



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANTONIO JOSÉ MOURA BRIANO

**PRÉ-DIAGNÓSTICO DA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA-ENERGÉTICA DE SISTEMAS  
ELEVATÓRIOS DE ÁGUA BRUTA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Recife  
2020

ANTONIO JOSÉ MOURA BRIANO

**PRÉ-DIAGNÓSTICO DA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA-ENERGÉTICA DE SISTEMAS  
ELEVATÓRIOS DE ÁGUA BRUTA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos parciais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo

Coorientador: Prof. Dr. Cláudio Henrique Milfont de Magalhães

Recife

2020

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4/ 1198

- B849p      Briano, Antonio José Moura  
              Pré-diagnóstico da eficiência hidráulica-energética de sistemas  
              elevatórios de água bruta na região metropolitana do Recife / Antonio José  
              Moura Briano. - 2020.  
              78 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo.  
              Coorientador: Prof. Dr. Cláudio Henrique Milfont de Magalhães.
- TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
              Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2020.  
              Inclui Referências.
1. Engenharia civil.    2. Saneamento ambiental.    3. Consumo  
              energético normalizado. 4. Potencial de economia. I. Azevedo, José  
              Roberto Gonçalves de (Orientador). II. Magalhães, Cláudio Henrique  
              Milfont de (Coorientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-161

ANTONIO JOSÉ MOURA BRIANO

**PRÉ-DIAGNÓSTICO DA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA-ENERGÉTICA DE SISTEMAS  
ELEVATÓRIOS DE ÁGUA BRUTA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos parciais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 08/04/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Cláudio Henrique Milfont de Magalhães (Coorientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Paulo Frassinete de Araújo Filho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Dr. Milton Tavares de Melo Neto (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Auriceia Moura, por me ensinar desde cedo o valor dos estudos, por ser também minha professora particular, sempre atenciosa e que me preparou para as provas do colégio e da vida, da alfabetização até o pré-vestibular, do “com licença” e “obrigado” até o amor e respeito pelo próximo, também por me apresentar o maravilhoso e inesgotável universo da leitura. Ao meu pai, João Batista Briano, por me ensinar o valor do trabalho duro e da dedicação, por seus conselhos em momentos difíceis e por sua história de vida, que tanto me inspira. Ao meu padrasto Abelardo Targino, sempre cuidadoso e dedicado à minha mãe, por acolher sua família e por todo suporte dado a mim como se fosse um filho. À minha esposa, Amanda Cavalcanti, por sua dedicação a nossa família, por estar comigo nos melhores e piores dias, por ser minha amiga, minha confidente, minha mulher e minha parceira nessa jornada chamada vida, essa conquista é fruto da soma dos nossos esforços. Ao meu bebê, Benjamin Briano, por sorrir e deixar meus dias mais felizes, por trazer sentido as minhas vitórias e por me dar energias para conquistar um futuro melhor. Aos meus familiares, em especial ao meu tio Antônio Maranhão, por seu apoio e por seus conselhos.

Aos meus professores, em especial ao Professor Roberto Azevedo que me orientou nesse trabalho, por sua paciência, acolhimento e contribuições que permitiram o enriquecimento dessa pesquisa. À Companhia Pernambucana de Saneamento que através de seus engenheiros me atendeu e disponibilizou os dados presentes nesse estudo. Aos Engenheiros Cláudio Milfont e Milton Tavares, por suas orientações e contribuições, sempre atenciosos e prestativos.

## RESUMO

As despesas com energia elétrica no serviço de saneamento básico tendem a aumentar ano após ano. Em 2017 foram consumidos no Brasil, somente com saneamento ambiental, 12,6 TWh de energia, sendo 11,3 TWh com abastecimento de água e 1,3 TWh com esgotamento sanitário. Tendo em vista as perdas que o sistema de saneamento ambiental sofre e a escassez dos recursos financeiros, propôs-se a elaboração do “Pré-diagnóstico das eficiências eletromecânicas e hidroenergéticas de sistemas elevatórios de água” para o monitoramento de sistemas elevatórios. A metodologia, baseada no cálculo do Consumo Energético Normalizado – CEN e estimativa do payback, visa economizar recursos à medida que direciona esforços para os sistemas mais críticos. O trabalho foi desenvolvido em planilha de cálculo e o estudo de caso abrange as elevatórias de Duas Unas, Vertentes Doce e mais cinco estações do sistema de elevação da Barragem de Botafogo, totalizando oito elevatórias de água bruta da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Foi estimado o potencial de economia mensal total para as oito elevatórias no valor de 259 mil reais. Significa dizer que, caso as intervenções sugeridas sejam bem sucedidas, poder-se-ia economizar cerca de 3 milhões e cem mil reais por ano. Entretanto, deve-se destacar que a metodologia apenas leva em consideração fatores hidromecânicos, não avaliando méritos operacionais que também influenciam na eficiência energética dos equipamentos, como por exemplo, o transiente hidráulico e a disponibilidade hídrica da região.

Palavras-chave: Saneamento ambiental. Consumo energético normalizado. Potencial de economia.

## **ABSTRACT**

Electricity expenses in the basic sanitation service tend to increase year after year. In 2017, 12.6 TWh of energy was consumed in Brazil, only with environmental sanitation, of which 11.3 TWh with water supply and 1.3 TWh with sanitary sewerage. In view of the losses that the environmental sanitation system suffers and the scarcity of financial resources, it was proposed to elaborate the "Pre-Diagnosis of Electromechanical and Hydroenergetic Efficiencies of Water Pumping Systems" for the monitoring of pumping systems. The methodology, based on the calculation of the Normalized Energy Consumption - CEN and the payback estimate, aims to save resources as it directs efforts to the most critical systems. The work was developed in spreadsheet and the case study covers some of the raw water pumping systems of the Pernambuco Sanitation Company - COMPESA. The total monthly savings potential for the eight elevations was estimated at R \$ 259 thousand. It means that if the suggested interventions are successful, it could save about 3 million and one hundred thousand reais per year. However, it should be noted that the methodology only considers hydromechanical factors, not evaluating operational merits that also influence the energy efficiency of the equipment, such as, for example, the hydraulic transient and water availability in the region.

**Keywords:** Environmental sanitation. Normalized energy Consumption. Economy potential.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dez maiores cidades, por número de habitantes no ano de 2018 .....	14
Figura 2 – Indicadores de atendimento de saneamento básico .....	15
Figura 3 – Sistema de captação, tratamento e distribuição de água.....	17
Figura 4 – Sistema de coleta, tratamento e destinação de esgoto.....	17
Figura 5 – Bomba Centrífuga – Vazão (%) e Viscosidade (cSt).....	20
Figura 6 – Bomba Centrífuga – Eficiência (%) e Altura Manométrica (mca) .....	21
Figura 7 – Tendências médias de desgaste para bombas.....	28
Figura 8 – Fatura de energia.....	34
Figura 9 – Fluxo de Caixa: Investimentos 1 e 2 .....	35
Figura 10 – Registro das Elevatórias .....	41
Figura 11 – Validação de Dados e Menu suspenso em lista.....	42
Figura 12 – Tipo, quantidade e potência de cada motor .....	42
Figura 13 – Volume, altura, energia consumida e tarifa de energia .....	43
Figura 14 – Fator de uniformização, Indicador CEN e Rendimento .....	43
Figura 15 – Exemplo: Desempenho da EE e Proposta de intervenção operacional ..	44
Figura 16 – Planilha Auxiliar “Rendimento esperado” .....	45
Figura 17 – Redução de consumo, potencial de economia e payback .....	48
Figura 18 – Informativo EEAB Duas Unas .....	52
Figura 19 – Duas Unas – Bomba WEG 315 kW.....	53
Figura 20 – Duas Unas – Bombax’x’ Sulzer 125 CV .....	53
Figura 21 – Ponto de operação e regime EEAB Vertentes Doce.....	55
Figura 22 – Bomba IMBIL BEW 150/4 .....	55



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ranking do Saneamento: As 10 cidades mais populosas do Brasil.....	14
Tabela 2 – Critério de avaliação dos rendimentos dos conjuntos com motor externo .....	22
Tabela 3 – Critério de avaliação dos rendimentos dos conjuntos submersíveis .....	23
Tabela 4 – Consumo de Energia Elétrica no Brasil – Ano base: 2017 .....	23
Tabela 5 – Consumo específico médio de energia elétrica por m <sup>3</sup> .....	24
Tabela 6 – Consumo efetivo médio de energia elétrica por m <sup>3</sup> .....	24
Tabela 7 – Payback simples.....	36
Tabela 8 – Payback descontado .....	37
Tabela 9 – Rendimento esperado dos conjuntos motobombas.....	40
Tabela 10 – Avaliação de rendimento x Proposta de intervenção operacional .....	44
Tabela 11 – Custo médio de intervenção por equipamento .....	50
Tabela 12 – Dados EEAB Duas Unas .....	52
Tabela 13 – Pontos da Curva EEAB Vertentes Doce.....	54
Tabela 14 – Dados EEAB Vertentes Doce .....	56
Tabela 15 – Dados EEAB Tabatinga.....	57
Tabela 16 – Dados EEAB Cumbe .....	58
Tabela 17 – Dados EEAB Arataca .....	59
Tabela 18 – Dados EEAB Monjope.....	60
Tabela 19 – Dados EEAB Catuca .....	62
Tabela 20 – Dados EEAB Conga.....	63
Tabela 21 – Tabela Resumo – Potência, Vazão e Tempo de Operação .....	64
Tabela 22 – Tabela Resumo – Volume, Energia e Altura Manométrica .....	65
Tabela 23 – Tabela Resumo – Eficiência, Potencial de Economia e Payback.....	66
Tabela 24 – Priorização das Intervenções – Manutenção.....	67
Tabela 25 – Priorização das Intervenções – Substituição .....	68
Tabela 26 – Parâmetros de eficiência energética na captação de água bruta .....	68
Tabela 27 – Potencial de Captação de Água Bruta.....	69

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1	DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM PERNAMBUCO .....	16
2.2	SANEAMENTO AMBIENTAL .....	16
2.3	BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	19
<b>2.3.1</b>	<b>Bombas centrífugas com motor externo.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Bombas Submersíveis .....</b>	<b>22</b>
2.4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE SANEAMENTO .....	23
<b>2.4.1</b>	<b>Eficiência Energética em Pernambuco.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Eficiência Energética no Sistema de Saneamento .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Eficiência Energética dos Conjuntos Motobomba .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Fatores que atuam na Eficiência Energética das Motobombas .....</b>	<b>29</b>
2.5	INDICADORES DE DESEMPENHO E REFERÊNCIA.....	30
<b>2.5.1</b>	<b>Consumo Específico de Energia – CE.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Consumo de Energia Normalizado – CEN.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Custo Médio Da Energia Elétrica – CMEE .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Custo Médio Por Metro Cúbico Bombeado – CMEM.....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Tarifa Média – TM .....</b>	<b>33</b>
2.6	POTENCIAL DE REDUÇÃO DE CONSUMO E DE ECONOMIA.....	34
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
3.1	INDICADOR CEN.....	38
3.2	DADOS DE ENTRADA.....	40
<b>3.2.1</b>	<b>Planilha de cálculo – Dados de entrada .....</b>	<b>41</b>
3.3	CÁLCULO, AVALIAÇÃO DE RENDIMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....	43
<b>3.3.1</b>	<b>Planilha de cálculo – Avaliação de desempenho .....</b>	<b>44</b>
3.4	POTENCIAL DE ECONOMIA E REDUÇÃO DE CONSUMO.....	46
3.5	ANÁLISE ECONÔMICA – PAYBACK SIMPLES.....	46

3.5.1	Planilha de cálculo – Redução de consumo, potencial de economia e payback .....	47
3.6	PRIORIZAÇÃO NAS INTERVENÇÕES .....	48
4	<b>COLETA DE DADOS</b> .....	49
5	<b>RESULTADOS</b> .....	51
5.1	ELEVATÓRIA DUAS UNAS .....	51
5.1.1	Cálculo do CEN e payback .....	52
5.2	ELEVATÓRIA VERTENTES DOCE .....	54
5.2.1	Cálculo do CEN .....	56
5.3	ELEVATÓRIA TABATINGA .....	56
5.3.1	Cálculo do CEN e payback .....	57
5.4	ELEVATÓRIA CUMBE .....	57
5.4.1	Cálculo do CEN e payback .....	58
5.5	ELEVATÓRIA ARATACA .....	59
5.5.1	Cálculo do CEN e payback .....	59
5.6	ELEVATÓRIA MONJOPE .....	60
5.6.1	Cálculo do CEN e payback .....	60
5.7	ELEVATÓRIA CATUCA .....	61
5.7.1	Cálculo do CEN .....	61
5.8	ELEVATÓRIA CONGA .....	62
5.8.1	Cálculo da altura manométrica a partir do CEN .....	62
5.9	ANÁLISE DOS RESULTADOS E PRIORIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES .....	64
6	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	70
6.1	RECOMENDAÇÕES .....	71
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	73

## 1 INTRODUÇÃO

As despesas com energia elétrica no serviço de saneamento básico tendem a crescer ano após ano. Esse aumento é decorrente da expansão dos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto e da elevação do consumo per capita de água, aponta o relatório do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (2017).

O relatório aponta que no ano de 2017 foram consumidos 12,6 TWh de energia, sendo 11,3 TWh com abastecimento de água e 1,3 TWh com esgotamento sanitário. Esta quantidade equivale ao consumo de energia elétrica doméstico anual de cerca 18,2 milhões de habitantes (SNIS, 2017). Esse consumo representa um aumento de 6,78% em relação ao ano anterior (2016) onde foram consumidos 11,8 TWh de energia (SNIS, 2016). Fatores que influenciam no crescimento do consumo de energia elétrica, além dos já citados, são a escassez hídrica e o aumento da população residente dentro das áreas já beneficiadas com os serviços das concessionárias de água e esgoto. Assim, cada vez mais se faz necessário uma produção de água distante dos centros consumidores, o que pode acarretar o maior consumo de energia elétrica.

Nesse cenário é imprescindível o monitoramento das eficiências eletromecânicas e hidroenergéticas dos sistemas elevatórios, visto que o bombeamento de água e esgoto é a principal atividade responsável pelo consumo de energia elétrica nos sistemas de saneamento (entre 90% e 95%) (COSTA LUZ, RÉ e HERNANDES, 2016). O monitoramento permite que estratégias possam ser traçadas a fim de garantir a eficiência dos sistemas elevatórios e determinar quais intervenções serão necessárias. A metodologia visa economizar recursos à medida que direciona esforços para os sistemas mais críticos e que requerem maior atenção. Trata-se de um pré-diagnóstico baseado em indicadores de referência hidroenergéticos (GAMA e SILVA, 2018), aliado a uma ferramenta de análise econômica que auxiliará na priorização das intervenções.

O estudo de caso abrange alguns dos sistemas elevatórios de água bruta da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, empresa brasileira que detém a concessão dos serviços públicos de saneamento básico no Estado de Pernambuco e da Ilha de Fernando de Noronha. Foram analisados dados dos

sistemas elevatórios das Barragens Botafogo, Duas Unas e Vertentes Doce, totalizando oito estações, todas de captação de água bruta.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência hidroenergética de sistemas elevatórios através do cálculo do Consumo Energético Normalizado – CEN, aplicando o método proposto no curso “Pré-Diagnóstico das Eficiências Eletromecânicas e Hidroenergéticas de Sistemas Elevatórios de Água”, do Portal CAPACIDADES (2019).

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral proposto, se faz necessário cumprir as seguintes atividades:

- a) Elaborar o pré-diagnostico das estações elevatórias;
- b) Desenvolver uma planilha de cálculo para determinar o CEN das elevatórias e o payback dos custos com manutenção ou substituição dos equipamentos;
- c) Estabelecer critérios para identificar e priorizar as intervenções necessárias a cada elevatória;
- d) Sugerir áreas para desenvolvimento e ampliação da metodologia de pré-diagnóstico.

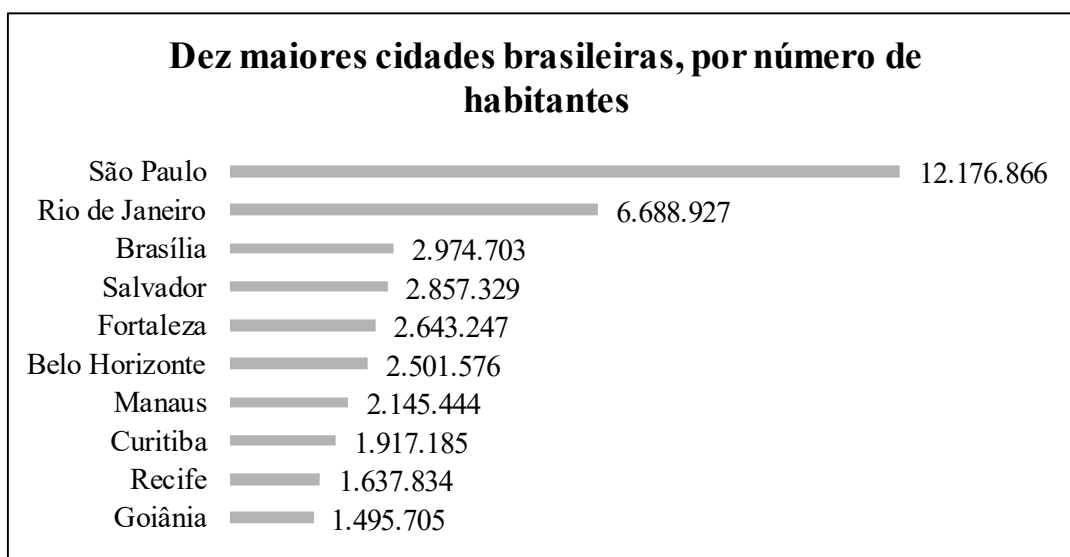
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

[...] a cidade é a expressão mais exata das ações humanas sobre o meio físico, nela ficam registradas as marcas do tempo e da evolução urbana com seus aspectos sociais e econômicos (OLIVEIRA, 1998, p. 46).

Área urbana pode ser definida como uma região de grande densidade populacional e disponibilidade de recursos humanos. No Brasil, de acordo com o relatório de Informação Demográfica e Socioeconômica do IBGE, referente ao ano de 2015, 84,7% da população vive nessas áreas (IBGE, 2016). Estados como o Maranhão e Piauí apresentam as taxas de concentração mais equilibradas da federação, 59,6% e 67,1% da população vivem em áreas urbanas. No outro extremo estão os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, com taxas de 97,4% e 96,6%, respectivamente. Essa concentração populacional cria o que se chama de meio-ambiente urbano, que é particular em cada região, cidade ou até mesmo em cada bairro, e leva em consideração não apenas os aspectos da natureza, mas também sua relação com as atividades humanas. O meio ambiente urbano se caracteriza pela circulação de energia ou matéria e pela circulação e qualidade da informação, ou seja, recursos naturais, quadro urbanístico, organização das atividades e qualidade da informação: energia, matérias-primas, serviços, tecnologia, produtos e resíduos, equipamentos, infraestrutura urbana, educação, saúde, saneamento, cultura, etc. (OLIVEIRA, 1998).

Um agravante da questão ambiental urbana é que, segundo o IBGE 2018, 57% dos brasileiros vivem em apenas 6% das cidades – 317 cidades do país concentram quase 119 milhões de brasileiros (FOLHA DE SÃO PAULO, 2018). Ou seja, além da elevada taxa de ocupação em áreas urbanas, existe uma concentração expressiva de habitantes em poucas cidades, como mostra a Figura 1 abaixo.

Figura 1 – Dez maiores cidades, por número de habitantes no ano de 2018



Fonte: IBGE (2018).

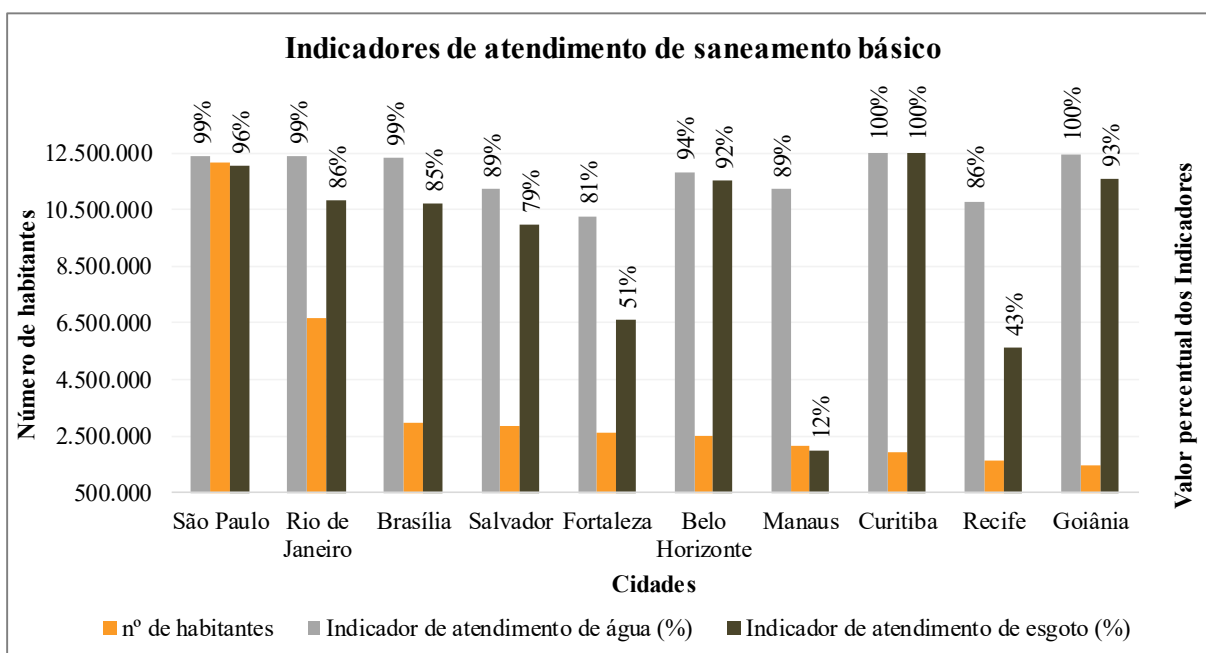
Cruzando as informações do IBGE com o Ranking do Saneamento 2019 (base SNIS 2017) dos 100 maiores municípios do Brasil, publicado desde 2007 pelo Instituto Trata Brasil, extrai-se a Tabela 1 onde constam somente as dez cidades mais populosas já apresentadas na Figura 1. Estão classificadas acima da vigésima posição no Ranking (classificação A) apenas três municípios, eles são Curitiba, São Paulo e Goiânia. Em contrapartida, tem-se quatro dos dez maiores municípios do país abaixo da quinquagésima posição (classificação C).

Tabela 1 – Ranking do Saneamento: As 10 cidades mais populosas do Brasil

<b>Municípios</b>	<b>Ranking</b>	<b>Classificação</b>
Curitiba	12º	A
São Paulo	16º	A
Goiânia	18º	A
Belo Horizonte	34º	B
Brasília	42º	B
Salvador	49º	B
Rio de Janeiro	51º	C
Fortaleza	76º	C
Recife	79º	C
Manaus	98º	C

Fonte: Instituto Trata Brasil (2019).

Figura 2 – Indicadores de atendimento de saneamento básico



Fonte: O autor (2020).

Dentre as piores cidades estão Manaus, apresentando um indicador de atendimento do serviço de esgotamento de apenas 12% da população total (Figura 2), contra 89% do atendimento no de abastecimento de água. Recife se encontra na 79ª posição, com indicadores de 86% e 43%, em serviços de água e esgoto, respectivamente. A cidade de Fortaleza apresenta indicadores semelhantes para ambos os índices e se encontra na 76ª posição no ranking. O destaque vai ao Rio de Janeiro, que apesar de apresentar bons índices de atendimento nos serviços de água e esgoto, está na 51ª colocação no Ranking do Saneamento Básico 2019 (INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS, 2019).

O Ranking do Saneamento tem como objetivo monitorar o avanço nos serviços de saneamento ambiental (abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto), atribuindo notas para os indicadores estudados. O Rio de Janeiro por exemplo, trata apenas 46% do esgoto coletado, enquanto Salvador, segundo o relatório, trata 100% de seus resíduos. Esse indicador é o responsável por colocar capital baiana na 49ª posição no ranking, na frente do Rio de Janeiro, mesmo tendo uma cobertura percentual menor de atendimento nos serviços de saneamento (INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS, 2019).



## 2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM PERNAMBUCO

O Estado de Pernambuco tem baixa disponibilidade de recursos hídricos, abaixo da média nacional e inferior a Estados como São Paulo. Enquanto a média brasileira de distribuição hídrica é em torno de 35 mil metros cúbicos de água por habitante-ano, Pernambuco só dispõe de 1.320 m<sup>3</sup> (CUNHA, 2008). Esse valor é considerado crítico pelos parâmetros da Organização das Nações Unidas – ONU, que classifica a disponibilidade abaixo de 2.500 m<sup>3</sup>/hab.dia até 1.500 m<sup>3</sup> como sendo pobre e acima de 2.500 m<sup>3</sup> como sendo confortável.

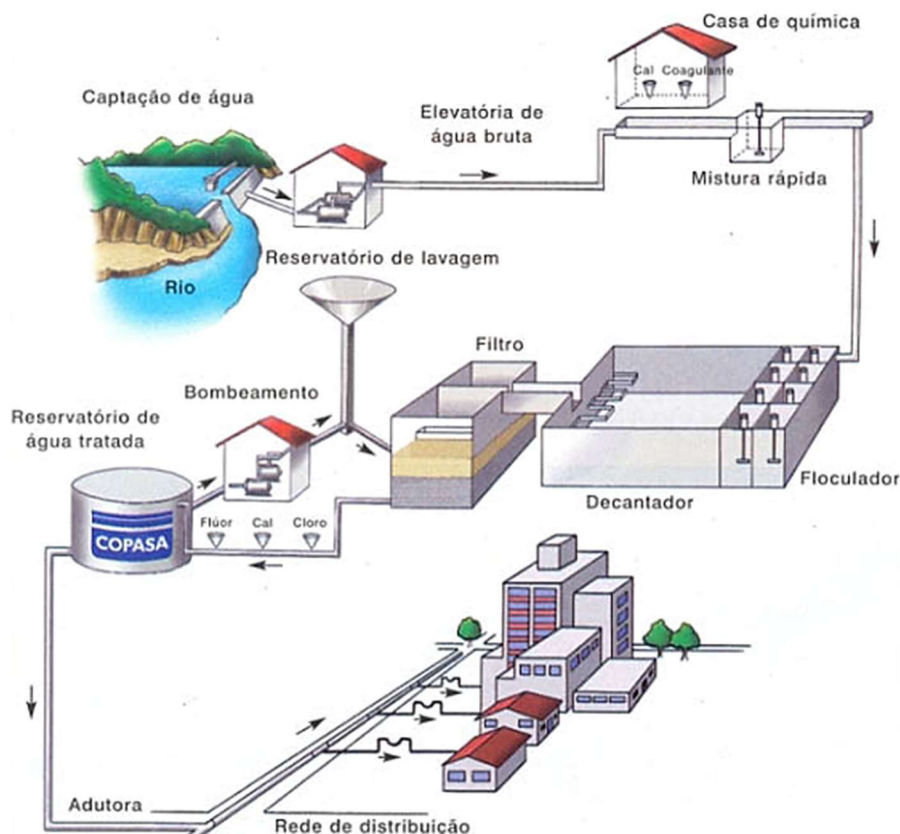
Outro agravante é que cerca de 90% do território pernambucano está inserido em regiões de clima semiárido, cuja precipitação média anual é de 800 mm, enquanto 80% do volume aproveitável de água está localizado no litoral (SUDENE, 2017). Com uma distribuição irregular e deficitária de recursos hídricos pode-se concluir que, além dos fatores de infraestrutura, existem agravantes climáticos e geográficos que contribuem para a não integralidade do sistema de abastecimento de água no Estado de Pernambuco.

## 2.2 SANEAMENTO AMBIENTAL

Saneamento ambiental é um conjunto de serviços, infraestrutura e operações que incluem abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, manejo de águas pluviais e resíduos sólidos (PEDROSA, 2015). São ações que objetivam minimizar os impactos ambientais decorrentes da atividade humana, preservando a saúde e a qualidade de vida no meio urbano ou rural.

Dentre as atividades relacionadas ao saneamento, o abastecimento de água e a coleta de esgoto são os principais serviços que utilizam de sistemas elevatórios para vencer distancias e elevações. Os sistemas são utilizados na captação de água bruta, dentro das estações de tratamento de água, no recalque para os reservatórios e ao longo da rede de distribuição de água, vide Figura 3.

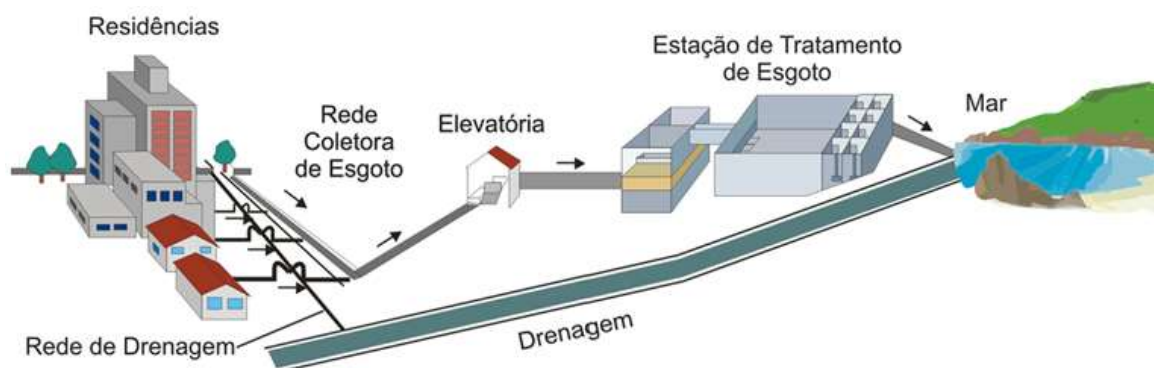
Figura 3 – Sistema de captação, tratamento e distribuição de água



Fonte: COPASA (2019).

Na coleta de esgoto as estações elevatórias são imprescindíveis, uma vez que o princípio do sistema de coleta é recalcar os resíduos das residências até a Estação de Tratamento de Esgoto, como ilustra a Figura 4.

Figura 4 – Sistema de coleta, tratamento e destinação de esgoto



Fonte: CESAN (2010).

A infraestrutura desses sistemas é particular e depende da geografia de cada região (localidade, topografia, origem do manancial ou característica do corpo receptor). Entretanto, de forma geral um Sistema de Abastecimento de Água conta com os seguintes elementos:

- a) Manancial – são as fontes utilizadas para captação de água, podendo ser superficiais ou subterrâneas;
- b) Captação – é a primeira unidade de bombeamento do sistema, responsável por coletar a água do manancial;
- c) Adutora – é a tubulação utilizada para a condução da água do ponto de captação no manancial até à Estação de Tratamento de Água ou da Estação de Tratamento de Água até os reservatórios de distribuição.
- d) Estação Elevatória – é o conjunto de obras e equipamentos de bombeamento destinados a transportar a água bruta ou tratada para pontos mais distantes ou mais elevados, ou para aumentar a pressão nas linhas de adução.
- e) Estação de Tratamento de Água – unidade industrial responsável pela purificação da água.
- f) Reservatório – estruturas metálicas ou em concreto responsáveis pelo armazenamento da água tratada.
- g) Rede de distribuição – todo sistema que inclui adutoras, tubulações e encanamentos por onde se distribui a água tratada para o consumidor final.

Paralelo ao SAA, o Sistema de Esgotamento Sanitário – SES dispões dos seguintes acessórios:

- a) Esgoto Doméstico – despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.
- b) Rede Coletora – conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos setores comerciais, industriais, públicos e edifícios, é composta por ligações prediais, coletores, poços de visita, limpeza e caixas de passagem.
- c) Interceptor – canalização que recebe contribuição de coletores ao longo de seu comprimento.

- d) Emissário – canalização destinada a conduzir os esgotos a um destino específico sem receber contribuições ao longo do percurso.
- e) Sifões Invertidos – tubulações que operam sob pressão para vencer obstáculos.
- f) Estação Elevatória – é o conjunto de obras e equipamentos de bombeamento destinados a transferir o esgoto a partir de um ponto para outro de cota mais elevada ou de um ponto até a Estação de Tratamento de Esgoto.
- g) Estação de Tratamento de Esgoto – unidade industrial responsável pelo tratamento dos esgotos e seu escoamento até o Corpo Receptor através de um Emissário.
- h) Corpo Receptor – corpo d'água capaz de receber os efluentes tratados de uma Estação de Tratamento de Esgoto.

## 2.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS

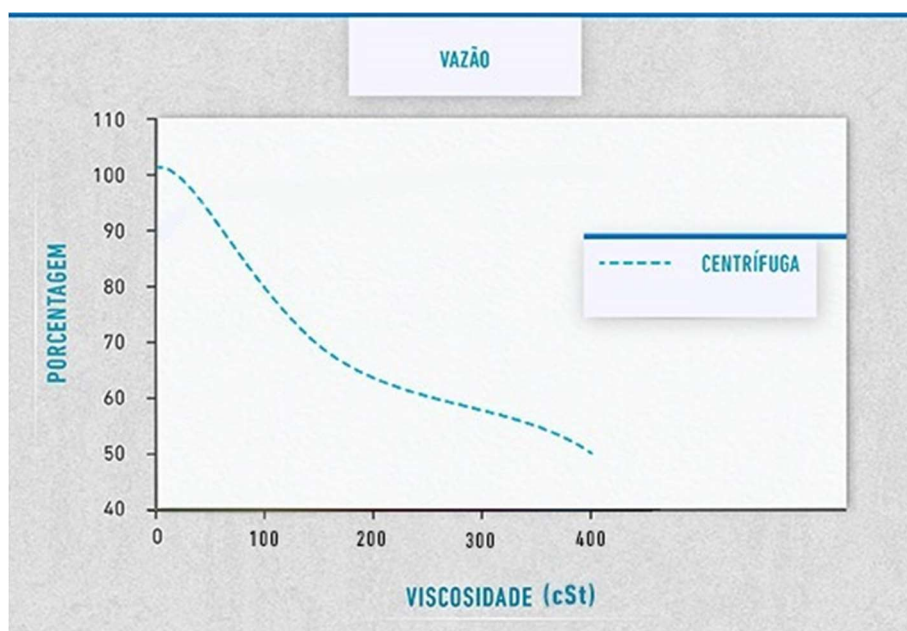
Os projetos de sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto são complexos do ponto de vista topográfico. É possível realizar o transporte da água, por exemplo, por gravidade, desde que sejam encontradas as condições topográficas favoráveis. Uma vez que cidades – e seus bairros – são regiões em constante desenvolvimento e transformação, além da escassez de terrenos devido a densidade demográfica, é pouco provável que se consiga projetar um sistema que não utilize de estações elevatórias. Os equipamentos de bombeamento utilizados são, em sua grande maioria, do tipo bombas centrífugas, ou, como também são chamadas, bombas hidráulicas.

As bombas hidráulicas são caracterizadas pela existência de um rotor dotado de palhetas em contato com o fluido. Quando o rotor é acionado por uma fonte externa de energia, a ação da força centrífuga e da força de sustentação produzida pelo escoamento do fluido em torno das palhetas provocam uma depressão à entrada do rotor, que aspira o fluido, e uma sobrepressão à saída do mesmo, realizando o recalque (CARVALHO, 1984).

As bombas centrífugas apresentam pressão uniforme e sem pulsações no bombeamento, podem ter a saída parcialmente ou completamente fechada sem

danificar o equipamento, apresentam menores custos de manutenção, frente a outros tipos de bombas, e permitem o bombeamento de líquidos com sólidos (MÉRITO COMERCIAL, 2017). Apesar disso, as bombas centrífugas são mais utilizadas no transporte de fluídos poucos viscosos e com baixa pressão de descarga, uma vez que seu rendimento é muito influenciado por esses dois parâmetros, como mostram as Figuras 5 e 6.

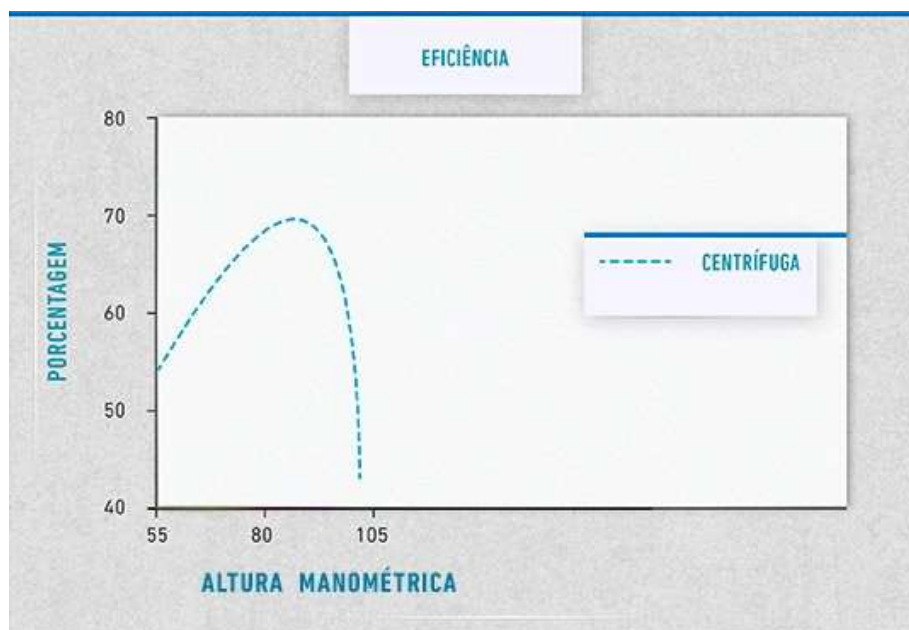
Figura 5 – Bomba Centrífuga – Vazão (%) e Viscosidade (cSt)



Fonte: RZR (2020).

A Figura acima representa a curva típica, para uma bomba centrífuga, da relação entre vazão e viscosidade no transporte de água. Nela pode-se perceber que a perda de vazão, em percentual, ocorre na medida em que a viscosidade do líquido aumenta. O gráfico acima somente apresenta o efeito da viscosidade sobre o fluxo da bomba, não considerando a perda de carga na tubulação do sistema, que também aumentará consideravelmente.

Figura 6 – Bomba Centrífuga – Eficiência (%) e Altura Manométrica (mca)



Fonte: RZR (2020).

Também em relação a eficiência mecânica, pode-se observar o gráfico da Figura 6, Eficiência Mecânica (%) vs. Altura Manométrica (mca). As mudanças de pressão impactam significativamente na eficiência, que cai rapidamente após atingir o ponto de eficiência máxima, na medida que a altura manométrica continua a aumentar.

### 2.3.1 Bombas centrífugas com motor externo

Existem várias concepções construtivas para as bombas do tipo centrífuga, ou turbobomba, com motor externo. Dentre as mais comuns estão as bombas de eixo horizontal, na qual o eixo do motor e da bomba estão em posição horizontal, podendo ser concebidas com rotor radial, diagonal ou axial. Algumas concepções menos comuns são as bombas com eixo vertical.

A eficiência das bombas de eixo externo será validada a partir da Tabela 2 que apresenta os critérios de avaliação dos rendimentos para os conjuntos com motor externo. Os valores que constam na Tabela são resultado do trabalho de pesquisa e estatística elaborado pela ProEESA (2017) a partir da Norma Oficial Mexicana NOM-

006-ENER-2015. Na Tabela encontram-se os valores de rendimento, de acordo com a potência instalada, considerados satisfatório, mediano ou insuficiente. Devem ser considerados sem credibilidade, os valores de rendimento inferiores ou superiores as faixas apresentadas, sendo necessária nova coleta de dados.

Tabela 2 – Critério de avaliação dos rendimentos dos conjuntos com motor externo

<b>Intervalo potências de (kW) a (kW)</b>	<b>Rendimento insuficiente (%)</b>	<b>Rendimento mediano (%)</b>	<b>Bom rendimento (%)</b>
5,6 a 15,7	de 20 a 52%	de 52% a 64%	de 64% a 83%
15,7 a 38,0	de 20 a 56%	de 56% a 68%	de 68% a 83%
38,0 a 96,0	de 20 a 60%	de 60% a 72%	de 72% a 83%
96,0 a 261,0	de 20 a 64%	de 64% a 72%	de 72% a 83%

Fonte: ProEESA (2017).

### 2.3.2 Bombas Submersíveis

A bomba submersível é um equipamento desenvolvido para bombear líquidos que contenham partículas sólidas e outros dejetos. São comumente utilizadas em estações elevatórias e de tratamento de esgoto, projetos de drenagem ou em limpeza de reservatórios de água, trabalhando em conjunto com mais de uma bomba e acionada por meio de boias ou chaves nível.

As bombas submersíveis não operam constantemente no reservatório, possuem ciclo de operação e ao final de sua utilização devem ser retiradas para limpeza e manutenção. Sua estrutura também é mais complexa, com alguns modelos trabalhando com 2 motores elétricos e eixos de aço inox, para que não sofram deterioração com ferrugem (MÉRITO COMERCIAL, 2019).

O desempenho das bombas submersíveis será validado a partir da Tabela 3, que apresenta os critérios de avaliação dos rendimentos para os conjuntos com motor submersível. Os valores que constam na Tabela são o resultado do trabalho de pesquisa e estatística elaborado pela ProEESA a partir da Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015. Na Tabela encontram-se os valores de rendimento, de acordo com a potência instalada, considerados satisfatório, mediano ou insuficiente. Devem ser considerados sem credibilidade, os valores de

rendimento inferiores ou superiores as faixas apresentadas, sendo necessária nova coleta de dados.

Tabela 3 – Critério de avaliação dos rendimentos dos conjuntos submersíveis

<b>Intervalo potências de (kW) a (kW)</b>	<b>Rendimento insuficiente (%)</b>	<b>Rendimento mediano (%)</b>	<b>Bom rendimento (%)</b>
5,6 a 15,7	de 20 a 35%	de 35% a 50%	de 50% a 55%
15,7 a 38,0	de 20 a 47%	de 47% a 57%	de 57% a 62%
38,0 a 96,0	de 20 a 57%	de 57% a 62%	de 62% a 67%
96,0 a 261,0	de 20 a 59%	de 59% a 63%	de 63% a 68%

Fonte: ProEESA (2017).

## 2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE SANEAMENTO

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf (2011), 52% dos sistemas de saneamento apresentam o consumo de energia elétrica como sendo a principal ou segunda maior despesa com custos operacionais (MME, 2011). No ano de 2017 o consumo do setor correspondeu a 2% do consumo nacional de energia elétrica, como se verifica confrontando os dados do Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2018 (ano base 2017) (EPE, 2018) e do Diagnóstico anual do SNIS (2017), vide Tabela 4:

Tabela 4 – Consumo de Energia Elétrica no Brasil – Ano base: 2017

<b>Consumo de Energia Elétrica   Ano Base: 2017</b>	<b>TWh</b>	<b>Em %</b>
Consumo nacional de energia elétrica (BEN)	624,3	100,0%
Consumo de energia elétrica do setor público (BEN)	43,3	6,9%
Consumo de energia elétrica no saneamento (SNIS)	12,6	2,0%

Fonte: Adaptado pelo autor (2020)

O peso relativo do saneamento no setor público, em termos de consumo de energia, foi de 29,10% em 2017. Uma pequena diminuição percentual em relação ao ano de 2007, dez anos atrás, quando foi responsável por 30,79% do consumo de energia do setor público (MME, 2011). Ainda segundo o PNEf, em 2007 o volume anual de entrada de água no sistema de abastecimento foi 14.028.888.000 m<sup>3</sup> (pouco mais de 14 bilhões de metros cúbicos), dos quais 5.993.139.000 m<sup>3</sup> (cerca



de 6 bilhões de metros cúbicos) não foram faturados, seja por perdas aparentes, perdas inevitáveis, consumo não autorizado ou por não medição. Coletando dados do SNIS, do relatório de Balanço Hídrico Brasil e do PNEf, tem-se a Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Consumo específico médio de energia elétrica por m<sup>3</sup>

<b>Parâmetros   Ano base: 2007</b>	<b>Valor Unid</b>	<b>Fonte</b>
Consumo total de energia elétrica em sistemas de água	9.812.457 MWh/ano	1
Volume total produzido e distribuído	14.028.887.000 m <sup>3</sup> /ano	2
Produção e distribuição unitária de água por MWh	1.429,70 m <sup>3</sup> /MWh	3
Consumo específico médio de energia elétrica por m <sup>3</sup>	0,70 kWh/m <sup>3</sup>	3
Fonte: <sup>1</sup> SNIS 2007 – <sup>2</sup> Balanço Hídrico Brasil – <sup>3</sup> PNEf		

Fonte: Adaptador pelo autor (2020)

Com base nas informações levantadas pelo PNEf (2011), é possível constatar que o consumo específico médio de energia elétrica por metro cúbico é de 0,70 kWh/m<sup>3</sup> e a produção e distribuição unitária de água por MWh equivale a 1.429,70 m<sup>3</sup>/MWh. Refazendo os cálculos e separando o volume não-faturado do volume faturado, tem-se a Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Consumo efetivo médio de energia elétrica por m<sup>3</sup>

<b>Parâmetros   Ano base: 2007</b>	<b>Valor Unid</b>	<b>Fonte</b>
Consumo total de energia elétrica em sistemas de água	9.812.457 MWh/ano	1
Volume total faturado	8.035.748.000 m <sup>3</sup> /ano	2
Produção unitária efetiva de água por MWh	818,93 m <sup>3</sup> /MWh	3
Consumo efetivo médio de energia elétrica por m <sup>3</sup> faturado	1,22 kWh/m <sup>3</sup>	3
Volume total não faturado	5.993.139.000 m <sup>3</sup> /ano	2
Água não faturada por MWh	610,77 m <sup>3</sup> /MWh	3
Fonte: <sup>1</sup> SNIS 2007 – <sup>2</sup> Balanço Hídrico Brasil – <sup>3</sup> Calculado		

Fonte: SNIS; BEN (2007).

A partir da Tabela 6 percebe-se que a produção – aqui chamada de produção efetiva – e distribuição unitária de água por MWh despencou de 1.429,70 m<sup>3</sup>/MWh para 818,93 m<sup>3</sup>/MWh. Esse novo valor leva em consideração apenas a água que foi faturada pelas concessionárias de saneamento e significa dizer que o sistema de abastecimento de água brasileiro opera com uma eficiência média de 57,3%. O sistema também consome 74,3% mais energia do que seria necessário para entregar 1 m<sup>3</sup> de água tratada, quando se compara os índices de consumo

específico e consumo efetivo médio de energia elétrica por metro cúbico de água. Esses índices mais do que justificam a urgente necessidade de se combater as fraudes e o roubo de água nos sistemas de abastecimento, não deixando de frisar os demais esforços para redução dos custos e melhoria nas eficiências eletromecânicas e hidroenergéticas, afim de que o custo desse serviço se torne mais acessível a população e que recursos naturais sejam preservados.

Entretanto, vale ressaltar que esses valores são indicadores operacionais de todo o sistema nacional de abastecimento de água, podendo não ser verossímil para realidades locais. Os valores também não representam a eficiência dos sistemas elevatórios, que são o foco desse estudo, e sim a do sistema de abastecimento como um todo. Dessa forma, além de buscar dados locais e específicos de cada sistema elevatório a ser estudado, faz-se necessário abordar e conceituar outros indicadores de eficiência capazes de descrever, de maneira objetiva, o comportamento desses sistemas.

#### **2.4.1 Eficiência Energética em Pernambuco**

Pernambuco, segundo a Base de Dados do Estado (2018), consumiu 13.598.080 MWh de energia no ano de 2018. Desse montante, aproximadamente 3,8% (512.662 MWh) foi destinado à Companhia Pernambucana de Saneamento e representa um valor percentual maior do que a média nacional destinada ao setor de saneamento. Esse aumento percentual em relação à média nacional ocorre devido à escassez hídrica do Estado, que torna as soluções de abastecimento mais complexas e onerosas do ponto de vista energético.

A COMPESA também consome mais energia do que a maioria dos municípios pernambucanos (97,3%), com exceção das cidades do Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca e Petrolina. Fernando de Noronha, distrito estadual de Pernambuco, é um caso particular em relação ao consumo de energia elétrica no setor de saneamento. No arquipélago, a COMPESA consome 8,2% de toda energia elétrica produzida para prestar os serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto (COMPESA, 2018). Essas particularidades tornam a questão da eficiência energética mais relevantes no Estado de Pernambuco e seus municípios.

### 2.4.2 Eficiência Energética no Sistema de Saneamento

Mudando a perspectiva de análise para a realidade individual de cada Sistema de Abastecimento de Água – SAS, Tsutiya (2006), em sua obra “Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água” aponta quatro áreas de oportunidade para melhoria da eficiência energética, são elas:

- a) O uso racional de água pelo consumidor, reduzindo também o consumo energético per capita;
- b) A configuração e operação do sistema, em relação aos seus sistemas de produção (captação, tratamento e configuração da distribuição) e à estrutura (uso de válvulas redutoras de pressão, atrito gerado por materiais da tubulação etc.);
- c) A otimização da eficiência eletromecânica de bombas e motores;
- d) A redução de perdas de água na distribuição, que acarretará a redução de água bombeada para um mesmo volume de consumo autorizado. (TSUTIYA, 2006).

Todas essas áreas também são pontos capazes de influenciar a eficiência energética de um Sistema de Esgotamento Sanitário – SES, guardada suas particularidades. Por exemplo, a redução no consumo per capita também reduzirá o volume de efluente produzido e consequentemente no volume de esgoto a ser transportado e tratado. As configurações de uma rede de coleta de esgoto também é uma área essencial no quesito eficiência energética do sistema, inclusive tendo impacto maior que no setor de abastecimento de água. Isso ocorre porque, enquanto o SAS é baseado no bombeamento de água para reservatórios e sua distribuição por gravidade, o princípio do projeto de SES é coletar (bombear) o efluente sucessivamente até a Estação de Tratamento, acarretando a maior dependência dos Sistemas Elevatórios e Poços de Sucção. Ou seja, um sistema mal projetado acarretará grandes prejuízos operacionais ao longo dos anos. A relação entre eficiência energética e otimização eletromecânica de bombas e motores também é evidente, pois trata-se de equipamentos elétricos.

A única área que se aplica uma lógica inversa em relação a lógica aplicada ao SAS é se tratando das perdas de efluente ao longo da rede. Quanto mais perdas de

fluido ao longo do sistema de coleta de esgoto, menor será o volume de esgoto que chegará nos poços de sucção e menor será o custo com energia elétrica necessária para o bombeamento. Entretanto, é evidente que essa condição não é a ideal e uma rede de coleta de esgoto que apresente perdas ao longo de seu sistema está operando em condições inapropriadas, podendo inclusive contaminar lençóis freáticos e sistemas de drenagem ou abastecimento. Dessa forma, a redução de perdas ao longo da coleta de esgoto, assim como a redução de perdas ao longo da distribuição de água, continuam sendo objetivos em comum de ambos os sistemas, mesmo que, no primeiro caso, signifique um maior consumo de energia elétrica.

### **2.4.3 Eficiência Energética dos Conjuntos Motobomba**

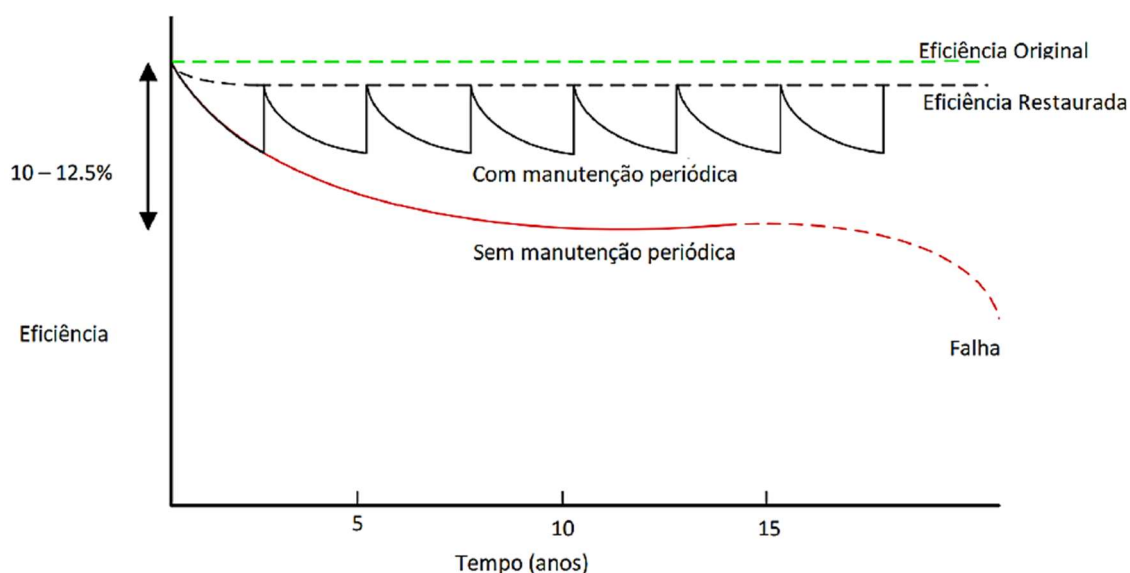
A análise da eficiência energética de um conjunto motobomba requer a realização de medições, estimativas de potencial de economia e uma metodologia de cálculo capaz de normalizar as variáveis para fins de comparação. Os principais dados a serem coletados são a potência, consumo de energia, volume bombeado, altura manométrica, tempo de operação e o custo médio de energia elétrica. A coleta de dados, apesar de ser uma tarefa difícil, é o ponto de partida para a análise de eficiência elétrica dos conjuntos motobombas. A estimativa de potencial de economia será definida como a diferença entre a eficiência esperada (vide Tabela 2 e Tabela 3) e a eficiência encontrada, vide o cálculo de indicadores de desempenho.

A melhoria da eficiência de um sistema de bombeamento requer sempre ações específicas, pois a natureza do problema é única de cada equipamento. Dessa forma, pode-se listar, dentre outras medidas, soluções de automação e adequação do conjunto motobomba para o fim estipulado. Motores substituídos por outros de potência diferente, mesmo que maior, por exemplo, apresentarão indicadores de eficiência abaixo do esperado para o conjunto motobomba. Essa é a razão pela qual o monitoramento dos conjuntos motobombas é tão importante quanto o dimensionamento do sistema, visto que panes, depreciação e mudanças nas demandas iniciais são realidades. Nessas situações só o monitoramento constante pode verificar possíveis prejuízos quanto ao rendimento dos equipamentos. Ainda assim, a melhor prática é a manutenção regular, que não somente garantirá a eficiência energética, mas também irá assegurar a operação de acordo com os

requisitos de projeto e aumentará a vida útil do equipamento, reduzindo os custos gerais do sistema (GAMA, 2018).

A Figura 7, retirada da apostila do curso “Pré-Diagnóstico das Eficiências Eletromecânicas e Hidroenergéticas de Sistemas Elevatórios de Água”, baseado no relatório do *Energy Efficiency and Conservation Authority*, mostra a comparação entre a eficiência de uma bomba que recebe manutenção regularmente e uma bomba que é negligenciada. Segundo o estudo, caso a manutenção ocorra tardiamente, o nível de eficiência a ser restaurado será inferior ao que poderia ser obtido. Isso ocorre devido a um maior desgaste do rotor, da carcaça e do aumento da folga entre as peças fixas e móveis do conjunto (EECA, 2018).

Figura 7 – Tendências médias de desgaste para bombas



Fonte: EECA (2018).

Na Figura:

- Em verde, eficiência original;
- Vermelho, eficiência sem manutenção periódica;
- Vermelho pontilhado, falha;
- Preto, eficiência com manutenção periódica;
- Preto pontilhado, eficiência restaurada.

#### **2.4.4 Fatores que atuam na Eficiência Energética das Motobombas**

Como já mencionado, a irregularidade de inspeções periódicas pode levar os equipamentos a um estado crítico onde não será mais possível a restauração a seus níveis ótimos de eficiência. Entretanto, além das questões mecânicas deve-se destacar fatores hidráulicos, elétricos e operacionais que podem interferir na eficiência energética dos equipamentos. O estudo desses fatores é importante porque a metodologia para cálculo do Consumo Energético Normalizado não indica a origem do problema, que pode inclusive não ser de natureza hidráulica ou mecânica e sim uma limitação operacional imposta ao sistema em estudo.

A utilização de válvulas para o controle de vazão, por exemplo, irá resultar no aumento da energia consumida pelos equipamentos (DUTRA, 2005). Nessa hipótese, mesmo a elevatória apresentando uma eficiência abaixo do esperado, trata-se de um condicionante operacional do sistema e não uma falha mecânica que pode ser corrigida através de uma manutenção técnica. Outro fator é o fenômeno do transiente hidráulico, ou golpe de aríete, que ocorre dentro de um conduto forçado quando há uma instabilidade no fluxo do líquido ocasionada por uma onda ou mudança de pressão propagada através da tubulação (NETTO, 1998). Essa instabilidade pode ser causada por rupturas na tubulação, mudanças de manobra com a abertura ou fechamento de válvulas, quedas de energia e falhas nos conjuntos motobombas. Tirando a hipótese de que o golpe de aríete tenha causa direta na falha da bomba, esse fenômeno pode contribuir para a redução da eficiência da elevatória.

Ademais, outros condicionantes específicos devem ser sempre levados em consideração na avaliação do rendimento através da metodologia proposta. Para contornar as situações atípicas onde existem limitações impostas aos equipamentos, sejam de ordem operacional ou técnica, deve-se comparar os resultados encontrados com o histórico próprio de cada um desses equipamentos. Se ainda assim ficar comprovada a deficiência energética da elevatória em questão, deve-se tomar as medidas de investigação ou manutenção propostas.

## 2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO E REFERÊNCIA

Indicadores de desempenho ou de eficiência podem ser definidos como medidas – coeficientes – quantitativas e qualitativas capazes de representar aspectos particulares de uma atividade, processo ou trabalho. Trata-se de um instrumento de apoio à gestão. No meio empresarial é comum o acompanhamento do desempenho produtivo, qualitativo, financeiro e estratégico por meio desses indicadores, também chamados de Indicadores-Chave de Desempenho ou Key Performance Indicator – KPI (HEFLO, 2018). Dessa forma, é importante identificar a natureza da atividade a ser estudada a fim de que se possa escolher os melhores indicadores – e consequentemente obter as melhores informações – para validar as ações de intervenção.

Fazendo analogia com o setor de saneamento ambiental e tendo em vista que o SNIS não contempla dados específicos relacionados ao desempenho energético dos sistemas de abastecimento locais, faz-se necessário estudar quais são os indicadores capazes de mensurar o desempenho hidroenergético e eletromecânico dos sistemas elevatórios de água. Um estudo publicado por Camponogara no Silusba de 2017, sobre Indicadores de Referência Hidroenergéticos em Sistemas de Abastecimento de Água, realizou uma revisão bibliográfica apontando quatro indicadores hidroenergéticos, apresentados a seguir.

### 2.5.1 Consumo Específico de Energia – CE

O Consumo Específico de Energia é definido como sendo a razão entre o consumo de energia e o volume de água bombeado por um conjunto de bombas e representa a quantidade média de energia necessária para elevar um metro cúbico de água (CAMPONOGARA, *et al.*, 2017).

$$CE \left[ \frac{kWh}{m^3} \right] = \frac{E}{V} \quad (1)$$

E – Energia consumida (KWh);

V – Volume bombeado (m³).

É um indicador que reflete a eficiência do conjunto motobomba, bem como a eficiência do sistema hidráulico da bomba. Apesar de ser útil para acompanhar o desempenho do sistema de bombeamento ao longo do tempo, não serve para comparar estações de bombeamento distintas, visto que não normaliza a altura manométrica dos sistemas (2):

$$CE \left[ \frac{kWh}{m^3} \right] = \frac{\gamma \times H}{3,6 \times 10^6 \times n} \quad (2)$$

$n$  – Rendimento total;

$\gamma$  – Peso específico (N/m<sup>3</sup>);

$Q$  – Vazão (m<sup>3</sup>/s);

$H$  – Altura manométrica (m);

$P$  – Potência do sistema (kW);

$t$  – Tempo (s, h).

### 2.5.2 Consumo de Energia Normalizado – CEN

O objetivo do CEN é ser um indicador de consumo energético independente da altura manométrica do sistema, contornando a limitação de comparação do CE. Dessa forma, o CEN corresponde ao inverso do rendimento do conjunto motobomba, apresentando o valor mínimo teórico igual a 0,2725, que equivale a um rendimento de 100% (CAMPONOGARA, *et al.*, 2017). Segue a definição do indicador CEN (3):

$$CEN \left[ \frac{kWh}{m^3 \times 100m} \right] = \frac{E \times 100}{V \times H} \quad (3)$$

$E$  – Energia consumida (kWh);

$V$  – Volume Bombeado (m<sup>3</sup>);

$H$  – Altura manométrica (m).

O CEN também pode ser relacionado com o rendimento da bomba (4).

$$CEN = \frac{0,2725}{n} \quad (4)$$

$n$  – Rendimento total.



### 2.5.3 Custo Médio Da Energia Elétrica – CMEE

O CMEE (5) representa o custo total da unidade de bombeamento por energia utilizada, ou seja, é a tarifa de energia cobrada pela concessionária. Nele incidem os impostos, tarifas, multas, energia e demanda utilizada (CAMPONOGARA, *et al.*, 2017).

$$CMEE \left[ \frac{R\$}{kWh} \right] = \frac{C}{E} \quad (5)$$

$C$  – Custo total da fatura de energia elétrica;

$E$  – Energia utilizada.

### 2.5.4 Custo Médio Por Metro Cúbico Bombeado – CMEM

Reflete o custo médio para bombear 1 m<sup>3</sup> de água e sobre ele também incidem impostos, tarifas, multas, energia e demanda utilizada (CAMPONOGARA, *et al.*, 2017) (6).

$$CMEM \left[ \frac{R\$}{m^3} \right] = \frac{C}{V} \quad (6)$$

$C$  – Custo total da fatura de energia elétrica;

$V$  – Volume elevado.

Os indicadores CMEE e CMEM são úteis para precificar o custo do processo de bombeamento por completo. Entretanto, por considerarem variáveis estranhas ao processo hidráulico – impostos e tarifas por demanda – não são adequados para mensurar a economia gerada graças a uma intervenção no sistema que melhore a eficiência do equipamento – manutenção ou substituição de uma bomba, por exemplo. A utilização desses indicadores gerará falsas expectativas do potencial de economia, o que prejudicará o cálculo do retorno financeiro da intervenção. O “Manual de Cálculo do Consumo Energético Normalizado e do Potencial de Economia em Instalações de Bombeamento” (FERREIRA e OLIVEIRA, 2017) determina que, ao invés de utilizar o “Índice de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgotos” do SNIS, ou o preço médio que por vezes é indicado na fatura, é preciso calcular a Tarifa Média, que considera apenas o custo

efetivo com o consumo de energia.

### 2.5.5 Tarifa Média – TM

A Tarifa Média, assim como o Custo Médio de Energia Elétrica – CMEE, também é expressa como sendo a razão entre o custo, em Real, e o consumo de energia elétrica, em kWh (7), entretanto, os dois indicadores têm significados distintos. A diferença entre os índices é que o cálculo da Tarifa Média não engloba os impostos cobrados e as tarifas por demanda de energia, levando em consideração apenas o consumo efetivo de energia elétrica (FERREIRA e OLIVEIRA, 2017). A TM não leva em consideração o custo relativo à demanda e o custo relativo aos tributos pois esses valores não serão impactados com a melhoria da eficiência energética dos equipamentos. Dessa forma, pode-se afirmar que a Tarifa Média, como está definida, sempre será uma porcentagem do CMEE.

$$TM \left[ \frac{R\$}{kWh} \right] = \frac{Cc}{E} \quad (7)$$

$Cc$  – Custo com o consumo de energia elétrica;

$E$  – Energia utilizada.

A Tarifa Média deve ser individual para cada unidade consumidora de energia, estação elevatória ou conjunto motobomba, pois assim acomoda os preços relativos ao horário de funcionamento e consequente as tarifas em ponta e fora de ponta. A seguir, na Figura 8, tem-se um exemplo extraído do “Manual de Cálculo do Consumo Energético Normalizado e do Potencial de Economia em Instalações de Bombeamento” (2017).

O consumo total representa a soma entre os consumos em Ponta e Fora Ponta e totalizam 2.362.760 kWh de energia. Sendo o valor total da fatura igual a R\$ 1.081.060,51 – consumo, demanda e impostos – o Preço Médio calculado é igual a 0,45754140 R\$/kWh. A Tarifa Média, por sua vez, considera apenas valor cobrado pelo consumo de energia elétrica – R\$ 700.935,74 – e equivale a 0,29665973 R\$/kWh, significando 64,84% do CMEE.

Figura 8 – Fatura de energia

ICMS			PIS/COFINS		DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO				
Base de Cálculo R\$	Aliquota	Valor R\$	Aliquota PIS %	0,78	Venda de Energia (kWh)	Quantidade	Preço Medio	<div></div>	Valores R\$
1.223.535,04	18,00	220.236,30	Aliquota COFINS %	3,59					
Total de ICMS		220.236,30			2.362.760	0,45754140		<div></div>	1.081.060,51
ATENDIMENTO CPFL		INSTALAÇÃO		CONTA/MÊS	VENCIMENTO		TOTAL A PAGAR (R\$)		
0800 770 41 40				AGO/2016	28/09/2016		1.081.060,51		
www.cpflempresas.com.br		Segunda Via							
DESCRIÇÃO DA CONTA									
		Registrado	Contratado	Faturado	Tarifa/Preço				Valores R\$
Consumo Ponta [KWh] - TUSD		222.720		222.720	0,06440450				14.344,18
Consumo Fora Ponta [KWh]-TUSD		2.140.040		2.140.040	0,06440450				137.828,21
Cons Ponta Band Verde - TE		222.720		222.720	0,34048450				75.832,70
Consumo F Ponta Band Verde-TE		2.140.040		2.140.040	0,22099150				472.930,65
Demanda Ponta [kW] - TUSD		3.552	4.000	4.000	19,71150000				78.846,00
Demanda F Ponta [kW] -TUSD		3.556	4.000	4.000	6,89350000				27.574,00
Descontos Tarifarios									142.474,53
ICMS Desconto Tarifario									33.035,44
PIS/PASEP									9.543,57
COFINS									43.924,90
ICMS									187.200,86
Subtotal									1.223.535,04
Total Distribuidora									1.223.535,04
Credito do Desconto Tarifario									142.474,53-
Total a Pagar								<div></div>	1.081.060,51

Fonte: Ferreira; Oliveira (2017)

## 2.6 POTENCIAL DE REDUÇÃO DE CONSUMO E DE ECONOMIA

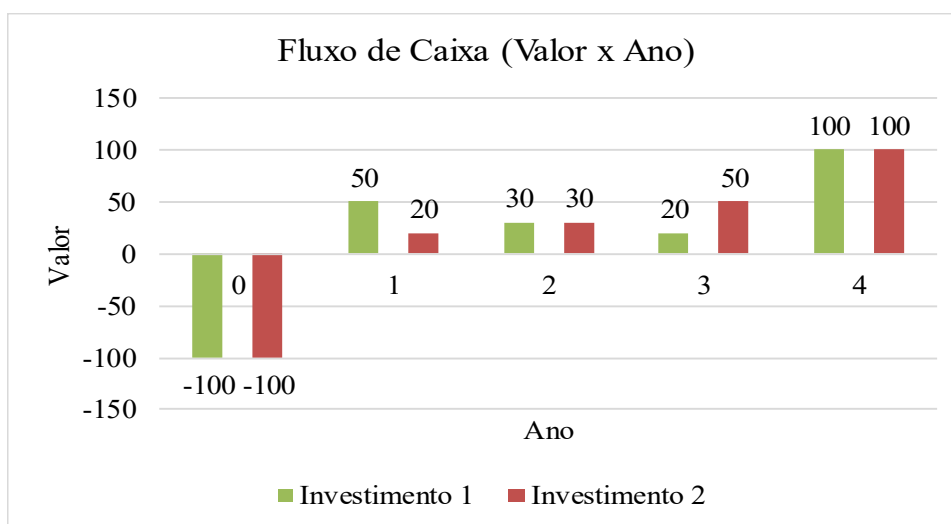
O potencial de economia de um sistema motobomba dependerá do rendimento esperado após a intervenção, seja ela manutenção ou substituição dos equipamentos. Isso porque o potencial de redução de consumo representa a diferença entre a eficiência atual de um sistema e a eficiência satisfatória, que deverá ser estipulada pelo operador. Vale ressaltar, entretanto, que o valor da eficiência esperada não pode ser arbitrário, devendo ser inferior ao rendimento indicado pelo fabricante. Isso acontece porque os valores fornecidos são obtidos em laboratório, sob condições ideais, e a utilização desses índices resultará em falsas expectativas de rendimento. Além desse fator, deve-se levar em consideração que não é possível restaurar um equipamento de tal forma que ele retorne aos valores originais de eficiência, principalmente em casos onde os equipamentos não recebam manutenção periódica. Caso falte referências para se estimar valores de rendimento após a intervenção, é recomendado a utilização do menor valor encontrado na coluna “Bom rendimento”, presente nas Tabelas 2 e 3 (FERREIRA e OLIVEIRA, 2017).

O conceito de potencial de economia será utilizado para definir, nas situações que a intervenção for necessária, o tempo de retorno do investimento e sua priorização. O Payback será o índice utilizado para indicar o tempo decorrido do

momento inicial da intervenção até o momento no qual o retorno financeiro se iguale ao valor investido. A metodologia é bastante simples e dá ao operador a capacidade de tomar decisões rapidamente. Usando o valor da intervenção necessária para restaurar o rendimento do equipamento, manutenção ou substituição, e o potencial de economia mensal, calcula-se o payback simples. Para paybacks inferiores a 5 anos (60 meses), considera-se que deve ser realizada a intervenção prevista (FERREIRA e OLIVEIRA, 2017) e considerando que os recursos financeiros são escassos, as prioridades de substituição devem ir para os equipamentos com maiores potenciais de economia, ou seja, mais deficitários.

Existem pontos positivos e pontos negativos de se utilizar o payback para analisar a viabilidade de um investimento. O payback, além de sua facilidade de cálculo, fornece informações sobre a liquidez do investimento. Entretanto, não é aconselhada a sua utilização para projetos de longo prazo ou de vida útil ilimitada, pois o índice não leva em consideração o fluxo de caixa. No exemplo a seguir (Figura 9) pode-se observar dois investimentos distintos, onde ambos retornam o valor investido em 3 anos. Porém, o primeiro (em verde) é mais vantajoso, pois tem um retorno mais alto de imediato.

Figura 9 – Fluxo de Caixa: Investimentos 1 e 2



Fonte: O autor (2020).

Há diferentes formas de calcular o payback, considerando ou não o dinheiro ao longo do tempo (GONÇALVES, 2019). O payback simples é calculado de maneira direta e é o número de meses ou anos necessários para recuperar um investimento

feito, ou seja, o momento que o lucro cobre o valor investido, vide o exemplo da Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Payback simples

Ano	Valor	Fluxo
0	-1.700.000,00	-1.700.000,00
1	309.960,00	-1.390.040,00
2	309.960,00	-1.080.080,00
3	309.960,00	-770.120,00
4	309.960,00	-460.160,00
5	309.960,00	-150.200,00
6	309.960,00	159.760,00
7	309.960,00	469.720,00
8	309.960,00	779.680,00
9	309.960,00	1.089.640,00
<b>Payback (anos)</b>		<b>5,48</b>

Fonte: O autor (2020).

O payback descontado existe justamente para suprir as falhas que ocorrem no cálculo do payback simples. Nele se utiliza uma taxa de desconto, normalmente a TMA – Taxa Mínima de Atratividade, aplicada em todas as parcelas do fluxo de caixa. Para calcular o payback descontado utiliza-se uma tabela com os valores descontados através da Equação 8 (GONÇALVES, 2019), como exemplificado na Tabela 8.

$$PV = \frac{FV}{(1 + i)^n} \quad (8)$$

Onde,

PV – Valor descontado

FV – Valor futuro

i – Taxa Mínima de Atratividade – TMA

n – Número do período

Tabela 8 – Payback descontado

<b>Ano</b>	<b>Valor Descontado (<math>PV = FV / (1 + i)^n</math>)</b>	<b>Fluxo Descontado</b>
0	-1.700.000,00	-1.700.000,00
1	281.781,82	-1.418.218,18
2	256.165,29	-1.162.052,89
3	232.877,54	-929.175,36
4	211.706,85	-717.468,51
5	192.460,77	-525.007,73
6	174.964,34	-350.043,39
7	159.058,49	-190.984,90
8	144.598,63	-46.386,28
9	131.453,30	85.067,02
<b>Payback (anos)</b>		<b>8,35</b>

Fonte: O autor (2020).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Comparar o rendimento de conjuntos motobombas distintos, mas que operam na mesma altura monométrica e vazão é tarefa simples. Um estudo como esse requer comparar o Consumo de Energia (CE) de um conjunto com os demais. A tarefa torna-se complexa quando se busca comparar sistemas distintos que diferem no volume de água transportado e na altura manométrica alcançada, ou seja, os pontos de operação não coincidem entre si. Nessa segunda hipótese é preciso definir quanta energia é consumida, por cada conjunto motobomba, para elevar a mesma quantidade de água a uma mesma altura manométrica.

#### 3.1 INDICADOR CEN

O indicador de Consumo Energético Normalizado será o conceito utilizado na metodologia do pré-diagnóstico que permitirá a equiparação dos distintos sistemas elevatórios estudados (GAMA e SILVA, 2018). O CEN calcula o rendimento de um sistema de bombeamento qualquer, convertendo o consumo energético de todas as estações elevatórias para a mesma unidade (FERREIRA e OLIVEIRA, 2017). Permite a comparação direta entre sistemas distintos, captando apenas o rendimento do conjunto motobomba e normalizando as grandezas de altura manométrica e volume transportado.

Pode-se definir fisicamente o CEN como a quantidade de energia utilizada para elevar um metro cúbico de água a cem metros de altura. O indicador CEN pode ser equacionado da seguinte forma descrito abaixo:

$$CEN = \frac{E}{F_{unif}} \quad (9)$$

Onde o Fator de Uniformização (10) é definido como sendo o produto entre o volume transportado e a altura manométrica do sistema dividida por 100:

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

Assim, tem-se a Equação 11:

$$CEN = \frac{E \times 100}{V \times H} \quad (11)$$

Onde, para as Equações 9, 10 e 11:

E – Energia elétrica consumida no período de referência (kWh);

V – Volume total de água elevado no período de referência (m³);

H – Altura manométrica média verificado no período de referência (m);

CEN – [kWh/(m³x100m)].

Vale destacar que o indicador CEN não distingue as perdas de cargas e a altura geométrica. Por exemplo, dois sistemas, o primeiro com altura geométrica de 40mca e perda de carga de 10mca, será percebido da mesma forma que o segundo sistema com altura geométrica de 30mca e perda de carga de 20mca, visto que ambos possuem altura manométrica de 50mca.

O CEN também corresponde ao inverso do rendimento (12) do conjunto motobomba (CAMPONOGARA, KURITZA, *et al.*, 2017) e o valor mínimo teórico para um rendimento de 100% é igual à 0,2725 (13).

$$n = n_b \times n_m = \frac{\gamma \times Q \times H}{1000 \times P} \quad (12)$$

$$CEN \left[ \frac{kWh}{m^3 \times 100m} \right] = \frac{E}{F_{unif}} = \frac{P \times t[h]}{Q \times t[s] \times \frac{H}{100}} = \frac{P \times \frac{t[s]}{3600}}{Q \times t[s] \times \frac{H}{100}} \rightarrow$$

$$\frac{\left[ \frac{\gamma \times Q \times H}{1000 \times n} \right] \times \frac{t}{3600}}{Q \times t \times \frac{H}{100}} = \left[ \frac{\gamma}{1000 \times n} \right] \times \frac{100}{3600} = \frac{9810 \times 100}{1000 \times n \times 3600} \rightarrow \quad (13)$$

$$CEN = \frac{0,2725}{n} \rightarrow \text{para } n = 100\% \rightarrow CEN_{min.teórico} = 0,2725$$

Onde:

E – Energia elétrica consumida (kWh);

$n, n_b, n_m$  – Rendimento total, da bomba e do motor, respectivamente;

$\gamma$  – Peso específico da água (N/m³);

Q – Vazão média (m³/s);

H – Altura manométrica média (m);

P – Potência do sistema (kW);

t – Tempo (s, h).



### 3.2 DADOS DE ENTRADA

Para o cálculo do CEN, como definido na Equação 11, são necessárias como dados de entrada as seguintes grandezas:

- a) Volume elevado pelo sistema ao longo do período analisado;
- b) Altura manométrica média;
- c) Consumo de energia durante o período analisado.

Com esses três dados de entrada, já é possível calcular o indicador, entretanto, é salutar destacar que os motores das bombas, a depender do tipo – externos ou submersos – e da potência, apresentam diferentes expectativas em relação ao seu rendimento energético. A Tabela 9 apresenta o rendimento esperado para cada tipo de conjunto motobomba por intervalo de potência.

Tabela 9 – Rendimento esperado dos conjuntos motobombas

Intervalo de potência (kW)		Rendimento para conjunto com motor externo (%)	Rendimento para conjunto com motor submersível (%)
de	a		
5,6	15,7	64%	50%
15,7	38,0	68%	57%
38,0	96,0	72%	62%
96,0	261,0	72%	63%

Fonte: Ferreira; Oliveira (2017).

Em relação ao consumo de energia, é necessário que o período de medição apontado na fatura coincida com o período de coleta dos demais dados. Caso contrário, será necessário fazer uma correção ponderada dos valores consumidos para os meses de coleta dos dados. Além do consumo de energia elétrica, que será utilizado para cálculo do indicador CEN, a tarifa média cobrada será importante para o cálculo econômico do payback. A tarifa média cobrada é a razão entre o valor pago pela energia consumida e consumo ativo de energia, descontando do cálculo as multas, tarifas por demanda e tributos. O valor pago pela demanda deve ser descontado para não gerar falsas expectativas de redução de custos, visto que a demanda não será alterada se não houver mudança na potência das bombas.

Para a realização do pré-diagnóstico são necessárias mais as seguintes informações:

- a) Tipo (modelo) do motor;
- b) Potência do motor;
- c) Tarifa média cobrada;
- d) Custo de intervenção nos equipamentos;
- e) Custo de substituição dos equipamentos.

### 3.2.1 Planilha de cálculo – Dados de entrada

Toda metodologia foi reproduzida via planilha do *Excel*, podendo ser replicada em qualquer outro software semelhante. O arquivo elaborado tem 21 colunas e seu passo a passo será descrito paralelamente à apresentação da metodologia. O primeiro passo é o cadastramento das elevatórias, onde serão atribuídos códigos às elevatórias, nome (ou região), período de análise e as datas, conforme o exemplo demonstrado a seguir, na Figura 10.

Figura 10 – Registro das Elevatórias

A	B	C	D
Código	Estação elevatória	Período de análise [meses]	Data de análise [mm/aaaa]
A1	EXEMPLO A1	12	01/2016 a 12/2016
A2	EXEMPLO A2	6	01/2016 a 12/2016
B	EXEMPLO B	12	01/2016 a 12/2016
C	EXEMPLO C	10	11/2016 a 04/2017

Fonte: O autor (2020).

Após o cadastramento das elevatórias se faz necessário classificar o tipo do motor em externo ou submerso. Na coluna E pode-se acrescentar um menu suspenso em lista, através do caminho: Dados > Validação de Dados. Na janela aberta, em “Permitir”, se selecionará a opção *lista* e em “Fonte”, o intervalo de células que contiverem os nomes “externo” e “submerso”, já previamente escritos em uma aba auxiliar, aqui chamada ‘Respostas tipo’, vide Figura 11.

Figura 11 – Validação de Dados e Menu suspenso em lista

Validação de dados

Configurações Mensagem de entrada Alerta de erro

Critério de validação

Permitir: Lista

Dados: está entre

Fonte: =Respostas tipo!\$B\$11:\$B\$12

☐ Aplicar alterações a todas as células com as mesmas configurações

Limpar tudo OK Cancelar

Fonte: O autor (2020).

Dessa forma temos as colunas E, F e G (Figura 12), onde constam o tipo de motor, a quantidade de bombas em operação simultânea e a potência de cada motor, respectivamente.

Figura 12 – Tipo, quantidade e potência de cada motor

E	F	G
Tipo de motor do conjunto	Qtde. bombas em operação simultânea	Potência de cada motor [kW]
externo	3,00	188,58
submerso	2,00	67,09
externo	1,00	14,51
externo	2,00	108,80

Fonte: O autor (2020).

A metodologia não abarca outros modelos de bombas, como por exemplo, bombas de parafuso excêntrico, diafragma ou lobular, pois normalmente não são aplicadas em sistemas de elevação de água. As colunas H, I, J e K serão preenchidas com o volume elevado no período (em m<sup>3</sup>), a altura manométrica média, energia elétrica consumida e a tarifa média de energia consumida – com atenção ao cálculo da tarifa. Assim, na Figura 13, tem-se:

Figura 13 – Volume, altura, energia consumida e tarifa de energia

H	I	J	K
Volume elevado no período [m³]	Altura manométrica média [m]	Energia elétrica consumida no período [kWh]	Tarifa média de energia consumida [R\$/kWh]
8.443.383,31	132,50	4.659.154,00	0,29
800.000,00	8,50	52.018,00	0,29
2.340.000,00	29,00	150.000,00	0,29
1.779.898,00	151,00	986.215,00	0,29

Fonte: O autor (2020).

A Figura 14 ilustra o cálculo do Fator de uniformização, Indicador CEN e Rendimento, nas colunas L, M e N, respectivamente. O Fator de uniformização é calculado conforme demonstrado na Equação 10, sendo utilizada a função ‘ $H*I/100$ ’. O Indicador CEN é determinado pela relação ‘ $J/L$ ’ e para o cálculo do Rendimento utiliza-se a expressão ‘ $0,2725/M*100$ ’.

Figura 14 – Fator de uniformização, Indicador CEN e Rendimento

	L	M	N
1	Fator de uniformização [m³x100m]	Indicador CEN [kWh/ (m³x100m)]	Rendimento [%]
2	$H2*I2/100$	$J2/L2$	$0,2725/M3*100$
3	68.000,00	0,76	35,62
4	678.600,00	0,22	123,28
5	2.687.645,98	0,37	74,26

Fonte: O autor (2020).

### 3.3 CÁLCULO, AVALIAÇÃO DE RENDIMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Uma vez calculado o Fator de Uniformização e o Indicador CEN, calcula-se a eficiência energética do sistema, em porcentagem, através da Equação 14 abaixo:

$$Rendimento (\%) = \frac{0,2725}{CEN} \quad (14)$$

O valor obtido é então classificado de acordo com a Tabela 2 ou Tabela 3 a depender do modelo de conjunto motobomba, externo ou submersível (FERREIRA e

OLIVEIRA, 2017). Valores percentuais fora dos intervalos da Tabela 2 e Tabela 3 devem ser considerados de baixa confiabilidade, sendo aconselhável rever a coleta de dados antes de qualquer intervenção no sistema. A seguir, na Tabela 10, constam-se as propostas de intervenção operacional de acordo com a classificação de desempenho dos conjuntos motobombas.

Tabela 10 – Avaliação de rendimento x Proposta de intervenção operacional

<b>Avaliação de rendimento</b>	<b>Proposta de intervenção operacional</b>
Valor sem credibilidade	Refazer coleta de dados
Desempenho insuficiente e baixa confiabilidade	Realizar manutenção, mas antes rever coleta de dados
Desempenho insuficiente	Realizar manutenção
Desempenho mediano	Agendar manutenção
Bom desempenho	OK
Bom desempenho, mas baixa confiabilidade	OK, mas também rever coleta de dados
Valor sem credibilidade	Refazer coleta de dados

Fonte: Gama (2018).

As propostas foram elaboradas com base no estudo da ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental e AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp, apresentado no Congresso ABES FENASAN (2017).

### 3.3.1 Planilha de cálculo – Avaliação de desempenho

Figura 15 – Exemplo: Desempenho da EE e Proposta de intervenção operacional

<b>N</b>	<b>O</b>	<b>P</b>
Rendimento [%]	Avaliação de desempenho da estação elevatória	Proposta de intervenção operacional
65,43	Desempenho mediano	Agendar manutenção
35,62	Desempenho insuficiente	Realizar manutenção
123,28	Valor sem credibilidade	Refazer coleta de dados
74,26	Bom desempenho	OK

Fonte: O autor (2020).

Na Figura 15, nas colunas O e P, serão utilizadas funções nativas do Excel para programar o preenchimento automático das células com a avaliação de desempenho das Estações Elevatórias e as respectivas propostas de intervenção operacional. Além das funções é necessário criar uma planilha dentro do mesmo arquivo (Figura 16), que no exemplo será nomeada 'Rendimento esperado'.

Figura 16 – Planilha Auxiliar “Rendimento esperado”

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
11	<b>Tipo de motor</b>	<b>externo</b>				<b>submerso</b>				<b>Medida recomendável</b>
12	<b>Potência a partir de [kW]</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>96</b>	
13	Valor sem credibilidade	0	0	0	0	0	0	0	0	Refazer coleta de dados
14	Desempenho insuficiente e baixa confiabilidade	16	16	16	16	16	16	16	16	Realizar manutenção, mas antes rever coleta de dados
15	Desempenho insuficiente	25	25	25	25	25	25	25	25	Realizar manutenção
16	Desempenho mediano	52	56	60	64	35	47	57	59	Agendar manutenção
17	Bom desempenho	64	68	72	72	50	57	62	63	OK
18	Bom desempenho, mas baixa confiabilidade	83	87	91	91	55	62	67	68	OK, mas também rever coleta de dados
19	Valor sem credibilidade	120	125	131	131	79	89	96	98	Refazer coleta de dados

Fonte: ProEESA (2017)

‘=SE’ – Permite comparações lógicas entre valores;

‘=DESLOC’ – Retorna uma referência deslocada de acordo com um número específico de linhas e colunas;

‘=CORRESP’ – Procura um item especificado em um intervalo de células e retorna a posição relativa desse item no intervalo.

As expressões utilizadas nas colunas O e P da Figura 15 são, respectivamente:

*‘DESLOC (‘Rendimento esperado’!\$B\$12; CORRESP (O; DESLOC (SE(E="externo"; ‘Rendimento esperado’!\$B\$12; ‘Rendimento esperado’!\$F\$12); 1; CORRESP(G; SE (E="externo"; ‘Rendimento esperado’!\$C\$12:\$F\$12; ‘Rendimento esperado’!\$G\$12:\$J\$12); 1);7;1);1);0)’*

*‘DESLOC (‘Rendimento esperado’!\$B\$12; CORRESP (O;DESLOC(SE (E="externo"; ‘Rendimento esperado’!\$B\$12; ‘Rendimento esperado’!\$F\$12); 1; CORRESP(G; SE (E="externo"; ‘Rendimento esperado’!\$C\$12:\$F\$12; ‘Rendimento esperado’!\$G\$12:\$J\$12); 1);7;1);1);9)’*

### 3.4 POTENCIAL DE ECONOMIA E REDUÇÃO DE CONSUMO

O Potencial de Economia será utilizado para calcular o retorno financeiro da intervenção de manutenção do sistema. Assim sendo, sua assertividade é fundamental para determinar se a intervenção será viável e prioritária em detrimento da dos demais sistemas em estudo.

Para calcular o Potencial de Economia será utilizada a Equação 15:

$$PE = PR_c \times TM \quad (15)$$

Sendo:

PE – Potencial de economia (R\$/mês);

PR<sub>c</sub> – Potencial de redução de consumo (kWh/mês);

TM – Tarifa Média (R\$/kWh).

Utilizando a Equação 16 obtém-se Potencial de Economia Energética em kWh:

$$PR_c = \frac{\left( \Delta \times V \times \frac{H}{100} \right)}{n^{\circ} \text{ de meses}} \quad (16)$$

Onde:

PR<sub>c</sub> – Potencial de Redução de consumo (kWh/mês);

Δ – Diferença entre eficiência atual e eficiência estimada [kWh/(m<sup>3</sup>x100m)];

V – Volume total de água elevado no período de referência (m<sup>3</sup>);

H – Altura manométrica média para o período de referência (m).

Apesar da Tabela 9 sugerir valores de eficiência satisfatória de acordo com o tipo de motor e potência da bomba, outros valores podem ser adotados com base na experiência do operador.

### 3.5 ANÁLISE ECONÔMICA – PAYBACK SIMPLES

O *payback*, assim como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), formam um conjunto de indicadores que permitem a análise do retorno financeiro do empreendimento. Em outras palavras, eles indicam o tempo

necessário para que o lucro acumulado iguale o investimento inicial (GONÇALVES, 2019).

Para fins dessa metodologia, será utilizado o indicador do payback *simples*, sem levar em consideração a variação do valor do dinheiro ao longo do tempo. Dessa forma, o investimento será o custo com substituição dos equipamentos, enquanto a economia prevista representará o lucro do empreendimento.

Uma vez já previsto o Potencial de Economia, é possível calcular o payback simples através da Equação 17:

$$PB_s = \frac{C}{PE_f} \quad (17)$$

Onde,

PBs – Payback Simples (meses);

C – Custo total da intervenção que permite restaurar a eficiência energética (R\$);

PEf – Potencial de economia financeira (R\$/mês).

Essa ferramenta também pode ser utilizada como segundo critério para priorização das intervenções. Nesse caso, é aconselhável priorizar os investimentos com menor payback, ou seja, com um retorno financeiro mais curto, para assim amortizar o custo com energia elétrica.

### 3.5.1 Planilha de cálculo – Redução de consumo, potencial de economia e payback

Na Figura 17 a coluna 'Q' deverá ser preenchida manualmente de acordo com os valores cotados para manutenção ou substituição dos equipamentos, assim como a coluna 'R'. Os valores de Rendimento esperado podem ser determinados com base na Tabela 9, ou de acordo a experiencia do operador do sistema ou fabricante da bomba.

O Potencial de Economia (coluna 'T') e o Potencial de Redução de Consumo (coluna 'S') serão calculados de acordo com as Equações 15 e 16, respectivamente. As fórmulas no Excel são dadas por: '=K\*S', na coluna 'T' e '=((R-N)/100\*H/100)/C', de forma simplificada, para a coluna 'S'. O payback (coluna 'U') é calculado através



da função ' $=Q/T$ ', conforme a Equação 17. Dessa forma, conclui-se a elaboração da planilha de pré-diagnóstico da eficiência energética dos sistemas de elevatórios de água (16).

Figura 17 – Redução de consumo, potencial de economia e payback

P	Q	R	S	T	U
Proposta de intervenção operacional	Custo total da intervenção [R\$]	Rendimento esperado após a intervenção [%]	Potencial de Redução de Consumo [kWh/mês]	Potencial de Economia [R\$/mês]	Payback [meses]
Agendar manutenção	300.000,00	72,00	35.416,87	10.341,73	29,01
Realizar manutenção	24.000,00	72,00	4.380,31	1.279,05	18,76
Refazer coleta de dados	7.500,00	64,00			
OK	31.000,00	72,00			

Fonte: O autor (2020).

### 3.6 PRIORIZAÇÃO NAS INTERVENÇÕES

Os critérios adotados para priorização dos sistemas elevatórios irão depender da natureza da intervenção. No modelo de pré-diagnóstico foram estabelecidas apenas duas modalidades de intervenção: a manutenção preventiva e a substituição dos equipamentos.

O grupo destinado à manutenção preventiva será ordenado de acordo com o potencial de economia mensal, em kWh/mês ou R\$/mês (GAMA e SILVA, 2018). O valor calculado em Real/mês deve ser considerado o ideal para comparar estações em regiões distintas, visto que podem apresentar contratos com diferentes companhias de energia. Mas essa conversão é dispensável quando as estações operam com o mesmo valor de tarifa.

O indicador do payback é imprescindível para os cenários de substituição dos equipamentos, frequentemente os casos que envolvem mais disponibilidade de recursos. Para tempos de retorno superiores a 5 anos, não se recomenda a intervenção. Entretanto, deve-se priorizar as intervenções nos sistemas que apresentarem os maiores potenciais de economia. A priorização na planilha de cálculo pode ser feita através do caminho 'Classificar E Filtrar > Filtro' ou do atalho *Ctrl + Shift + L*, selecionando a opção "Classificar do Maior para o Menor", na coluna 'T', vide Figura 17.

## 4 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada majoritariamente por meio da consulta de informativos das estações elevatórias, em conjunto com estudos de estimativa de operação, tabelas de custo e consumo de energia elétrica mensal. Além dos dados disponibilizados pela COMPEA, algumas estimativas também foram realizadas, de forma que o caráter do estudo não pode ser considerado quantitativo, mas que atende qualitativamente os objetivos propostos e a mérito de testar a eficiência da metodologia. Uma vez que a natureza da metodologia é a realização de um pré-diagnóstico, tais interferências não inviabilizam o relatório final obtido ao fim da análise, visto que o seu objetivo é somente mapear os sistemas mais deficitários.

A coleta de dados mais completa foi a obtida para a Estação Elevatória de Água Bruta Duas Unas – EEAB Duas Unas, onde foram disponibilizados os informativos para obtenção de dados de hidrometria e a estimativa de custo de energia. Também foram coletadas imagens das bombas e tabelas com o consumo mensal de energia elétrica e seu respectivo custo. Da Estação Elevatória Vertentes Doce obteve-se, no lugar do informativo de hidrometria, a curva característica da adutora e a curva característica do sistema, que é formado por dois conjuntos motobombas. Também foram levantados o custo e consumo de energia elétrica, via estimativa, e a potência dos equipamentos, identificada através das fotografias dos equipamentos.

As demais elevatórias pertencem ao sistema da Barragem Botafogo, são elas a EEAB Tabatinga, Cumbe, Arataca, Conga, Monjope e Catuca. Não foram obtidas imagens ou informações a respeito dos modelos das bombas, assim como dados a respeito da operação do sistema. O pré-diagnóstico foi elaborado utilizando dados de informativos de hidrometria e tabelas de custo e consumo mensal de energia elétrica. Foram estimados os períodos de operação de cada elevatória, visto a necessidade desse dado para o cálculo do volume transportado total. Assim como na EEAB Vertentes Doce e Duas Unas, foi determinado, também para as elevatórias do sistema de Botafogo, o tempo máximo de operação de cada bomba em 8h e o custo de restauração de cada equipamento em R\$ 22.944,44. Foi estipulado, para fins de cálculo, o valor de R\$ 500.000,00 para cada conjunto motobomba novo adquirido para substituir um equipamento antigo. O valor da manutenção dos

conjuntos motobombas foi baseado nos exercícios do curso “Pré-Diagnóstico Das Eficiências Eletromecânicas E Hidroenergéticas De Sistemas Elevatórios De Água, do Portal Capacidades” (GAMA e SILVA, 2018) e segue resumido na Tabela 11.

Tabela 11 – Custo médio de intervenção por equipamento

<b>Qtde. bombas em operação simultânea</b>	<b>Custo total da intervenção (R\$)</b>		<b>Custo unitário (R\$/und)</b>	
3	R\$	120.000,00	R\$	40.000,00
1	R\$	15.000,00	R\$	15.000,00
2	R\$	40.000,00	R\$	20.000,00
2	R\$	24.000,00	R\$	12.000,00
1	R\$	7.500,00	R\$	7.500,00
<b>Custo médio por bomba (R\$/und)</b>			R\$	22.944,44

Fonte: Gama; Silva (2018).

## 5 RESULTADOS

A seguir será realizado o pré-diagnóstico de oito estações elevatórias de água bruta, todas operadas pela COMPESA– Companhia Pernambucana de Saneamento. Foram estudadas as elevatórias da barragem Duas Unas, da barragem Vertentes Doce e o conjunto de elevatórias da Barragem Botafogo, que inclui as elevatórias Tabatinga, Cumbe, Arataca, Conga, Monjope e Catuca. Vale ressaltar que o cálculo do CEN, nesta metodologia, deve ser encarado como uma orientação para decisões preliminares, auxiliando os operadores no direcionamento de recursos para um diagnóstico completo das estações elevatórias. Ou seja, apontada uma deficiência energética em determinada estação ou equipamento a partir da metodologia estudada, o próximo passo é a realização de um diagnóstico completo que confirmará ou não o pré-diagnóstico.

### 5.1 ELEVATÓRIA DUAS UNAS

A Estação Elevatória de Água Bruta – EEAB – da barragem Duas Unas conta com dois modelos de bombas centrífugas, vide as Figura 19 e Figura 20. A bomba modelo WEG tem 315 kW de potência, enquanto o modelo Sulzer apresenta 125 CV de potência (92 kW). De acordo com o informativo da estação (Figura 18), a vazão média no mês de maio de 2017 foi de 607,53 L/s (2.187,09 m<sup>3</sup>/h), trabalhando no regime de operação 2+4, 24h por dia. De acordo com o estudo de Estimativa do Consumo de Energia da COMPESA, no mês de abril de 2018 as bombas operaram cerca de 98,5% do dia, ou seja, 23h e 38 minutos. Esse tempo de funcionamento servirá para estimar o volume total elevado pelo sistema, necessário para o cálculo do CEN. A altura manométrica média foi de 33,10 m.c.a.

Figura 18 – Informativo EEAB Duas Unas

DTE - DIRETORIA TÉCNICA

GHI - GERÊNCIA DE INFRAESTRUTURA

INFORMATIVO DE MEDIÇÕES PITOMÉTRICAS 018/2018

LOCAL DA MEDIÇÃO	DN (mm)	Nº	DATA	HORA	Q (l/s )	PRESSÃO	CMB
		EP			PITOT	( m.c.a )	
Saída EEAB Duas Unas	800	762-E-019	11/5/17	16:30	766,72	39,2	2 + 4
Saída EEAB Duas Unas	800	762-E-019	2/5/17	16:40	448,33	27,0	-

Fonte: COMPESA (2018).

### 5.1.1 Cálculo do CEN e payback

O consumo total de energia elétrica no mês de maio de 2017 foi de 425.569,25 kWh, no valor de R\$ 137.675,55, a partir desses dados encontra-se o valor da tarifa média de R\$ 0,32 por kWh de energia. Utilizando a Equação 11 calcula-se o CEN, que consta na Tabela 12 – Dados EEAB Duas Unas abaixo:

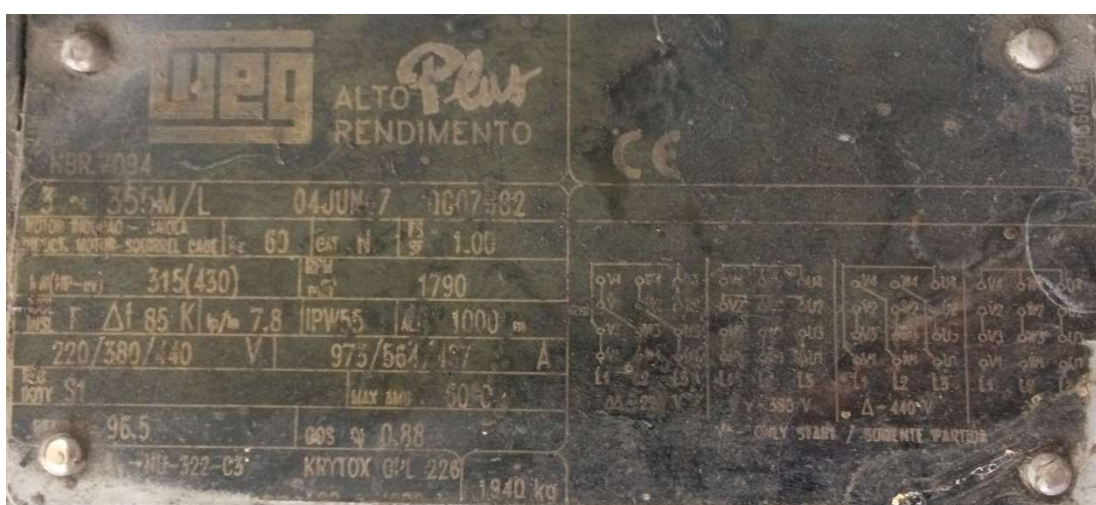
Tabela 12 – Dados EEAB Duas Unas

Estação Elevatória	Duas Unas
Período de análise	11/05/2017
Tipo de Motor	Externo
Potência do motor (kW)	315 kW - 92 kW
Regime de operação	2+4
Vazão (L/s)	607,53
Tempo de Operação do Sistema (h)	24
Volume Elevado (m³)	1.551.096,99
Energia Elétrica Consumida (kWh)	425.569,25
Custo de Energia Elétrica (R\$)	137.675,55
Tarifa Média (R\$/kWh)	0,32
Altura Manométrica (m.c.a.)	33,10
Consumo de Energia Normalizado [E*100/(V*H)]	<b>0,83</b>
Eficiência (%) [0,2725/CEN]	<b>33%</b>

Fonte: O autor (2020).

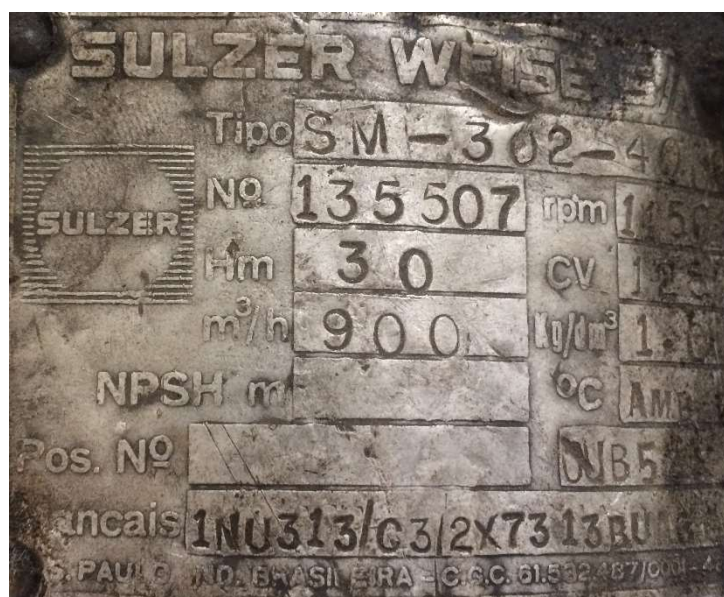
A partir da Tabela 2 conclui-se que o rendimento da EEAB Duas Unas é considerado insuficiente, sendo a medida recomendável a realização de manutenção dos equipamentos. Objetivando um rendimento de 72% e utilizando as Equações 15 e 16 encontra-se o valor de potencial de economia equivalente a R\$ 74.814,00 por mês. Estipulando o custo com a substituição dos seis equipamentos no valor total de R\$ 3.000.000,00 e utilizando a Equação 17, obtém-se o payback em 41 meses.

Figura 19 – Duas Unas – Bomba WEG 315 kW



Fonte: COMPESA (2018).

Figura 20 – Duas Unas – Bombax'x' Sulzer 125 CV



Fonte: COMPESA (2018).

## 5.2 ELEVATÓRIA VERTENTES DOCE

A EEAB da barragem Vertentes Doce trabalha com o regime de funcionamento 2+0 e ponto de operação 199,39 L/s vs. 217,45 m.c.a. Para encontrar o ponto de operação do sistema utilizou-se o gráfico abaixo fornecido pela COMPESA (Figura 21), baseado nos pontos da Tabela 13, cuja linhas de tendência foram calculadas pelo Excel e expressas em polinômios de segundo grau (18), (19) e (20).

$$y(x) = 0,002x^2 + 0,3247x + 73,199 \quad (18)$$

$$z(x) = -0,0005x^2 - 0,2984x + 296,83 \quad (19)$$

$$\begin{aligned} y(x) &= z(x) \rightarrow \\ \rightarrow 0,002x^2 + 0,3247x + 73,199 &= -0,0005x^2 - 0,2984x + 296,83 \rightarrow \\ \rightarrow g(x) &= 0,0025x^2 + 0,6231x - 223,631 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{cases} x' = \mathbf{199,39} \text{ L/s} \\ x'' = -448,63 \\ y = \mathbf{217,45} \text{ mca} \end{cases}$$

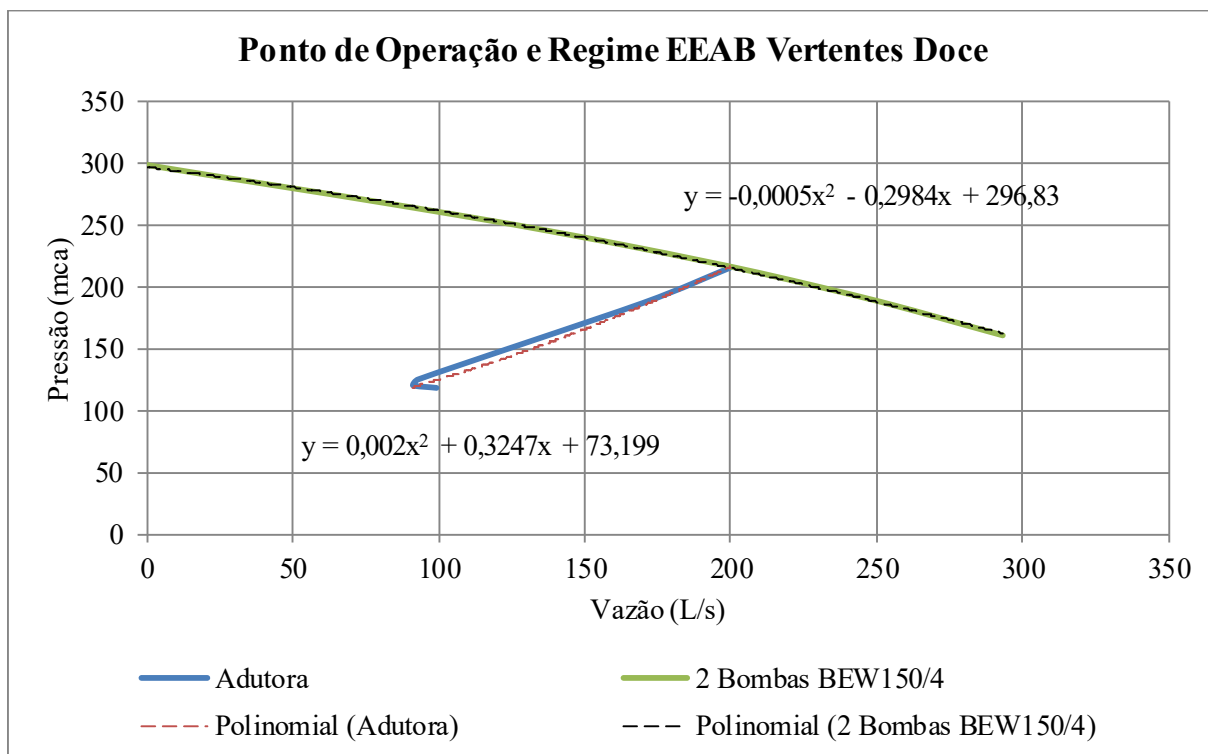
Dessa forma, o ponto em comum entre as curvas da adutora e dos dois conjuntos motobombas é o ponto de operação do sistema. Vale ressaltar que ambas as bombas operam em paralelo, ou seja, a associação dos equipamentos resulta no aumento da vazão, mas não alteram a pressão máxima de elevação.

Tabela 13 – Pontos da Curva EEAB Vertentes Doce

Pontos da Curva EEAB Vertentes Doce			
Adutora		Elevatória	
Vazão (L/s)	Pressão (mca)	Vazão (L/s)	Pressão (mca)
99,17	118,00	0,00	298,04
91,04	120,00	41,93	282,50
93,03	125,00	83,87	266,74
170,00	186,78	125,80	250,14
200,00	215,40	167,74	231,96
—	—	209,67	211,50
—	—	251,61	188,10
—	—	293,54	161,04

Fonte: COMPESA (2018).

Figura 21 – Ponto de operação e regime EEAB Vertentes Doce



Fonte: COMPESA (2018).

A EEAB conta com bombas com 4 estágios de modelo 150 IMBIL, vide Figura 22. Estima-se o período de funcionamento do conjunto equivalente à 8h diárias, tempo que será determinante para cálculo do volume total elevado.

Figura 22 – Bomba IMBIL BEW 150/4



Fonte: COMPESA (2018).



### 5.2.1 Cálculo do CEN

Tabela 14 – Dados EEAB Vertentes Doce

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Vertentes Doce</b>
Período de análise	01/04/2018
Tipo de Motor	Externo
Potência do motor (kW)	150 kW - 150 kW
Regime de operação	2+0
Vazão (L/s)	199,39
Tempo de Operação do Sistema (h)	8
Volume Elevado (m³)	172.272,96
Energia Elétrica Consumida (kWh)	127.866,06
Custo de Energia Elétrica (R\$)	33.245,18
Tarifa Média (R\$/kWh)	0,26
Altura Manométrica (m.c.a.)	217,45
Consumo de Energia Normalizado $[E*100/(V*H)]$	<b>0,34</b>
Eficiência (%) $[0,2725/CEN]$	<b>80%</b>

Fonte: O autor (2020).

A estimativa do consumo de energia elétrica para esse sistema é de 127.866,06 kWh. Devido à ausência de dados referentes aos custos com energia elétrica e levando em consideração que o sistema somente irá operar em turnos Fora Ponta, estimasse o valor da tarifa em 0,26 R\$/kWh. Utilizando a Equação 11 calcula-se o CEN, como consta na Tabela 14 acima.

A partir da Tabela 2 conclui-se a EEAB Vertentes Doce está operando com um bom desempenho (80%), não sendo necessário intervenções além das manutenções periódicas essenciais ao bom funcionamento dos equipamentos.

### 5.3 ELEVATÓRIA TABATINGA

A estação elevatória de água bruta de Tabatinga trabalha no regime 2+4, 24h por dia, com 58 kW de potência cada conjunto motobomba. De acordo com o informativo da estação, realizado em janeiro de 2017, a vazão média é equivalente a 86,40 L/s (311,04 m³/h). O consumo de energia elétrica no mês foi de 99.221,28 kWh, a um custo total de R\$ 33.092,37 (tarifa média no valor de R\$ 0,33 por kWh).

Estimasse que o volume total elevado foi de 223.948,80 m<sup>3</sup> de água bruta, a uma pressão de 97,20 mca.

### 5.3.1 Cálculo do CEN e payback

Utilizando a Equação 11 calcula-se o CEN, que consta na Tabela 15 abaixo:

Tabela 15 – Dados EEAB Tabatinga

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Tabatinga</b>
Período de análise	24/01/2017
Tipo de Motor	Externo
Potência do motor (kW)	58 kW - 58 kW
Regime de operação	2+4
Vazão (L/s)	86,4
Tempo de Operação do Sistema (h)	24
Volume Elevado (m <sup>3</sup> )	223.948,80
Energia Elétrica Consumida (kWh)	99.221,28
Custo de Energia Elétrica (R\$)	33.092,37
Tarifa Média (R\$/kWh)	0,33
Altura Manométrica (m.c.a.)	97,20
Consumo de Energia Normalizado $[E*100/(V*H)]$	<b>0,46</b>
Eficiência (%) $[0,2725/CEN]$	<b>60%</b>

Fonte: O autor (2020).

A partir da Tabela 2, referente aos critérios de avaliação dos rendimentos dos conjuntos com motor externo, conclui-se que o rendimento da EEAB Tabatinga é considerado insuficiente, sendo aconselhada a realização de manutenção dos seus equipamentos. Objetivando um rendimento ideal de 72%, condizente com a potência do motor, e utilizando as equações 15 e 16 encontra-se o valor de potencial de economia a equivalente a R\$ 5.615,00 por mês. Estipulando o custo com a restauração dos equipamentos no valor de R\$ 45.888,88, o payback calculado é de 9 meses.

### 5.4 Elevatória Cumbe

A estação elevatória de água bruta de Cumbe trabalha no regime 2+4, 24h por dia, tendo cada equipamento a potência média de 156 kW. De acordo com o

informativo da COMPESA, em julho de 2017, o consumo de energia elétrica foi de 83.622,92 kWh a um custo de R\$ 31.521,81. A tarifa média pelo consumo de energia foi de 0,38 R\$ por kWh.

A estimativa de volume transportado foi de 637.217,28 m<sup>3</sup> de água bruta, a uma vazão média de 245,84 L/s (885,02 m<sup>3</sup>/h) e pressão de 29,80 mca.

#### 5.4.1 Cálculo do CEN e payback

Utilizando as Equações 11 e 12 calcula-se o CEN da EEAB Cumbe, como consta na Tabela 16.

Tabela 16 – Dados EEAB Cumbe

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Cumbe</b>
Período de análise	12/07/2017
Tipo de Motor	Externo
Potência do motor (kW)	156 kW - 156 kW
Regime de operação	2+4
Vazão (L/s)	245,84
Tempo de Operação do Sistema (h)	24
Volume Elevado (m <sup>3</sup> )	637.217,28
Energia Elétrica Consumida (kWh)	83.622,92
Custo de Energia Elétrica (R\$)	31.521,81
Tarifa Média (R\$/kWh)	0,38
Altura Manométrica (m.c.a.)	29,80
Consumo de Energia Normalizado $[E*100/(V*H)]$	<b>0,44</b>
Eficiência (%) $[0,2725/CEN]$	<b>62%</b>

Fonte: O autor (2020).

A partir da Tabela 2 conclui-se que o rendimento da EEAB Cumbe está inferior ao esperado para a potência dos equipamentos – mínimo de 72% de rendimento para motores externos com potência superior a 96 kW. A partir das equações 15 e 16 encontra-se o valor do potencial de economia, equivalente a R\$ 4.431,00 por mês. Estipulando R\$ 137.666,64 como sendo o custo total com a restauração dos equipamentos, o payback se dará em 32 meses.

## 5.5 ELEVATÓRIA ARATACA

A estação elevatória de água bruta Arataca trabalha em regime irregular com uma, duas ou até três bombas em operação simultânea, 24h por dia. A potência média dos equipamentos é de 150 kWh e a pressão média de elevação é de 98,00 mca. A estimativa de volume elevado em setembro de 2018, considerando duas bombas em operação simultânea, foi de 1.031.356,80 m<sup>3</sup> de água bruta. O custo com essa operação, segundo a COMPESA, foi de R\$ 192.273,05, sendo a tarifa média igual a R\$ 0,39 por kWh e o consumo igual a 497.266,56 kWh. A vazão de operação média é de 397,90 L/s (ou 1.432,44 m<sup>3</sup>/h) e a altura manométrica média foi 98,00 mca.

### 5.5.1 Cálculo do CEN e payback

A partir da Equação 11, calcula-se o CEN da EEAB Arataca, que consta na Tabela 17.

Tabela 17 – Dados EEAB Arataca

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Arataca</b>
Período de análise	24/09/2018
Tipo de Motor	Externo
Potência do motor (kW)	3 x 150 kW
Regime de operação	1+2+3
Vazão (L/s)	397,9
Tempo de Operação do Sistema (h)	24
Volume Elevado (m <sup>3</sup> )	1.031.356,80
Energia Elétrica Consumida (kWh)	497.266,56
Custo de Energia Elétrica (R\$)	192.273,05
Tarifa Média (R\$/kWh)	0,39
Altura Manométrica (m.c.a.)	98,00
Consumo de Energia Normalizado $[E*100/(V*H)]$	<b>0,49</b>
Eficiência (%) $[0,2725/CEN]$	<b>55%</b>

Fonte: O autor (2020).

A partir da Tabela 2 conclui-se que o rendimento da EEAB Arataca está inferior ao esperado para a potência dos equipamentos – 72% de rendimento para motores externos com potência superior a 96 kW. A partir das equações 15 e 16 encontra-se o valor do potencial de economia equivalente a R\$ 44.363,00 por mês. Estipulando o

custo com a restauração no valor de R\$ 137.666,64, o payback será em 4 meses.

## 5.6 ELEVATÓRIA MONJOPE

A estação elevatória de água bruta Monjope trabalha em regime 2+4, 24h por dia. A vazão média fica na faixa de 360,21 L/s (1.296,76 m<sup>3</sup>/h) a uma pressão de 120 mca. Dessa forma, estima-se o volume total elevado igual a 933.664,32 m<sup>3</sup> por mês. O consumo de energia elétrica no mês de março de 2019 foi 749.280,70 kWh a um custo de R\$ 298.982,73. Apesar da ausência de informações a respeito dos modelos de bombas utilizadas nessa estação, estima-se a potência de cada equipamento superior a 38 kW, dessa forma, de acordo com a Tabela 2 espera-se um rendimento ideal na faixa de 72 a 83%.

### 5.6.1 Cálculo do CEN e payback

Analisando a eficiência energética da EEAB Monjope e comparando o valor encontrado com os índices da Tabela 2, conclui-se que o rendimento da estação se encontra insatisfatório (vide Tabela 18). Considerando a eficiência ideal mínima de 72% e utilizando as Equações 15 e 16, obtém-se o valor de R\$ 129.780,00 de economia mensal, em caso de restauração dos equipamentos.

Tabela 18 – Dados EEAB Monjope

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Monjope</b>
Período de análise	01/03/2019
Tipo de Motor	Externo
Potência do motor (kW)	2 bombas
Regime de operação	2+4
Vazão (L/s)	360,21
Tempo de Operação do Sistema (h)	24
Volume Elevado (m <sup>3</sup> )	933.664,32
Energia Elétrica Consumida (kWh)	749.280,70
Custo de Energia Elétrica (R\$)	298.982,73
Tarifa Média (R\$/kWh)	0,40
Altura Manométrica (m.c.a.)	120,00
Consumo de Energia Normalizado [E*100/(V*H)]	<b>0,67</b>
Eficiência (%) [0,2725/CEN]	<b>41%</b>

Fonte: O autor (2020).

Sendo R\$ 3.000.000,00 a estimativa do valor de dos equipamentos novos que irão substituir os conjuntos motobombas deficitários e utilizando a Equação 17, calcula-se o payback simples em 24 meses.

## 5.7 ELEVATÓRIA CATUCA

A estação elevatória de água bruta Catuca trabalha no regime 2+4, 24h por dia. Estima-se, com base no volume e vazão da elevatória, que as potências dos equipamentos sejam superiores a 38 kW, dessa forma, espera-se um rendimento ideal mínimo de 72%. A vazão média é de 828,40 L/s, ou 2.982,24 m³/h, totalizando 2.147.212,80 m³ de água bruta elevada no mês de maio de 2018.

O consumo de energia elétrica foi de 727.776,00 kWh, custando o valor de R\$ R\$ 290.141,57. A tarifa média ficou na faixa de 0,40 reais por kWh de energia e a altura manométrica média do sistema foi de 83,25 mca.

### 5.7.1 Cálculo do CEN

A EEAB Catuca apresenta um rendimento considerado mediano de acordo com a Tabela 2, no valor de 67%. Pelos critérios da metodologia, a ação recomendada é o agendamento da manutenção. Em relação à eficiência, das 7 estações estudadas, a EEAB Catuca só ficou abaixo da EEAB Vertentes Doce ( $n_{VD}=79,83\% \times n_{Catuca} 66,93\%$ ), enquanto todas as demais apresentaram rendimento inferior. Entretanto, se no universo estudado houvesse apenas estações com rendimento superior a 72%, ou seja, com rendimento satisfatório, medidas mais urgentes poderiam ser adotadas para sanar a deficiência da EEAB Catuca, antecipando a manutenção, por exemplo. Vale também destacar que o adiantamento da manutenção garante ao equipamento uma maior vida útil, visto que as bombas, quanto abandonadas, perdem sua capacidade de restauração. Por esse motivo que medidas mais rigorosas que as apresentadas na Tabela 10 podem ser estabelecidas pelo operador do sistema, no caso, pela COMPESA.

Tabela 19 – Dados EEAB Catuca

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Catuca</b>
Período de análise	01/05/2018
Tipo de Motor	Externo
Potência do motor (kW)	2 bombas
Regime de operação	2+4
Vazão (L/s)	828,4
Tempo de Operação do Sistema (h)	24
Volume Elevado (m³)	2.147.212,80
Energia Elétrica Consumida (kWh)	727.776,00
Custo de Energia Elétrica (R\$)	290.141,57
Tarifa Média (R\$/kWh)	0,40
Altura Manométrica (m.c.a.)	83,25
Consumo de Energia Normalizado $[E*100/(V*H)]$	<b>0,41</b>
Eficiência (%) $[0,2725/CEN]$	<b>67%</b>

Fonte: O autor (2020).

## 5.8 ELEVATÓRIA CONGA

A oitava estação elevatória estudada é a EEAB Conga, que opera no regime 2+4, 24h por dia e com equipamentos de 72 kW de potência – não foi levantado o modelo dos equipamentos na coleta de dados. A EEAB Conga tem vazão de operação média em torno de 55,64 L/s, dessa forma estima-se um volume elevado mensal de 144.218,88 m³ de água por mês. O consumo médio de energia elétrica entre os meses fevereiro, março e abril no ano de 2019 foi de 75.718,90 kWh, custando em média R\$ 29.091,97. Assim, calcula-se a tarifa média no valor de R\$ 0,38 por kWh de energia consumida. Não foi fornecida a altura manométrica do sistema durante a coleta de dados.

### 5.8.1 Cálculo da altura manométrica a partir do CEN

Devido à ausência de informações sobre a altura manométrica da elevatória, torna-se impossível determinar a eficiência da estação pela metodologia do CEN. Entretanto, o conceito CEN será utilizado para determinar qual valor de pressão pode-se esperar da EEAB Conga. A partir da Equação 11, isolando a altura manométrica, tem-se a Equação 21 abaixo:

$$H = \frac{E \times 100}{V \times CEN} \quad (21)$$

Ainda considerando a Equação 12, que expressa o CEN em termos de eficiência, obtém-se a Equação 22 em função do rendimento:

$$H = \frac{E \times 100 \times n}{V \times 0,2725} \quad (22)$$

Na Equação 21 e 22:

E – Energia elétrica consumida no período de referência (kWh);

V – Volume total de água elevado no período de referência (m³);

H – Altura manométrica média verificado no período de referência (m);

n – Rendimento total;

CEN – [kWh/(m³x100m)].

Assim, considerando um rendimento ótimo de 72% de acordo com a Tabela 2, determina-se a pressão manométrica ótima através da Equação 22 em 138,73 mca. Na Tabela 20 abaixo, consta o resumo dos dados da EEAB Conga:

Tabela 20 – Dados EEAB Conga

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Conga</b>
Período de análise	01/02/2019
Tipo de Motor	Externo
Potência do motor (kW)	72 kW - 72 kW
Regime de operação	2+4
Vazão (L/s)	55,64
Tempo de Operação do Sistema (h)	24
Volume Elevado (m³)	144.218,88
Energia Elétrica Consumida (kWh)	75.718,90
Custo de Energia Elétrica (R\$)	29.091,97
Tarifa Média (R\$/kWh)	0,38
Altura Manométrica (m.c.a.)	<b>138,73</b>
Consumo de Energia Normalizado [E*100/(V*H)]	0,38
Eficiência (%) [0,2725/CEN]	72%

Fonte: O autor (2020).



## 5.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS E PRIORIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES

A partir dos pré-diagnósticos desenvolvidos para cada elevatória obtém-se as tabelas abaixo (Tabela 21, 22 e 23). Nelas constam todas as informações coletadas (tipo e potência do motor, vazão média das bombas, volume transportado, consumo de energia, etc.), bem como os dados calculados (CEN, eficiência, potencial de economia e payback). Os dados em vermelho são estimativas que, por necessidade de cálculo e ausência de informações, foram realizadas.

Tabela 21 – Tabela Resumo – Potência, Vazão e Tempo de Operação

Estação Elevatória	Período de análise	Tipo de Motor	Potência do motor (kW)	Regime de operação	Vazão (L/s)	Tempo de Operação do Sistema (h)
Duas Unas	11/05/2017	Externo	315 kW - 92 kW	2+4	607,53	23,6
Vertentes Doce	01/04/2018	Externo	150 kW - 150 kW	2+0	199,39	8,0
Tabatinga	24/01/2017	Externo	58 kW - 58 kW	2+4	86,40	24,0
Cumbe	12/07/2017	Externo	156 kW - 156 kW	2+4	245,84	24,0
Arataca	24/09/2018	Externo	3 x 150 kW	1+2+3	397,90	24,0
Conga	01/02/2019	Externo	72 kW - 72 kW	2+4	55,64	24,0
Monjope	01/03/2019	Externo	2 bombas	2+4	360,21	24,0
Catuca	01/05/2018	Externo	2 bombas	2+4	828,4	24,0

Fonte: O autor (2020).

Vale destacar que na Tabela 22, na coluna “Altura Manométrica”, o valor em vermelho de 138,73 mca da EEAB Conga não foi estimado, mas sim determinado, conforme demonstrado anteriormente no tópico 5 RESULTADOS. Esse valor foi o obtido considerando o funcionamento ótimo do conjunto de bombas da estação, ou seja, uma eficiência eletromecânica de 72% de acordo com a Tabela 2

Tabela 22 – Tabela Resumo – Volume, Energia e Altura Manométrica

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Volume Elevado (m³)</b>	<b>Energia Elétrica Consumida (kWh)</b>	<b>Custo de Energia Elétrica (R\$)</b>	<b>Tarifa Média (R\$/kWh)</b>	<b>Altura Manométrica (m.c.a.)</b>
Duas Unas	1.551.096,99	425.569,25	R\$ 137.675,55	R\$ 0,32	33,10
Vertentes Doce	172.272,96	127.866,06	R\$ 33.245,18	R\$ 0,26	217,45
Tabatinga	223.948,80	99.221,28	R\$ 33.092,37	R\$ 0,33	97,20
Cumbe	637.217,28	83.622,92	R\$ 31.521,81	R\$ 0,38	29,80
Arataca	1.031.356,80	497.266,56	R\$ 192.273,05	R\$ 0,39	98,00
Conga	144.218,88	75.718,90	R\$ 29.091,97	R\$ 0,38	138,73
Monjope	933.664,32	749.280,70	R\$ 298.982,73	R\$ 0,40	120,00
Catuca	2.147.212,80	727.776,00	R\$ 290.141,57	R\$ 0,40	83,25

Fonte: O autor (2020).

Após calcular o potencial de economia mensal para todas as estações elevatórias e verificar o payback, inicia-se a análise de risco por parte do operador do sistema. A primeira ação é ordenar as elevatórias pelo maior potencial de economia, dessa forma, são priorizadas as estações que mais operam em prejuízo. A segunda ação é verificar o payback, que deve ser sempre inferior a 5 anos (60 meses). Observando a Tabela 23, constata-se que todas as intervenções são viáveis do ponto de vista financeiro.

Tabela 23 – Tabela Resumo – Eficiência, Potencial de Economia e Payback

Estação Elevatória	Consumo de Energia Normalizado $E \cdot 100 / (V \cdot H)$	Eficiência (%) [0,2725/CEN]	Rendimento esperado após a intervenção (%)	Potencial de Economia (R\$/mês)	Custo da Intervenção (R\$)	Payback (meses)
Duas Unas	0,83	32,87%	72,00%	R\$ 74.813,64	R\$ 3.000.000,00	41
Vertentes Doce	0,34	79,83%	72,00%	–	–	–
Tabatinga	0,46	59,78%	72,00%	R\$ 5.615,20	R\$ 45.888,88	9
Cumbe	0,44	61,88%	72,00%	R\$ 4.430,90	R\$ 137.666,64	32
Arataca	0,49	55,39%	72,00%	R\$ 44.362,83	R\$ 137.666,64	4
Conga	0,38	72,00%	72,00%	–	–	–
Monjope	0,67	40,75%	72,00%	R\$ 129.779,92	R\$ 3.000.000,00	24
Catuca	0,41	66,93%	72,00%	R\$ 20.426,28	–	–

Fonte: O autor (2020).

Frequentemente pequenas medidas de manutenção são suficientes para reestabelecer o rendimento dos equipamentos a seus níveis de eficiência ótima. Quando os investimentos são baixos pode-se considerar prioritárias as intervenções que apresentarem os menores paybacks. O rápido retorno financeiro significa, nessa situação, o melhor investimento. A Tabela 24 mostra as estações elevatórias ordenadas pelo seu potencial de economia e indica a intervenção sugerida. As elevatórias com maior prioridade de manutenção são, nessa ordem, Arataca, Tabatinga e Cumbe. Na tabela apenas constam as estações averiguadas para manutenção, visto que as elevatórias que terão maquinário substituído, devido ao alto valor do investimento e do potencial de economia, são incomparáveis.

Tabela 24 – Priorização das Intervenções – Manutenção

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Potencial de Economia (R\$/mês)</b>	<b>Custo da Intervenção (R\$)</b>	<b>Payback (meses)</b>	<b>Tipo de Intervenção</b>
Arataca	R\$ 44.362,83	R\$ 137.666,64	4	Manutenção
Tabatinga	R\$ 5.615,20	R\$ 137.666,64	25	Manutenção
Cumbe	R\$ 4.430,90	R\$ 45.888,88	11	Manutenção

Fonte: O autor (2020).

Apesar de Tabatinga apresentar um potencial de economia maior, ou seja, mais urgente, a priorização da EEAB Cumbe em seu lugar pode ocorrer devido ao pequeno valor da intervenção proposta e principalmente pelo seu rápido retorno financeiro. Enquanto Cumbe paga os custos com sua manutenção em menos de 1 (um) ano, o investimento necessário à Elevatória Tabatinga só retorna depois de mais de 2 (dois) anos. Essa análise deverá ser feita pelo operador, que tomará sua decisão baseado nessas e em outras informações extra análise (disponibilidade de recursos, importância da elevatória para o SAA, etc.).

A Tabela 25 apresenta as elevatórias cujo tipo de intervenção exigida é a substituição de equipamentos. Como pode-se verificar, são estações de elevado potencial de economia, mas devido ao alto valor de investimento, apresentam paybacks significativamente mais longos. Considerando que os recursos financeiros são escassos, as prioridades de substituição devem ir para os equipamentos com menores paybacks. Tendo o menor payback, a EEAB Monjope é a preterida a receber o investimento necessário para a substituição dos equipamentos. Vale ressaltar que, do ponto de vista econômico, sendo o payback inferior à 60 meses (5 anos), o investimento é considerado viável e pode ser executado.

Tabela 25 – Priorização das Intervenções – Substituição

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Potencial de Economia (R\$/mês)</b>	<b>Custo da Intervenção (R\$)</b>	<b>Payback (meses)</b>	<b>Tipo de Intervenção</b>
Monjope	R\$ 129.779,92	R\$ 3.000.000,00	24	Substituição
Duas Unas	R\$ 74.813,64	R\$ 3.000.000,00	41	Substituição

Fonte: O autor (2020).

A seguir, na Tabela 26, têm-se os seguintes parâmetros de eficiência energética considerando as elevatórias de Duas Unas, Tabatinga, Cumbe, Arataca e Monjope.

Tabela 26 – Parâmetros de eficiência energética na captação de água bruta

<b>Parâmetros de Eficiência Energética</b>	<b>Valor Unid.</b>
Consumo total de energia elétrica (kWh)	1.854.960,71 kWh
Volume elevado total (m³)	4.377.284,19 m³
Captação unitária de água por MWh (m³/MWh)	2.359,77 m³/MWh
Potencial de captação (m³)	3.021.452,92 m³
Potencial de captação (%)	69%
Expectativa de volume elevado após intervenção (m³)	7.398.737,11 m³
Captação estimada de água por MWh (m³/MWh)	3.988,62 m³/MWh
Dados referentes às elevatórias Duas Unas, Tabatinga, Cumbe, Arataca e Monjope	

Fonte: O autor (2020).

Tabela 27 – Potencial de Captação de Água Bruta

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Energia Elétrica Consumida (kWh)</b>	<b>Volume Elevado (m³)</b>	<b>Eficiência (%) [0,2725/CEN]</b>	<b>Rendimento esperado após a intervenção (%)</b>	<b>Potencial de Captação de Água Bruta (m³/mês)</b>
Duas Unas	425.569,25	1.551.096,99	32,87%	72,00%	1.846.002,26
Tabatinga	99.221,28	223.948,80	59,78%	72,00%	45.765,86
Cumbe	83.622,92	637.217,28	61,88%	72,00%	104.221,08
Arataca	497.266,56	1.031.356,80	55,39%	72,00%	309.335,67
Monjope	749.280,70	933.664,32	40,75%	72,00%	716.128,05
<b>Total</b>	<b>1.854.960,71</b>	<b>4.377.284,19</b>			<b>3.021.452,92</b>

Fonte: O autor (2020).

Bem sucedidas as intervenções e *caso houvesse disponibilidade hídrica*, o volume potencial de captação poderia ser integrado no sistema de tratamento de água. Significaria uma receita em potencial para a concessionária, além de aumentar a oferta de água para a população. As elevatórias apontadas como deficitárias, juntas passarão a captar 3.988,62 m³ (Tabela 26) de água bruta por MWh, aumento considerável em relação a captação atual equivalente a 2.359,77 m³/MWh.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com o estudo, o potencial de economia total de cinco das oito estações elevatórias estudadas é de R\$ 259.002,49 mensais, desconsiderando as estações cujo rendimento é classificado mediano ou ótimo. Isso significa que, bem sucedidas as intervenções sugeridas e restaurado os equipamentos a sua eficiência ótima, seria economizado cerca de 3 milhões e 100 mil reais por ano com energia elétrica. Outra possibilidade seria, mantendo o regime de trabalho das elevatórias, aumentar a captação de água, diminuindo o déficit de abastecimento existente no SAA e aumentando a receita da concessionária com a produção de água tratada. O potencial de captação considerando o mesmo regime de trabalho das elevatórias é de mais de 3 milhões de metros cúbicos de água bruta, um aumento percentual equivalente a 69% do volume já captado. Entretanto, deve-se destacar que essa simulação é meramente ilustrativa, uma vez que o potencial de captação não depende somente da capacidade das elevatórias, mas efetivamente da disponibilidade hídrica das barragens.

O pré-diagnóstico elaborado através da metodologia do CEN permitiu identificar possíveis deficiências energéticas no regime operacional das estações elevatórias. Foi uma metodologia simples de ser aplicada e não necessitou de *softwares* avançados ou informações além das quais já são monitoradas pelo operador. A metodologia também possibilita a economia de recursos, uma vez que pode direcionar os esforços de investigação para os sistemas mais comprometidos. Entretanto, comprovada a deficiência da elevatória, ainda resta realizar a investigação para cada equipamento, visto que os dados coletados não estão destrinchados por motobomba.

Uma vez identificados os possíveis equipamentos deficitários e realizada a manutenção dos equipamentos, o próximo passo é refazer o cálculo do CEN para que se comprove a efetividade da intervenção. Dessa forma, é recomendada a capacitação dos técnicos de manutenção para que realizem não somente manutenção das motobombas, mas para que também determinem a eficiência dos equipamentos após a intervenção. A capacitação também permitirá aos técnicos identificarem as perdas contínuas de rendimento para que então seja possível

restabelecer o nível de eficiência desejado, antecipando problemas nos equipamentos.

O cálculo do CEN, entretanto, leva em consideração apenas aspectos hidroenergéticos, desconsiderando aspectos operacionais. Alguns fatores não considerados pelo método são o transiente hidráulico existente nas tubulações, a existência de inversores de frequência ou ainda possíveis mudanças no layout original do sistema de captação. Dessa forma, a padronização a que se propõe a metodologia pode mascarar alguns resultados considerando algumas elevatórias deficitárias, mas que na verdade operam em condições desfavoráveis e não apresentam problemas mecânicos ou elétricos, como já mencionado anteriormente. Uma forma de mitigar essas distorções é manter um registro das eficiências encontradas em diferentes condições de disponibilidade hídrica e comparar a elevatória consigo mesma ao longo do tempo.

## 6.1 RECOMENDAÇÕES

Em relação à metodologia do “Pré-diagnóstico das eficiências eletromecânicas e hidroenergéticas de sistemas elevatórios de água”, um possível campo a ser explorado é a atuação de bombas de deslocamento positivo, que já são utilizadas em larga escala no tratamento dos resíduos sólidos e que por vezes também são empregadas no Sistema de Esgotamento Sanitário. Estudos referentes à eficiência energética dessas bombas possibilitaria a elaboração de tabelas aos moldes da Tabela 2 e da Tabela 3, o que ampliaria a abrangência da metodologia do CEN. Da mesma forma, estudos referentes às bombas submersas, outro modelo bastante utilizado na captação de água bruta, também ampliariam a área de atuação da metodologia estudada e aplicada nesse relatório. Em outras áreas da ciência, inclusive, também existe a possibilidade de avanço e pesquisa. A Tecnologia da Informação poderia desenvolver soluções de monitoramento, implementando, por exemplo, um sistema remoto para coletar dados, automatizar alertas a respeito dos equipamentos deficientes e agendar visitas técnicas.

O que pode ser medido, pode ser melhorado. Para poder ampliar os esforços na melhoria da eficiência energética dos sistemas elevatórios é fundamental desenvolver pesquisas que visem aperfeiçoar o monitoramento, desde a captação



da água bruta até a destinação do efluente após o tratamento do esgoto sanitário e seus resíduos sólidos.

## REFERÊNCIAS

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2018. **Relatório Síntese**. Ano base: 2017.. Rio de Janeiro, p. 62. 2018. (Empresa de Pesquisa Energética).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Premissas e Diretrizes Básicas. Brasília, 2011. p. 156. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36208/469534/Plano+Nacional+Efici%C3%A2ncia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29.pdf/899b8676-ebfd-c179-8e43-5ef5075954c2>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília: SNS; SNIS, 2016. p. 220. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>. Acesso em: 10 dez. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília: SNS; SNIS, 2017. p. 226. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>. Acesso em: 10 dez. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do semiárido**. Brasília: Sudene., 2017. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 15 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **Síntese de indicadores sociais**: uma análise das condições de vida da população brasileira. Brasília: IBGE, 2016. p. 141. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98965.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

CAMPONOGARA, G.; KURITZA, J.; CASTIGLIO, G.; FERLA, R.; MARQUES, M. G.; TEIXEIRA, E. D.; DE BORJA, J. Indicadores de Referência Hidroenergéticos Em Sistemas de Abastecimento de Água. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. 13., 2017, Porto. **Anais [...]**. Porto: Silusba, 2017. p. 11.

CARVALHO, D. F. **Instalações elevatórias**: bombas. 6. ed. Belo Horizonte: FUMARC, 1984.

CESAN. **Redes de esgoto e redes de drenagem**: você sabe a diferença?. 2010. Disponível em: <https://www.cesan.com.br/noticias/redes-de-esgoto-e-redes-de-drenagem-voce-sabe-a-diferenca-2/>. Acesso em: 5 jan. 2020.

**57% dos brasileiros vivem em 6% das cidades**; veja ranking das mais e menos populosas. Folha de São Paulo, 2018. Disponível em:

<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/08/mais-da-metade-da-populacao-brasileira-vive-em-5-das-cidades-do-pais.shtml>. Acesso em: 5 jan. 2020.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO. **Consumo de energia em 2018**. Recife: COMPESA, 2018. p. 9. Disponível em: <https://1drv.ms/p/s!ApE8Du7Xi9ajhbAsK1iXnp5ujPMATw?e=zQYScs>. Acesso em: 25 jun. 2019.

COPASA. **Tratamento da Água**. 2019. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agua-de-qualidade/tratamento-da-agua>. Acesso em: 5 jan. 2020.

COSTA LUZ, E.; RÉ, A. M.; HERNANDES, F. **Economia de energia no sistema de abastecimento de água**: uma abordagem usando algoritmos genéticos. *In*: PROCEEDING SERIES OF THE BRAZILIAN SOCIETY OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS, 4., 2016, Natal. **Anais [...]**. Natal: DINCON, 2016. p.7.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade São Paulo, São Paulo, 2008.

DUTRA, J. B. A. **Eficiência energética no controle da vazão em sistemas de bombeamento de água** - uso de válvula e controle de velocidade. 2005. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Paraná. Paraíba do Sul, 2005.

EMANZ. **A standard for the auditing of the energy efficiency of electric motorpowered pumping systems used for liquid transport 2015**. 2018. Disponível em: [http://www.emanz.org.nz/system/files/PumpingSystems\\_AuditStd\\_v1.1\\_UpdatedJun2015.pdf](http://www.emanz.org.nz/system/files/PumpingSystems_AuditStd_v1.1_UpdatedJun2015.pdf). Acesso em: 19 mar. 2020.

FERREIRA, R. C.; OLIVEIRA, A. L. Manual de cálculo do consumo energético normalizado e do potencial de economia em instalações de bombeamento. AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner. *In*: CONGRESSO ABES, 12., 2017, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: ABES, 2017. p. 32.

FERREIRA, R. et al. Método para monitoramento e pré-diagnóstico das eficiências eletromecânica e hidroenergética de sistemas. *In*: CONGRESSO ABES, 12., 2017, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: ABES, 2017. p. 11.

GAMA, J. R. Pré-diagnóstico e monitoramento das eficiências eletromecânica e hidroenergética de sistemas elevatórios de água I. *In*: Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha. [S.l.]. 1., 2018, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: Portal Capacidades, 2018. p. 10.

GAMA, J. R.; SILVA, B. Pré-diagnóstico e monitoramento das eficiências eletromecânica e hidroenergética de sistemas elevatórios de água II. *In*: Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha. [S.l.]. 1., 2018, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: Portal Capacidades, 2018. p. 13.

GONÇALVES, V. **Payback**: o que é e como calcular. 2019. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/payback>. Acesso em: 02 fev. 2020.

HEFLO. **Saiba o que são indicadores de desempenho empresarial e conheça os principais tipos**. 2018. Disponível em: <https://www.heflo.com/pt-br/melhoria-processos/indicadores-de-desempenho-kpi/>. Acesso em: 5 dez. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS. **Ranking do saneamento básico** – 100 Maiores Cidades do Brasil. São Paulo: Instituto Trata Brasil., p. 128. 2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/estudos/estudos-itb/itb/ranking-do-saneamento-2019>. Acesso em: 10 jan. 2020.

ENTENDA a diferença da bomba de água centrífuga e autoaspirante. **Mérito Comercial**. 2017. Disponível em: <https://blog.meritocomercial.com.br/entenda-a-diferenca-da-bomba-de-agua-centrifuga-e-autoaspirante/>. Acesso em: 17 jan. 2020.

ENTENDA a diferença entre Bomba Submersa e Bomba Submersível. **Mérito Comercial**. 2019. Disponível em: <https://blog.meritocomercial.com.br/diferenca-entre-bomba-submersa-e-bomba-submersivel/>. Acesso em: 18 jan. 2020.

PERNAMBUCO tem pior disponibilidade hídrica do país e metade da água se perde antes de chegar.com/pe/pernambuco/noticia/2018/12/19/pernambuco-tem-pior-disponibilidade-hidrica-do-pais-e-metade-da-agua-se-perde-antes-de-chegar-a-torneira-diz-tce.ghhtml. Acesso em: 25 mar. 2020.

PERNAMBUCO. Governo do Estado. **Base de dados do Estado**: consumo de energia elétrica. 2018. Disponível em: [http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao\\_formato2.aspx?CodInformacao=416&Cod=3](http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=416&Cod=3). Acesso em: 16 abr. 2020.

NETTO, A. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 669 p. 1998.

OLIVEIRA, J. P. Cidade e meio ambiente sob enfoque sistêmico. **Turismo - Visão e Ação**, v. 1, n. 1, p. 45-59, jan./jun. 1998.

PEDROSA, H. T. D. S. **Otimização em Estação Elevatória de Sistemas de Abastecimento de Água Buscando a Eficiência Energética**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

RZR Bombas Positivas. **Como decidir entre uma bomba centrífuga e uma bomba de deslocamento positivo**. 2020. Disponível em: <https://www.rzrbombas.com.br/suporte/entenda-diferenca-entre-uma-bomba-centrifuga-e-uma-bomba-de-deslocamento-positivo/>. Acesso em: 18 jan. 2020.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. 2. ed. São Paulo: Abes, 2006.