do motor
CMB - 01	Bomba centrífuga KSB 100/16	Motor elétrico WEG 132S, 7,5 CV, 1760 rpm, 26 A - 220 V
CMB - 02	Bomba centrífuga KSB ETA 100/16	Motor WEG 132S 1090, 10 CV, 1760 rpm, 220/380 V, 28/16 A

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

Os conjuntos motobomba da EEB – 01 possuem altura manométrica 4,2 mca, são do fabricante KSB, modelo ETA, tamanho 100 – 16. O Anexo 1 apresenta outras especificações técnicas desses equipamentos. Os motores elétricos são da marca WEG, tipo externo, trifásico, operam em frequência de 1760 rpm. As potências do motor do CMB – 01 e do CMB -02 são, respectivamente, 7,5 CV e 10 CV. No Quadro 3 estão apontadas, ainda, outras características técnicas dos equipamentos.

Quadro 3 – Especificações técnicas do motor elétrico trifásico do conjunto 01 e do conjunto 02 da EEB - 01

Conjunto motobomba	CMB - 01	CMB – 02
Marca	WEG	WEG
Modelo	132S	132S 1090
Potência (CV)	7,5	10
Rotação (rpm)	1760	1760
Tensão (V)	220	220/380
Corrente (A)	26	28/16

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

A adução de água bruta a partir do manancial superficial é responsável por aproximadamente 65% do total captado na cidade. Ressalta-se que o restante da água que abastece a população é captada no manancial subterrâneo que faz parte do outro subsistema que compõe o SAA.

O volume tratado fica armazenado em uma unidade de reservação de concreto (câmara de contato) semienterrada, com capacidade de reservação nominal de 50 m³. O nível d'água do reservatório oscila de acordo com a vazão afluyente (proveniente da ETA) e a vazão requerida pelas estações elevatórias de água tratada.

A distribuição da água tratada é efetuada por meio das estações elevatórias de água tratada, EET-01 e EET-02, identificadas no Quadro 4, e de suas respectivas adutoras (Quadro 5), nas quais ocorre distribuição em marcha e a água excedente fica armazenada em dois reservatórios de jusante.

Quadro 4 - Especificações técnicas dos equipamentos de água tratada

Estação Elevatória	Conjunto motobomba	Marca/ Modelo da bomba	Especificações técnicas do motor
EET – 01 (1+1)	CMB – 01	Bomba KSB WKL 80/5	Motor elétrico WEG 200L, 50CV, 220/380V, 1770RPM
	CMB - 02	Bomba KSB WKL 80/5	Motor elétrico WEG 200L, 50CV, 220/380V, 1770RPM
EET – 02	CMB – 01	Bomba centrífuga KSB ANS-G-50-160, 3510 rpm	Motor elétrico WEG 160M, 25 CV, 220/380 V, 3510 rpm
	CMB - 02	Bomba centrífuga KSB ANS-G-50-160, 3510 rpm	Motor elétrico WEG 160M, 25CV, 220/380V, 3510 rpm

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

Quadro 5 - Características da adutora de água tratada presentes no subsistema operado na ETA

Adutora	Diâmetro nominal (DN)	Material	Comprimento (L)
AAT - 01	150 mm	PVC	410 m
AAT - 01	150 mm	Ferro fundido dúctil (FD)	1515 m
AAT - 02	200 mm	Ferro fundido dúctil (FD)	1410 m

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

A estação elevatória de água tratada EET - 01 contém dois conjuntos motobomba idênticos, sistema 1+1, com altura manométrica de 95,02 mca. O volume bombeado é encaminhado pela adutora de tratada AAT - 01 DN 150, que contém 410 m de PVC e 1515 m de FD (Quadro 5). A vazão excedente da distribuição é encaminhada para um reservatório semienterrado, de jusante, identificado como RSE - 03, conforme Figura 10.

Conforme apresentado no Quadro 4, os motores elétricos pertencentes às unidades de bombeamento de água tratada 01, EET - 01, são do fabricante WEG, tipo externo, trifásico e operam em frequência de 1770 rpm. Além disso, o Quadro 6 permite observar outras especificações técnicas dos motores elétricos da elevatória.

Quadro 6 - Especificações técnicas dos motores elétricos trifásicos da EET - 01

Dados	
Marca	WEG
Modelo	200L 1187
Potência (CV)	50
Rotação (rpm)	1770
Tensão (V)	220/380
Corrente (A)	120/69

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

A EET-02 opera com dois conjuntos motobomba em paralelo de mesmo modelo (Quadro 4), os quais possuem altura manométrica de 50,5 mca. Essa elevatória encaminha a vazão pela adutora de água tratada AAT - 02 DN 200 de ferro fundido dúctil (FD), que contém 1410 m (Quadro 5). Após a distribuição, a vazão excedente é encaminhada para um reservatório semienterrado, de jusante, identificado como RSE - 02.

As bombas pertencentes à elevatória EET – 02 são do fabricante KSB, modelo ANS - G - 50 - 160. Além disso, no Anexo 3 estão apresentadas mais informações técnicas desta bomba.

No Quadro 7 estão apresentadas as especificações técnicas dos motores elétricos pertencentes às unidades de bombeamento de água tratada 02, EET-02, do fabricante WEG, tipo externo, trifásico, que operam em frequência de 1770 rpm e possuem 25 CV de potência.

Quadro 7 - Especificações técnicas dos motores elétricos trifásicos da EET - 02

Dados	
Marca	WEG
Modelo	160M 0600
Potência (CV)	25
Rotação (rpm)	3510
Tensão (V)	220/380
Corrente (A)	81/35

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

O acionamento dos conjuntos motobomba de água tratada é comandado pelos eletrodos localizados nos reservatórios de jusante.

Sobre a distribuição da água no subsistema, destaca-se que o abastecimento da rede de distribuição RDA - 01 se dá pela EET – 02 e, também, pelo reservatório semienterrado (RSE) – 02. Além disso, salienta-se que a rede de distribuição (RDA) – 02 também é abastecida de duas formas, uma pelo volume bombeado pela EET – 01 e a outra pelo RSE - 03.

No que diz respeito ao desempenho energético dos sistemas elevatórios existentes junto à ETA, EEB, EET - 01 e EET - 02, ressalta-se a existência de painéis de correção de fator de potência por meio de Banco de Capacitores que exerce a função de compensar a carga indutiva, diminuindo a potência reativa fornecida pelo transformador e, assim, evitando multas tarifárias de energia elétrica. Nas

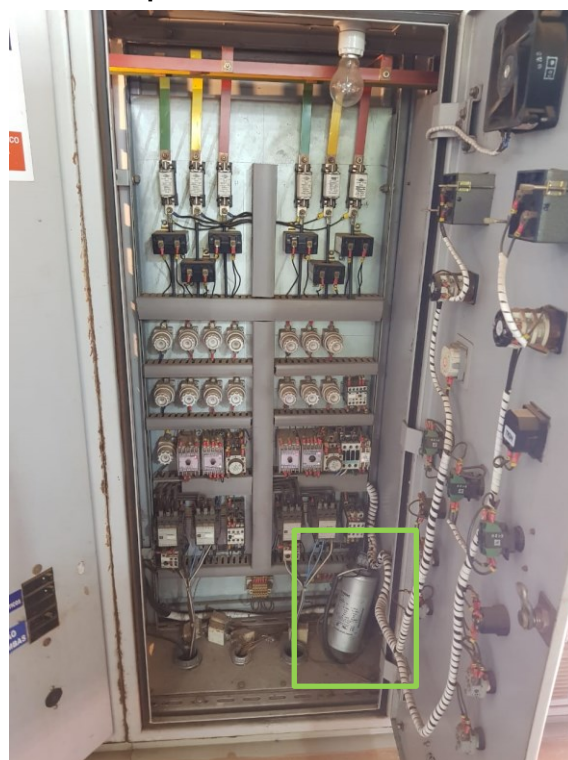
Figura 13 e Figura 14 pode-se observar um painel elétrico com banco de capacitores.

Figura 13 – Painel elétrico da EEB – 01



Fonte – Autoria própria

Figura 14 - Banco de capacitores instalado no painel elétrico da EEB - 01



Fonte - Autoria própria

4.2 DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO

O diagnóstico hidroenergético foi realizado a partir de etapas, como: visitas ao SAA, aquisição de informações técnicas sobre os equipamentos e a operação das estações elevatórias e da ETA, coleta de dados de energia, volume de água aduzido e, por fim, análise de dados.

As visitas foram realizadas para reconhecimento da área de estudo, registros fotográficos, coleta de informações sobre equipamentos, operação e manutenção do sistema.

Também foi realizado o levantamento e a validação dos dados cadastrais, como:

- Dados topográficos;
- Dados construtivos (material das tubulações, comprimentos, diâmetros);
- Diagrama hidráulico simplificado;
- Registros da operação dos conjuntos motobomba;
- Volumes bombeados e produzidos pelo subsistema.

- Verificação da eficiência dos conjuntos motobomba;
- Mapeamento do horário de funcionamento dos conjuntos motobomba;
- Dados de consumo de energia elétrica de cada unidade consumidora (EEB, EET-01 e EET-02).

No Quadro 8 estão elencados os principais dados utilizados nessa etapa da pesquisa com seus respectivos períodos e procedimento de aquisição.

Quadro 8 – Procedimento, período de aquisição e fonte dos dados utilizados para diagnóstico hidroenergético

(continua)

DADO	PERÍODO DE AQUISIÇÃO	FONTE	PROCEDIMENTO DE AQUISIÇÃO
Vazão na elevatória EET – 01	01/01 a 31/12 (2019)	Relatório operacional da companhia	Coletado
Vazão na elevatória EET – 02	01/01 a 30/09 (2020)		
Vazão na elevatória EET – 01	01/01 a 31/05 (2021)	Planilha eletrônica fornecida pela companhia	Coletado
Vazão na elevatória EET – 02			
Vazão na elevatória EEB – 01	01/01 a 31/01 (2019) 01/03 a 31/07 (2019) 01/11 a 31/12 (2019) 01/01 a 31/01 (2020) 01/03 a 31/03 (2020) 01/06 a 30/08 (2020) 01/10 a 21/10 (2020)	Planilha eletrônica fornecida pela companhia	Coletado
	01/01 a 28/02 (2021)	Relatório operacional da companhia	Coletado
Tempo diário de funcionamento da EET - 01	01/01 a 31/12 (2019)	Relatório operacional da companhia	Coletado
Tempo diário de funcionamento da EET - 02	01/01 a 30/09 (2020)		
Tempo diário de funcionamento da EEB - 01	01/01 a 28/02 (2021)	Relatório operacional da companhia	Coletado
Dados de energia EEB – 01	CMB – 01 12/02 a 19/02 (2021) CMB – 02 27/01 a 03/02 (2021)	Analizador de Energia marca Fluke, modelo 434II	Coletado
Dados de energia EET – 01	17/03 a 24/03 (2021)	Analizador de Energia marca Fluke, modelo 434II	Coletado
Dado de energia EET – 02	CMB – 01 01/03 a 08/03 (2021) CMB – 02 12/03 a 17/03 (2021)	Analizador de Energia marca Fluke, modelo 434II	Coletado
FP	-	Dados do analisador de energia, relatório operacional da companhia	Calculado

Quadro 8 – Procedimento, período de aquisição e fonte dos dados utilizados para diagnóstico hidroenergético

(conclusão)

DADO	PERÍODO DE AQUISIÇÃO	FONTE	PROCEDIMENTO DE AQUISIÇÃO
Consumo de energia elétrica de cada unidade consumidora	-	Analisador de Energia marca Fluke, modelo 434II	Estimado a partir da observação dos resultados do analisador de energia
Indicadores de desempenho hidroenergético	-	Relatório operacional da companhia; Analisador de Energia	Calculado
Dados construtivos	-	Retirado do croqui fornecido pela companhia de saneamento e também observado na visita <i>in loco</i>	Coletado/Observado
Diagrama hidráulico simplificado	-	Fornecido pela companhia de saneamento	Coletado

Fonte – Autoria própria

Na Figura 15 está apresentado o analisador de energia da marca Fluke, modelo 434II, que foi instalado nas elevatórias de água bruta e tratada estudadas nesta pesquisa e a Figura 16 mostra o equipamento instado em um dos painéis elétricos da Elevatória de Água Bruta EEB - 01.

Figura 15 - Analisador de energia da marca Fluke



Fonte - Autoria própria

Figura 16 - Instalação do analisador de energia no painel elétrico



Fonte - Autoria própria

A coleta dos dados de energia com o analisador foi iniciada em janeiro de 2021 e concluída em março de 2021. Destaca-se que o conjunto motobomba reserva da EET-01 foi o único que não foi avaliado.

A partir dos dados de energia, com a finalidade de examinar o funcionamento dos motores, avaliaram-se os fatores de Potência (FP) dos conjuntos motobomba. O FP é um índice que relaciona a potência ativa e a potência reativa de um equipamento e reflete a eficiência das instalações, calculado conforme equação (11).

$$FP = \frac{PA}{Pap} = \cos\left(\arctan \frac{Preat}{PA}\right) \quad (11)$$

Onde:

FP: Fator de Potência;

PA: Potência Ativa, em kW;

Pap: Potência Aparente, em kVA;

Preat: Potência Reativa, kvar.

Quanto ao monitoramento dos dados hidráulicos das instalações, o volume bombeado foi obtido junto aos relatórios operacionais fornecidos pela companhia, cujos dados de volume são provenientes de equipamentos macromedidores da marca

Conault Krohne, modelo IFC 010 D. Nas Figura 17 e Figura 18 estão apresentados os macromedidores da EET – 01 e EET – 02, respectivamente.

Figura 17 - Macromedidor na EET – 01 da marca Conault Krohne, modelo IFC 010 D



Fonte - Autoria própria

Figura 18 - Macromedidor na EET – 02 da marca Conault Krohne, modelo IFC 010 D



Fonte - Autoria própria

Além dos dados de volume, os relatórios apresentam informações sobre o número de horas que as elevatórias operaram. Essa informação é proveniente dos equipamentos totalizadores de horas da marca Coel, modelo DH, conforme Figura 19 e Figura 20. Cabe destacar que cada conjunto motobomba possui um equipamento totalizador de hora próprio.

Figura 19 - Totalizador de horas da marca Coel, modelo DH do CMB – 01 da EEB



Fonte - Autoria própria

Figura 20 - Totalizador de horas da marca Coel, modelo DH do CMB – 02 da EEB



Fonte - Autoria própria

Após finalizada a coleta dos dados, a etapa de avaliação das informações foi iniciada. A metodologia de diagnóstico da pesquisa é baseada no uso de indicadores desempenho (ID), estabelecidos com base em revisão de literatura considerando, principalmente, as pesquisas desenvolvidas por Alegre *et al.* (2004), utilizados por Kuritza (2017), conforme elencado no Quadro 9.

Quadro 9 - Indicadores de desempenho propostos Alegre *et al.* (2004) e utilizados por Kuritza (2017)

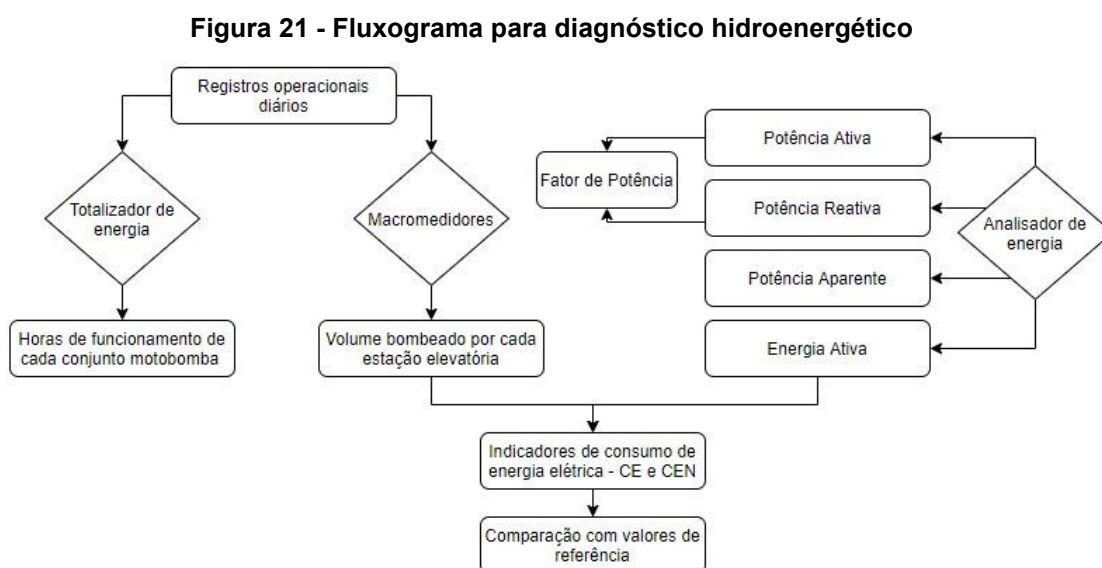
Indicador	Informações envolvidas	Unidade
Vazão bombeada	***AG006: Volume de água mensal produzido	m ³ /mês
Consumo de energia	***AG028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água	kWh/mês
*Consumo de energia específico	***AG006: Volume de água produzido AG018: Volume de água tratada importado ***AG028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água	kWh/m ³
*Consumo de energia específico normalizado	***AG028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água	kWh/m ³ /100m

*Indicadores de desempenho propostos por Alegre *et al.* (2004)

Desse modo, a partir dos dados de volume de cada conjunto motobomba e, também, dos dados do analisador de energia, efetuou-se o diagnóstico hidroenergético através dos indicadores de desempenho CEN e CE, por meio das equações (9) e (10), apresentadas no item 3.4.1.

Além das pesquisas supracitadas, aplicou-se, também, a metodologia de diagnóstico hidroenergético desenvolvida através do Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA). No estudo apontam-se valores de desempenho de referência para avaliação dos motores de acordo com a potência elétrica instalada. Os valores foram mostrados no Quadro 1, apresentado no item 3.4.1.

Na Figura 21 estão demonstrados, resumidamente, as etapas para o diagnóstico hidroenergético.



Fonte - Autoria própria

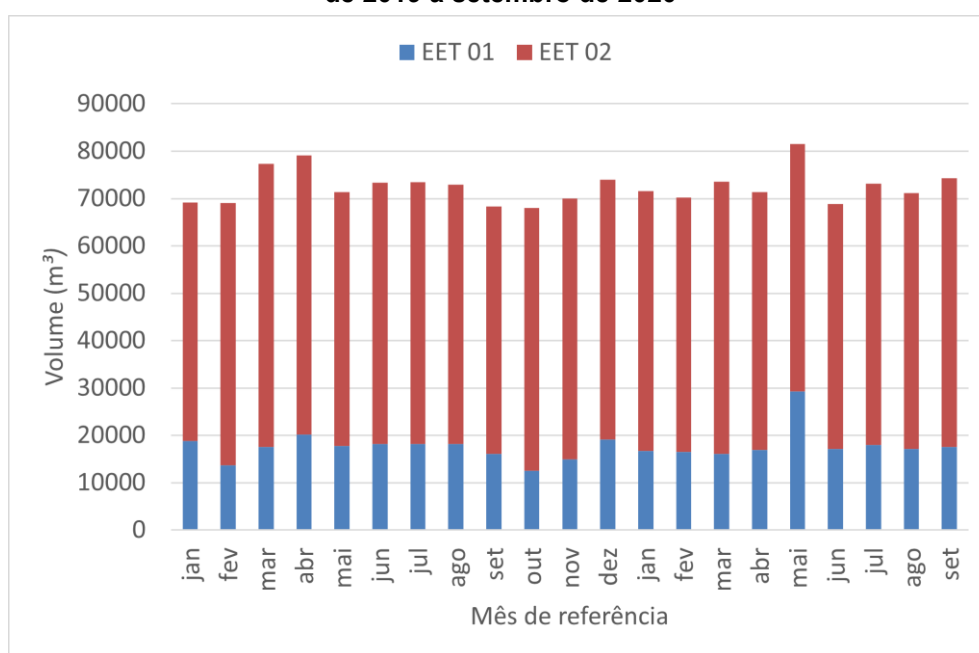
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo contempla os resultados obtidos pela aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa. São detalhados a produção de água e os diagnósticos hidroenergéticos do subsistema por captação superficial.

5.1 PRODUÇÃO DE ÁGUA NO SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL

Conforme explanado nos itens anteriores, no subsistema em estudo, a água bruta aduzida pela EEB e tratada pela ETA é distribuída para a população a partir de suas elevatórias denominadas EET-01 e EET-02. Desse modo, a Figura 22 apresenta a distribuição do volume de água tratado pela ETA entre as elevatórias no período de janeiro de 2019 a setembro de 2020.

Figura 22 - Volume bombeado pelas elevatórias de água tratada, EET - 01 e EET - 02, de janeiro de 2019 a setembro de 2020



Fonte – Companhia de Saneamento (2019;2020)

Observa-se que a EET - 02 foi responsável pelo bombeamento, em média, de aproximadamente 75,7% do volume de água produzido pela ETA.

Aspectos climáticos como precipitação e umidade relativa afetam diretamente o consumo de água (TSUTIYA, 2006). Avaliando séries climáticas históricas do

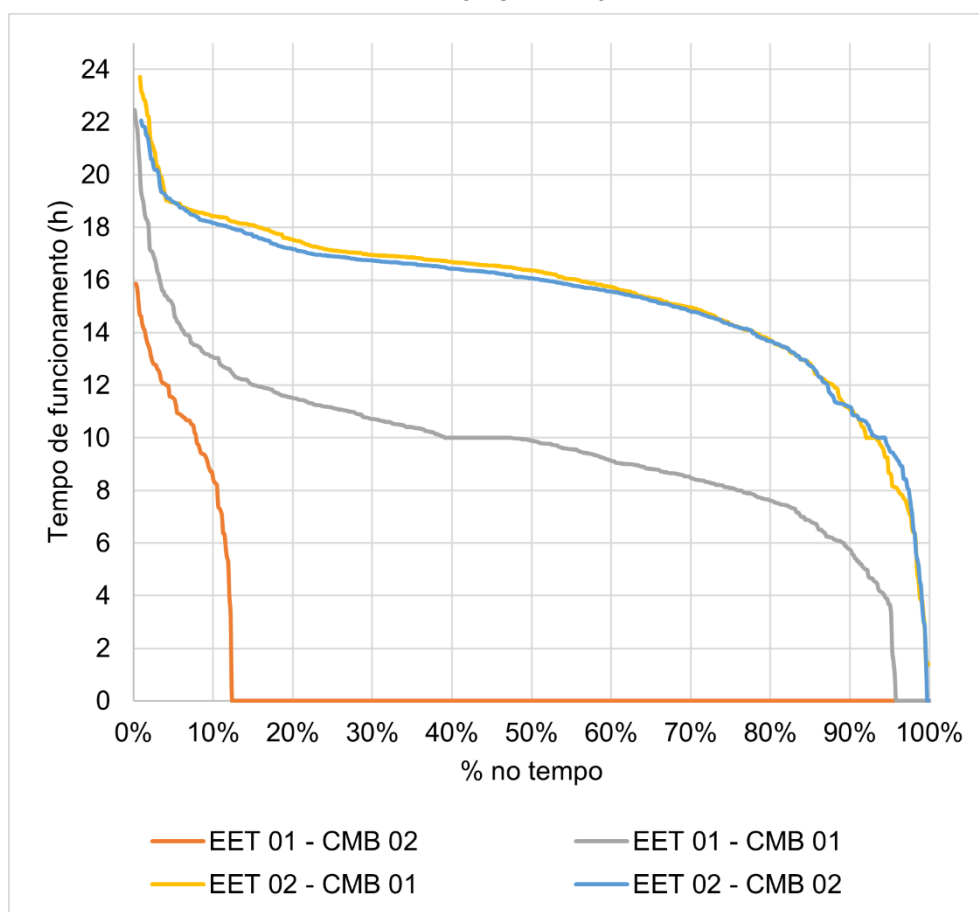
município, os meses que apresentam as menores umidades relativa do ar e os menores volumes de precipitações são abril, maio, julho e agosto.

Nesse sentido, notamos a tendência de que os maiores volumes distribuídos pelo subsistema sejam nesses meses. Do período avaliado, percebe-se que o mês de maior consumo foi o mês de maio de 2020 seguido pelo mês de abril de 2019.

Da análise nota-se também a concentração de menor consumo de água na estação com maior volume de precipitações, ou seja, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

A Figura 23 mostra a curva de permanência no tempo para as horas de funcionamento dos conjuntos motobomba pertencentes à EET- 01 e EET – 02 para o período analisado.

Figura 23 - Curva de permanência no tempo para as horas de funcionamento dos conjuntos da EET – 01 e EET - 02



Fonte – Companhia de Saneamento (2019;2020;2021)

Dos registros operacionais da companhia, identifica-se que em 50% do tempo (mediana) o CMB – 01 da EET – 01, CMB – 02 da EET – 01, CMB – 01 da EET – 02

e CMB – 02 da EET – 02 operaram por cerca de 10 horas/dia, 0 horas/dia, 16 horas/dia e 16 horas/dia, respectivamente.

5.2 DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO

Nesta pesquisa, a avaliação dos dados de energia elétrica dos equipamentos foi realizada mediante a instalação *in loco* de um analisador de energia e, também, da avaliação das faturas de energia elétrica da unidade consumidora. Os dados de produção de água foram obtidos junto aos relatórios operacionais da companhia de saneamento. O diagnóstico foi finalizado utilizando-se indicadores de desempenho.

5.2.1 Estação Elevatória de Água Bruta (EEB-01)

A adução da água bruta do subsistema operado junto à ETA é efetuada por dois conjuntos de elevatórias que fazem parte da Estação Elevatória de Água Bruta, EEB-01. Neste item serão descritos os resultados obtidos para os conjuntos motobomba pertencentes à EEB – 01, detalhando os registros médios diários de operação, os dados do monitoramento dos parâmetros elétricos e, por fim, os índices de desempenho calculados para cada conjunto.

5.2.1.1 Registros médios diários de operação

O Quadro 10 apresenta o volume médio mensal dos conjuntos motobomba pertencentes à EEB – 01. A análise conta com dados referentes a 16 meses entre os anos de 2019 e 2021, totalizando 505 dias examinados.

Quadro 10 - Volume médio mensal aduzido pelos conjuntos CMB – 01 e CMB – 02 da EEB – 01

Mês de referência	Volume médio diário - CMB 01 (m ³ /dia)	Volume médio diário - CMB 02 (m ³ /dia)
jan/19	1216,8	1161,1
mar/19	1368,7	1317,2
abr/19	1456,7	1320,3
mai/19	1316,7	1228,1
jun/19	1337,5	1314,9
jul/19	1320,6	1266,6
nov/19	1298,0	1266,9
dez/19	1361,6	1321,3
jan/20	1280,3	1250,8
mar/20	1282,1	1265,1
mai/20	1453,7	1395,1
jun/20	1277,9	1250,0
jul/20	1301,0	1277,5
ago/20	1362,5	1346,5
out/20	1342,0	1323,8
jan/21	1470,6	1425,2
fev/21	1514,5	1416,5
Média	1350,7	1302,8
Desvio padrão	80,7	68,7

Fonte – Companhia de Saneamento (2019;2020;2021)

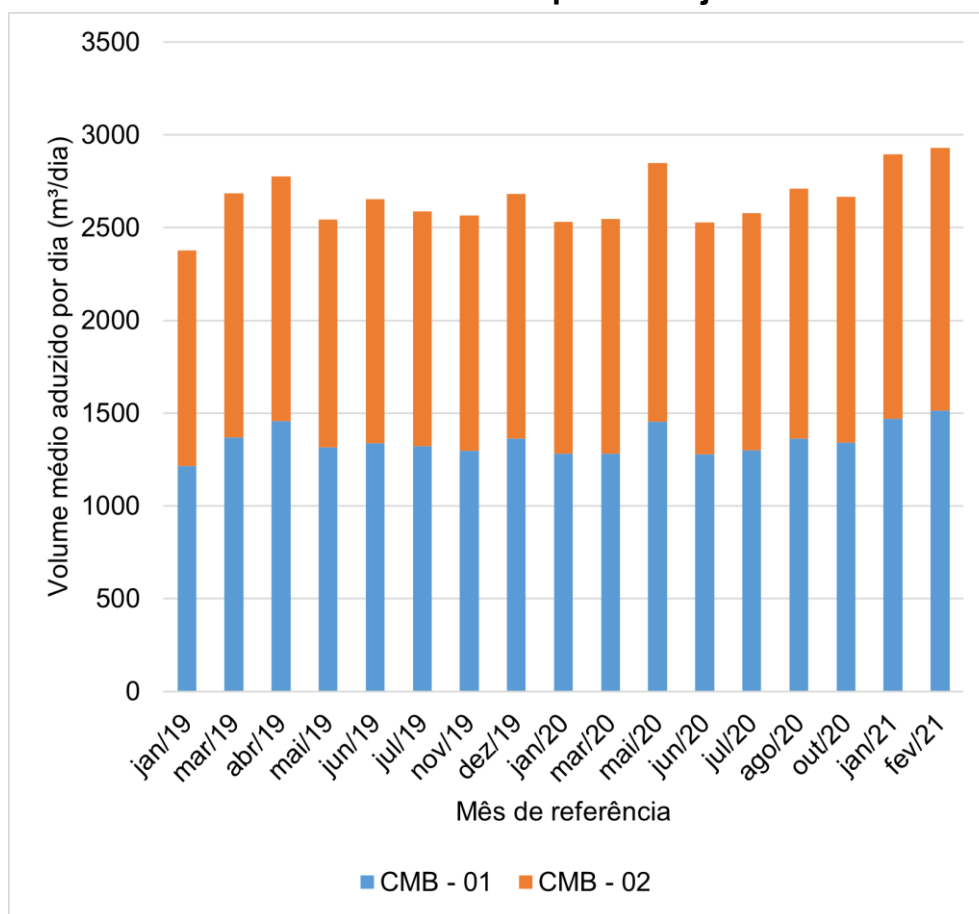
Dos resultados, observa-se que, para o CMB – 01, a média foi de 1350,7 com menor valor em janeiro de 2019, 1216,8 m³ aduzidos por dia. e a maior em fevereiro de 2021, 1514,5 m³.

Para o CMB – 02, a média foi de 1302,8 com menor valor em janeiro de 2019, 1161,1 m³ bombeados por dia. e maior valor em janeiro de 2021, 1425,2 m³.

Destaca-se, também, o desvio padrão de 80,7 m³, que representa 6,0 % do valor médio para a CMB-01 e 68,7 m³, 5,3% da média para o CMB-02.

A Figura 24 apresenta o volume médio mensal bombeado pelos conjuntos 01 e 02 da EEB – 01.

Figura 24 - Volume médio mensal bombeado pelos conjuntos 01 e 02 da EEB – 01

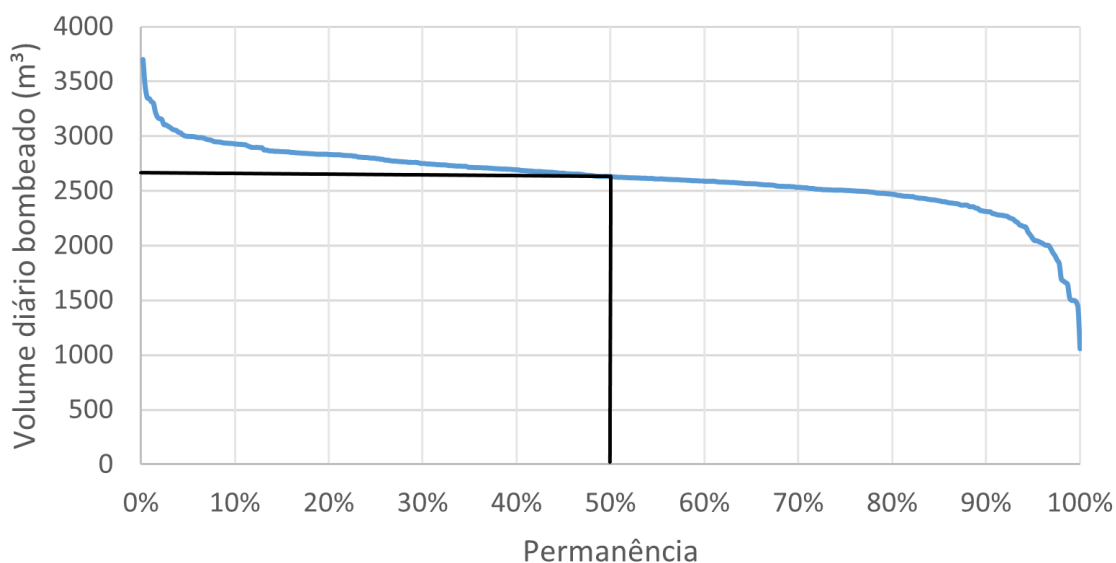


Fonte – Companhia de Saneamento (2019;2020;2021)

Na Figura 24, verifica-se que o CMB – 01 e o CMB - 02 possuem um comportamento muito semelhante quanto ao volume diário bombeado. Destaca-se que o CMB – 01 é responsável, em média, por, aproximadamente, 51% do volume aduzido pela EEB - 01.

A Figura 25 expõe a curva de permanência no tempo para os volumes diários bombeados pela EEB – 01 para o período analisado.

Figura 25 - Curva de permanência diária para a EEB – 01



Fonte – Companhia de Saneamento (2019;2020;2021)

Na Figura 25, identifica-se que o volume aduzido em 50% do tempo (mediana) foi 2653 m³, assinalado pela linha contínua. Verifica-se, ainda, que em 100% dos dias o volume bombeado foi superior a 1055 m³. Cabe destacar que, em 90% do tempo, a adução efetuada pela EEB – 01 foi superior a 2313 m³, valor 13% menor que a mediana e que, em 10% do tempo, foi superior a 2989 m³, 12% acima da mediana, ou seja, houve pouca variação no volume de água bruta aduzido pela EEB.

Conforme mencionado anteriormente, inicialmente a EEB – 01 operava em regime 1+1, ou seja, com um conjunto motobomba reserva. No entanto, devido ao aumento de demanda, foi necessário modificar o regime de operação acionando os conjuntos simultaneamente. Cabe ressaltar, ainda que o CMB – 02 opera com uma válvula de estrangulamento para controle de vazão.

Nos Quadro 11 e Quadro 12 estão elencados os dados médios de operação do CMB – 01 e CMB – 02, como volume bombeado, tempo de funcionamento e vazão média diária. Os registros se referem ao mês de janeiro e de fevereiro de 2021 e foram obtidos dos boletins de controle operacional da companhia.

Quadro 11 – Dados médios de operação do CMB – 01 e do CMB – 02 no mês de janeiro de 2021

Dia de referência	CMB - 01			CMB - 02		
	Tempo de funcionamento (h)	Volume (m ³)	Vazão (m ³ /h)	Tempo de funcionamento (h)	Volume (m ³)	Vazão (m ³ /h)
01/01/2021	21,1	1636,0	77,6	17,0	1591,0	93,5
02/01/2021	18,4	1400,0	76,3	18,4	1373,0	74,8
03/01/2021	-	-	-	-	-	-
04/01/2021	19,0	1530,0	80,5	19,0	1487,0	78,3
05/01/2021	21,7	1685,0	77,8	21,7	1649,0	76,1
06/01/2021	17,7	1448,0	81,8	19,0	1413,0	74,3
07/01/2021	20,8	1549,0	74,5	20,8	1520,0	73,1
08/01/2021	20,2	1565,0	77,4	20,2	1522,0	75,2
09/01/2021	19,1	1500,0	78,4	19,0	1460,0	76,8
10/01/2021	16,7	1412,0	84,6	18,9	1380,0	73,0
11/01/2021	19,1	1472,0	76,9	19,1	1440,0	75,3
12/01/2021	22,5	1723,0	76,6	22,9	1679,0	73,2
13/01/2021	21,8	1590,0	72,9	21,8	1557,0	71,4
14/01/2021	21,6	1578,0	73,1	21,6	1538,0	71,3
15/01/2021	22,1	1712,0	77,4	22,1	1691,0	76,5
16/01/2021	18,3	1543,0	84,5	20,8	1476,0	71,0
17/01/2021	9,1	1015,0	111,7	15,1	972,0	64,3
18/01/2021	16,0	1166,0	73,1	16,0	1145,0	71,5
19/01/2021	17,8	1626,0	91,2	23,0	1573,0	68,5
20/01/2021	14,2	1359,0	95,4	20,0	1326,0	66,3
21/01/2021	22,8	1599,0	70,3	23,8	1595,0	67,1
22/01/2021	20,1	1586,0	79,1	21,9	1559,0	71,2
23/01/2021	25,6	1951,0	76,2	26,8	1879,0	70,1
24/01/2021	-	-	-	-	-	-
25/01/2021	-	-	-	-	-	-
26/01/2021	9,6	738,0	76,7	10,1	679,0	67,2
27/01/2021	-	-	-	-	-	-
28/01/2021	18,1	1430,0	79,1	19,4	1328,0	68,3
29/01/2021	20,4	1485,0	72,8	20,4	1387,0	68,0
30/01/2021	17,4	1173,0	67,3	17,4	1093,0	62,7
31/01/2021	17,3	1235,0	71,6	17,3	1168,0	67,7

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

Quadro 12 - Dados médios de operação do CMB – 01 e do CMB – 02 no mês de fevereiro de 2021

Dia de referência	CMB - 01			CMB - 02		
	Tempo de funcionamento (h)	Volume (m ³)	Vazão (m ³ /h)	Tempo de funcionamento (h)	Volume (m ³)	Vazão (m ³ /h)
01/02/2021	17,7	1367,0	77,1	17,7	1260,0	71,2
02/02/2021	21,6	1631,0	75,5	22,3	1548,0	69,4
03/02/2021	19,7	1341,0	68,2	19,5	1203,0	61,8
04/02/2021	22,8	1373,0	60,2	21,4	1038,0	48,5
05/02/2021	19,6	1467,0	75,0	20,1	1395,0	69,3
06/02/2021	19,2	1442,0	75,0	19,2	1366,0	71,1
07/02/2021	20,0	1505,0	75,4	19,9	1409,0	70,7
08/02/2021	19,7	1501,0	76,1	19,7	1415,0	71,8
09/02/2021	19,3	1471,0	76,4	19,2	1394,0	72,6
10/02/2021	18,9	1453,0	76,7	19,5	1366,0	70,2
11/02/2021	18,6	1458,0	78,3	19,3	1372,0	71,2
12/02/2021	18,3	1438,0	78,8	24,8	1353,0	54,6
13/02/2021	17,8	1359,0	76,3	11,5	1286,0	112,2
14/02/2021	14,0	1261,0	90,3	16,9	1189,0	70,2
15/02/2021	19,1	1492,0	78,0	19,1	1423,0	74,4
16/02/2021	23,5	1744,0	74,2	23,5	1647,0	70,1
17/02/2021	22,2	1655,0	74,4	22,2	1570,0	70,7
18/02/2021	22,7	1696,0	74,7	22,7	1581,0	69,7
19/02/2021	23,2	1838,0	79,1	23,8	1725,0	72,6
20/02/2021	22,3	1707,0	76,5	22,3	1609,0	72,2
21/02/2021	17,5	1304,0	74,4	16,5	1227,0	74,3
22/02/2021	19,2	1534,0	79,9	19,2	1442,0	75,1
23/02/2021	19,8	1590,0	80,2	19,8	1505,0	76,0
24/02/2021	19,6	1556,0	79,4	19,7	1471,0	74,8
25/02/2021	21,4	1552,0	72,5	21,4	1466,0	68,5
26/02/2021	21,2	1696,0	80,0	21,2	1604,0	75,7
27/02/2021	18,8	1485,0	79,2	18,7	1385,0	74,0
28/02/2021	19,0	1489,0	78,4	19,0	1412,0	74,4

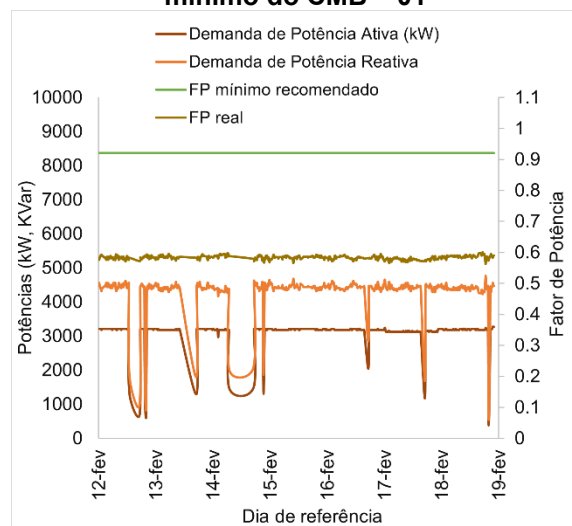
Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

Conforme os parâmetros monitorados, nota-se que o CMB – 01 permaneceu acionado, em média, 19h diárias e que o CMB -02 operou, em média, 20h diárias. Dos resultados, as vazões em média, apontada para o CMB -01 e para o CMB -02 foram, respectivamente, 77,7 m³/h e 71,9 m³/h.

5.2.1.2 Dados instantâneos de energia

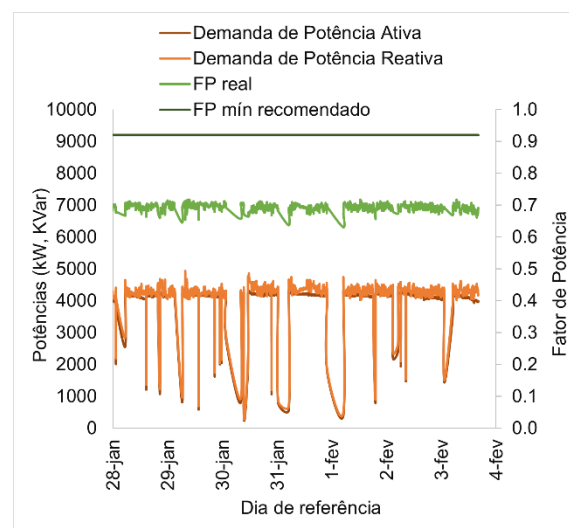
As Figura 26 e Figura 27 mostram, respectivamente, a curva de demanda de potência ativa, reativa e os fatores de potência real e mínimo do CMB – 01 e do CMB – 02 da EEB – 01. Na Figura 26 o período analisado foi entre 12 de fevereiro e 19 de fevereiro de 2021. Já na Figura 27, o período examinado foi entre 28 de janeiro e 4 de fevereiro de 2021. Ressalta-se que as figuras apresentam os valores de potência e fator de potência apenas para os instantes em que os conjuntos motobomba estavam ligados.

Figura 26 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e mínimo do CMB – 01



Fonte - Autoria própria

Figura 27 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e mínimo do CMB – 02



Fonte - Autoria própria

Observa-se na Figura 26 que, em todo período monitorado, o FP do CMB – 01 manteve-se abaixo do mínimo recomendado. O motor apresentou, durante as medições, em média, FP de 0,593. Destaca-se que os valores mais baixos do índice ocorrem em períodos de menor demanda ativa. No período avaliado, o mínimo apresentado para o FP foi 0,562, quando a potência ativa foi de 3240 W.

Na análise constatou-se, ainda, que, a potência ativa média diária demandada pelo motor variou de 3066,3 W a 3193,4 W, com valor médio de 3134,7 W \pm 41,0. O motor pertencente ao CMB – 01 possui 7,5 CV, dessa forma, percebe-se que o CMB-01 operou com, aproximadamente, 57% de sua potência nominal.

Do mesmo modo, na Figura 27, identifica-se que, em todo período inspecionado, o FP do CMB – 02 manteve-se abaixo do mínimo recomendado.

Conforme o monitoramento realizado, o motor apresentou, durante as medições, FP 0,694. Destaca-se que os valores mais baixos do índice ocorrem em períodos de menor demanda ativa. No período avaliado, o mínimo apresentado para o FP foi 0,631, quando a potência ativa atingiu 390 W.

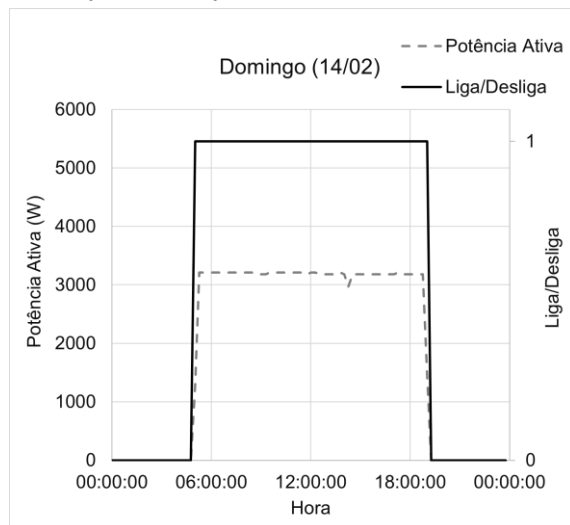
Dos registros operacionais verificou-se, também, que a potência ativa média diária demandada pelo motor variou de 4112 W a 4186,7 W, com valor médio de 4154,9 W \pm 27,8. O motor pertencente ao CMB – 02 possui 10 CV, nesse sentido, percebe-se que o equipamento operou com, aproximadamente, 56% da potência nominal.

Ainda, analisaram-se o consumo de energia diário dos CMB – 01 e CMB - 02, sendo, em média, respectivamente de 63,0 kWh \pm 12,0 e de 78,1 kWh \pm 9,1. Ressalta-se que o CMB – 02 opera com um motor de maior potência mecânica do que o CMB-01, o que acarreta uma demanda maior de potência ativa. Isso explica o maior consumo de energia elétrica mesmo em dias em que o funcionamento do CMB – 02 foi de menos horas que o CMB – 01.

No sentido de entender a relevância desse acréscimo de consumo de energia, os valores dos resultados diários encontrados foram extrapolados para consumo anual, e assim, percebeu-se que a diferença poderia representar, em média, aproximadamente, 5528.53 kWh por ano, o que equivaleria a, aproximadamente, 24% do consumo de energia anual do CMB – 01.

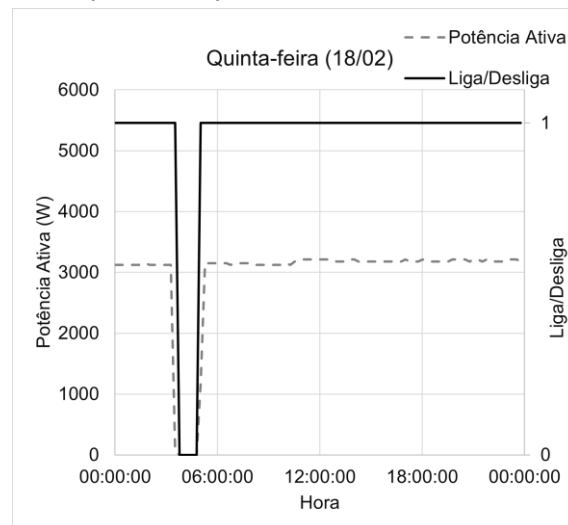
Na Figura 28, Figura 29, Figura 30 e Figura 31 estão apresentados os registros de potência ativa e acionamento dos equipamentos em dois dias de monitoramento dos conjuntos pertencentes à EEB -01.

Figura 28 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 14 de fevereiro



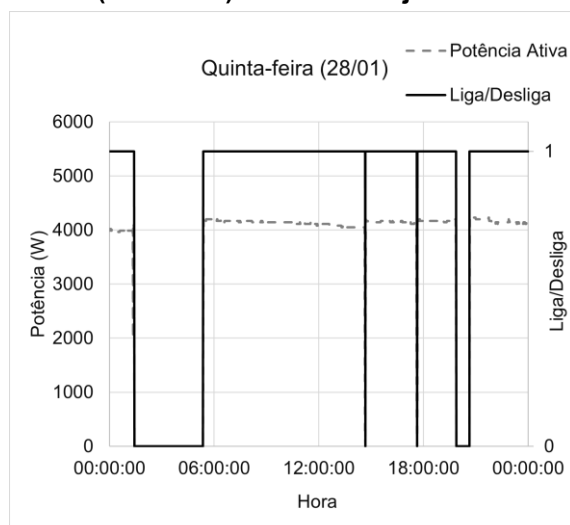
Fonte - Autoria própria

Figura 29 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 18 de fevereiro



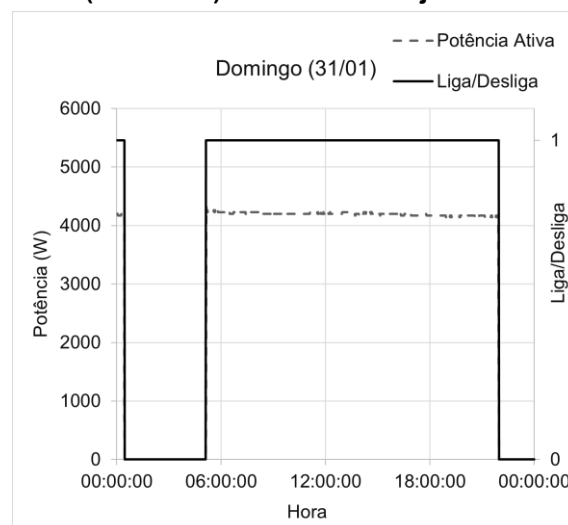
Fonte - Autoria própria

Figura 30 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 02) no dia 28 de janeiro



Fonte - Autoria própria

Figura 31 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 02) nos dias 31 de janeiro



Fonte - Autoria própria

5.2.1.3 Indicadores de desempenho

Nos Quadro 13 e Quadro 14 estão apresentados os valores dos indicadores de consumo de energia (CE) e consumo de energia normalizado (CEN) correspondentes aos CMB – 01 e CMB - 02 da EEB – 01, respectivamente.

No Quadro 13 podem ser visualizados os dados de 12 de fevereiro a 19 de fevereiro de 2021 referentes ao CMB – 01.

Quadro 13 - Indicadores hidroenergéticos do CMB 01 da EEB - 01

Dia de referência	Volume (m ³)	Energia Ativa (kWh)	CE médio (kWh/m ³)	CEN médio (kWh/m ³ /100m)
13/fev/21	1359,000	55,293	0,041 ± 0,003	0,970 ± 0,071
14/fev/21	1261,000	44,633		
15/fev/21	1492,000	59,573		
16/fev/21	1744,000	76,603		
17/fev/21	1655,000	70,843		
18/fev/21	1696,000	70,841		

Fonte - Autoria própria

No Quadro 13 estão expostos os dados de 28 de janeiro a 03 de fevereiro de 2021 relacionados ao CMB – 02.

Quadro 14 - Indicadores hidroenergéticos do CMB 02 da EEB - 01

Dia de referência	Volume	Energia ativa (kWh)	CE (kWh/m ³)	CEN (kWh/m ³ /100m)
28/01/21	1328,000	79,206	0,060 ± 0,001	1,435 ± 0,035
29/01/21	1387,000	85,947		
30/01/21	1093,000	65,266		
31/01/21	1168,000	72,503		
01/02/21	1260,000	75,551		
02/02/21	1548,000	90,193		

Fonte - Autoria própria

Os valores de referência do indicador hidroenergético CEN utilizados na pesquisa foram recomendados pela Norma Oficial Mexicana NOM-006- ENER-2015, pois discretiza os valores conforme o tipo do motor e a potência instalada, apresentado no Quadro 1. Para motores de até 16 kW o valor apontado é 0,426 kWh/m³/100m. Assim, das avaliações observa-se que o indicador apresentou valor insatisfatório para os conjuntos pertencentes à EEB – 01.

Cabe destacar que, não houve armazenamento dos dados do macromedidor do CMB – 02 da EEB - 01 no dia 27 de janeiro de 2021 e, assim, para análise dos indicadores do conjunto motobomba, esse dia foi desconsiderado.

5.2.2 Estação Elevatória de Água Tratada (EET-01)

A EET - 01 opera com um conjunto motobomba e um conjunto reserva. Neste item, serão descritos os resultados obtidos para o conjunto que estava em operação, detalhando os registros médios diários de operação, os dados do monitoramento dos parâmetros elétricos e, por fim, os indicadores de desempenho calculados para o conjunto.

5.2.2.1 Registros médios diários de operação

O Quadro 15 apresenta os dados de volume médio mensal da EET-01. A análise conta com dados referentes a 28 meses entre os anos de 2019 e 2021, totalizando 790 dias examinados.

Quadro 15 - Volume médio mensal aduzido pela EET - 01

Mês de referência	Volume médio diário (m³/dia)	Mês de referência	Volume médio diário (m³/dia)
jan/19	607,7	mar/20	518,9
fev/19	487,0	abr/20	563,2
mar/19	566,6	mai/20	943,6
abr/19	672,1	jun/20	572,9
mai/19	573,5	jul/20	579,6
jun/19	604,6	ago/20	553,1
jul/19	586,9	set/20	584,9
ago/19	586,4	out/20	573,6
set/19	535,9	nov/20	707,1
out/19	405,6	jan/21	805,8
nov/19	498,0	fev/21	742,6
dez/19	615,4	mar/21	865,3
jan/20	539,2	abr/21	883,7
fev/20	571,0	mai/21	852,5
Média	628,5		
Desvio padrão	132,5		

Fonte – Companhia de Saneamento (2019; 2020)

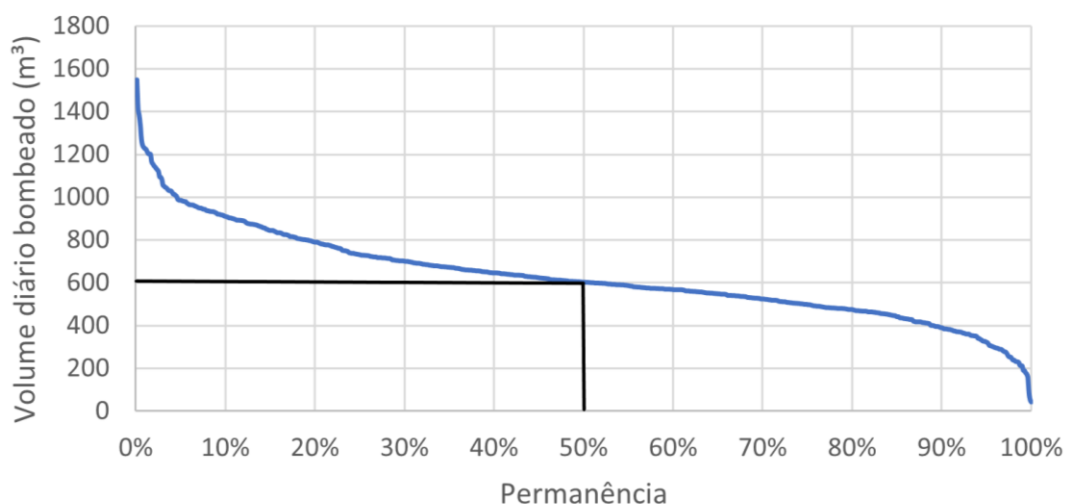
Dos resultados observa-se que a média foi de 628,5 com menor valor em outubro de 2019, 405,6 m³ aduzidos por dia, e a maior em maio de 2020, 943,6 m³.

Destaca-se, também, o desvio padrão de 132,5 m³, que representa 21,1 % do valor médio.

Durante o período monitorado, notou-se, ainda, que em julho, agosto, setembro e novembro de 2020, os conjuntos foram acionados simultaneamente, alterando o regime operacional da estação elevatória. No entanto, na maior parte do tempo, a operação se deu em regime 1+1.

A Figura 32 expõe a curva de permanência do volume diário bombeado pela EET – 01 para o período analisado.

Figura 32 - Curva de permanência do volume diário diária para a EET – 01



Fonte – Companhia de Saneamento (2019;2020;2021)

Na Figura 32, observa-se que o volume aduzido em 50% do tempo (mediana) foi 602 m³, assinalado na pela linha contínua. Verifica-se, ainda, que em 90% do tempo o volume diário bombeado pela EET – 01 foi superior a 389 m³, valor 35% menor que a mediana e que, em 10% do tempo, foi superior a 910 m³, 51% acima da mediana, ou seja, houve bastante variação no volume de água aduzido pela EET.

No Quadro 16 estão elencados os dados médios de operação do CMB – 01, como volume bombeado, tempo de funcionamento e vazão média diária. Os registros se referem ao mês de março de 2021 e foram obtidos dos boletins de controle operacional da companhia.

Quadro 16 - Dados médios de operação do CMB – 01 pertencente à EET – 01 no mês de março de 2021

Dia de referência	Tempo de funcionamento (h)	Volume (m³)	Vazão (m³/h)
01/03/2021	16,5	892,0	54,1
02/03/2021	18,4	962,0	52,2
03/03/2021	16,6	812,0	48,9
04/03/2021	10,1	547,0	54,0
05/03/2021	8,7	415,0	47,9
06/03/2021	15,2	765,0	50,3
07/03/2021	13,8	767,0	55,5
08/03/2021	14,5	782,0	54,0
09/03/2021	20,6	1147,0	55,6
10/03/2021	16,6	861,0	52,0
11/03/2021	19,8	1056,0	53,3
12/03/2021	16,3	796,0	48,8
13/03/2021	18,4	969,0	52,6
14/03/2021	17,9	931,0	52,0
15/03/2021	17,5	850,0	48,7
16/03/2021	20,3	1031,0	50,8
17/03/2021	18,5	895,0	48,5
18/03/2021	17,1	903,0	52,7
19/03/2021	13,8	699,0	50,7
20/03/2021	16,2	833,0	51,4
21/03/2021	13,5	706,0	52,1
22/03/2021	16,7	801,0	48,1
23/03/2021	21,5	1141,0	53,0
24/03/2021	17,2	936,0	54,3
25/03/2021	16,9	936,0	55,5
26/03/2021	19,0	979,0	51,5
27/03/2021	17,4	873,0	50,1
28/03/2021	14,8	792,0	53,4
29/03/2021	17,0	833,0	49,0
30/03/2021	16,9	951,0	56,4
31/03/2021	18,3	963,0	52,8

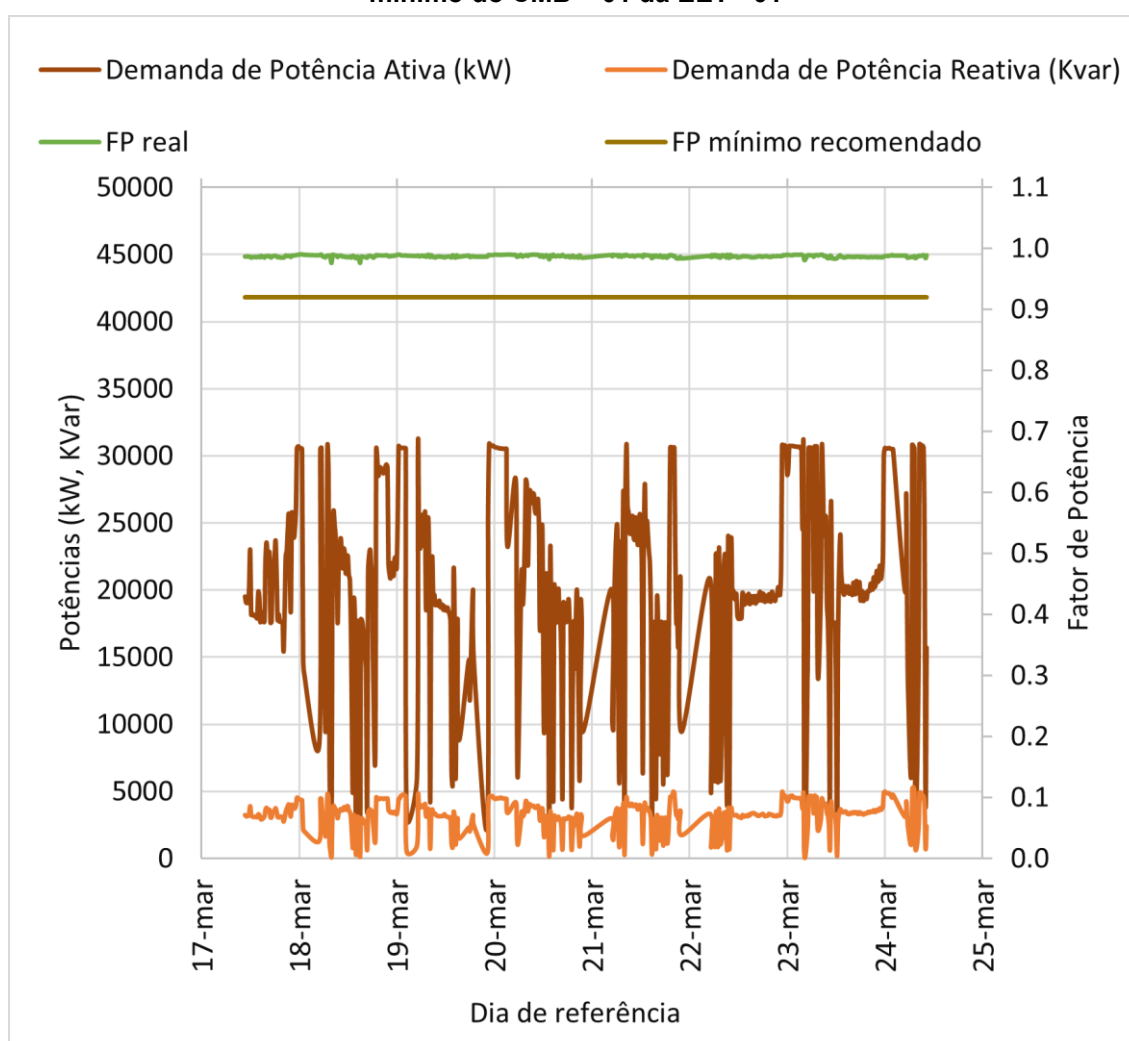
Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

Da análise do quadro, nota-se que o CMB – 01 permaneceu acionado, em média, por aproximadamente 17h. Aponta-se, também, que para os dias de referência a vazão do CMB – 01 foi, em média, $51,9 \text{ m}^3/\text{h} \pm 2,4$.

5.2.2.2 Dados instantâneos de energia

A Figura 33 mostra a curva de demanda de potência ativa, reativa e os fatores de potência real e mínimo do CMB – 01 da EET– 01. O período analisado foi entre 17 de março e 24 de março de 2021. Ressalta-se que as figuras apresentam os valores de potência e fator de potência apenas para os instantes em que o conjunto motobomba estava ligado.

Figura 33 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e mínimo do CMB – 01 da EET - 01



Fonte - Autoria própria

Observa-se que, em todo período monitorado, o FP do CMB – 01 manteve-se acima do mínimo recomendado. O motor apresentou, durante as medições, em média, FP de 0,987. Destaca-se que os valores mais baixos do índice ocorrem em períodos

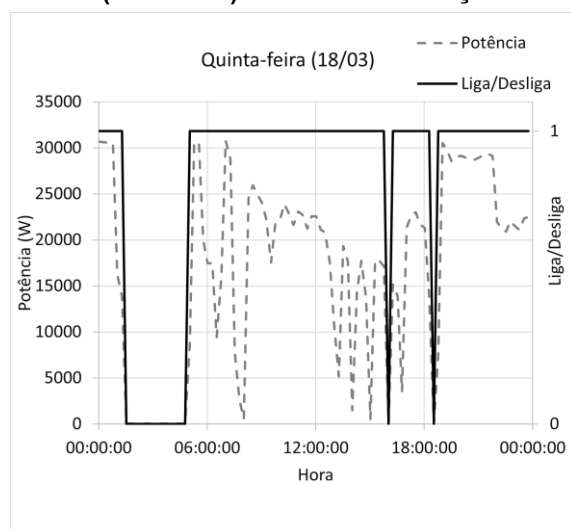
de menor demanda ativa. No período avaliado, o mínimo apresentado para o FP foi 0,976, quando a potência ativa foi de 540 W.

Na análise constatou-se, ainda, que a potência ativa média diária demandada pelo motor variou de 18832,6 W a 22460,1 W, com consumo médio de 20387,6 W \pm 1266,1.

O motor pertencente ao CMB – 01 possui 50 CV, dessa forma, percebe-se que o equipamento operou com, aproximadamente, 55% da potência nominal.

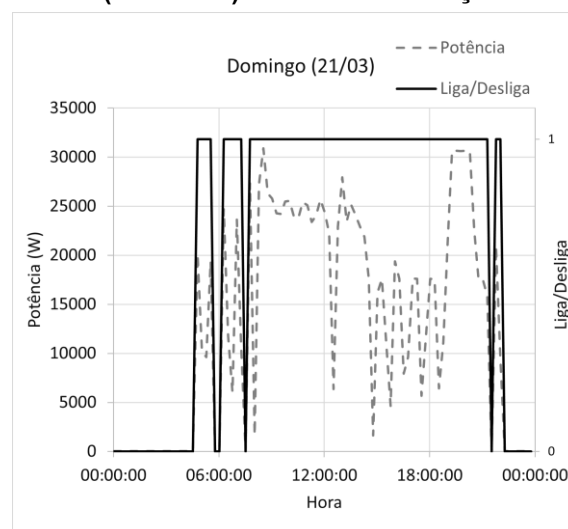
Nas Figura 34 e Figura 35 estão apresentados os registros de potência ativa e acionamento da bomba em dois dias de monitoramento.

Figura 34 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 18 de março



Fonte - Autoria própria

Figura 35 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB – 01) no dia 21 de março



Fonte - Autoria própria

Os períodos de acionamento do CMB (liga/desliga), representados na figura pela linha contínua, foram estabelecidos para potência mínima de 500 W, assim, registros de potência com valores inferiores a este caracterizam, por hipótese, que o CMB está desligado.

5.1.2.2 Indicadores de desempenho

No Quadro 17 estão apresentados os valores dos indicadores de desempenho de consumo de energia (CE) e consumo de energia normalizado (CEN) correspondente ao CMB - 01 pertencente à EET - 01.

Quadro 17 - Indicadores hidroenergético do CMB - 01 da EET - 01

Dia de referência	Volume (m ³)	Energia Ativa (kWh)	CE (kWh/m ³)	CEN (kWh/m ³ /100m)
18/mar/21	903,000	409,563	0,451 ± 0,012	0,475 ± 0,013
19/mar/21	699,000	324,008		
20/mar/21	833,000	383,199		
21/mar/21	706,000	318,727		
22/mar/21	801,000	343,847		
23/mar/21	1141,000	511,032		

Fonte – Autoria própria

O valor de referência do indicador hidroenergético CEN para motores de até 38 kW é 0,378 kWh/m³/100m, apresentado no Quadro 1. Assim, das avaliações observa-se que o indicador apresentou valor insatisfatório para o conjunto pertencente à EET - 01.

5.2.3 Estação Elevatória de Água Tratada (EET-02)

A EET – 02 opera com dois conjuntos motobomba em paralelo de mesmo modelo. Neste tópico serão descritos os resultados obtidos para os conjuntos pertencentes à EET – 02, detalhando os registros médios diários de operação e os dados das medições elétricas.

5.2.3.1 Registros médios diários de operação

O Quadro 18 apresenta os dados de volume médio mensal. A análise conta com dados referentes a 28 meses entre os anos de 2019 e 2021, totalizando 789 dias examinados.

Quadro 18 - Volume médio mensal aduzido pela EET - 02

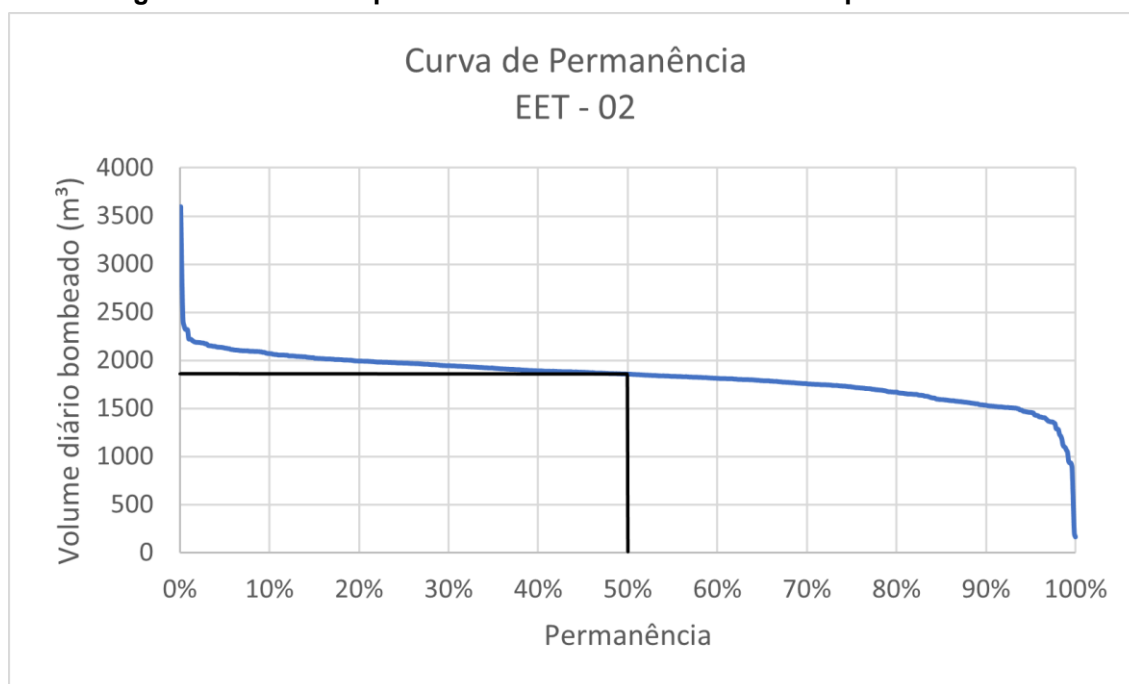
Mês de referência	Volume médio diário (m ³ /dia)	Mês de referência	Volume médio diário (m ³ /dia)
jan/19	1625,0	mar/20	1854,6
fev/19	1979,1	abr/20	1816,1
mar/19	1926,2	mai/20	1686,2
abr/19	1963,3	jun/20	1721,0
mai/19	1727,0	jul/20	1780,6
jun/19	1840,1	ago/20	1740,7
jul/19	1781,6	set/20	1890,3
ago/19	1764,6	out/20	1844,4
set/19	1741,9	nov/20	1876,8
out/19	1789,3	jan/21	1844,8
nov/19	1834,0	fev/21	1987,8
dez/19	1831,3	mar/21	1946,4
jan/20	1768,8	abr/21	1955,2
fev/20	1848,8	mai/21	1852,3
Média	1829,2		
Desvio padrão	91,6		

Fonte – Companhia de Saneamento (2019; 2020)

Dos resultados, observa-se que a média foi de 1829,2 com menor valor em janeiro de 2019, 1625 m³ aduzidos por dia. e a maior em fevereiro de 2021, 1989 m³.

A Figura 36 exibe a curva de permanência diária do volume diário bombeado pela EET – 02 para o período analisado.

Figura 36 - Curva de permanência do volume diário diária para a EET – 02



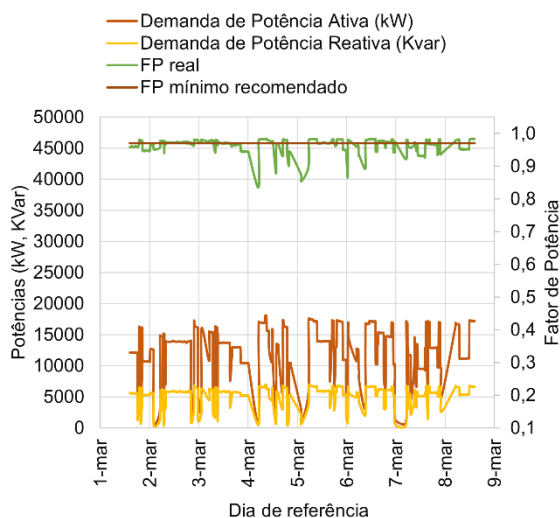
Fonte – Companhia de Saneamento (2019;2020;2021)

Da figura, observa-se que o volume bombeado em 50% do tempo (mediana) foi 1857 m³, assinalado na pela linha contínua. Verifica-se, ainda, que em 90% do tempo o volume bombeado pela EET – 02 foi superior a 1531 m³, valor 17% menor que a mediana e que em 10% do tempo foi superior a 2070 m³, valor 11% maior que a mediana, ou seja, houve pouca variação no volume de água bombeado pela EET – 02.

5.2.3.2 Dados instantâneos de energia

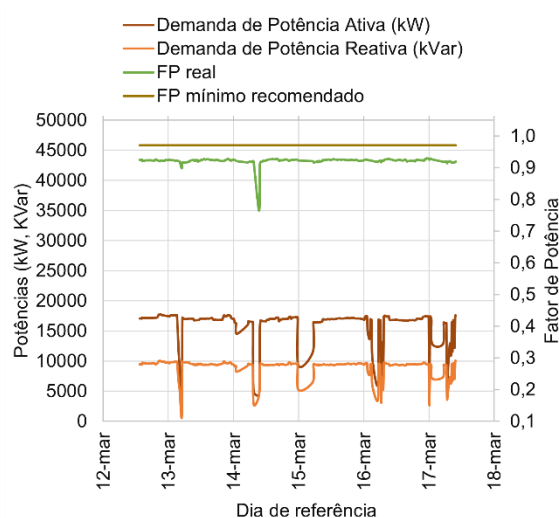
As Figura 37 e Figura 38 mostram, respectivamente, a curva de demanda de potência ativa, reativa e os fatores de potência real e mínimo do CMB – 01 e do CMB – 02 da EET – 02. Na Figura 37 o período analisado foi entre 1 de março e 8 de março de 2021. Já na Figura 38, o período examinado foi entre 12 de março e 17 de março de 2021. Ressalta-se que as figuras apresentam os valores de potência e fator de potência apenas para os instantes em que os conjuntos motobomba estavam ligados.

Figura 37 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e mínimo do CMB – 01 da EET – 02



Fonte - Autoria própria

Figura 38 - Curvas de demandas de potência ativa e reativa, e os fatores de potência real e mínimo do CMB – 02 da EET – 02



Fonte - Autoria própria

Para os conjuntos CMB -01 e CMB -02 foram estabelecidos para potência mínima de 500 W, assim, registros de potência com valores inferiores a este caracterizam, por hipótese, que o CMB estaria desligado. Dessa forma, para o diagnóstico, tais dados também foram desconsiderados nas figuras.

Na Figura 37 observa-se que o FP do CMB - 01 esteve próximo ao mínimo recomendado em quase todo período monitorado e que, por vezes, ultrapassou o valor indicado. O motor apresentou, durante as medições, em média, FP de 0,918. Os valores mais baixos do índice ocorrem em períodos de menor demanda ativa. No período avaliado, o mínimo apresentado para o FP foi 0,785, quando a potência ativa foi de 570 W.

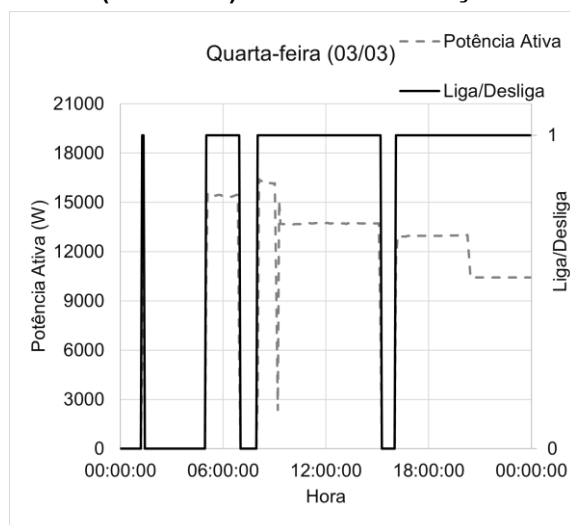
Do monitoramento constatou-se, ainda, que, a potência ativa média diária demandada pelo motor do CMB – 01 variou de 12196,8 W a 14908,0 W, com valor médio de $13828,2 \text{ W} \pm 1110,2$. Os motores pertencentes à EET - 02 possuem 25 CV, diante disto, nota-se que o CMB - 01 operou com, aproximadamente, 75% da potência nominal.

Na Figura 38 identifica-se que, em todo período monitorado, o FP do CMB – 02 manteve-se abaixo do mínimo recomendado. Conforme o monitoramento realizado, o motor apresentou, durante as medições, FP 0,873. Da mesma maneira que o outro conjunto da EET – 02, o CMB -02 apresentou os menores valor para o FP em períodos de menor demanda ativa. Dos registros, o mínimo apresentado para o índice foi de 0,714, quando a demanda ativa foi de 4440 W.

Dos registros operacionais verificou-se, também, que a potência ativa média diária demandada pelo motor do CMB – 02 variou de 16405,5 W a 16862,4 W, com valor médio de $16618,3 \text{ W} \pm 244$. Dessa forma, percebeu-se também que o CMB-02 operou com, aproximadamente, 90% da potência nominal.

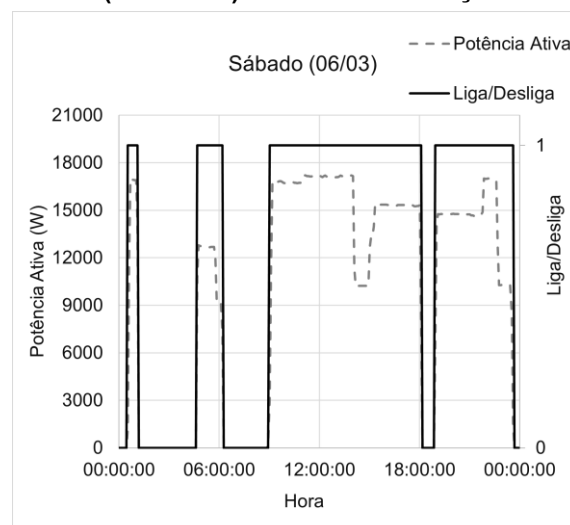
Nas Figura 39, Figura 40, Figura 41 e Figura 42 apresentam-se os registros de potência ativa e acionamento da bomba do em dois dias de monitoramento para cada conjunto pertencente à EET -02.

Figura 39 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB - 01) no dia 03 de março



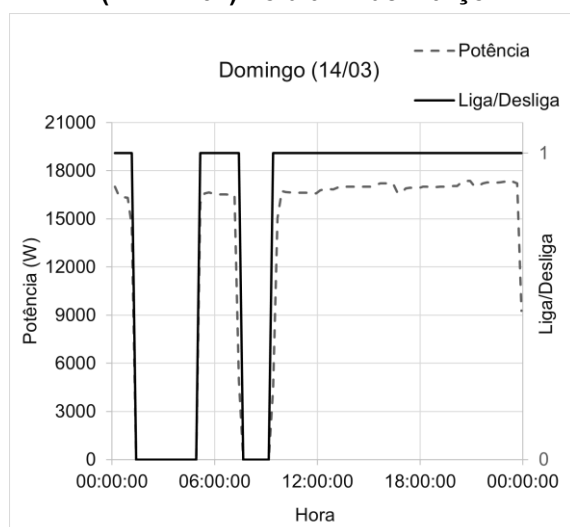
Fonte - Autoria própria

Figura 40 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB - 01) no dia 06 de março



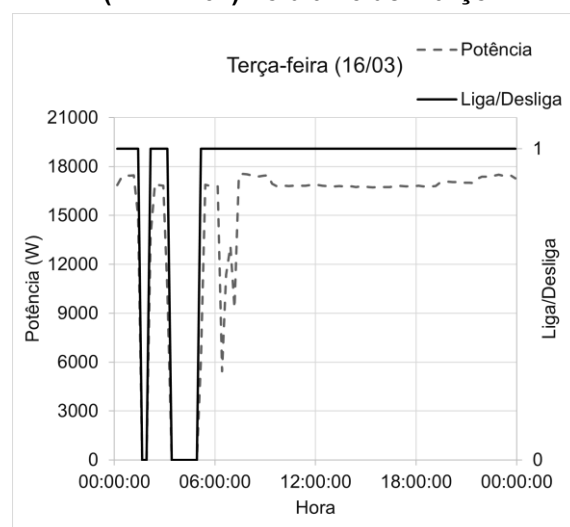
Fonte - Autoria própria

Figura 41 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB - 02) no dia 14 de março



Fonte - Autoria própria

Figura 42 - Potência Ativa (W) e funcionamento do conjunto motobomba (CMB - 02) no dia 16 de março



Fonte - Autoria própria

Como mencionado anteriormente, os períodos de acionamento do CMB (liga/desliga), representados nas figuras pelas linhas contínuas, foram estabelecidos para potência mínima de 500 W, assim, registros de potência com valores inferiores a este caracterizam, por hipótese, que o CMB está desligado.

5.2.3.3 Indicadores de desempenho

Em virtude de não existir a discriminação do volume bombeado por cada CMB da EET – 02, não se efetuaram os cálculos dos indicadores hidroenergéticos do conjunto.

5.2.4 Considerações

A pesquisa avaliou as três estações elevatórias existentes junto à ETA, as quais totalizam 5 conjuntos motobomba, com diferentes configurações (altura manométrica, potência, volume bombeado).

Um dos índices avaliados foi o fator de potência (FP), o qual reflete a eficiência das instalações. O valor estabelecido como mínimo pela resolução vigente de 0,92 (BRASIL, 2010).

Dos resultados obtidos para a EEB 01, apontou-se que os conjuntos CMB – 01 e CMB – 02 mantiveram-se, em todo período monitorado, com o fator de potência dos CMB – 01 e CMB – 02 significativamente abaixo do mínimo recomendado. Os valores encontrados foram, respectivamente 0,593 e 0,694. Sabe-se que quando os valores do FP estão abaixo do mínimo recomendando, isso acarreta multas tarifárias de energia elétrica, no entanto, isso não ocorre devido ao fato dos conjuntos motobomba possuíram um banco de capacitores, os quais desempenham a função de compensar a carga indutiva dos equipamentos, diminuindo a potência reativa fornecida pelo transformador e, assim, evitam tais multas.

Ainda em relação a EEB - 01, analisaram-se o consumo de energia diário dos CMB – 01 e CMB - 02, sendo, em média, respectivamente de 63,0 kWh \pm 12,0 e de 78,1 kWh \pm 9,1. Ressalta-se que o CMB – 02 opera com um motor de maior potência mecânica do que o CMB-01, o que acarreta uma demanda maior de potência ativa. Isso explica o maior consumo maior de energia elétrica mesmo em dias em que o funcionamento do CMB – 02 foi de menos horas que o CMB – 01.

No sentido de entender a relevância desse acréscimo de consumo de energia, os valores dos resultados diários encontrados foram extrapolados para consumo anual, e assim, percebeu-se que a diferença poderia representar, em média,

aproximadamente, 5528.53 kWh por ano, o que equivaleria a, aproximadamente, 24% do consumo de energia anual do CMB – 01.

No que tange o indicador hidroenergético de consumo de energia normalizado (CEN), para todos os conjuntos motobomba avaliados, os valores encontrados foram abaixo dos valores de referência apontados na Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015, mostrando-se, dessa forma, insatisfatórios. Assim, nota-se que são pontos sujeitos a implantação de ações de eficiência energética.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi analisar, de modo geral, a eficiência hidroenergética de um subsistema de abastecimento de água por captação superficial.

A metodologia proposta para ambos diagnósticos foi mediante o uso de indicadores de desempenho, em virtude de sintetizarem as informações relevantes e possibilitar uma comparação com outras empresas, a partir de critérios adequadamente selecionados.

No âmbito hidroenergético, a pesquisa avaliou três estações elevatórias pertencentes à ETA, as quais totalizam 5 conjuntos motobomba, com diferentes configurações (altura manométrica, potência, volume bombeado).

Sobre o diagnóstico energético realizado na EEB 01, evidenciou-se a diferença no consumo de energia devido a distinção entre as potências mecânicas dos conjuntos. No sentido de entender a relevância desse acréscimo de consumo de energia, os valores dos resultados diários encontrados foram extrapolados para consumo anual, e assim, percebeu-se que a diferença poderia representar, em média, aproximadamente, 5528.53 kWh por ano, o que equivaleria a, aproximadamente, 24% do consumo de energia anual do CMB – 01. Assim, notou-se que o CMB – 02 está superdimensionado e dessa forma, se diminuída a potência do equipamento por meio da substituição do motor do CMB - 02, a estação elevatória poderia reduzir significativamente o dispêndio com energia elétrica.

Em relação à avaliação da eficiência energética dos equipamentos por meio do indicador hidroenergético de consumo de energia normalizado (CEN), todos os conjuntos motobomba avaliados apresentaram valores abaixo dos de referência apontados na Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015, que é a norma que aponta valores de referência do indicador CEN conforme o tipo e a potência do motor. Isso mostra que a operação dos dispositivos se dá de forma insatisfatória, ou seja, com baixos índices de rendimento.

À vista disso, a partir do monitoramento dos parâmetros elétricos operacionais desses dispositivos, aponta-se que os conjuntos motobomba possuem elevado potencial para implantação de ações de eficiência energética.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 12214**: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 12217**: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

AKAGIA, R. R., CHEUNG, P. B. Avaliação de Modelos Estatísticos para Previsão de Falhas em Redes de Distribuição de Água. (*Evaluation of Statistical Models for Pipe Failures Forecasting in Water Networks*) (November 30, 2017). *Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks*. **SEREA 2017**. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3108267>. Acesso em: 24 mar. 2020.

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M.; PARENA, R. **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água**: versão portuguesa de Performance indicators for water supply services. Tradução Patrícia Duarte, Helena Alegre, Jaime Melo Baptista. Londres: IWA/IRAR/LNEC, 2004.

ALEXANDRE, L. H. C. **Avaliação do consumo de energia elétrica em estações elevatórias para abastecimento de água com diferentes configurações de sistemas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/enges/portal/pages/arquivos/dissertacao/2017/LUIS%20HENRIQUE%20CARDOSO%20ALEXANDRE.pdf>.. Acesso em: 28 maio 2020.

ALMEIDA, J. F.; ACCORSI, A. C.; Substituição de trecho de adutora resulta em economia de 50% na conta de energia elétrica – CONSAN / São Lourenço do sul – RS. **SEREA 2006**. Disponível em: [http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoS%20\(2\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoS%20(2).pdf). Acesso em: 17 de out. 2020.

ARAUJO NETO, M. **Medidas de Eficiência Energética em Serviços de Distribuição de Água e Saneamento**. 2008. 173 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M.F. Manual de Hidráulica. 9. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2015.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: tecnologias de controle**. 1. ed. João Pessoa: UFPB, 2013.

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento. **Avaliação de Sistemas de Bombeamento de Água: Manual de Eficiência Energética**. Disponível em: <https://publications.iadb.org/en/avaliacao-de-sistemas-de-bombeamento-de-agua-manual-de-eficiencia-energetica>. Acesso em 25 de ago. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. **Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427cons.htm. Acesso em: 25 ago. 2020. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Salvador: ReCESA, 2008. 139p.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Retifica a Resolução Normativa ANEEL nº 414, de 2010. **Resolução Normativa nº418, de 23 de novembro de 2010**.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Estabelecer os procedimentos comerciais para a aplicação do sistema de bandeiras tarifárias. **Resolução Normativa nº 547, de 16 abril de 2013**.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 888, de 4 de maio de 2021**.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico de água e Esgoto - 2019**. Brasília, 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética: premissas e diretrizes básicas**. Brasília, 2019.

CHEUNG, P. B. et al. **Tecnologias de suporte a decisão para auxiliar a gestão hidroenergética em sistemas de abastecimento de água**. In: GOMES, H.P. (Org.). Sistema de Saneamento: eficiência energética. João Pessoa: Ed. UFPB, 2010. p. 227-245.

Comité Consultivo Nacional De Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, México (2015), **Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015**, Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba. publicado no Diário Oficial de la Federación em 21/05/2015. Disponível em: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5393140&fecha=21/05/2015. Aceso em 18 março 2021.

ÇENGEL, Y.A. CIMBALA, J.M. Mecânica dos Fluidos: fundamentos a aplicações. McGrawHill, 2007.

DUTRA, R.F.; ALTAFINI, C. R. Melhorias em um Sistema de Bombeamento Municipal Visando a Eficiência Energética – Estudo de Caso. **Scientia cum industria**, [s. l.], v. 2, p. 1-9, 2014. Disponível em: [www.ucs.br > index.php > article > download > pdf_364](http://www.ucs.br/index.php/article/download/pdf_364). Acesso em: 15 out. 2020.

FABIANNO, L.; VACCA, G.; DINARDO, G. *Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks*. **Measurement**, [s. l.], v. 151, 2020. Disponível em: <http://orcid.org/0000-0001-5381-9333>. Acesso em: 26 mar. 2020.

FRAUENDORFER, R.; LIEMBERGER, R. **The Issues and Challenges of Reducing Non-Revenue Water**. *Philippines*. Asian Development Bank. 2010.

GAMA, J., FERREIRA, R., SILVERIA, A. Artigo – XI-32 - Pré diagnóstico de eficiências hidroenergéticas em elevatórias de água: um estudo de caso– 30º CBESA (jun. 2019).

GRUNDFOS. **Manual de Engenharia**: estações elevatórias de águas residuais. Lisboa. 1996.

GOMES, H.P.; CHEUNG, P.B.; SILVA, B.C.; BEZERRA, S.T.M. (2009) **Tecnologias de Conservação em Sistemas Públicos**. In: Gonçalves, R.F. (Coord.) Uso racional de água e energia. Projeto PROSAB Capítulo 4. Rio de Janeiro: ABES. p. 153-218.

GOMES, H.P. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: **Análise Econômica de Projetos**. 2ª Edição. João Pessoa: UFPB, 2009.

GOMES, H.P.; BEZERRA, S.T.M.; CAMBOIM, W.L.L.; CARNEIRO, G.B. (2010) **Otimização operacional dos sistemas adutores Prata e Jucazinho, Pernambuco, Brasil**. In: GOMES, H.P. (Coord.) Sistema de Saneamento - Eficiência Energética. 1ª Edição. 366p. Editora Universitária /UFPB, 2010. p. 29-36.

GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. O. **Manual de Sistemas de Bombeamento: eficiência energética**. 1. ed. João Pessoa: UFPB, 2012.

GOMES, H. P. **Sistemas de Bombeamento: eficiência energética**. 2 ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2012. 459 p.

GOMES, H. P. **Abastecimento de água**. João Pessoa: LENHS/UFPB, 2019.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org) **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

IBGE. Cidade: Pitanga. Site. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pitanga/panorama>. Acesso em: 17 ago. 2020.

KURITZA, J. C. **Metodologia para avaliação da eficiência energética de sistemas de bombeamento de água com velocidade de rotação variável**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

LUNA, T.; RIBAU, J.; FIGUEIREDO, D.; ALVES, R. *Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization*. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 213, p. 342-356, 2019. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618339064>. Acesso em: 31 mar. 2020.

MATOS, E.E. **Bombas Centrífugas**; Rio de Janeiro: Petrobras, 1982.

MOREIRAA, F. N. C.; FERREIRA, J. F. H.; PEREIRA, J. A. R. Impacto do volume perdido de água na despesa de energia elétrica em estação de bombeamento de água (*Impact of Water Loss on Lost Electric Energy in Water Pumping Stations*) (November 30, 2017). **SEREA 2017**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3112994>. Acesso em: 24 mar. 2020.

MOURA, G. N. P. **A Relação Entre Água e Energia: Gestão Energética nos Sistemas de Abastecimento de Água das Companhias de Saneamento Básico do Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência do Planejamento Energético) - UFRJ Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PEREIRA, J. A. R.; CONDURÚ, M. T. **Abastecimento de água: Informação para Eficiência Hidroenergética**. 1. ed. João Pessoa: UFPB, 2014.

PINNTO, M. R.; CASTRO, M. A. H.; BARBOSA, J. M. C.; MAIA JUNIOR, J. V. F. Dimensionamento econômico otimizado de redes de distribuição de água considerando custos de manutenção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, 2017, v. 22, n. 1, p. 145-153, 2016. Disponível em: DOI 10.1590/S1413-41522016140349. Acesso em: 21 maio 2020.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 519p.

SILVA, L., DA CRUZ, K., OLIVEIRA, L., MELO NETO, M., PEDROSA, H. Artigo – XI-092 -Pré-diagnóstico das eficiências eletromecânicas e hidroenergéticas de sistemas de abastecimento de água a partir do consumo energético normalizado – 30º CBESA (jun. 2019).

SUSTAINABILITY VICTORIA. **Energy Efficiency Best Practice Guide Pumping Systems**, 2015. Disponível em: <https://www.sustainability.vic.gov.au/Business/Energy-efficiency-for-business/Business-energy-efficiency/Energy-efficiency-best-practice-guidelines>. Acesso em: 22 out. 2020.

TRENNEPOHL, F.G.; SOARES, A. S.; KOSSATZ, B. Levantamento dos custos de operação e manutenção (O&M) de ETA da Região Metropolitana de Florianópolis (SC). **Congresso ABES FENASAN**. 2017.

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. 643 p.

WEG. **Uso Eficiente da Energia Elétrica**, Cartilha, 2019. Disponível em: <https://materiais.motores.weg.net/cartilha>>. Acesso em: 22 out. 2020.

ANEXO 1 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS BOMBAS DA EEB - 01**Especificações técnicas da bomba do conjunto 01 da EEB - 01**

Dados		Unidade
Marca	KSB	
Modelo	ETA 100/16	
Diâmetro Nominal do Flange de Recalque	100	mm
Diâmetro Nominal do Rotor (Φ)	16	cm
Altura manométrica (Hm)	4,2	mca
Velocidade nominal	1710/1080	rpm

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

ANEXO 2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS BOMBAS DA EET - 01**Especificações técnicas das bombas EET - 01**

Dados		Unidade
Marca	KSB	
Modelo	WKL 80/5	
Diâmetro Nominal do Flange de Recalque	80	mm
Diâmetro Nominal do Rotor (Φ)	22	cm
Altura manométrica (Hm)	95,02	mca
Velocidade nominal	1750	rpm

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)

ANEXO 3 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS BOMBAS DA EET - 02**Especificações técnicas da bomba da EET - 02**

Dados		Unidade
Marca	KSB	-
Modelo	ANS-G-50-160	-
Diâmetro Nominal do Flange de Recalque	50	mm
Diâmetro Nominal do Rotor (Φ)	17,2	cm
Altura manométrica (Hm)	50,5	mca
Velocidade nominal	3510	rpm

Fonte – Companhia de Saneamento (2021)