

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

**PAULO HENRIQUE BALDSON DA SILVA**

**ANÁLISE HIDROENERGÉTICA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO  
DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM SISTEMA COM CAPTAÇÃO  
SUBTERRÂNEA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUARAPUAVA**

**2021**

**PAULO HENRIQUE BALDSON DA SILVA**

**ANÁLISE HIDROENERGÉTICA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO  
DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM SISTEMA COM CAPTAÇÃO  
SUBTERRÂNEA**

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

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Mariane Kempka  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Joice Cristini Kuritza

**GUARAPUAVA**

**2021**

## ATA DE DEFESA

Realizou-se no dia **24** de **agosto** de **2021**, às **10 h 00 min**, no Campus Guarapuava da UTFPR, a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para aprovação do aluno **Paulo Henrique Baldson da Silva** na disciplina de TCC2 do Curso de Engenharia Civil intitulado: **Análise hidroenergética de sistema de abastecimento de água: estudo de caso em sistema com captação subterrânea**.

A Banca foi composta pelo Presidente:

Prof. Dra. **Mariane Kempka** (orientadora), e pelos seguintes membros:

Prof. Dra. **Jóice Cristini Kuritza** (coorientadora)

Prof. Dr. **Maurício Dai Prá** (UFRGS)

Eng. **Leandro do Espírito Santo Soares** (DAE)

Guarapuava, 24 de agosto de 2021

Dedico este trabalho à minha família por todo o apoio prestado nesta jornada, em especial a minha mãe e avós maternos que sempre me aconselharam nos momentos difíceis.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, primeiramente, por me abençoar e me guiar por todos os momentos dessa jornada.

Agradeço a minha mãe, avós maternos e irmão por sempre estarem me aconselhando e me auxiliando em termos financeiros.

Agradeço a minha professora orientadora Dra. Mariane Kempka, pelo suporte técnico prestado e também por me auxiliar com a escrita de artigos. Também agradeço a professora Dra. Joice Cristini Kuritza pelas correções e propostas para este trabalho

Agradeço a empresa SANEPAR por repassar, e confiar, os dados de seu sistema.

Agradeço ao meu amigo Luis que sempre propôs a estudarmos juntos e dessa forma auxiliando no meu desempenho acadêmico. Agradeço aos meus amigos João Pedro Friedmann, Leonardo Sbroggio, Guilherme Patrício, Diogo, Victória Assumpção, Thaianne, Marcela, também agradeço ao pessoal que frequente a sala 24 horas da UTFPR-GP.

Agradeço a senhora Vera e ao senhor Eurides por me receberem de forma tão amigável em sua casa.

Também agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que eu possa realizar meu sonho.

O sonho das pessoas.... Nunca tem fim!  
(ODA, Eiichiro, 2002)

## RESUMO

SILVA, Paulo Henrique Baldson da. **Análise hidroenergética de sistema de abastecimento de água: estudo de caso em sistema com captação subterrânea.** 2021. 88 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Guarapuava, 2021.

As estações de bombeamento de água consomem, em média, 90% da energia elétrica de todo o sistema de abastecimento de água (SAA). Cerca de 25% do dispêndio de energia elétrica é devido a ineficiência do sistema de elevação. A redução deste gasto pode ser obtida por medidas que visam a eficiência e que estão relacionadas à operação do sistema de elevação, tais como diminuição das perdas de carga, adequação às tarifas de fornecimento de energia das concessionárias entre outras. Nesta pesquisa foi realizado o estudo de um sistema de recalque de água composto por um poço tubular profundo, um conjunto motobomba do tipo submerso, uma adutora de água bruta e um reservatório superior do tipo apoiado. Nesse sistema, foram verificados os níveis dinâmico de operação do poço, os pontos de funcionamento do conjunto motobomba. Além disso, determinou-se curvas de consumo a partir de dados de vazão e de nível do reservatório, coletados *in loco* e, também, foi desenvolvido o diagnóstico hidroenergético da instalação. O estudo permitiu concluir que a curva de consumo da localidade é semelhante a outros municípios brasileiros, com aumento do consumo de água em torno das 8 horas, permanecendo elevado até as 19h30min, quando decresce. Verificou-se também que o volume do reservatório superior pode ser melhor aproveitado, pois o desnível considerado nas operações exigem muitos acionamentos do conjunto motobomba. No que tange a avaliação de consumo de energia normalizado (CEN), os resultados permitiram concluir que a elevatória é passível de melhorias.

**Palavras-chave:** Bombas hidráulicas. Estações de bombeamento. Água - Consumo. Energia elétrica - Consumo. Curvas de consumo.

## ABSTRACT

SILVA, Paulo Henrique Baldson da. **Hydroenergetic analysis of water supply system: case study in a system with subterranean catchment**. 2021. 88 lvs. Work of Conclusion (Course in Civil Engineering- Federal Technology University Paraná). Guarapuava, 2021.

Water pumping stations consume on average 90% of the electricity of the entire water supply system (WSS). About 25% of electricity cost is due to the inefficiency of the pumping system. The reduction of this expense can be obtained by implementing measures that seek efficiency and which are related to the operation of the pumping system, such as reducing head losses, adapting to utility energy supply tariffs, among others. In this research, a study of a water system composed of a deep tubular well, a submerged pump set, a raw water pipeline and an upper supported reservoir was carried out. In this system, the dynamic operating levels of the well and the operating points of the motor pump set were verified. In addition, consumption curves were determined based on flow data and reservoir levels collected on-site and the facility's hydropower diagnosis was also developed. The study allowed us to conclude that the local consumption curve is similar to other Brazilian municipalities, with an increase in water consumption around 8 am, remaining high until 7:30 pm, when it decreases. It was also verified that the volume of the upper reservoir can be better utilized, as the unevenness considered in the operations requires many activations of the motor pump. Regarding the assessment of normalized energy consumption (NEC), the results allowed us to conclude that the pumping station can be improved.

**Keywords:** Hydraulic pumps. Pumping stations. Water - Consumption. Electricity - Consumption. Consumption curves.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de abastecimento de água .....	19
Figura 2 - Captação de água superficial da SAAE São Carlos .....	20
Figura 3 - Disposição das canalizações em cada tipo de rede .....	23
Figura 4 - Esquema de bombeamento em poços.....	24
Figura 5 - Tipos de poços para exploração de água subterrâneas .....	25
Figura 6 - Poço escavado .....	26
Figura 7 – Representação do poço tubular .....	28
Figura 8 - Corte transversal de uma bomba radial e de uma bomba semiaxial.....	29
Figura 9 - Curvas, hipotéticas, do sistema e da bomba .....	33
Figura 10 - Esquema e especificações do sistema elevatório.....	47
Figura 11 - Curvas de consumo .....	49
Figura 12 - Curvas de desempenho do conjunto motobomba.....	54
Figura 13 - Níveis dinâmicos.....	55
Figura 14 - Curvas características do sistema .....	56
Figura 15 - Volume bombeado médio por dia da semana.....	59
Figura 16 - Funcionamento médio por dia da semana.....	60
Figura 17 - Vazões da elevatória.....	61
Figura 18 - Curva de permanência das vazões.....	61
Figura 19 - Padrão 1 de comportamento do nível de água e de operação da bomba .....	62
Figura 20 - Padrão 2 de comportamento do nível de água e de operação da bomba .....	63
Figura 21 - Consumo médio diário .....	64
Figura 22 - Consumo médio diário adimensionalizado.....	65
Figura 23 - Curvas de consumo .....	65
Figura 24 - Relação de acionamentos e volume bombeado diário.....	67
Figura 25 - Consumo de energia elétrica por período do dia .....	68
Figura 26 - Relação de acionamentos e volume bombeado diário.....	79
Figura 27 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 04/10/2020 .....	82
Figura 28 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 08/10/2020 .....	82
Figura 29 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 09/10/2020 .....	82

Figura 30 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 11/10/2020 .....	83
Figura 31 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 12/10/2020 .....	83
Figura 32 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 01/10/2020 .....	85
Figura 33 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 02/10/2020 .....	85
Figura 34 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 03/10/2020 .....	85
Figura 35 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 05/10/2020 .....	86
Figura 36 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 06/10/2020 .....	86
Figura 37 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 07/10/2020 .....	86
Figura 38 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 10/10/2020 .....	87
Figura 39 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 13/10/2020 .....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais componentes de uma bomba submersa.....	29
Quadro 2 - Valor do coeficiente C sugerido para a fórmula de Hazen-Williams.....	36
Quadro 3 - Coeficiente de perdas K para válvulas e acessórios .....	36
Quadro 4 - Velocidade máxima de sucção.....	37
Quadro 5 - Coeficiente de Bresse .....	38
Quadro 6 - Ações corretivas em função da origem do desequilíbrio de tensão .....	41
Quadro 7- Dados do município analisado .....	45
Quadro 8- Informações do conjunto motobomba submerso.....	46
Quadro 9 - Caracterização do reservatório .....	47
Quadro 10 – Período de medição e número de aquisições de dados realizados para a pesquisa .....	49
Quadro 11– Informações de consumo e demanda contratada entre os meses .....	50
Quadro 12 - Caracterização das conexões e peças especiais.....	51
Quadro 13 – Níveis de eficiência técnica .....	51
Quadro 14 – Curva de desempenho do conjunto motobomba .....	53
Quadro 15 – Dados de operação de volume e horas de funcionamento mensal nos anos de 2019 a maio de 2021 .....	58
Quadro 16 – Acionamentos do sistema .....	66
Quadro 17 – Consumo de energia normalizado.....	69
Quadro 18 – Seleção de equipamentos .....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BRICS	Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DMAE	Departamento de Água e Esgotos
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LENHS	Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNEf	Programa Nacional de Eficiência Energética
PR	Paraná
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SANEAR	Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
THS	Tarifa horo-sazonal

## LISTA DE SÍMBOLOS

C	Coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams
CB	Curva característica da bomba
CE	Consumo de energia
CEN	Consumo de energia normalizado
cm	Centímetros
$C_{máx}$	Consumo máximo
Con	Consumo
CS	Curva do sistema
cv	Cavalo vapor
D	Diâmetro
DN	Diâmetro nominal
E	Ponto de elevação
f	Frequência
g	Aceleração da gravidade
h	Horas
$H_{geo}$	Altura geométrica
$H_{man}$	Altura manométrica
Hz	Hertz
K	Constante de Bresse
kN	Kilo Newton
$K_s$	Coeficiente de perda de carga singular
KWh	Quilo watt hora
L	Litro
$L_c$	Comprimento canalização
m	Metro
$m^3$	Metro cúbico
m.c.a.	Metros de coluna de água
min	Minuto
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
N	Número de rotação

ND	Nível Dinâmico
NE	Nível estático
$P_c$	Potência consumida
pH	Potencial hidrogeniônico
Pot	Potência motriz
$P_{rd}$	Pressão no reservatório de sucção
$P_{rs}$	Pressão no reservatório de descarga
PT	Ponto de trabalho
Q	Vazão
q	Vazão específica
RPM	Rotação por minuto
s	Segundo
TWh	Tera watt hora
V	Tensão
VB	Volume bombeado
$V_n$	Volume registrado no instante (n)
$V_{n-1}$	Volume registrado no instante (n-1)
$V_{rd}$	Velocidade do fluido no reservatório de descarga
$V_{rs}$	Velocidade do fluido no reservatório de sucção
W	Watt
$\Delta H_L$	Perda de carga linear
$\Delta H_r$	Perdas de carga no recalque
$\Delta H_s$	Perda de carga singular
$\Delta H_{suc}$	Perdas de carga na sucção
$\Delta H_{total}$	Perda de carga total
$\gamma$	Peso específico da água
$\eta$	Rendimento do conjunto motobomba

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1.1 Objetivo Principal .....	18
2.1.2 Objetivos Secundários.....	18
<b>3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SEUS COMPONENTES</b> .....	<b>19</b>
3.1 MANANCIAL E CAPTAÇÃO .....	19
3.2 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA.....	20
3.3 ADUTORAS .....	21
3.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	21
3.5 RESERVATÓRIO .....	22
3.6 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	23
<b>4 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO</b> .....	<b>24</b>
4.1 MANANCIAL SUBTERRÂNEO .....	25
4.2 CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA.....	26
4.3 ASPECTOS SOBRE CONJUNTOS MOTOBOMBA .....	28
4.3.1 Tipos de Partida de Motores Elétricos.....	29
4.3.2 Curva Característica do Sistema e Ponto de Trabalho .....	33
4.3.3 Dimensionamento e Seleção de Bombas Submersas .....	34
4.3.4 Cálculo das Perdas de Carga.....	34
4.3.5 Dimensionamento Econômico da Tubulação de Recalque .....	37
<b>5 MEDIDAS DE EFICIENTIZAÇÃO</b> .....	<b>39</b>
5.1 MEDIDAS DE ADEQUAÇÃO ÀS TARIFAS DE FORNECIMENTO .....	40
5.2 MEDIDAS DE REDUÇÃO DE PERDAS NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....	40
5.3 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO CONJUNTO MOTOBOMBA.....	41
5.4 MEDIDAS DE REDUÇÃO DAS PERDAS DE CARGA NAS CANALIZAÇÕES... ..	42
5.5 MEDIDAS DE REDUÇÃO DOS VAZAMENTOS.....	43
5.6 AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ELEVAÇÃO ..	43
<b>6 METODOLOGIA</b> .....	<b>45</b>
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO .....	45
6.2 CARACTERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO.....	45
6.3 COLETA DE DADOS .....	47
6.4 COLETA DE DADOS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	50
6.5 ALTURA MANOMÉTRICA .....	50
6.6 POTENCIAL DE REDUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	51
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>53</b>
7.1 ANÁLISE DA ELEVATÓRIA.....	53
7.1.1 Curva Característica do Conjunto Motobomba.....	53
7.1.2 Determinação da Curva do Sistema (CS) .....	54
7.2 OBTENÇÃO DA CURVA DE CONSUMO .....	56

7.2.1 Avaliação dos Dados Diários de Volume Bombeado e Tempo de Funcionamento .....	56
7.2.2 Análise dos Dados de Vazão Registrados com Frequência de (1/60) Hz .....	60
7.2.3 Definição da Curva de Consumo.....	62
7.3 AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE ACIONAMENTOS DO SISTEMA <i>versus</i> VOLUME BOMBEADO .....	66
7.4 AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	67
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO A: BOMBA MODELO BHS 8180 .....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE I: PADRÃO 1 DE ACIONAMENTO .....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE II: PADRÃO 2 DE ACIONAMENTO .....</b>	<b>84</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) (2015) estipula que a demanda de água destinada ao consumo humano deve dobrar até o ano 2050, em relação ao ano 2000, no caso dos países que fazem parte dos BRICS. Dados brasileiros de 2018, destacam que o consumo de água por habitante no país é de 154,9 L/dia (BRASIL, 2019c), maior do que 110 L/dia.hab recomendado pela a ONU.

No entanto, vale destacar que este consumo é bastante heterogêneo no território brasileiro, isto é evidente na discrepância entre o consumo médio da região sudeste, 182,6 L/dia.hab, e o da região nordeste, 115,4 L/dia.hab, devido, principalmente, pelo alto grau de industrialização da região sudeste (BRASIL, 2019c).

Para Tsutiya (2006), o abastecimento de água é imprescindível para o desenvolvimento humano e industrial, reduz a incidência de doenças de origem e veiculação hídrica, além de ser condição indispensável para a manutenção da vida.

Azevedo Netto e Fernandez (1998) definem um sistema de abastecimento de água (SAA) como o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de uma comunidade. O SAA é subdividido em manancial, captação, estação elevatória, adutoras, estação de tratamento de água, reservatórios e rede de distribuição. O bom funcionamento depende da manutenção da infraestrutura, recursos humanos, energia elétrica e outros insumos tais como produtos químicos.

É importante ressaltar que o consumo de energia elétrica do sistema de abastecimento de água no ano de 2018, foi de 11,5 TWh, totalizando R\$5,52 bilhões, representando 2,4% do consumo total brasileiro naquele ano (BRASIL, 2019a).

As estações elevatórias compostas, principalmente, pelo conjunto motobomba, tem como objetivo transportar uma certa vazão de um ponto a outro, e consomem, em média, 90% da energia elétrica de todo o SAA, afirmam Gomes e Carvalho (2012).

As estações elevatórias são indispensáveis aos SAA já que a captação de água bruta ocorre, necessariamente, por elevatórias, seja em mananciais superficiais ou subterrâneos. São utilizadas, ainda, para alimentação dos reservatórios de água elevado e para manutenção da pressão na rede, sendo a última realizada por *Booster*.

Na tentativa de tornar o setor mais eficiente, em 2003, a ELETROBRÁS/PROCEL instituiu o programa PROCEL/SANEAR (BRASIL, 2003). Deste então, o governo e pesquisadores, dentre eles, Bezerra e Silva (2010), Gomes

e Carvalho (2012), Meirelles (2017) e Kuritza (2017), têm se dedicado a estudos na área de eficiência energética no setor de saneamento.

Outro expoente em medidas de eficiência energética é o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) (2011), o mesmo aponta como medidas, a redução de perdas de carga, alteração na operação do sistema, manutenção dos equipamentos, melhoria na eficiência do motor elétrico e da bomba, redução das perdas nas instalações elétricas, alteração na contratação da tarifa de energia e, também, assim como Gomes e Carvalho (2012), processos de otimização na operação dos reservatórios e nas regras de bombeamento.

Entretanto, apesar das medidas apontadas pelo BID e pelo Procel serem de mais de uma década, o setor de abastecimento de água carece de melhorias. Segundo Gomes e Carvalho (2012), 25% da energia dispendida no setor é devido ao mau funcionamento das estações elevatórias, resultado semelhante a este foi obtido pelo Programa Nacional de Eficiência Energética (PNEf) (BRASIL, 2010c).

Nesse contexto, esta pesquisa insere-se no âmbito da promoção da eficiência hidroenergética de uma estação elevatória associada a um manancial subterrâneo, que compõe o sistema de abastecimento de água (SAA) de um município localizado no interior do Paraná, objeto de uma parceria técnico-científica entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e a companhia de saneamento do município.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1.1 Objetivo Principal

O presente trabalho tem por objetivo propor uma avaliação hidroenergética na estação elevatória associada a um manancial subterrâneo que compõe o sistema de abastecimento de água de um município no interior do estado do Paraná.

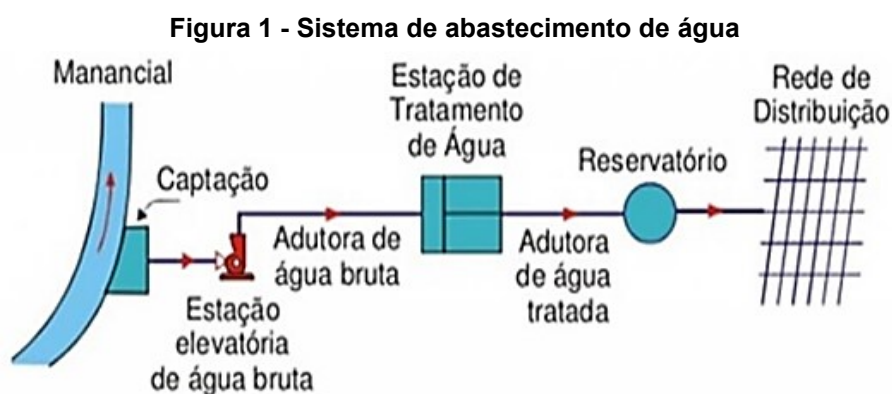
### 2.1.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários do presente trabalho são:

- Reconhecer as características hidráulicas e particularidades da estação elevatória;
- Identificar a vazão média de operação do sistema;
- Determinar a curva de consumo atendida pela elevatória;
- Avaliar o consumo de energia elétrica da elevatória.

### 3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SEUS COMPONENTES

Este capítulo tem a finalidade de apresentar os componentes de um SAA, e cada unidade será abordada em tópico específico. Na figura 1 estão esquematizadas as partes constituintes de um SAA típico. É importante ressaltar que as características específicas de cada componente do sistema depende da condição topográfica encontrada, da população a ser atendida, da vazão de projeto, do hábito dos consumidores a serem atendidos, do método de operação e de outras condições específicas da localidade (TSUTIYA, 2006).



Fonte: Tsutiya (2006)

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (1992), na norma nº 12211, Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água, fixa as condições exigíveis para os estudos de concepção destes sistemas.

#### 3.1 MANANCIAL E CAPTAÇÃO

Tsutiya (2006) define manancial como o corpo de água, superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento de uma comunidade. A ABNT (1992) na norma nº 12211, considera como abastecedores, os mananciais que apresentam condições sanitárias conforme disposto na ABNT (1992), na norma nº 12216, Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público, e que, isolados ou agrupados, apresentam vazão suficiente para atender a demanda máxima prevista para o alcance do plano. O Ministério da Saúde na PORTARIA GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Azevedo Netto e Fernandez (1998) classificam os mananciais passíveis de aproveitamento para abastecimento em dois grandes grupos, manancial superficial, que tem o espelho de água na superfície do terreno, como rios, lagos, córregos, represas, e manancial subterrâneo o qual provê água dos interstícios do subsolo, como poços rasos ou profundos e galerias de infiltração.

O conjunto de obras e dispositivos construídos ou montados junto ao manancial, conforme explicado por Tsutiya (2006) é denominado sistema de captação. A concepção do conjunto de obras destinada a captação depende do tipo de manancial.

Para mananciais superficiais a ABNT (1992) na norma n° 12213 dá as diretrizes para o projeto de captação de água de superfície para abastecimento público e fixa as condições exigíveis para a elaboração dos projetos. Na figura 2 pode ser visualizado uma obra destinada a captação de água superficial. Os mananciais subterrâneos e sua operação serão abordados no capítulo 4.

**Figura 2 - Captação de água superficial da SAAE São Carlos**



Fonte: SAAE São Carlos (2020)

### 3.2 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

Um sistema elevatório é o conjunto de obras e equipamentos responsável por conceder energia ao escoamento permitindo a transposição do desnível geográfico e também para suprir as perdas de carga devido ao movimento do fluido e ao contato com as paredes da tubulação, conforme explica Tsutiya (2006).

No caso do SAA, as estações elevatórias são utilizadas na adução de água bruta, no transporte da água tratada da estação para o reservatório, e na rede de distribuição (PORTO, 2006).

O funcionamento do conjunto motobomba acontece por transformações de energia. A energia elétrica, proveniente da rede elétrica, é transformada pelo motor em energia mecânica, que, por meio de um eixo, é transferida ao fluido (GOMES; CARVALHO, 2012).

A ABNT (1992) na norma n° 12214, Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público, fixa as condições exigíveis para a elaboração de projeto de sistema de bombeamento para abastecimento público. Os conceitos, bombas utilizadas, equipamentos acessórios, instalações, são expostos com maior detalhe no capítulo 4.

### 3.3 ADUTORAS

As canalizações principais, segundo Azevedo Netto e Fernandez (1998), que são responsáveis por conduzir a água entre as unidades de um sistema público de abastecimento de água que antecedem a rede de distribuição, podem ser chamadas de adutoras.

Tsutiya (2006) classifica as adutoras quanto a natureza da água conduzida, ou seja, as adutoras de água bruta são aquelas que transportam a água sem tratamento prévio, e as adutoras de água tratada são aquelas que transportam a água tratada, localizando-se a jusante das ETAs. Ainda, de acordo com os autores, podem classificar-se segundo a energia utilizada na movimentação da água: adutoras por gravidade ou por recalque.

A ABNT (2017) na norma n° 12215, Projeto de adutora de água para abastecimento público, fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto de sistema de adução de água para abastecimento público.

### 3.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de água, conforme Libânio (2010), consiste em um conjunto de processos que visam a remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria

orgânica, microrganismos e outras substâncias possivelmente prejudiciais à saúde humana, adequando-a aos parâmetros de potabilidade, sejam físicos, químicos, biológicos e radioativos, estabelecidos na Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

A ABNT (1992) na norma nº 12216, projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público, fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto de estação de tratamento de água destinada à produção de água potável para abastecimento público.

Para Libânio (2010) a definição da tecnologia a ser empregada no tratamento de água deve-se pautar nos seguintes aspectos:

- Características da água bruta;
- Custos de implantação, manutenção e operação;
- Manuseio e confiabilidade dos equipamentos;
- Flexibilidade operacional;
- Localização geográfica e características da população atendida;
- Disposição final do lodo.

Para atender os padrões de potabilidade impostos pela portaria do Ministério da Saúde, na data de entrega desse trabalho a vigente é a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), Heller e Pádua (2016) citam a coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação, como sendo os processos mais utilizados para o tratamento de água bruta.

### 3.5 RESERVATÓRIO

As unidades de reservação são utilizadas com objetivos, de regularizar a vazão, condicionamento das pressões na rede de distribuição e como reserva de combate a incêndios (HELLER; PÁDUA 2016). Tsutiya (2006) cita como vantagem a utilização de reservatórios a segurança ao abastecimento caso haja interrupções no tratamento.

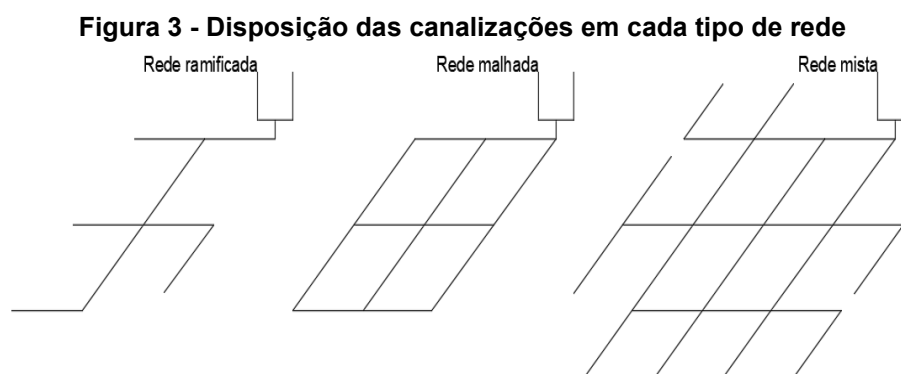
Heller e Pádua (2016) classificam os reservatórios quanto a localização no terreno, em elevados, *Stand-Pipe*, enterrado, semienterrado e apoiado. Ainda, a

ABNT (1994), na norma n° 12217, classifica os reservatórios quanto a localização no sistema em reservatórios de montante, localizado antes da rede de distribuição, e de jusante, localizado ao final da rede de distribuição.

### 3.6 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

O conjunto de tubulações, acessórios, reservatórios, bombas, que visam atender os pontos de consumo, tais como prédios, residências, indústrias, com vazão e pressão conveniente é denominado por Porto (2006) como rede de distribuição.

As redes de distribuição são classificadas em redes malhadas, redes ramificadas ou rede mistas, a disposição das canalizações em cada tipo de rede pode ser visualizada na figura 3 (AZEVEDO NETTO; FERNANDES, 1998); (PORTO, 2006); (HELLER; PÁDUA, 2016).



**Fonte: Adaptado de Eos Consultoria (2017)**

Tsutiya (2006) cita que a rede de distribuição é componente de maior custo de um sistema de abastecimento de água, compreendendo, cerca de 50 a 75% do custo total. Heller e Pádua (2016), mais recentemente, também confirmam o elevado custo da implantação das redes de distribuição, cerca de 50%.

A ABNT (2017) na norma n° 12218, Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, define as condições gerais e específicas para um projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.



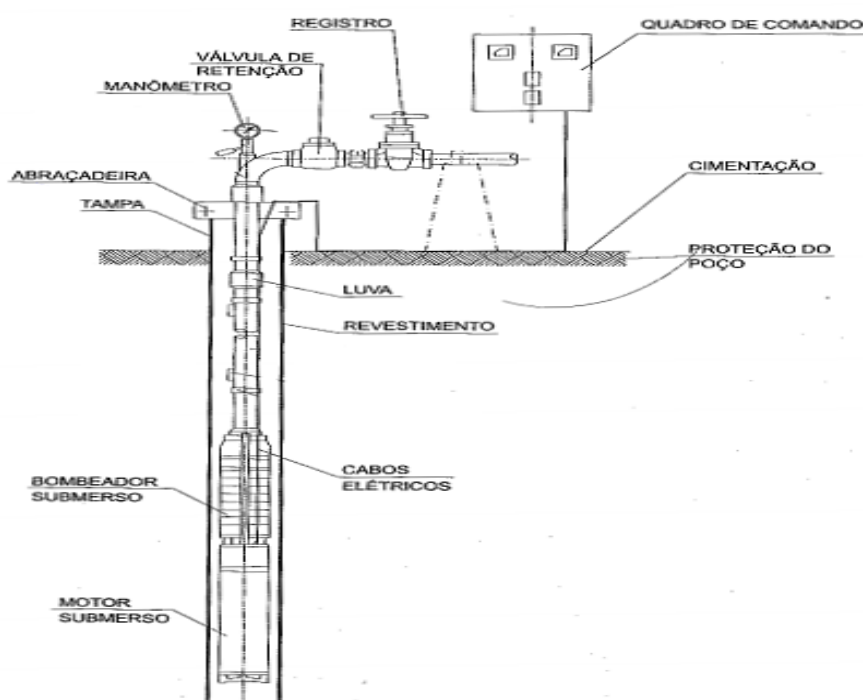
#### 4 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram abaixo do lençol freático, em solos e formações geológicas completamente saturadas, afirmam Freeze e Cherry (1979). Os solos e formações geológicas portadoras e condutoras de água subterrânea são denominados aquíferos pela ABNT (2017) na norma n° 12212, Projeto de poço para a captação de água subterrânea.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2019) as águas subterrâneas, no ano de 2016, foram responsáveis por atender 30,4 milhões de pessoas, além de serem a única opção de abastecimento de 48% dos municípios com menos do que 10 mil habitantes e de 38% dos municípios com população entre 10 a 50 mil. Ainda de acordo com o Instituto, no ano de 2016 o volume de água explorado foi de  $17,58 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ .

Os principais componentes de um poço são quadro de comando, tubulação edutora, sistema motobomba submerso, revestimento, proteção do poço, cimentação e acessórios da tubulação (Tsutiya, 2006). Na figura 4 é apresentado um esquema com os principais componentes de captação subterrânea. A tubulação edutora é aquela que se encontra no interior do poço.

Figura 4 - Esquema de bombeamento em poços



Fonte: Adaptado de Tsutiya (2006)

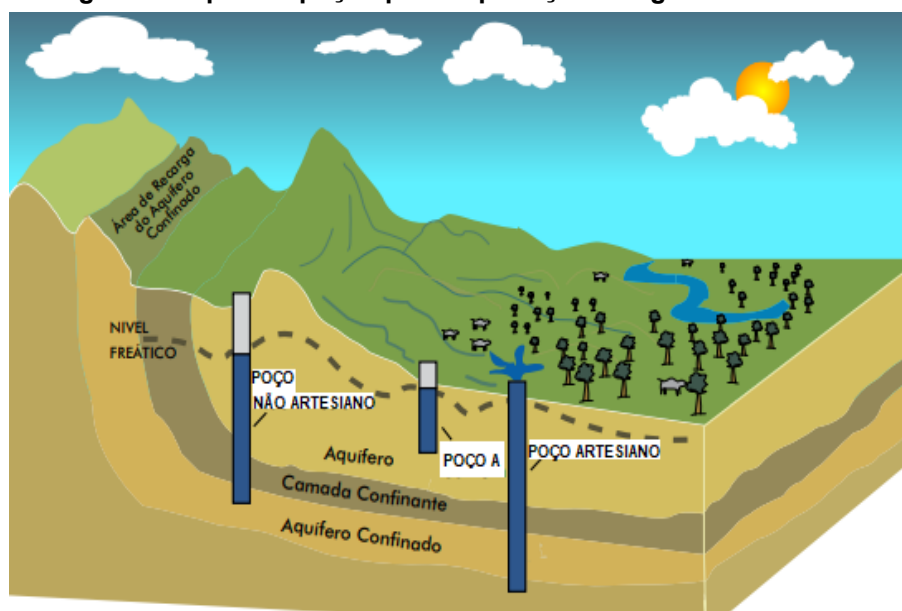
## 4.1 MANANCIAL SUBTERRÂNEO

Feitosa e Manoel Filho (2000) tipificam os aquíferos em confinados e livres. O Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2007) classifica um aquífero como livre quando o limite superior de saturação está em contato com o ar, ou seja, na parte superior do aquífero não há camada impermeável, e, conseqüentemente, a pressão é igual a pressão atmosférica. O poço A da figura 5 foi perfurado até atingir o aquífero livre.

Já um aquífero confinado é aquele localizado entre duas camadas com baixa permeabilidade e a pressão que é exercida na água é maior do que a pressão atmosférica. Na figura 5, pode-se visualizar dois poços, denominados como poço artesiano e não artesiano, perfurados até o nível do aquífero confinado.

A diferença entre os poços que são perfurados até atingirem o nível do aquífero confinado é o fenômeno de artesianismo, que é definido pela elevação da água até a superfície do terreno sem a necessidade de estações elevatórias (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019).

**Figura 5 - Tipos de poços para exploração de água subterrâneas**



**Fonte: Adaptado de Brasil (2007)**

No estado do Paraná a extração de água subterrânea para qualquer finalidade só pode ser feita a partir de outorga expedida pelo Instituto Água e Terra de acordo com a Lei Estadual nº20070 de 18 de dezembro de 2019 (PARANÁ, 2019).

## 4.2 CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA

Os poços para captação de água subterrânea são classificados em escavados ou tubulares (VASCONCELOS, 2017). Os poços escavados são caracterizados por terem diâmetro superior a 0,5 m, profundidade de até 25 m. São perfurados e construídos de forma manual, e são revestidos por bloco cerâmico, tijolo ou anel de concreto. Na figura 6 apresenta-se um exemplo de poço escavado (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019).

**Figura 6 - Poço escavado**



**Fonte: Vasconcelos (2017)**

O poço tubular, figura 7, é caracterizado por possuir, no máximo, 50 cm de diâmetro de abertura no solo, são revestidos com tubos de PVC ou aço, a perfuração é feita por meio máquinas perfuratrizes à percussão, rotativas ou rotopneumáticas. Geralmente, atingem uma faixa de 60 m a 200 m de profundidade, entretanto, podem atingir até 400 m de profundidade, além de ter maior capacidade de exploração do que os poços escavados (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019).

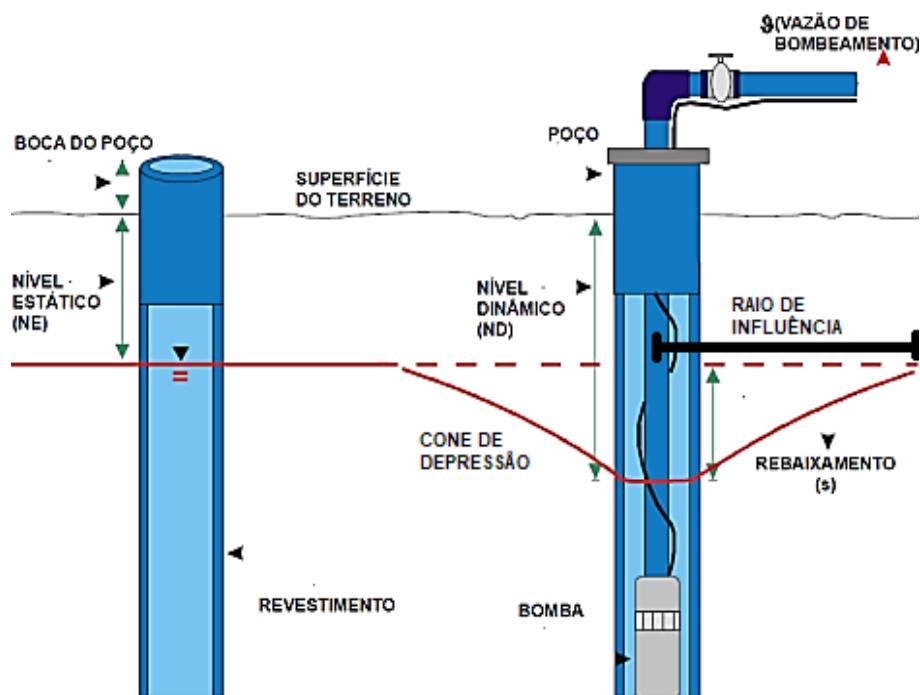
Os termos técnicos para o entendimento da hidráulica de poços profundos são nível estático, nível dinâmico, índice de rebaixamento, vazão específica, coeficiente de armazenamento, armazenamento específico, transmissividade, raio de influência e cone de depressão (TSUTIYA, 2006); (HELLER; PÁDUA, 2010).

A ABNT (2017) na norma nº 12212 define o nível estático (NE), como a profundidade do nível de água em um poço que não houve bombeamento. O nível dinâmico (ND) é a profundidade do nível d'água de um poço em que o bombeamento está ativo. Ambos os níveis são medidos a partir da superfície do terreno. A diferença entre ND e NE é chamado de índice de rebaixamento, e indica o quanto o bombeamento rebaixa o nível do poço. O NE, ND e o rebaixamento estão esquematizados na figura 7.

A vazão específica ( $q$ ), conforme explica Tsutiya (2006), é o resultado da divisão da vazão medida pelo índice de rebaixamento, este resultado serve como indicador de rendimento da formação aquífera, ou seja, quanto maior  $q$ , maior é a capacidade de exploração do poço. O armazenamento específico é definido pelo autor como o volume de água liberado por um volume unitário do aquífero submetido a uma pequena variação de carga hidráulica. O autor também define o coeficiente de armazenamento como a capacidade que um aquífero tem de armazenar água em toda a sua espessura, é o resultado da multiplicação do armazenamento do aquífero pela sua espessura.

A transmissividade corresponde a quantidade de água que uma espessura qualquer de um aquífero pode ceder para ser bombeada, e é definida pela multiplicação da espessura dessa camada pelo coeficiente de condutividade hidráulica. O cone de depressão, pode ser visualizado na figura 7, como a superfície potenciométrica imaginária do aquífero que se forma após o bombeamento, o limite do cone de depressão é a intersecção da superfície imaginária e do nível estático. Os autores definem o raio de influência, pode ser visualizado na figura 7, como a diferença entre o centro da canalização do poço e o limite do cone de depressão, e serve para analisar a influência de um poço sobre outros poços ou sobre mananciais superficiais (HELLER; PÁDUA, 2010).

Figura 7 – Representação do poço tubular



Fonte: Adaptado de ANA (2016)

#### 4.3 ASPECTOS SOBRE CONJUNTOS MOTOBOMBA

Alguns poços tubulares podem atingir níveis dinâmicos na ordem de 400 m, o que inviabiliza a instalação de conjuntos motobomba na superfície do terreno, já que as alturas estáticas máxima de aspiração, em geral, são limitadas a 7 m (Macintyre, 1990).

Em vista do exposto, Tsutiya (2006), indica para a exploração de poços tubulares conjuntos motobomba submersos. Macintyre (1990), classifica estas bombas em centrífugas do tipo turbina, verticais de simples ou de múltiplos estágios.

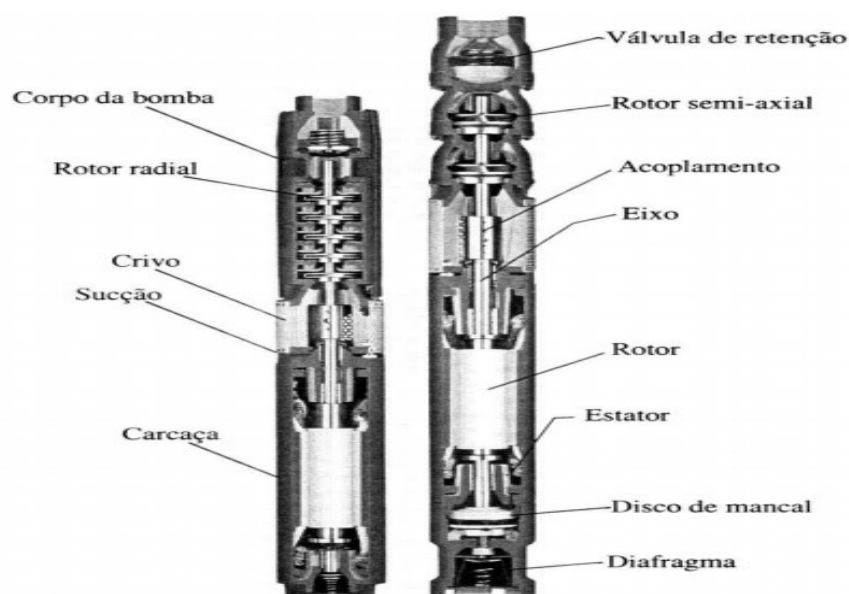
Os rotores de uma bomba submersa são escolhidos de acordo com a vazão a ser recalçada. Vazões de até 35 m<sup>3</sup>/h o rotor escolhido é radial, para vazões maiores do que 35 m<sup>3</sup>/h é escolhida um conjunto motobomba com rotor semiaxial, explica Tsutiya (2006). Os principais componentes de uma bomba submersa e seu material constituinte, de acordo com o autor, são descritos no quadro 1 e na figura 8 tem-se um corte transversal dos dois tipos de bombas utilizadas em poços.

Quadro 1 - Principais componentes de uma bomba submersa

Itens	Materiais
Carcaça	Ferro fundido ou aço inox
Rotor	Bronze
Eixo	Aço inox
Luva do mancal	Aço AISI 420 ou AISI 316
Parafusos, porcas, e arruelas que permanecem em contato com a água	Aço inox (obrigatoriamente)
Crivo	Aço inox

Fonte: Tsutiya (2006)

Figura 8 - Corte transversal de uma bomba radial e de uma bomba semiaxial



Fonte: Zambon *et al.* (2016)

#### 4.3.1 Tipos de Partida de Motores Elétricos

Os principais tipos de partidas de motores elétricos são, partida direta, estrela-triângulo, utilizando autotransformador, suave e utilizando conversor de frequência (GRUNDFOS, 2020).

Na partida direta, o motor elétrico é ligado diretamente na rede elétrica. Este é o método que desenvolve menos calor no motor, o que aumenta a vida útil do motor, contudo, não permite variar a rotação do motor, sendo utilizado geralmente em motores de até 45 kW (PERRONI, 2005). Contudo a corrente de partida é cinco vezes maior do que a corrente nominal do motor (GRUNDFOS, 2020).

O método de partida estrela triângulo é o mais utilizado para motores de médio porte por ser simples, seguro e barato. Esse método inicia com a partida do motor em posição de estrela, depois do motor já estar funcionando em 90% de sua velocidade de rotação nominal, é comutado para a posição triângulo a ligação dos polos do motor com a rede elétrica (GOMES E CARVALHO, 2012). A desvantagem desse tipo de ligação em poços tubulares é a utilização de um cabo de alimentação adicional, e devido ao diâmetro reduzido do poço, restringe a passagem das tubulações, explica Perroni (2005).

A consequência direta do motor ser ligado em posição estrela é a redução em 58% da corrente de partida, quando comparada com a partida direta, contudo quando é comutada para a posição triângulo a corrente atinge até cinco vezes a corrente nominal (GRUNDFOS, 2020).

Na partida de motores elétricos utilizando o autotransformador, segundo Gomes e Carvalho (2012), a corrente absorvida é reduzida de acordo com o quadrado da relação de espiras do autotransformador, esse método de partida apresenta custo inicial maior do que motores com partida estrela-triângulo ou direta. Contudo, esse tipo de partida apresenta como vantagem a possibilidade de permitir ajustes de tensão e de corrente absorvida por *tapes*, normalmente 80%, 65% e 60%, durante a partida.

A partida suave (*soft start*), de acordo com Perroni (2005), é obtida com equipamento eletrônico que controla os ângulos de fases, dessa forma reduzindo a tensão de partida e, conseqüentemente, a corrente de arranque. A redução fica no intervalo de 50% até 65% em relação ao valor de trabalho, entretanto, essa suavização da corrente de arranque deve ser por um curto período de tempo para não superaquecer o motor.

Segundo Gomes e Carvalho (2012) a partida suave tem como vantagens, não forçar a partida do sistema, limitar a corrente de partida, evitar picos de corrente e ainda incorporar paradas suaves e proteções ao sistema. Estas vantagens reduzem os esforços sobre acoplamentos e dispositivos de transmissão durante as partidas, contribuem para o aumento da vida útil do motor e para a economia de energia.

Os quatro tipos de partidas supracitados não incorporam a possibilidade de ajuste da velocidade do motor, além de consumirem mais energia do que a partida utilizando conversor de frequência (PERRONI, 2005).

A partida utilizando conversor de frequência, segundo Perroni (2005), é a mais indicada para sistemas de bombeamento, porque auxilia na redução de corrente de

arranque, elimina as oscilações de pressão na saída das bombas, além de ser possível ajustar a velocidade do motor para atender diferentes vazões. O ajuste da velocidade do motor, de acordo com o autor, é possível porque os conversores de frequência são dispositivos que alteram a frequência da corrente elétrica, este ajuste acontece de forma contínua e suave. Segundo o autor, o conversor de frequência é utilizado em bombas submersas pelo motivo da diminuição do nível dinâmico e consequentemente aumento da altura manométrica.

Os conversores de frequência são separados em dois grupos, o primeiro, considerado mais simples, é baseado na curva tensão-frequência, também conhecido por conversor V/f, o segundo grupo, considerado mais avançado, é baseado em um *software* que se utiliza de parâmetros como vazão, frequência de rotação do motor, tensão, carga hidráulica para o controle operacional do sistema motobomba (GRUNDFOS, 2020).

Segundo Gomes e Carvalho (2012), a utilização de conversor de frequência possibilita a automação do sistema, aumento da vida útil dos sistemas eletromecânicos que compõem a estação elevatória, aumento do fator de potência, elimina a necessidade de válvulas para partir ou parar o bombeamento, minimiza a necessidade de paradas do sistema e auxilia quando há saltos de produção. Estas vantagens, segundo os autores, possibilitam o aumento na confiabilidade do sistema e diminuem o dispêndio que as companhias de abastecimento tem com energia elétrica.

Em relação as desvantagens técnicas, Gomes e Carvalho (2012), apontam a alteração nas condições de trabalho da bomba, interferências harmônicas nas redes elétricas de alimentação, elevação da temperatura do motor, limitação da distância entre o conversor de frequência e o motor, e que o equipamento também requer manutenção especializada. Além disso, alguns componentes do conversor não são tolerantes a ambiente úmido e/ou corrosivo. Os autores indicam que a utilização de um filtro de interferência de frequência de rádio resolve o problema quanto a limitação da distância entre o conversor de frequência e o motor. Já utilização de um filtro de ondas harmônicas, afirma Tsutiya (2001), corrige as interferências harmônicas na rede elétrica de alimentação e também corrige a geração de distorções harmônicas de tensão, além dessas vantagens, o filtro reduz a corrente e auxilia na correção do fator de potência.



Os fundamentos para a aplicabilidade de conversores de frequência para a redução do consumo de energia são baseados nas leis de semelhança, de acordo com Gomes e Carvalho (2012).

A primeira equação de semelhança representa a relação linear diretamente proporcional entre vazão e a rotação, essa relação está descrita na equação (1).

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$N_1$  = Rotação do motor na condição 1 (RPM);

$N_2$  = Rotação do motor na condição 2 (RPM);

$Q_1$  = Vazão na condição 1 ( $m^3/s$ );

$Q_2$  = Vazão na condição 2 ( $m^3/s$ ).

A segunda equação de semelhança apresenta que a relação das alturas manométricas é diretamente proporcional ao quadrado da relação das rotações, essa relação está descrita na equação (2).

$$\frac{H_{\text{man},2}}{H_{\text{man},1}} = \frac{N_2^2}{N_1^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$H_{\text{man},1}$  = Altura manométrica na condição 1 (m);

$H_{\text{man},2}$  = Altura manométrica na condição 2 (m).

A terceira equação de semelhança apresenta que a relação das potências consumidas é diretamente proporcional ao cubo da relação das rotações, essa relação está descrita na equação (3).

$$\frac{\text{Pot}_2}{\text{Pot}_1} = \frac{N_2^3}{N_1^3} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\text{Pot}_1$  = Potência motriz na condição 1 (W);

$\text{Pot}_2$  = Potência motriz na condição 2 (W).

#### 4.3.2 Curva Característica do Sistema e Ponto de Trabalho

A curva do sistema (CS) caracteriza-se por relacionar as características geométricas da instalação e o material das tubulações, por meio do cálculo das perdas de carga, com a vazão escoada. A equação (4) é chamada de equação característica do sistema (PORTO, 2006).

$$E = H_{\text{geo}} + \Delta H_{\text{suc}} + \Delta H_r \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

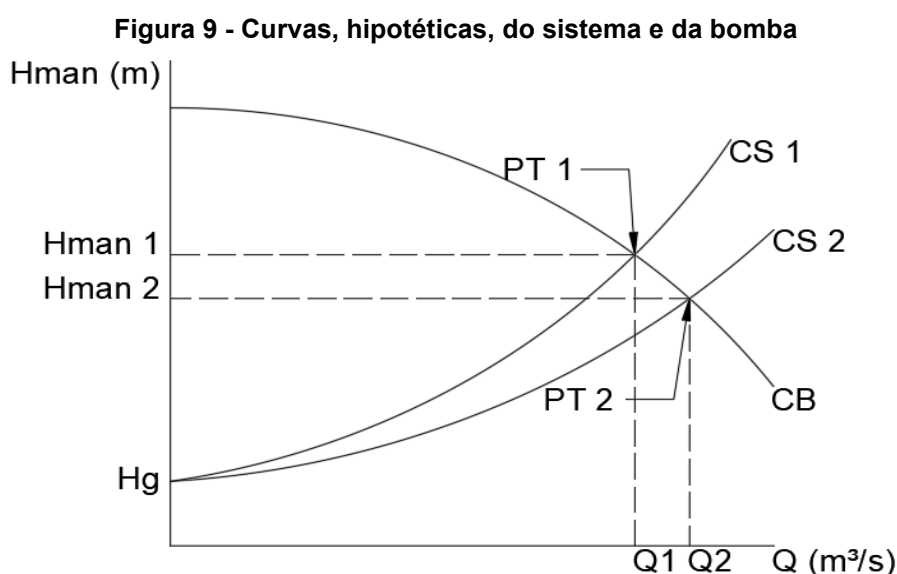
$E$  = elevação total (m);

$H_{\text{geo}}$  = altura geométrica (m);

$\Delta H_{\text{suc}}$  = perdas de carga na sucção (m);

$\Delta H_r$  = perdas de carga no recalque (m).

O ponto de trabalho (PT) é a intersecção da curva do sistema (CS), associada a uma vazão  $Q$ , com a curva característica da bomba cedida pelo fabricante (CB) (GOMES; CARVALHO, 2012). É importante destacar que para cada vazão que percorre o sistema, tem-se um ponto ideal de trabalho. Na figura 9 é possível visualizar a intersecção da curva do sistema com a curva característica da bomba. A diferença entre CS 1 e CS 2 é a vazão de dimensionamento,  $Q_1$  e  $Q_2$ , respectivamente.



Fonte: Gomes e Carvalho (2012)

### 4.3.3 Dimensionamento e Seleção de Bombas Submersas

O dimensionamento de bombas submersas inicia-se a partir do conhecimento da vazão de exploração, definida pela capacidade do poço, vazão máxima de outorga e pela companhia de abastecimento de água (PARANÁ, 2019), e também a altura manométrica, equação (5), necessária ao sistema, do diâmetro do poço e das condições físico-químicas da água (TEDESCO, 1997).

O diâmetro do poço define o diâmetro máximo da bomba e das canalizações adutoras. A soma do diâmetro das canalizações e dos cabos elétricos deve ser menor do que o diâmetro do poço, a fim de não haver travamento no interior do poço (PERRONI, 2005). A escolha da bomba é feita a partir de catálogos de fabricantes.

$$H_{\text{man}} = H_{\text{geo}} + \frac{P_{\text{rd}} - P_{\text{rs}}}{\gamma} + \Delta H_{\text{total}} + \frac{V_{\text{rd}}^2 - V_{\text{rs}}^2}{2 \cdot g} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$H_{\text{man}}$  = altura manométrica (m);

$H_{\text{geo}}$  = altura geométrica (m);

$P_{\text{rd}}$  = pressão no reservatório de sucção (Pa);

$P_{\text{rs}}$  = pressão no reservatório de descarga (Pa);

$\gamma$  = peso específico da água ( $\text{N/m}^3$ );

$\Delta H_{\text{total}}$  = perda de carga total (m);

$V_{\text{rd}}$  = velocidade média do escoamento no reservatório de descarga (m/s);

$V_{\text{rs}}$  = velocidade média do escoamento no reservatório de sucção (m/s);

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ ).

### 4.3.4 Cálculo das Perdas de Carga

As perdas de carga a serem consideradas no dimensionamento de canalizações, segundo Azevedo Netto e Fernandez (1998), são as perdas lineares, ocasionadas pela resistência que a rugosidade da canalização provoca, e as perdas singulares, provocadas por peças especiais e conexões.

Gomes e Carvalho (2012) afirmam que para o cálculo de perdas de carga lineares de adutoras e redes a equação de Hazen-Williams é a mais utilizada, equação (6). O coeficiente de Hazen-Williams sugerido para cada tipo de material e estado de uso é apresentado no quadro 2.

$$\Delta H_L = 10,667 \cdot \frac{L_c \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$\Delta H_L$  = Perda de carga linear (m);

$L_c$  = Comprimento da canalização (m);

$Q$  = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

$C$  = Coeficiente de Hazen-Williams para cada tipo de material (m<sup>0,368</sup>/s);

$D$  = Diâmetro interno da canalização (m).

O cálculo das perdas de carga singulares para estações de bombeamento segundo a ABNT (1994) na norma n° 12214 deve ser feito pela equação (7). O valor do coeficiente de perda de carga singular para cada tipo de válvula e acessório é apresentado no quadro 3.

$$\Delta H_s = K_s \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$\Delta H_s$  = Perda de carga singular (m);

$K_s$  = Coeficiente de perda de carga singular (adimensional);

$V$  = Velocidade média do escoamento (m/s);

$g$  = Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

**Quadro 2 - Valor do coeficiente C sugerido para a fórmula de Hazen-Williams**

<b>Tubos</b>	<b>Novos</b>	<b>Usados ± 10 anos</b>	<b>Usados ± 20 anos</b>
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	-	-
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Aço rebitado, novos	110	90	80
Aço soldado comum (revestimento betuminoso)	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento-amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom acabamento	130	-	-
Concreto, acabamento comum	140	130	110
Ferro fundido, revestimento interno epóxico	140	130	120
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120	105
Grés cerâmico, vidrado (manilhas)	110	110	110
Latão	130	130	130
Vidro	140	-	-
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
Plástico (PVC)	140	135	130

Fonte: Azevedo Netto e Fernandez (1998)

**Quadro 3 - Coeficiente de perdas K para válvulas e acessórios**

<b>Tipo de Acessório</b>	<b>K</b>
Curva de raio longo	0,25-0,40
Curva de raio curto (cotovelo)	0,90-1,50
Curva de 45°	0,20
Crivo	0,75
Redução gradual	0,15
Registro gaveta aberto	0,20
Registro globo aberto	10,00
Te de passagem direta	0,60
Te de saída lateral	1,30
Válvula de retenção	2,50
Válvula de pé	1,75
Entrada de reservatório (borda viva)	0,50

Fonte: Gomes e Carvalho (2012)

No que tange a velocidade, a ABNT (1992) na norma nº 12214 sugere valores para a velocidade máxima na sucção em função do diâmetro nominal, quadro 4. A

velocidade mínima de sucção, ainda conforme a norma, varia de acordo com o tipo de material em suspensão na água. No caso de águas com matéria orgânica e suspensões arenosas, a velocidade mínima recomendada é de 0,30 m/s, e para suspensões siltosas 0,45 m/s.

Para adutora de água bruta a velocidade mínima é de 0,60 m/s e para adutora de água tratada é de 0,30 m/s, recomenda a ABNT (2017) na norma n° 12215. A norma também recomenda que não ultrapasse velocidades acima de 3,00 m/s em ambos os tipos de adutoras.

**Quadro 4 - Velocidade máxima de sucção**

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

Fonte: ABNT (1992)

#### 4.3.5 Dimensionamento Econômico da Tubulação de Recalque

O dimensionamento econômico de tubulações de recalque é feito através da fórmula de Bresse, equação (8), essa equação supõe que o custo da linha instalada é diretamente proporcional ao comprimento e ao diâmetro e que o custo do conjunto motobomba é proporcional à unidade de potência instalada (PORTO, 2006).

$$D = K \cdot \sqrt{Q}$$

Equação 8

Onde:

D = diâmetro da canalização de recalque (m);

K = coeficiente de Bresse;

Q = vazão recalcada (m<sup>3</sup>/s).

O coeficiente de Bresse pode ser estabelecido a partir da velocidade do escoamento na canalização, conforme o quadro 5. Porto (2006) explica que a equação (8) é muito simples para representar um problema com muitas variáveis econômicas e técnicas, portanto, deve ser utilizada somente para anteprojetos.

**Quadro 5 - Coeficiente de Bresse**

Valores de K	V (m/s)
0,90	1,60
1,10	1,06
1,30	0,75
1,50	0,57

Fonte: Azevedo Netto e Fernandes (1998)

O dimensionamento de linhas de recalque em que as bombas não trabalhem de forma intermitente, de acordo com Azevedo Netto e Fernandes (1998), é dado pela equação (9).

$$D = 1,3 \cdot X^{1/4} \cdot \sqrt{Q} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

D = diâmetro da canalização de recalque (m);

X = total de horas de funcionamento do bombeamento por dia dividido por 24;

Q = vazão recalcada (m<sup>3</sup>/s).

## 5 MEDIDAS DE EFICIENTIZAÇÃO

O BID (2011) classifica as medidas que podem ser aplicadas no sistema de bombeamento a fim de obter uma melhora da eficiência em:

1. Medidas de adequação às tarifas de fornecimento;
2. Medidas de redução de perdas nas instalações elétricas;
3. Aumento da eficiência do conjunto motobomba;
4. Medidas de redução das perdas de carga nas canalizações;
5. Medidas de redução dos vazamentos;
6. Aumento da eficiência na operação do sistema de elevação

As medidas de redução e controle do consumo de energia elétrica, quando estabelecidas, asseguram benefícios de curto, médio e longo prazo, com eficiência e eficácia. Algumas ações para controle dos custos de energia consistem em (BRASIL, 2019c):

- Monitorar parâmetros elétricos e hidráulicos para instalações de elevado consumo;
- Proceder à manutenção dos equipamentos sempre que ultrapassar níveis pré-estabelecidos (exemplo kWh/m<sup>3</sup>/100 m) ou indicadores adequados para avaliação do rendimento eletromecânico;
- Adequar os horários de operação dos conjuntos motor-bombas aos horários de tarifas elétricas mais baixas;
- Controlar o fator de potência das unidades consumidoras de energia, por meio da substituição regular de bancos de capacitores;
- Medidas de controle de perdas de água.

Nas subseções a seguir estão descritas as medidas que podem ser tomadas dentro de cada grupo proposto pelo BID (2011).



## 5.1 MEDIDAS DE ADEQUAÇÃO ÀS TARIFAS DE FORNECIMENTO

A tarifa de energia é o preço cobrado por unidade de energia consumida, expressa em R\$/kWh. Os consumidores de energia elétrica são classificados, de acordo com a finalidade da unidade consumidora, em residencial, industrial e comercial. O valor do kWh no Brasil depende da modalidade adotada pelo consumidor, e divide-se em tarifa convencional, horo-sazonal verde (THS Verde) ou horo-sazonal azul (THS Azul), e, também, da bandeira vigente no período de cobrança.

A tarifa convencional possui apenas um preço para a energia e outro para a potência. Já as tarifas horo-sazonais possuem preços diferentes de energia que dependem do horário (na ponta ou fora de ponta do sistema) e do período do ano (bandeira verde, amarela e vermelha) de utilização (BRASIL, 2010b).

O sistema de bandeiras tarifárias brasileiro, publicado em 2013, entrou em vigor a partir de 2015. O sistema é dividido em três bandeiras, a bandeira verde significa que não haverá cobrança adicional, já a bandeira amarela ou vermelha, significa que haverá cobrança adicional (BRASIL, 2013).

A THS verde é indicada às unidades consumidoras onde é possível a reprogramação da utilização de carga (demanda), ao longo do dia, do segmento de ponta para o fora de ponta. Nessa modalidade há somente uma tarifa de demanda de potência. A THS azul é indicada às unidades que não é possível haver a diminuição da demanda de potência no horário de ponta, portanto, há uma tarifa de demanda para o horário de ponta e outro para fora de ponta (BRASIL, 2015).

Diante disso, existem duas oportunidades de otimização, a primeira é alterar a tarifa contratada por outra que seja mais adequada ao consumo da companhia de abastecimento. A segunda consiste na adequação da operação do sistema para não operar, ou reduzir a operação, no período de ponta, no qual o custo de energia é mais alto.

## 5.2 MEDIDAS DE REDUÇÃO DE PERDAS NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

O BID (2011) afirma que as perdas em instalações elétricas são devidas as instalações antigas e/ou a alta temperatura dos transformadores. A melhora das

instalações antigas é feita a partir de uma manutenção geral no transformador e, se ele apresentar falhas irreversíveis, trocá-lo por outro novo, de baixas perdas. Ainda, a temperatura pode ser diminuída com a instalação de exaustores ou de sistema de ventilação forçada.

O desequilíbrio de tensão é o fenômeno associado a alterações dos padrões trifásicos do sistema de distribuição (BRASIL, 2010a). O desequilíbrio provoca aumento considerável nas perdas elétricas gerando desperdício desse insumo. Gomes e Carvalho (2012) afirmam que desequilíbrios acima de 2,5% devem ser investigados junto a concessionária de energia. No quadro 6 estão as medidas tomadas de acordo com a origem do desequilíbrio de tensão.

**Quadro 6 - Ações corretivas em função da origem do desequilíbrio de tensão**

<b>Origem do desequilíbrio de tensão</b>	<b>Ações corretivas a implantar</b>
Desequilíbrio na corrente demandada pelo motor, que produz uma queda de tensão em cada fase.	Fazer manutenção no motor e, se falha for irreversível, substituir o motor por um motor novo de alta eficiência.
Desequilíbrio com origem na alimentação da companhia fornecedora.	Solicitar à companhia fornecedora a correção do problema.
Desequilíbrio gerado pelo transformador da subestação própria.	Fazer manutenção no transformador e, se a falha for irreversível, substituir o transformador por um transformador novo de baixas perdas
Desequilíbrio gerado por um desequilíbrio nas cargas do transformador	Balancear as cargas no transformador.

Fonte: BID (2011)

### 5.3 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO CONJUNTO MOTOBOMBA

A substituição do motor elétrico por um motor de alta eficiência é recomendada quando o motor sofre uma falha irreparável, ou o conserto é oneroso e não se mostra viável economicamente (BID, 2011).

Os sistemas de elevação, em operação há muitos anos, já não operam no ponto de dimensionamento, pois ao longo dos anos pode haver o aumento das perdas de carga, ou modificação da vazão de dimensionamento. Operações que trabalham com cargas inferiores a 50%, em relação ao ponto ótimo de funcionamento, devem ser substituídas (BRASIL, 2005).

Gomes e Carvalho (2012), também citam como motivos de troca do conjunto elevatório, o baixo rendimento das partes constituintes do conjunto e, a grande quantidade de conjuntos de baixa potência existentes na rede.

Afim de aumentar a eficiência dos conjuntos motobomba também se mostram como medidas a reabilitação e limpeza periódica do equipamento de bombeamento, limpeza do poço e a limpeza do filtro do poço (BRASIL, 2019b).

Os principais pontos a serem observados na manutenção do conjunto motobomba, de acordo com Gomes e Carvalho (2012), são:

- O sistema de refrigeração: deficiências nesse sistema comprometem o isolamento do motor, aumentam das perdas elétricas, aumento do ruído e degradação do lubrificante de mancais;
- Lubrificação: a falha desse sistema provoca desgaste prematuros e sobreaquecimento, com danos aos mancais, às vezes irreversíveis;
- Desequilíbrio de tensão: a ocorrência desse fenômeno provoca aumento das perdas elétricas e superelevação da temperatura em pontos de enrolamento, o que ocasiona o rompimento desse ponto, e conseqüentemente a queima do motor;
- Vibração: as vibrações devido ao funcionamento da bomba, se originam do mau alinhamento dos mancais, da folga excessiva do mesmo, da falta de rigidez ou má fixação da base e bobinas soltas por perda ou quebra de calços ou cunhas. Há também as vibrações causadas por bombas que trabalham muito fora do ponto de trabalho ideal e por deficiências nos acoplamentos. As vibrações devido ao funcionamento do motor elétrico se originam da gaiola do rotor aberta e das diferenças no entreferro devido a folgas excessivas nos mancais.

#### 5.4 MEDIDAS DE REDUÇÃO DAS PERDAS DE CARGA NAS CANALIZAÇÕES

As medidas de redução das perdas de carga propostas pela ANEEL são, suavização de estreitamento ou do alargamento da canalização, suavização de curvas acentuadas no traçado, substituição da tubulação por outra de menor rugosidade e a instalação de equipamentos para remoção de ar (ventosas) (BRASIL, 2019b).

As incrustações aumentam a rugosidade da canalização, também diminuem a área da seção transversal, o que provoca aumento da velocidade, que amplia as perdas de carga.

Gomes e Carvalho (2012) citam que a limpeza do revestimento das paredes internas dos tubos diminui a perda de carga. Os autores citam também a substituição da tubulação por outra de maior diâmetro para diminuir a perda de carga. Deve-se levar em consideração a velocidade mínima e máxima proposta pelas normas brasileiras quando houver a substituição da canalização.

## 5.5 MEDIDAS DE REDUÇÃO DOS VAZAMENTOS

O índice de perdas de água na distribuição do sistema de abastecimento brasileiro foi de 38,5% em 2018 (BRASIL, 2019c). Tsutiya (2006) afirma que isto é devido a instalações antigas e já deterioradas e Bezerra, Silva e Gomes (2010) acrescenta as pressões elevadas na rede como causa de vazamentos.

Bezerra, Silva e Gomes (2010) expõem que o controle de pressão é a principal ferramenta para evitar vazamentos, e as ações que podem ser adotadas são: a setorização da rede de distribuição conforme faixa de altura manométrica, e a instalação de válvulas redutoras de pressão. Outras medidas para a redução dos vazamentos são, automação e controle da rede visando detectar mais rapidamente as perdas e providenciar a manutenção o mais rápido possível, além de realizar pesquisas de vazamentos de forma planejada e frequente (BRASIL, 2019b).

Meirelles *et al.* (2017) propõem a utilização das válvulas redutoras de pressão que dissipam energia, pois introduzem uma perda de carga localizada na rede. Os autores também comentam que é possível aproveitar a energia que essas válvulas dissipam, por meio de bombas funcionando como turbinas, assim haverá, mesmo que em parte, uma possível substituição do fornecimento de energia.

## 5.6 AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ELEVAÇÃO

Tsutiya (2006) aponta como principais medidas de otimização na operação do sistema de elevação, a alteração do regime de bombeamento e de reservação e a utilização de inversores de frequência como método de partida. Segundo Gomes e

Carvalho (2012), a utilização de conversor de frequência possibilita uma economia de energia de 30 a 50%.

A maior capacidade de reserva evita o funcionamento das estações de bombeamento durante o horário de ponta, onde o custo da tarifa é maior. Caso haja possibilidade operacional do sistema, pode-se programar os desligamentos e acionamentos das estações elevatórias para operar fora do horário de ponta. Entretanto, é necessário manter um volume de água reservado capaz de atender à demanda de consumo de água pela população no horário de ponta sem causar riscos de desabastecimentos em casos de incêndios, defeitos, rompimentos em adutoras ou falta de energia elétrica (BRASIL, 2019b).

Tsutiya (2001) afirma que a parada das bombas no horário de ponta tem se mostrado vantajoso tanto em pequenos sistemas de abastecimento de água como em grandes sistemas, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo. O autor afirma que essa alteração operacional representou cerca de 10 a 20% na redução dos custos de energia elétrica.

## 6 METODOLOGIA

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

O município é localizado na região central do estado do Paraná e localiza-se a 340 km de Curitiba, capital do estado (IBGE, 2020). No quadro 7 estão sintetizadas as informações referentes à localidade.

**Quadro 7- Dados do município analisado**

População estimada (2020)	~30 mil	
População no último censo (2010)	~32,6 mil	
Área territorial (km <sup>2</sup> )	1.663,747	
Densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> ) (2010)	~20	
Unidades com abastecimento de água	Residencial	~7,9 mil
	Comercial	747
	Industrial	16
	Utilidade pública	60
	Poder público	100
	Total	~8,8 mil

Fonte: IBGE (2020); PARANÁ (2021)

O produto interno bruto (PIB) do município analisado, para o ano de 2018, é de, aproximadamente, 755 milhões de reais. O setor primário, como agricultura, pecuária, produção florestal, pesca, produção mineral, entre outros, corresponderam por 55,27% do PIB. A indústria correspondeu por 14,12%. O comércio e serviços corresponderam a 30,05%. Já os recursos e autos corresponderam a somente 0,56%. Portanto, o município analisado tem sua economia baseada no setor primário (PARANÁ, 2021).

### 6.2 CARACTERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO

O sistema de bombeamento avaliado é composto por um poço tubular profundo, um conjunto motobomba do tipo submerso, uma adutora de água bruta e um reservatório superior do tipo apoiado.

A região onde o poço foi perfurado é formada por rochas basálticas pertencentes a formação Serra Geral da era Mesozoica, sendo proveniente do

fenômeno de vulcanismo que ocorreu na porção meridional do continente sul-americano. A perfuração deste poço ocorreu em 2003 para possibilitar a retirada de água do aquífero Serra Geral, e abastecer parte da população do município analisado.

Geometricamente, a saída do poço encontra-se na cota 842,90 m, profundidade total de 178 m, medida a partir do nível do terreno. O diâmetro altera-se com o aumento da profundidade: até 15 m de profundidade, o diâmetro é de 14,75”, entre 15 m e 72 m o diâmetro é de 10” e de 72 m a 178 m o diâmetro é de 6”, conforme figura 10. Na ocasião da perfuração o nível estático apresentava-se a 3,45 m abaixo do nível do terreno.

O bombeamento é feito por um conjunto motobomba submerso controlado, para operar a uma frequência de 51 Hz, por um conversor de frequência. Ainda, sensores de nível, instalados no reservatório, acionam o conjunto motobomba. Cabe ressaltar que a companhia de abastecimento local vetou o acionamento do poço entre 1 e 5 horas da manhã. Outras características importantes do conjunto podem ser conferidas no quadro 8.

**Quadro 8- Informações do conjunto motobomba submerso**

Marca	Ebara
Modelo	BHS-8180
Quantidade de estágios	7
Potência nominal (HP)	150,00
NPSH (m)	8,52
Vazão ( <i>shut off</i> ) (m <sup>3</sup> /h)	180,00
Altura manométrica máxima (m.c.a)	171,00
Rotação nominal (RPM)	3540
Rotação de operação (RPM)	3000

**Fonte: EBARA (2017)**

A profundidade do crivo, medida a partir do nível do terreno, é de 66 m. Já o valor máximo de nível dinâmico indicado, para que não haja entrada de ar na tubulação, é de 60 m. No anexo A estão as informações do conjunto motobomba disponibilizadas pela fabricante.

A adutora de água bruta possui 200 mm de diâmetro e apresenta um comprimento de 1856 m, sendo 1256 m feito de PVC FoFo e 600 m feito de RPVC, a adutora, fabricada em RPVC, tem comprimento de 66 m e diâmetro de 125 mm.

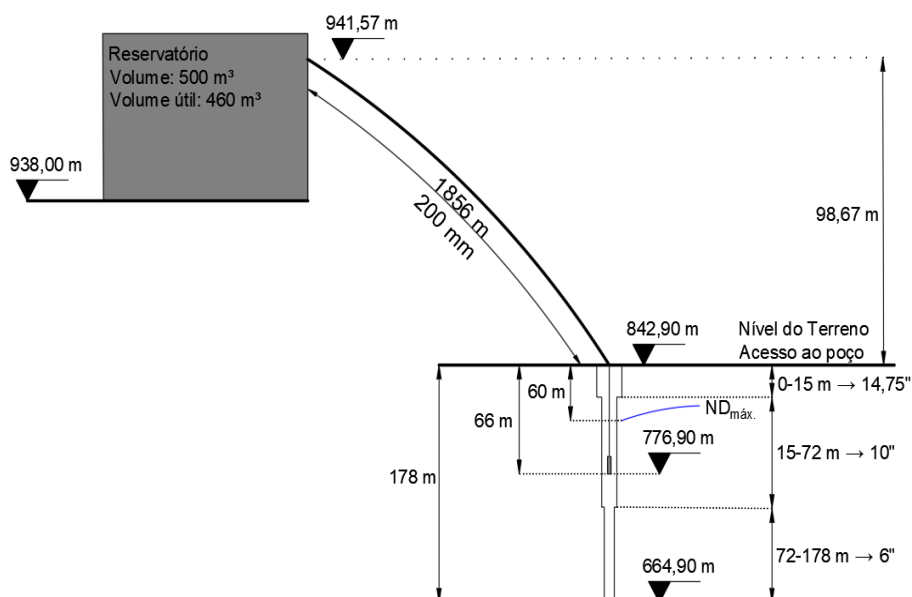
O reservatório, que armazena a água recalçada, é do tipo apoiado e construído em concreto armado, com volume nominal de 500 m<sup>3</sup> e 460 m<sup>3</sup> de volume útil. No quadro 9 são apresentadas as cotas de instalação do reservatório, bem como os níveis máximos e mínimos.

**Quadro 9 - Caracterização do reservatório**

Volume nominal (m <sup>3</sup> )	500,00
Volume útil (m <sup>3</sup> )	460,00
Elevação do terreno (m)	938,00
Elevação do nível de água mínimo (m)	938,10
Elevação do nível de água máximo (m)	941,57
Altura de água útil (m)	3,47
Altura mínima de água no reservatório (m)	3,00
Rebaixamento máximo permitido (m)	0,47

Na figura 10 está ilustrado um esquema do sistema estudado, assim como especificações das partes que o compõem.

**Figura 10 - Esquema e especificações do sistema elevatório**



### 6.3 COLETA DE DADOS

Os registros das informações médias de operação do sistema é uma prática comum entre os colaboradores da companhia que atuam na operação. Assim, existe



uma série histórica destes registros desde que o sistema iniciou a sua operação. Contudo, para esta pesquisa, foram utilizados os registros de janeiro de 2019 a maio de 2021, portanto, 29 meses. Esse período justifica-se, pois, segundo os operadores, a capacidade de vazão do poço diminuiu consideravelmente após o mês de abril de 2020. Assim, optou-se por analisar dados de um ano calendário anterior e um ano calendário posterior ao evento. Ainda, devido à estiagem no estado do Paraná no ano de 2020 a equipe de geologia e engenharia solicitou uma adequação na vazão de exploração de 180 m<sup>3</sup>/h, sendo que a nova recomendação propõe a exploração de 80 m<sup>3</sup>/h com 15 horas de bombeamento diárias.

As medições do nível dinâmico são realizadas mensalmente por um colaborador da companhia. As medições de volume são registradas diariamente por um macromedidor da marca CONAUT modelo KROHNE IFC50 com precisão de  $\pm 0,5\%$  VM. O tempo de funcionamento da elevatória é registrado por um totalizador de horas, da marca COEL modelo DH com precisão de  $\pm 0,1\%$  do valor indicado.

A vazão média é, portanto, obtida das informações de volume e tempo de operação do conjunto, contudo, para a pesquisa, foi instalado, entre os dias 06 e 25 de agosto de 2020, um medidor de vazão marca CONAUT com modelo IFC300W, número de série C13503336 para a coleta de dados a uma frequência de (1/60) Hz. O *data logger* utilizado no medidor de vazão é modelo LogBox-DA, número de série 18022811.

Os níveis do reservatório superior não possuem registros diários, sendo assim, foi instalado um medidor de nível da marca WIKA e modelo LH-10, que registrou os níveis de minuto a minuto, entre os dias 30 de setembro e 16 de outubro. O *data logger* utilizado no medidor de nível é modelo LogBox-AA, número de série 12350560.

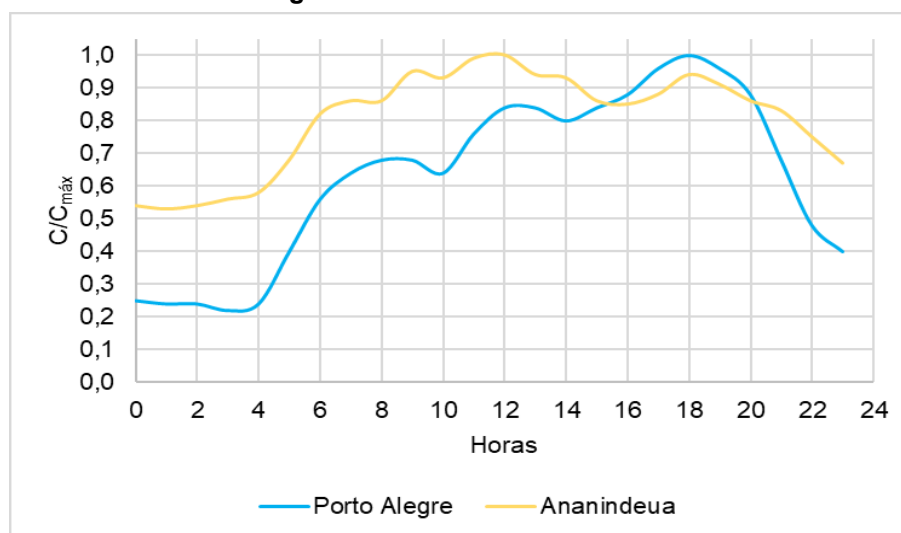
No quadro 10 estão apresentados o período de medição e o número de aquisições de cada variável. É importante destacar que as medições não foram feitas de forma simultâneas.

**Quadro 10 – Período de medição e número de aquisições de dados realizados para a pesquisa**

Variável medida	Período de registro	Intervalo entre aquisições	Número de aquisições
Nível do reservatório apoiado	30/09/2020 a 16/10/2020	15 minutos	1552
Vazão bombeada	06/08/2020 a 25/08/2020	1 minuto	27490

Com a finalidade de se comparar a curva de consumo obtida para o poço tubular profundo, utilizou-se duas curvas de consumo de municípios brasileiros. A primeira curva foi obtida junto ao setor de gerência de projetos e obras do departamento municipal de água e esgotos (DMAE) do município de Porto Alegre, figura 11. O crescimento do consumo dessa curva se dá a partir das cinco horas e o pico se dá as 18 horas.

A segunda curva, figura 11, foi obtida a partir de medições de campo da rede Lenhs realizadas no município de Ananindeua, Pará, em 2004. Em relação a curva do DMAE essa curva apresenta menor variação entre a vazão máxima e média. O pico de consumo se dá ao meio dia. Destaca-se que que no período de 6 as 22 horas o consumo sofre pouca variação.

**Figura 11 - Curvas de consumo**

Fonte: Kuritza (2017)

## 6.4 COLETA DE DADOS DE ENERGIA ELÉTRICA

As informações de consumo de energia elétrica foram acessadas por meio das faturas mensais. Cabe destacar que a modalidade tarifária adotada no poço é a horo-sazonal verde.

Foram observadas as contas do período de janeiro a dezembro de 2020. Os dados das faturas estão no quadro 11. Destaca-se que a tolerância da demanda é 5% acima do contratado.

**Quadro 11– Informações de consumo e demanda contratada entre os meses**

Mês/Ano	Consumo (kWh)			Demanda (kW)		
	Fora da ponta	Na ponta	Total	Fora da ponta	Na ponta	Contratada
12/2020	22447	2836	25283	70,30	68,88	136,50
11/2020	27152	3808	30960	75,86	70,25	136,50
10/2020	25068	3877	28945	74,34	72,32	136,50
09/2020	23245	3802	27047	74,78	71,68	136,50
08/2020	18448	3307	21755	71,14	70,35	136,50
07/2020	24615	3695	28310	70,30	69,17	136,50
06/2020	23381	2829	26210	68,33	67,84	110,25
05/2020	26089	2740	28829	128,51	127,42	110,25
04/2020	29998	3666	33664	128,6	127,92	110,25
03/2020	29825	3115	32940	134,11	128,31	110,25
02/2020	31058	3679	34737	100,17	100,17	110,25
01/2020	32999	3570	36569	96,87	96,87	110,25

## 6.5 ALTURA MANOMÉTRICA

A altura manométrica foi aferida a partir da equação apresentada em (4), e para o cálculo das parcelas de perda de carga linear e de singular foram utilizadas as equações apresentadas em (5), equação de Hazen-Williams, e (6), respectivamente.

O coeficiente de Hazen-Williams (C) adotado foi igual a 140, conforme o quadro 2, para tubulações novas de PVC FoFo e de RPVC. As peças especiais consideradas para o cálculo das perdas de carga singulares estão no quadro 12. Cabe ressaltar que as peças especiais e conexões foram adotadas em virtude de sua necessidade no sistema.

**Quadro 12 - Caracterização das conexões e peças especiais**

Peças	Quantidade		K
	Edutora	Adutora	
Curva	1		0,40
Crivo	1		0,75
Válvula de retenção	1		1,75
Abertura 125→200 mm	1		0,15
Entrada de reservatório		1	0,50
Registro gaveta		1	0,20

## 6.6 POTENCIAL DE REDUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A análise do potencial de redução foi pautada no cálculo do consumo de energia normalizado (CEN), comparando a situação da operação vigente com a situação de eficiência técnica (CEN<sub>TEC</sub>).

De acordo com Ferreira *et al.* (2019) a eficiência técnica é o limite alcançável das medidas de eficiência, considerando níveis de desempenho tecnicamente realistas e satisfatórios. Portanto, é um valor limite para cálculos de potenciais de redução e de economia.

Para o caso de sistemas de elevação de água o limite de eficiência técnico satisfatório, denominado no presente trabalho por CEN<sub>TEC</sub>, é proposto pela Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015. Esta norma define os limites mínimos de eficiência energética eletromecânica em sistemas de bombeamento em operação, assim como os métodos de ensaio para aferir a eficiência. Os valores de CEN<sub>TEC</sub> podem ser visualizados no quadro 13.

**Quadro 13 – Níveis de eficiência técnica**

Tipo de motor	Externo				Submerso			
<b>Potência a partir de (kW)</b>	0	16	38	96	0	16	38	96
<b>Bom desempenho (%)</b>	64	68	72	72	50	57	62	63
<b>Bom desempenho (CEN<sub>TEC</sub>) (kWh/m<sup>3</sup>*100m)</b>	0,426	0,401	0,378	0,378	0,545	0,478	0,440	0,433

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

A análise da situação de eficiência atual foi apoiada no indicador de consumo de energia normalizado (CEN), equação (10). De acordo com Duarte *et al.* (2004) o CEN representa a energia consumida para elevar 1 m<sup>3</sup> de água a 100 m de altura.

$$CEN = \frac{CE}{VB \cdot \frac{H_{man}}{100}} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

CEN= consumo de energia normalizado (kWh/m<sup>3</sup>\*100m);

CE = consumo de energia (kWh);

VB = volume bombeado (m<sup>3</sup>);

H<sub>man</sub> = altura manométrica (m).

A análise econômica foi pautada no Potencial de Redução (PR) ou, de acordo com Ferreira *et al.* (2019) energia evitável tecnicamente. Esse potencial foi calculado para os meses de janeiro a dezembro de 2020, utilizando-se da equação (11).

$$PR = (CEN - CEN_{TEC}) \cdot VB \cdot \frac{H_{man}}{100} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

PR = potencial de redução (kWh);

CEN= consumo de energia normalizado atual (kWh/m<sup>3</sup>\*100m);

CEN<sub>TEC</sub> = consumo de energia normalizado na situação de tecnicamente eficiente (kWh/m<sup>3</sup>\*100m);

VB = volume bombeado (m<sup>3</sup>);

H<sub>man</sub> = altura manométrica (m).

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção inicia-se com a análise do dimensionamento da estação elevatória do poço tubular profundo, seguida da análise dos dados de vazão bombeada e de nível do reservatório. Ainda, segue, com a análise do número de acionamentos do conjunto motobomba, com a análise do consumo de energia na ponta e fora da ponta e encerra-se com a análise do consumo de energia elétrica a partir do indicador CEN.

### 7.1 ANÁLISE DA ELEVATÓRIA

#### 7.1.1 Curva Característica do Conjunto Motobomba

A curva característica do conjunto motobomba na frequência nominal de fabricação, 60 Hz, apresentado na figura 12, curva 1, foi confeccionada a partir dos dados apresentados pelo fabricante, anexo A. Contudo, devido a nova vazão de exploração, a frequência de operação do sistema foi alterada para 51 Hz, por meio de um conversor de frequência.

Portanto, foi realizada a adaptação da curva da bomba por meio da análise de semelhança, curva 2 da figura 12. No quadro 14 estão os valores de altura manométrica e de vazão para a frequência nominal e de operação vigente.

**Quadro 14 – Curva de desempenho do conjunto motobomba**

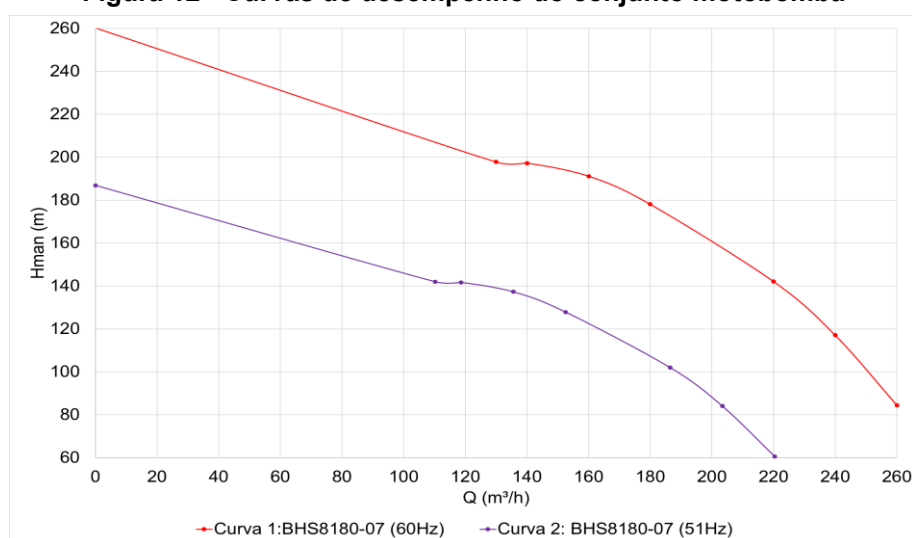
60 Hz		51 Hz	
Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Hman <sub>1</sub> (m)	Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Hman <sub>2</sub> (m)
0	260,30	0,00	186,94
130	197,80	110,17	142,06
140	197,30	118,64	141,70
160	191,20	135,59	137,32
180	178,10	152,54	127,91
220	142,10	186,44	102,05
240	117,10	203,39	84,10
260	84,50	220,34	60,69

Como pode ser visto no quadro 14 a variação de frequência diminui a energia cedida pelo conjunto motobomba ao sistema, isso é aplicável a todos os casos de

adução apresentados, na ordem de 28,2%. Já para o caso das vazões, a diminuição se dá em 15,3%. Na figura 12 fica evidenciado o deslocamento da curva adaptada, curva 2, em relação a curva nominal, curva 1.

A potência do conjunto motobomba na situação atual, calculado utilizando a equação de semelhança apresentada em (3), é de 68,69 kW, redução de 38,6%, quando comparado com a situação de 60 Hz.

**Figura 12 - Curvas de desempenho do conjunto motobomba**



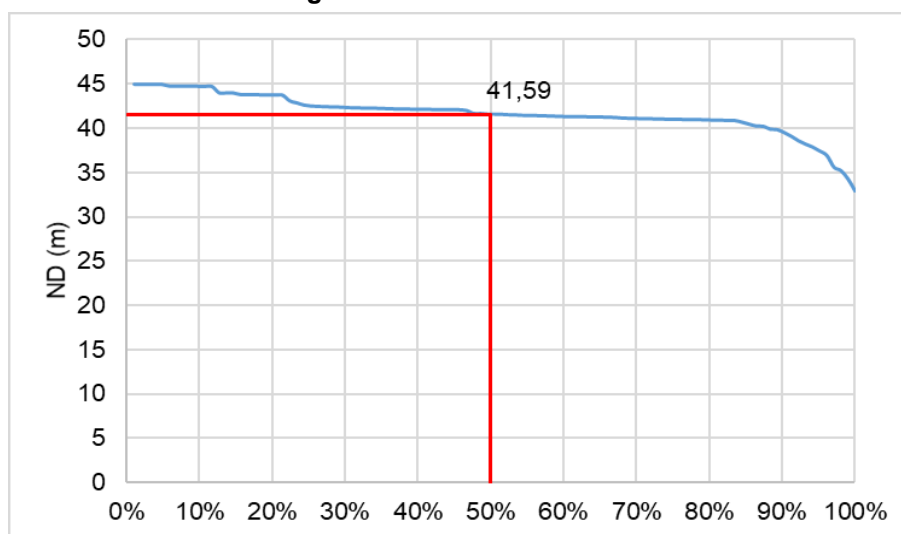
### 7.1.2 Determinação da Curva do Sistema (CS)

Por se tratar de uma captação subterrânea à medida que a bomba retira água do poço, o nível dinâmico aumenta, dessa forma, ampliando a altura geométrica do sistema.

De acordo com os dados de 11 medições de bombeamento, realizados entre os dias de 30 de abril e 23 de maio de 2020, 103 valores de níveis dinâmicos, a variação dos níveis ficou na faixa de 34,28 m a 44,95 m.

Com a finalidade de se determinar um nível dinâmico para cálculos seguintes construiu-se a curva de permanência para os dados adquiridos, essa curva pode ser visualizada na figura 13.

Figura 13 - Níveis dinâmicos



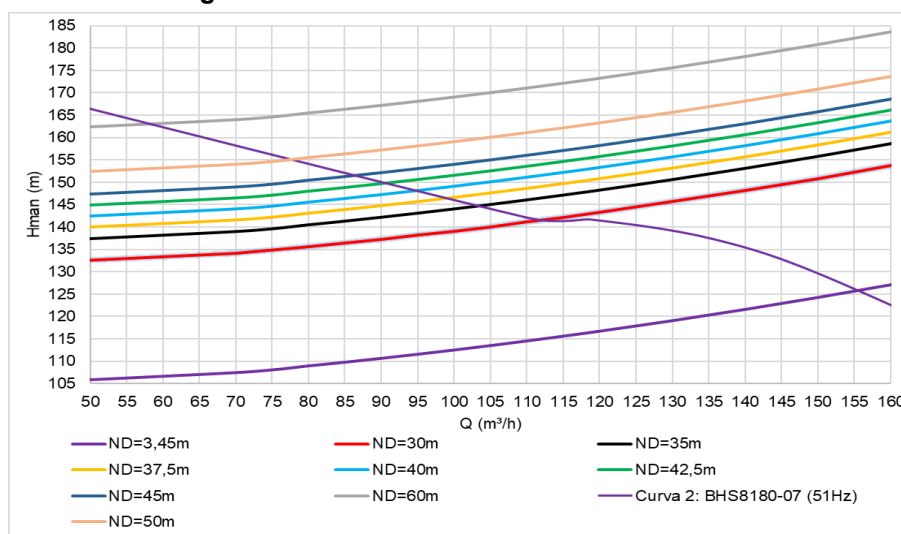
De acordo com a curva de permanência da figura 13, verificou-se que o nível dinâmico de 41,59 m ocorre em 50% do tempo, também é possível visualizar na figura 13 que 90% dos níveis dinâmicos estão acima de 40 m.

A fim de determinar o ponto de funcionamento da bomba, foram propostas nove possibilidades para o nível dinâmico do poço, conforme a figura 14. Os valores foram estabelecidos pautados no nível estático, 3,45 m, e no nível dinâmico máximo, 60 m, estabelecido para que não ocorra vórtices que possibilitam a entrada de ar na bomba. Já as vazões adotadas foram de 50 m<sup>3</sup>/h até 160 m<sup>3</sup>/h. A partir dos valores adotados foram construídas curvas do sistema para cada nível dinâmico proposto, conforme figura 14.

Cabe ressaltar que os níveis dinâmicos e as vazões associadas não foram medidos. Na figura 14 estão as curvas características do sistema, considerando os níveis dinâmicos e as vazões supracitadas. Ainda, pode ser visualizada a curva de desempenho da elevatória para a frequência de 51 Hz.



**Figura 14 - Curvas características do sistema**



Para a curva da bomba adaptada a 51 Hz, a faixa de trabalho varia de 60 m<sup>3</sup>/h à 105 m<sup>3</sup>/h, para o máximo nível dinâmico indicado e para o mínimo nível dinâmico registrado nas medições de bombeamento, 34,28 m. A maior vazão da faixa de trabalho representa um aumento de 75% com relação a menor vazão. Ainda, observa-se na figura 14, que uma variação de 10 m no nível dinâmico pode impor, devido ao aumento da altura manométrica, uma redução de 15% da vazão considerando as curvas de ND igual a 30 m e 40 m.

Verifica-se ainda, que a ocorrência dos níveis dinâmicos medidos, intervalo de 34,28m a 44,95 m, permitem vazões entre 85 m<sup>3</sup>/h à 105 m<sup>3</sup>/h, com alturas manométrica entre 145 m e 152 m, respectivamente.

Perante o exposto nas curvas características da figura 14, e considerando o nível dinâmico mediano apresentado na figura 13, permite inferir que o ponto de funcionamento da elevatória ocorre com uma vazão de 90 m<sup>3</sup>/h e altura manométrica de 148 m.

## 7.2 OBTENÇÃO DA CURVA DE CONSUMO

### 7.2.1 Avaliação dos Dados Diários de Volume Bombeado e Tempo de Funcionamento

Da análise dos dados de volume bombeado verificou-se que, no período de análise, janeiro de 2019 a maio de 2021, o volume total bombeado foi de 1.121.807 m<sup>3</sup>. No ano de 2019, o volume atingiu a marca de 494.389 m<sup>3</sup>, cerca de 44,07% do volume

total produzido pelo poço. Já no ano de 2020 foram bombeados cerca de 458.198 m<sup>3</sup>, 40,84% do total produzido pelo poço. Nos meses do ano de 2021, janeiro a maio, o volume bombeado já havia atingido a marca de 169.220 m<sup>3</sup>, 15,09% do volume total produzido pelo poço.

O tempo de funcionamento do sistema elevatório no período analisado, foi de 10.352,76 horas. Do funcionamento total, o ano de 2019 correspondeu a 4.179,90 horas, cerca de 40,37%. No ano de 2020 a elevatória funcionou por 4.478,20 horas, 43,26 % do total. O período analisado de 2021 correspondeu a 1.694,66 horas, cerca de 16,37%. Cabe ressaltar que houveram dois dias de paralisação no bombeamento para o período analisado, dias 26 de fevereiro e 26 de abril de 2020.

No quadro 15 estão os dados de volume aduzido e de funcionamento separados na forma de média diária, calculada a partir da quantidade de dias que houve funcionamento referentes a cada mês, e o total mensal de funcionamento e de volume aduzido.

Conforme apresentado no quadro 15, o mês de maior volume aduzido médio no ano de 2019 foi janeiro, totalizando 1.658,06 m<sup>3</sup>. Já o mês de menor volume médio aduzido foi agosto, totalizando 1.197,74 m<sup>3</sup>.

Para o ano de 2020, o mês com maior volume aduzido médio foi fevereiro, totalizando 1.558,46 m<sup>3</sup>. Já o mês com menor volume aduzido médio, para 2020, foi dezembro totalizando 987,58 m<sup>3</sup>.

Dentre os meses analisados de 2021, o mês de maior volume aduzido médio foi o mês de fevereiro, e o de menor foi janeiro, correspondendo a 1.201,93 m<sup>3</sup> e 1.065,94 m<sup>3</sup>, respectivamente.

Conforme apresentado no quadro 15, o mês com maior tempo de funcionamento, no ano de 2019, foi janeiro com 16,79 horas. Já o mês com o menor tempo de operação foi junho com 8,20 horas.

Para o ano de 2020, o maior tempo de funcionamento da elevatória foi outubro, com 14,85 horas. Por outro lado, o menor tempo de funcionamento foi março, com 8,28 horas.

Dentre os meses analisados de 2021, o mês com o maior tempo de funcionamento da elevatória foi o mês de maio, e o de menor, março, correspondendo a 11,60 horas e 10,90 horas, respectivamente.

**Quadro 15 – Dados de operação de volume e horas de funcionamento mensal nos anos de 2019 a maio de 2021**

<b>Mês/Ano</b>	<b>Volume mensal (m³)</b>	<b>Volume diário médio (m³/dia)</b>	<b>Funcionamento mensal (h)</b>	<b>Funcionamento diário médio (h/dia)</b>	<b>Vazão média (m³/h)</b>
01/2019	51400	1658,06	520,36	16,79	98,78
02/2019	39880	1424,29	406,31	14,51	98,15
03/2019	44850	1446,77	404,18	13,04	110,97
04/2019	38910	1297,00	296,67	9,89	131,16
05/2019	40280	1299,35	313,33	10,11	128,55
06/2019	36190	1206,33	245,92	8,20	147,16
07/2019	37910	1222,90	263,90	8,51	143,65
08/2019	37130	1197,74	271,88	8,77	136,57
09/2019	37470	1249,00	291,44	9,71	128,57
10/2019	44340	1430,32	386,58	12,47	114,70
11/2019	41993	1399,77	383,85	12,80	109,40
12/2019	44036	1420,52	395,48	12,76	111,35
01/2020	44161	1424,55	368,97	11,90	119,69
02/2020	43637	1558,46	359,61	12,84	121,35
03/2020	44459	1434,16	256,73	8,28	173,17
04/2020	40119	1383,41	268,24	9,25	149,56
05/2020	31938	1383,41	390,30	12,59	81,83
06/2020	34999	1030,26	424,76	14,16	82,40
07/2020	37035	1166,63	405,24	13,07	91,39
08/2020	36880	1189,68	393,42	12,69	93,74
09/2020	40386	1346,20	418,18	13,94	96,58
10/2020	40987	1319,26	460,46	14,85	88,82
11/2020	33072	1102,40	385,12	12,84	85,87
12/2020	30615	987,58	347,17	11,20	88,18
01/2021	33044	1065,94	344,78	11,12	95,84
02/2021	33654	1201,93	319,93	11,43	105,19
03/2021	34894	1125,61	338,04	10,90	103,22
04/2021	33269	1108,97	332,17	11,07	100,16
05/2021	34359	1108,35	359,74	11,60	95,51

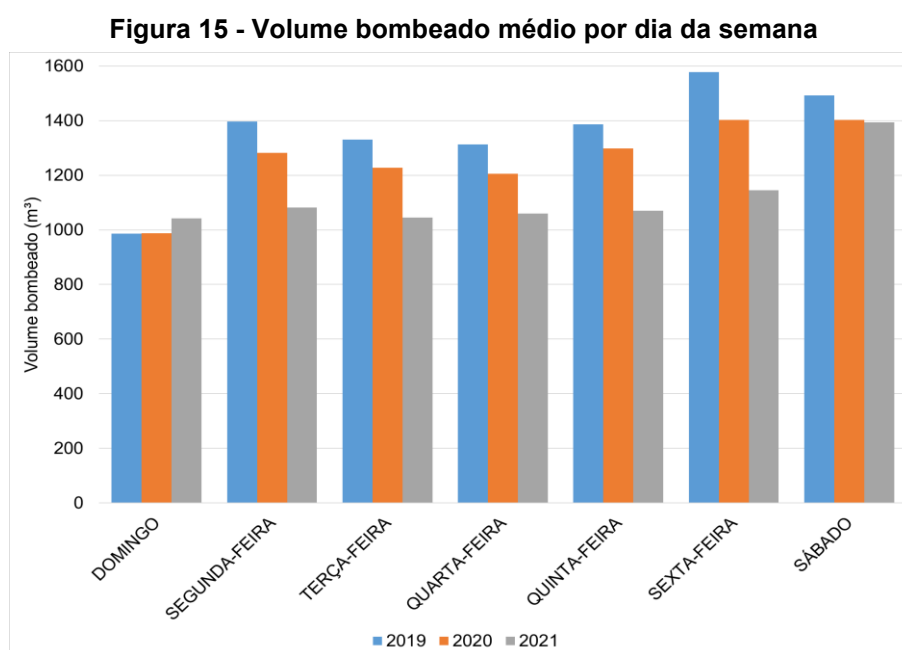
No que tange às análises diárias, buscou-se avaliar qual o dia da semana de maior consumo. Na figura 15 são apresentados os volumes médios diários organizados por dia da semana, a média apresentada por dia da semana é de todos os registros no ano para o referido dia. Cabe destacar que os dados de volume

aduzido podem ser encarados como dados de consumo, e dessa forma, revelar o comportamento de consumo.

Da observação da figura 15 identifica-se que o dia da semana de menor volume aduzido médio por dia da semana ocorre no domingo, totalizando 985,58 m<sup>3</sup> para 2019, 988,22 m<sup>3</sup> para 2020, e 1.041,45 m<sup>3</sup> para 2021.

O dia da semana que exige maior volume médio é a sexta-feira, totalizando 1.577,71 m<sup>3</sup> e 1.403,06 m<sup>3</sup>, para os anos de 2019 e 2020, respectivamente. O sábado também figura entre os dias de maior volume bombeado, totalizando 1.491,52 m<sup>3</sup>, para 2019, e 1.402,27 m<sup>3</sup>, para 2020.

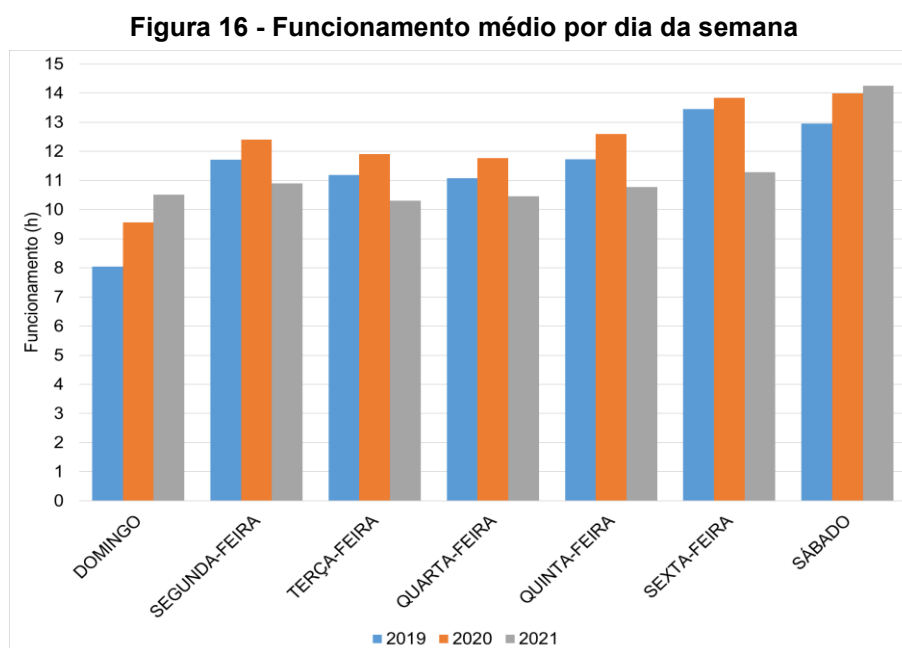
Para o período analisado de 2021, conforme figura 15, o dia da semana de maior volume bombeado ocorreu no sábado, totalizando 1.393,05 m<sup>3</sup>, seguido da sexta-feira totalizando 1.145,23 m<sup>3</sup>.



Na figura 16 são apresentados os funcionamentos médios diários organizados por dia da semana, a média apresentada por dia da semana é de todos os registros no ano para o referido dia. Conforme apresentado na figura 16, o dia da semana com menor tempo de funcionamento, para 2019 e 2020, aconteceu aos domingos, 8,05 horas e 9,56 horas, respectivamente. Já para o período analisado de 2021, o dia da semana com menor tempo de funcionamento foi na terça-feira, 10,30 horas.

Como pode ser visualizado na figura 16, para o ano de 2019 o dia com maior tempo de funcionamento ocorreu nas sextas-feira, 13,46 horas, assim como o sábado que apresentou tempo de funcionamento semelhante, 12,96 horas.

Ainda se registra que o dia da semana com maior tempo de funcionamento médio, para 2020 e 2021, o dia de sábado, 13,99 horas e 14,25 horas, respectivamente. No ano de 2020 e 2021 o segundo dia com maior tempo de funcionamento diário é sexta-feira, 13,83 horas e 11,28 horas, respectivamente.



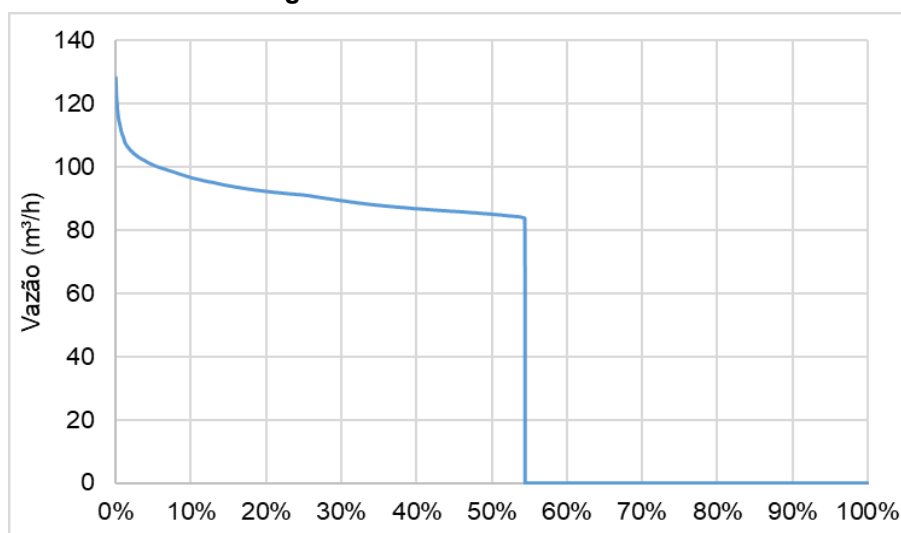
Conforme apresentado nas figuras 15 e 16, os dados de funcionamento diário médio e de volume aduzido médio por dia da semana, apontam para os dias de sexta e sábado como os dias mais críticos para a operação do poço. Já o dia no qual a operação exige menor volume ocorre no domingo. Dessa forma, pode-se constatar que, os dias de maior volume bombeado, são também os dias de maior consumo e ocorrem às sextas-feiras e aos sábados. Já o dia que exige menor volume bombeado ocorre no domingo.

#### 7.2.2 Análise dos Dados de Vazão Registrados com Frequência de (1/60) Hz

Foram analisados 25920 dados de vazões registradas a cada 1 minuto. Com a série foi construída uma curva de permanência da vazão bombeada, e que pode ser

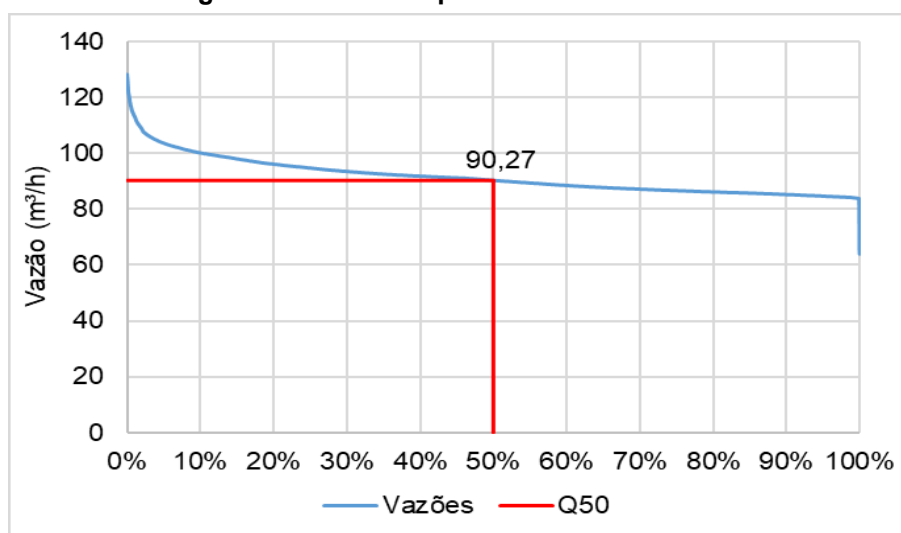
visualizada na figura 17. Da análise da figura 17 verifica-se que em 54,43% do tempo de registro a vazão superou 80 m<sup>3</sup>/h.

**Figura 17 - Vazões da elevatória**



Na figura 18 considerou-se apenas os registros com a bomba ligada. Nesse contexto, a vazão de bombeamento de 90,27 m<sup>3</sup>/h ocorre em 50% do tempo de funcionamento da elevatória.

**Figura 18 - Curva de permanência das vazões**



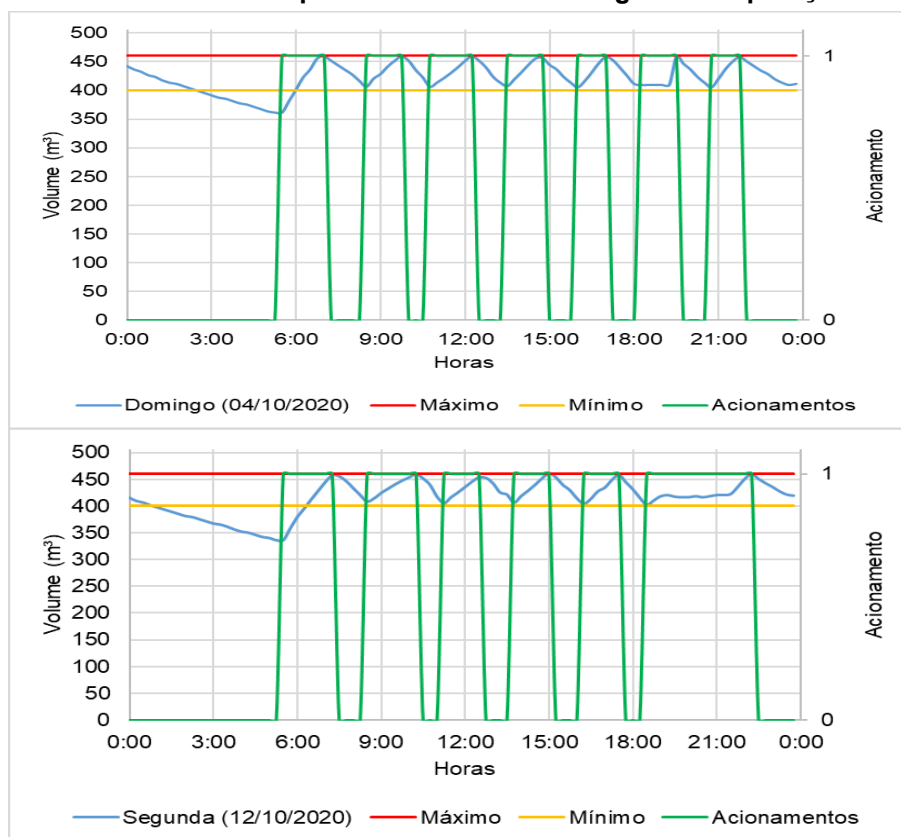
Da análise da figura 18, verificou-se que a vazão mediana é de 90,27 m<sup>3</sup>/h. Isso somado à análise dos níveis dinâmicos e da análise do ponto de funcionamento do sistema, justifica-se a adoção do valor de 90 m<sup>3</sup>/h como sendo a vazão de entrada do reservatório.

### 7.2.3 Definição da Curva de Consumo

A curva de consumo foi obtida a partir dos registros de nível do reservatório superior, os quais foram coletados no período de 30 de setembro a 16 de outubro. Os níveis foram registrados a cada 15 minutos.

A análise dos dados permitiu identificar dois padrões de comportamento do nível de água. No primeiro padrão, figura 19, foi possível identificar os acionamentos e desligamentos da bomba devido os registros mostrarem o valor de volume máximo, 460 m<sup>3</sup> e mínimo, 400 m<sup>3</sup>, a diferença de 60 m<sup>3</sup> representa 45 cm de rebaixamento no nível do reservatório. Cabe ressaltar que o volume de água no reservatório atinge valores abaixo de 400 m<sup>3</sup> antes das 5 horas da manhã, pois foi programado para não operar durante a madrugada.

**Figura 19 - Padrão 1 de comportamento do nível de água e de operação da bomba**



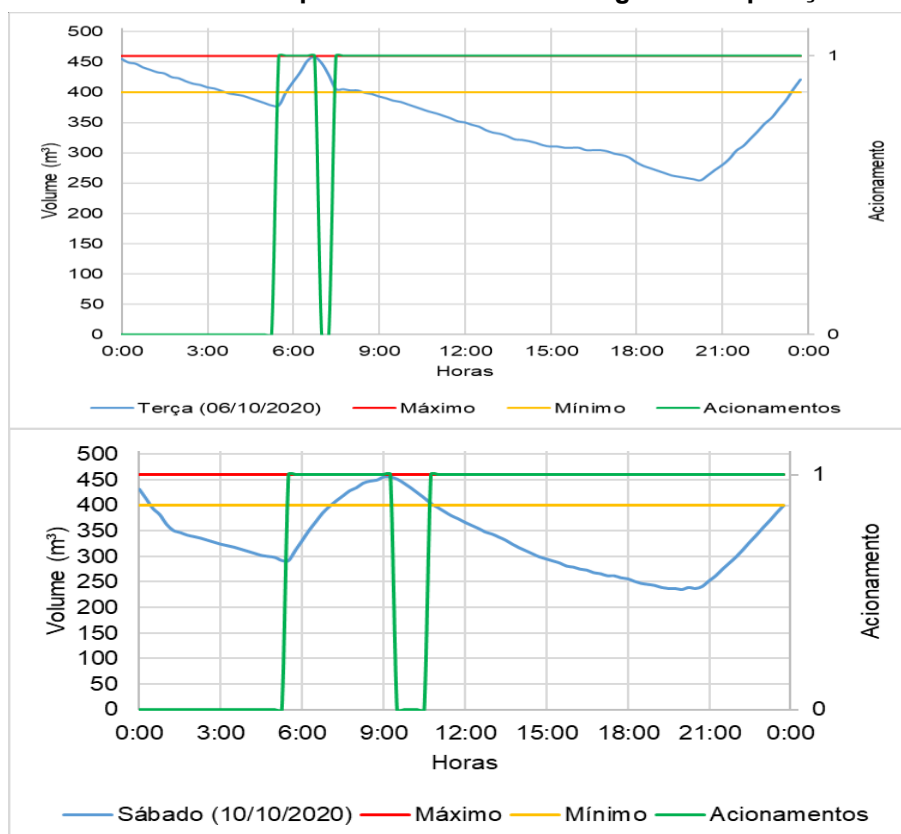
A determinação dos números de acionamento do conjunto motobomba, como mostrado na figura 19, partiu da análise dos níveis de água no reservatório. O aumento

do nível de água no reservatório caracteriza o acionamento, a bomba permanece ligada até o nível atingir o valor máximo, quando a bomba desliga, e, somente, volta a religar quando o nível mínimo é atingido. Os demais resultados de comportamento do nível do reservatório e dos acionamentos para o padrão 1 podem ser conferidos no apêndice I.

No caso do segundo padrão identificado, figura 20, não são evidentes os acionamentos e desligamentos do sistema, já que o volume de água inicialmente decresce, tem um aumento próximo as 6 horas da manhã, conforme o sistema é programado. Quando o nível de água atinge níveis menores que 400 m<sup>3</sup>, foi adotado para a análise dos dados, conforme foi repassado pelos operadores da companhia, que o subsistema do poço exporta água para o subsistema da estação de tratamento de água.

Dessa forma, para volumes menores do que o mínimo, 400 m<sup>3</sup>, é considerado que a elevatória esteja ligada, conforme pode ser visualizado na figura 20. Os demais resultados de comportamento do nível do reservatório e dos acionamentos para o padrão 2 podem ser conferidos no apêndice II.

**Figura 20 - Padrão 2 de comportamento do nível de água e de operação da bomba**





Para o cálculo do volume consumido com o sistema de bombeamento ligado utilizou-se a equação (12). A constante 22,5 refere-se a vazão de entrada, 90 m<sup>3</sup>/h, dividida em quatro intervalos de 15 minutos.

$$\text{Con} = V_n - V_{n-1} + 22,5$$

Equação 12

Onde:

Con = consumo (m<sup>3</sup>/15 min);

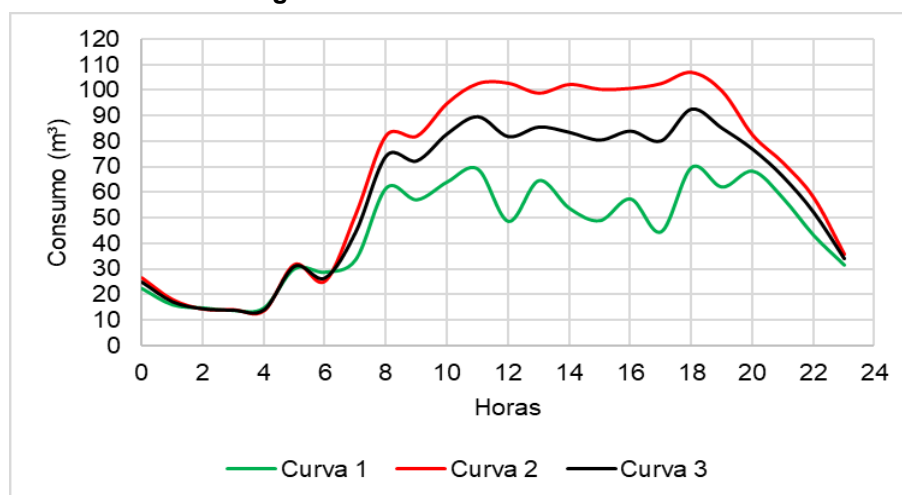
V<sub>n</sub> = volume registrado no instante (n) (m<sup>3</sup>/15 min);

V<sub>n-1</sub> = volume registrado no instante (n-1) (m<sup>3</sup>/15 min).

Para o caso do sistema de bombeamento desligado, utilizou-se somente a diferença entre o registro no instante (n) e do instante (n-1).

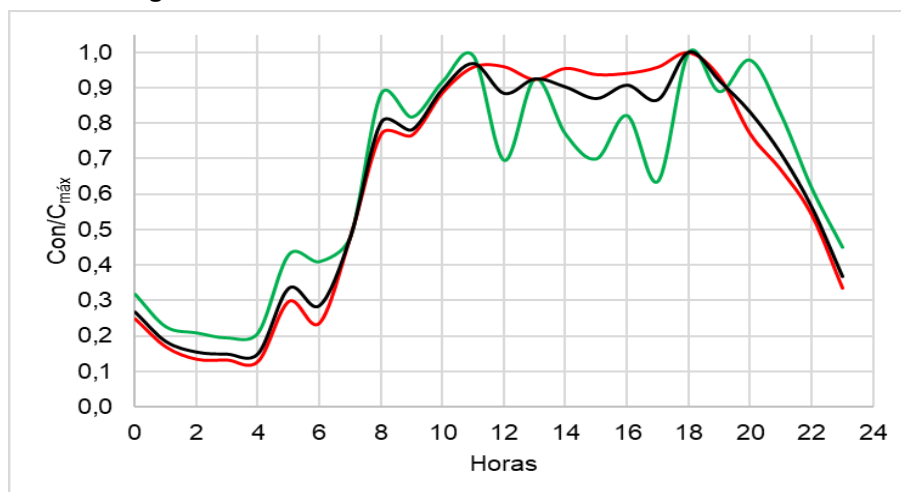
Da avaliação realizada construiu-se três curvas de consumo médias, a curva 1 resultou do padrão de operação 1 e a curva 2 resultou do padrão 2, hipótese 1, já a curva 3 representa a média entre ambos os padrões. O consumo diário para a curva 1 é de 1073,40 m<sup>3</sup>, para a curva 2 é de 1618,31 m<sup>3</sup> e 1408,73 m<sup>3</sup> para a curva 3. As curvas de consumo médio podem ser visualizadas na figura 21.

**Figura 21 - Consumo médio diário**



Na figura 22 estão as curvas de consumo adimensionalizadas utilizando o consumo máximo (C<sub>máx.</sub>).

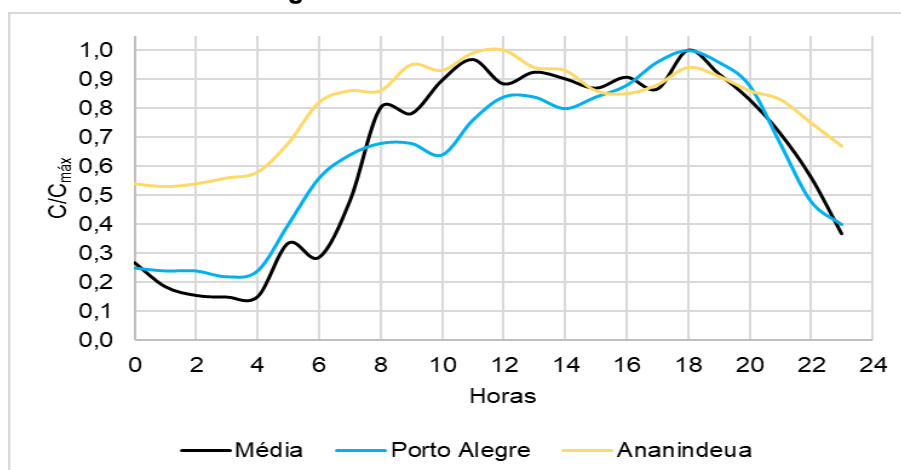
**Figura 22 - Consumo médio diário adimensionalizado**



Como pode ser visto na figura 22, o período da madrugada, meia noite às 6 horas, apresenta os menores valores de consumo. Das 6 às 8 horas o consumo sofre um aumento significativo, após esse aumento, o consumo mantém-se constante até as 19h30min. Destaca-se também o período após as 20 horas no qual o consumo diminui de forma considerável. Portanto, o horário crítico para a operação, para ambos os padrões, são das 8 às 20 horas.

Na figura 23 comparou-se a curva de consumo média, entre os comportamentos, com a curva de consumo dos municípios de Porto Alegre, RS, e a de Ananindeua, PA. Observa-se que o comportamento de consumo de água da cidade analisada é parecido com o consumo dessas cidades. Identifica-se que há aumento do consumo no período da manhã, por volta de 8 horas, mantém-se constante durante o dia, e somente há diminuição do consumo após as 19h30min.

**Figura 23 - Curvas de consumo**



### 7.3 AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE ACIONAMENTOS DO SISTEMA *versus* VOLUME BOMBEADO

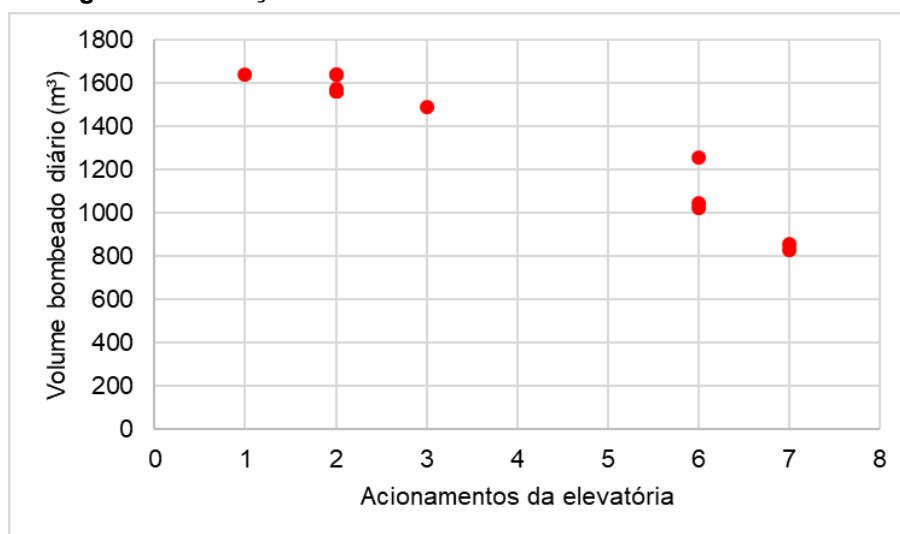
A avaliação do número de acionamentos do sistema foi realizada a partir da análise de dados de volume somada à análise de nível do reservatório (variação do volume). Essa avaliação utilizou apenas os dados referentes ao mês de outubro de 2020, pois as medições de nível do reservatório ocorrem neste período. Contudo, há que se destacar que embora tenham acontecido no mesmo dia, não foram registrados de forma contínua. No quadro 16 estão os dados de acionamento do sistema.

**Quadro 16 – Acionamentos do sistema**

<b>Data</b>	<b>Dia da semana</b>	<b>Volume (m³)</b>	<b>Funcionamento (h)</b>	<b>Acionamentos</b>
01/10/2020	Quinta	1565	18,10	2
02/10/2020	Sexta	1639	17,66	2
03/10/2020	Sábado	1639	17,67	1
04/10/2020	Domingo	828	8,73	7
05/10/2020	Segunda	1562	17,33	2
06/10/2020	Terça	1562	17,69	2
07/10/2020	Quarta	1575	17,22	2
08/10/2020	Quinta	1027	10,96	6
09/10/2020	Sexta	1260	13,52	6
<b>10/10/2020</b>	<b>Sábado</b>	<b>1642</b>	<b>18,81</b>	<b>2</b>
<b>11/10/2020</b>	<b>Domingo</b>	<b>857</b>	<b>9,11</b>	<b>7</b>
12/10/2020	Segunda	1047	11,04	6
13/10/2020	Terça	1493	16,68	3

No quadro 16 estão destacados dois dias, dos quais o dia 10/10/2020, sábado, apresenta o maior volume aduzido e somente dois acionamentos, já o dia 11/10/2020, domingo, apresenta o menor volume aduzido e o maior número de acionamentos. Além disso, os dados foram plotados na figura 24 e revelam que quanto maior o volume bombeado, menor o número de acionamentos.

**Figura 24 - Relação de acionamentos e volume bombeado diário**



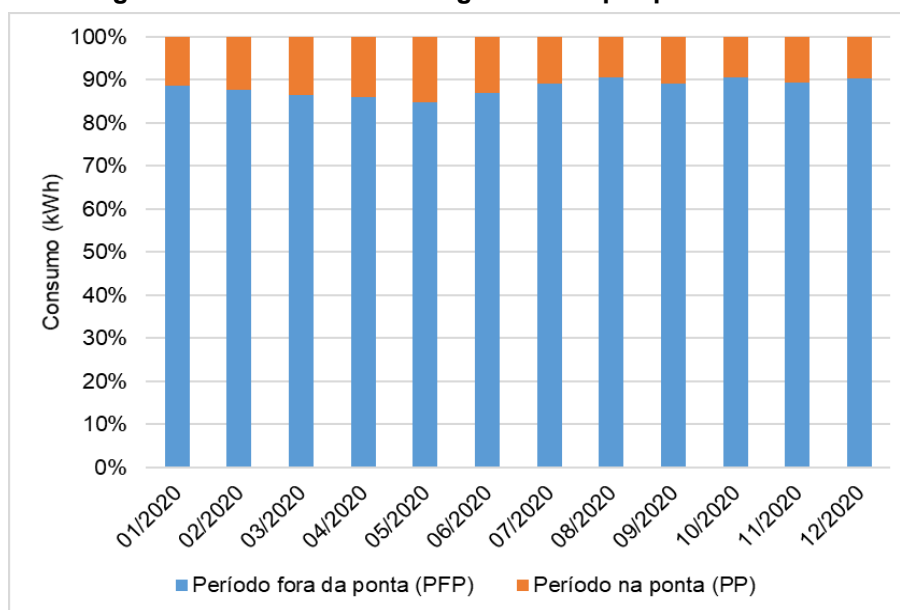
O fato de haver muitos acionamentos está aliado ao fato de que o reservatório está programado para um pequeno rebaixamento do nível de água. Para os dias no qual houve exportação de água desse reservatório, figura 20 e apêndice II, o rebaixamento do nível de água foi maior. Cabe ressaltar que a proposição desse novo rebaixamento deve ser acompanhada de estudos de consumo das regiões que importam água.

#### 7.4 AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A análise do consumo de energia elétrica foi pautada na observação das faturas de energia elétrica do ano de 2020. No que tange o consumo de energia elétrica analisou-se o acionamento e tempo de funcionamento da elevatória no período de ponta (PP), entre as 18 horas e 21 horas, e no período fora de ponta (PFP), figura 25, e o consumo de energia normalizado (CEN).

O consumo, em kWh, da elevatória no período da ponta corresponde, em média, a 11,5% do consumo total, como pode ser visto na figura 25, ou seja, é possível economizar somente diminuindo a operação no horário da ponta, visto que nesse horário a tarifa é consideravelmente maior.

**Figura 25 - Consumo de energia elétrica por período do dia**



Uma proposta para a diminuição da operação no horário da ponta é avaliar a proposição de um novo rebaixamento do nível da água do reservatório que possibilite no horário de ponta, abastecer a população sem que haja a falta de água.

Para a análise do CEN é necessário classificar a elevatória de acordo com a sua potência e tipo de motor. Para a situação analisada, bomba submersa com potência maior do que 96 kW, o  $CEN_{TEC}$  é de  $0,433 \text{ kWh/m}^3 \cdot 100\text{m}$ .

O consumo de energia normalizado (CEN) mensal foi calculado utilizando-se da equação 10, já o potencial de redução mensal foi calculado utilizando-se da equação 11. No quadro 17 estão os consumos de energia normalizado mensal.

Quadro 17 – Consumo de energia normalizado

Mês	ND (m)	Vazão média (m³/h)	Hman (m)	Volume mensal (m³)	CEN atual (kWh/m³*100m)	Potencial de redução (kWh)
<b>Janeiro</b>	40,65	119,69	151,31	44161	0,547	7637
<b>Fevereiro</b>	41,59*	121,35	152,56	43637	0,522	5912
<b>Março</b>	41,59*	173,17	164,07	44459	0,452	1355
<b>Abril</b>	39,84	149,56	156,64	40119	0,536	6452
<b>Mai</b>	41,59*	81,83	146,17	31938	0,618	8614
<b>Junho</b>	41,59*	82,40	146,25	34999	0,512	4046
<b>Julho</b>	41,59*	91,39	147,52	37035	0,518	4653
<b>Agosto</b>	41,59*	93,74	147,87	36880	0,399	0,00
<b>Setembro</b>	41,59*	96,58	148,31	40386	0,452	1113
<b>Outubro</b>	41,59*	88,82	147,15	40987	0,48	2830
<b>Novembro</b>	41,59*	85,87	146,73	33072	0,638	9948
<b>Dezembro</b>	41,59*	88,18	147,06	30615	0,562	5789

\* Valores retirados da curva de permanência da figura 13.

Para o mês de menor rendimento, novembro, de acordo com o quadro 17, há possibilidade economia de 9948 kWh, e há somente um mês de 2020, agosto, no qual o rendimento da elevatória foi considerado bom pelo *benchmarking* utilizado. Destaca-se que o potencial de redução total, para o ano de 2020, é de 58349 kWh.

Portanto, de acordo com a análise de rendimento utilizando o consumo de energia normalizado (CEN), a elevatória do poço tubular profundo carece de medidas de efficientização.

## 8 CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou um sistema de abastecimento de água composto por um poço tubular profundo, por um conjunto motobomba do tipo submerso, uma adutora de água bruta e um reservatório do tipo apoiado.

Devido ao fato de que a elevatória retira água do poço, o nível dinâmico tende a um aumento e, conseqüentemente, amplia-se a altura geométrica do sistema. Da análise dos níveis dinâmicos se obteve um nível mediano de 41,59 m.

A elevatória analisada utiliza-se de um inversor de frequência que reduz sua frequência nominal de 60 Hz para 51 Hz. Para tanto fez-se a adaptação da curva nominal utilizando-se das equações de semelhança. Para o intervalo das vazões impostas, 80 m<sup>3</sup>/h a 95 m<sup>3</sup>/h, os níveis dinâmicos variam de 40 m a 50 m, já para o nível dinâmico mediano a vazão no ponto de funcionamento o valor de 90 m<sup>3</sup>/h.

A construção da curva de consumo foi possível após a adoção de uma vazão média de entrada no reservatório e da análise do nível do reservatório. A definição da vazão de trabalho do sistema foi pautada na vazão de funcionamento média e mediana, retirada a partir dos dados de vazão registrados de minuto a minuto e das curvas do sistema para diferentes níveis dinâmicos. Com base nessas análises tomou-se como vazão média de entrada do reservatório o valor de 90 m<sup>3</sup>/h.

Diante da análise dos padrões de comportamento do nível de água ficou evidenciado que a elevatória tem dois padrões de acionamentos. O primeiro padrão há somente o rebaixamento do nível máximo permitido no reservatório, 0,45 m, e após esse rebaixamento a elevatória é ligada, e devido a isso, há muitos acionamentos ao longo do dia, e que ocasiona a diminuição da vida útil do conjunto motobomba. O segundo padrão de acionamentos se dá quando o consumo é maior do que o volume bombeado, e conseqüentemente, o reservatório não atinge o seu nível máximo, dessa forma a elevatória permanece ligada por longos períodos.

Visto que há dois padrões de acionamento, foram propostos dois cenários para a estimativa do consumo de água. O primeiro cenário de consumo se dá quando a elevatória está desligada, e se calcula pela diferença de nível de volume do reservatório. O segundo cenário de consumo foi calculado pela diferença de volume do reservatório somado à vazão correspondente ao volume de 22,5 m<sup>3</sup> em 15 minutos.

Constata-se, a partir da curva de consumo, que o horário de maior demanda para a operação, para ambos os padrões, são das 8 às 20 horas. Das 6 às 8 o consumo sofre aumento considerável e destaca-se, também, o período após as 20 horas no qual o consumo diminui de forma considerável.

Percebe-se que o consumo de energia elétrica da elevatória no período da ponta correspondeu, em média, a 11,5% do consumo total, ou seja, uma análise baseada em otimização pode auxiliar na diminuição do consumo de energia elétrica no período de ponta.

Conclui-se que devido aos acionamentos demasiados da elevatória, de haver funcionamento da elevatória no horário de ponta, além de estar com uma classificação de CEN não satisfatória, essa elevatória é passível de medidas de efficientização, dentre elas adequação aos horários de operação do conjunto motobomba, monitorar parâmetros elétricos e hidráulicos para instalações de elevado consumo e proceder à manutenção sempre que ultrapassar níveis pré-estabelecidos de indicadores.

Para trabalhos futuros é válido a tentativa de propor um rebaixamento maior para o reservatório, visto que houve muitos acionamentos. Esse novo rebaixamento também pode contemplar o não funcionamento no horário de ponta. Cabe ressaltar que a proposição desse novo rebaixamento deve ser acompanhada de estudos de consumo das regiões que importam água.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211**: Estudo de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12212**: Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 12213**: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12214**: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12215**: Projeto de adutora de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12217**: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO R. de; ITO, A. E. Manual de Hidráulica. São Paulo, Ed. Blucher, 1998 8ª ed. 669p.

BEZERRA<sup>1</sup>, S.T. M.; SILVA<sup>2</sup>, S. A.; GOMES<sup>2</sup> H. P. Controle automático de pressão em sistemas de distribuição de água. 2010. 1 - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru. 2 - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

BID - BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO. Avaliação de Sistemas de Bombeamento de Água: Manual de Eficiência Energética. 2011.

Disponível em: <<https://publications.iadb.org/handle/11319/2830?locale-attribute=en>>. Acesso em 16 de mar. 2020.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Estabelecer os procedimentos comerciais para a aplicação do sistema de bandeiras tarifárias. Resolução Normativa n° 547, de 16 abr. 2013.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. 2010a. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8\\_Revisao\\_1\\_Retificacao\\_1.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_Revisao_1_Retificacao_1.pdf)>. Acesso em: 26 de set. 2020.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Retifica a Resolução Normativa ANEEL n° 414, de 2010. Resolução Normativa n°418, de 23 de nov. 2010b.

BRASIL. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, FUPAI/EFFICIENTIA. Guia Técnico: Gestão Energética. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019 ano base 2018. Brasília: EPE/MME, 2019a. 256 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em 27 de mar. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa nacional de eficiência energética: premissas e diretrizes básicas. 2010c. 156p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/36208/469534/Plano+Nacional+Efici%C3%AAcia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29.pdf/899b8676-ebfd-c179-8e435ef5075954c2?version=1.0>>. Acesso em 27 de maio 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Projetos de Eficiência Energética em Saneamento - Guia auxiliar para os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da ANEEL. 2019b. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/saneamento/proeesa/biblioteca-virtual/4441-publicacoes-proeesa>>. Acesso em: 26 de set. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018. Brasília:

SNS/MDR, 2019c. 180 p.: il. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>>. Acesso em 27 de mar. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Poços para Captação das Águas Subterrâneas. 2016. Disponível em: <<http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/apresentacoes-ana/ana-2-hidrogeologia-pocos-fabricio-bueno.pdf>>. Acesso em: 25 de ago. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Águas Subterrâneas. 2007. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/167/\\_publicacao/167\\_publicacao28012009044356.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Assessoria Especial para Modernização da Gestão. Central de Compras. Cartilha Energia: como analisar gastos com energia elétrica / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Assessoria Especial para Modernização da Gestão, Central de Compras. -- Brasília: MP, 2015.

BRASIL. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Gabinete do Ministro. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 13 de ago. 2021.

BRASIL. PROCEL SANEAR - Eficiência Energética no Saneamento Ambiental. 2003. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6D82CF76DD284E7B8A607F31CB419A79PTBRIE.htm>>. Acesso em 15 abr. 2020.

Comité Consultivo Nacional De Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, México (2015), Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015, Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba. Publicado no Diário Oficial de la Federación em 21/05/2015, disponível em: <[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5393140&fecha=21/05/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5393140&fecha=21/05/2015)>. Acesso em: 15 de jun. 2021.

DUARTE, P.; ALEGRE, H.; BAPTISTA, J.M. (2004). Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. Instituto Regulador de Águas e Resíduos/Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal.

EBARA. Catálogo de seleção de curvas e cabos. CT 255-09-17. 2017. Disponível em: < <http://tubogeo.com.br/wp-content/uploads/2018/03/Catalogo-Ebara.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

EOS Consultoria. Novidades tecnológicas sobre o sistema de distribuição de água. 2017. Disponível em: <<https://www.eosconsultores.com.br/sistema-de-distribuicao-de-agua/>>. Acesso em: 25 de ago. 2020.

FERREIRA, R. C. de; GAMA, J. R.; MANZI, D.; POSSETTI, G. R. C.; MARQUES, R. C. Tarifa - A fronteira técnica e a econômica do desempenho energético. Rita Cavaleiro de Ferreira; Jessica Rocha Gama; Daniel Manzi; Gustavo Rafael Collere Possetti; Rui Cunha Marques. ANAIS | XI CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO E 5ª EXPO ABAR. MACEIÓ/AL. 2019.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. Groundwater. New Jersey: Prentice-Hall; Englewood Cliffs, 1979. 603 p.

GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. Manual de Sistema de Bombeamento Eficiência Energética. João Pessoa: Editora da UFPB, 2012. 189p.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. Abastecimento de água para consumo humano. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

Hidrogeologia – Conceitos e aplicações. 2ª Edição. Coordenado por: F. A. C. FEITOSA; J. MANOEL FILHO. – Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.

IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>>. Acesso em: 06 ago. 2020.

KURITZA, J. C. Metodologia para avaliação da eficiência energética de sistemas de bombeamento de água com velocidade de rotação variável. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água / Marcelo Libânio. - - Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. 3ª Edição.

MACINTYRE, A. J. Manual de Instalações Hidráulicas e Sanitárias. Editora Guanabara, 2010.

MEIRELLES, G.; LUVIZOTTO Jr, E.; BRENTAN, B.; MARCHIORI, I. (2017). Método para seleção de bombas funcionando como turbina (BFT) em substituição às válvulas redutoras de pressão. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/313263923\\_METODO\\_PARA\\_SELECAO\\_DE\\_BOMBAS\\_FUNCIONANDO\\_COMO\\_TURBINA\\_BFT\\_EM\\_SUSBTITUICAO\\_AS\\_VALVULAS\\_REDUTORAS\\_DE\\_PRESSAO/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/313263923_METODO_PARA_SELECAO_DE_BOMBAS_FUNCIONANDO_COMO_TURBINA_BFT_EM_SUSBTITUICAO_AS_VALVULAS_REDUTORAS_DE_PRESSAO/citation/download)>. Acesso em: 26 de set. 2020.

O cenário do uso das Águas Subterrâneas no Brasil. INSTITUTO TRATA BRASIL, 30 de maio de 2019. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/05/30/o-cenario-do-uso-das-aguas-subterraneas-no-brasil/>>. Acesso em 17 de jul. 2020.

ONU. WWAP (Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas), 2015. Encarando os desafios: Estudos de caso e indicadores, Paris, UNESCO. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244035>>. Acesso em 27 de mar. 2020.

PARANÁ. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Cadernos municipais. Agosto de 2021. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Cadernos-municipais>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

PARANÁ. Lei Estadual nº 20070 de 18 de dezembro de 2019. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/pr/lei-ordinaria-n-20070-2019-parana-autoriza-a-incorporacao-do-instituto-de-terras-cartografia-e-geologia-do-parana-e-do-instituto-das-aguas-do-parana-pelo-instituto-ambiental-do-parana-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 24 jul. 2020.

PERRONI, J. C. A. Avaliação do consumo de energia elétrica para produção de água subterrânea: o caso do abastecimento público da cidade de São Carlos - SP / Julio Cesar Arantes Perroni. São Carlos, 2005.

PORTO, R. de M. Hidráulica básica / Rodrigo de Melo Porto. – 4. Ed. São Carlos: EESC – USP, 2006.

SAAE SÃO CARLOS. Serviço autônomo de água e esgoto. 2020. ETA - Estação de tratamento de água. Disponível em: <<https://www.saaesaocarlos.com.br/saaesc/index.php/agua/mananciais>>. Acesso em: 25 de ago. 2020.

SP Engineering Manual. GRUNDFOS. 2020. Disponível em: <<https://www.grundfos.com/grundfos-for-engineers/featured-themes/sp-engineering-manual.html>>. Acesso em: 04 de ago. 2020.

TEDESCO, M. V. Dimensionamento de equipamentos para extração de águas em poços tubulares. 1997. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22353>>. Acesso em: 03 de ago. 2020.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. Milton Tomoyuki Tsutiya - 3a edição - São Paulo - Departamento de engenharia hidráulica e sanitária da escola politécnica da universidade de São Paulo, 2006. XIII - 643p.

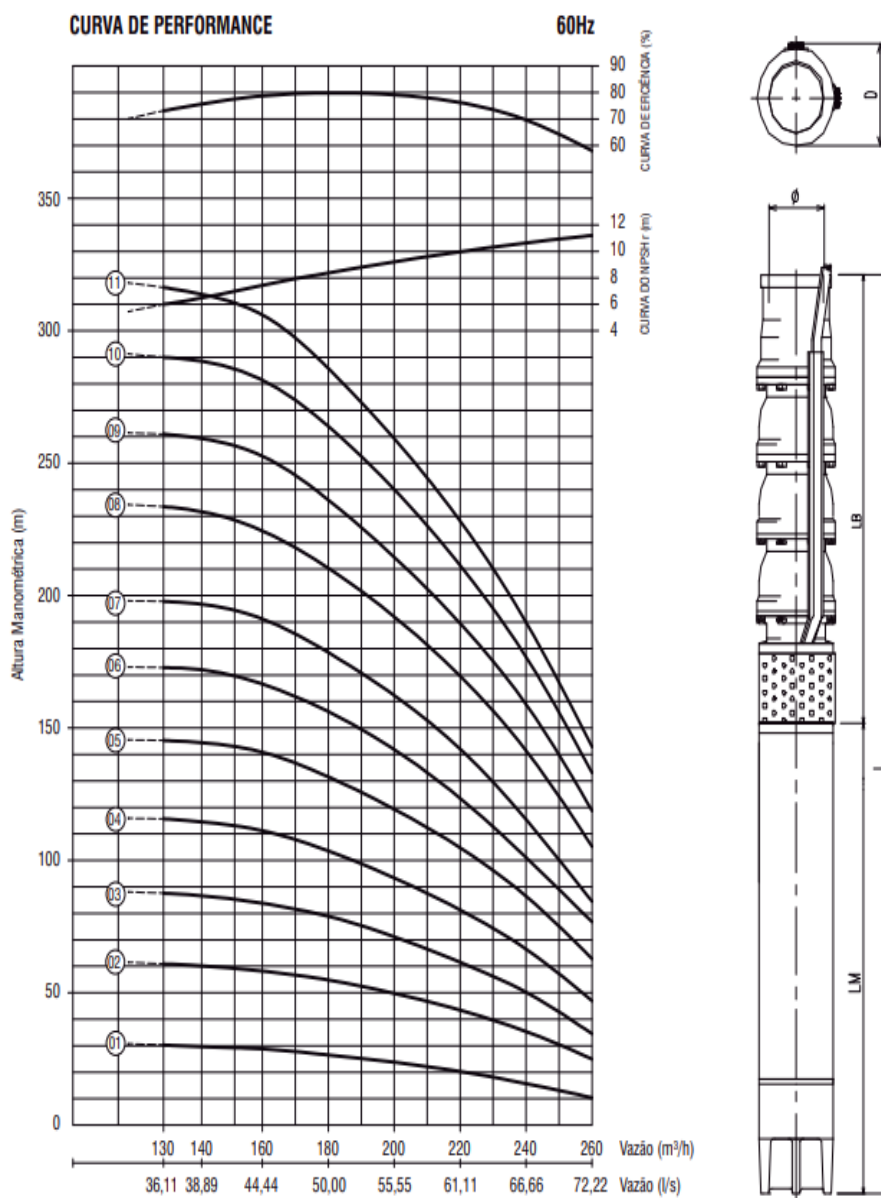
TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. 185p. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES seção São Paulo, São Paulo, 1ª edição. 2001.

VASCONCELOS, M. B. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. 2017. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/28288/18401>>. Acesso em 16 de jul. 2020.

ZAMBON, R. C.; CONTRERA, R. C.; SOUZA, T. S. O. de. Captação de águas subterrâneas. São Paulo: Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Disciplina Saneamento II, 2016. 64 p. Disponível em: <[http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=16847](http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=16847)>. Acesso em: 06 ago. 2020.

**ANEXO A: BOMBA MODELO BHS 8180**

**Figura 26 - Relação de acionamentos e volume bombeado diário**



Fonte: EBARA (2017)



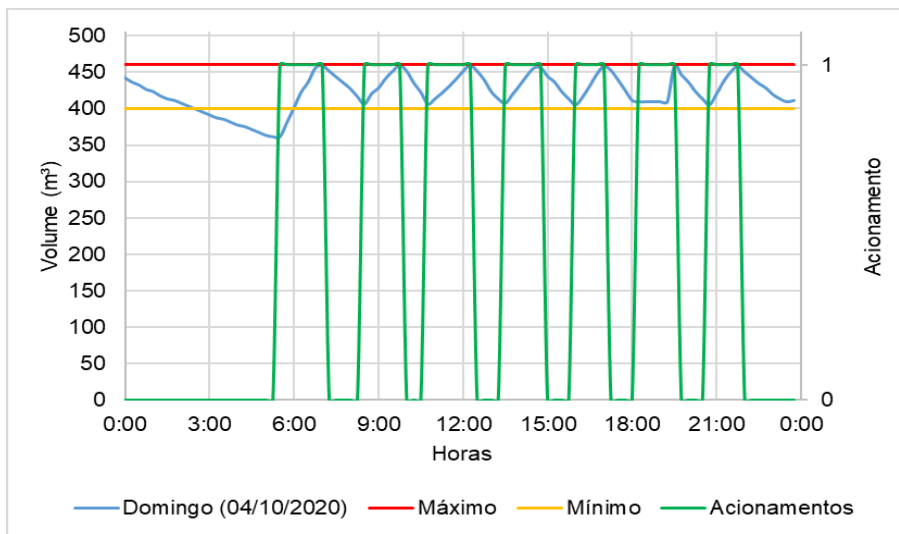
Quadro 18 – Seleção de equipamentos

BOMBA MODELO	N° EST.	POTÊNCIA		MOTOR MODELO	VAZÃO E ALTURA MANOMÉTRICA								LB mm	LM mm	L mm	MASSA kg	D mm	Ø POL NPT	
		HP	kW		0	130	140	160	180	220	240	260							(m³/h)
BHS8180-01	01	25	18,64	M6G	39,8	30,3	29,7	28,8	26,5	20,3	15,7	10,4	m	568	1145	1713	135,4	193	5"
BHS8180-02	02	50	37,28	M8	76,6	60,9	60,3	58,2	54,5	43,4	35,6	25,0		748	1128	1876	199,6		
BHS8180-03	03	70	52,20		110,1	87,6	87,4	84,1	78,3	61,5	50,2	34,5		928	1358	2286	253,8		
BHS8180-04	04	90	67,11	M8S	146,6	115,7	115,5	111,2	103,0	81,3	67,6	47,0		1108	1358	2466	265,0	194,5	
BHS8180-05	05	115	85,76	Mi8S	181,2	145,3	144,3	141,1	130,6	104,2	86,5	62,9		1288	1485	2773	309,2		
BHS8180-06	06	130	96,94		216,6	172,8	172,2	166,6	155,2	123,5	101,1	76,8		1469	1575	3044	339,4	197,5	
BHS8180-07	07	150	111,85		260,3	197,8	197,3	191,2	178,1	142,1	117,1	84,5		1649	1575	3224	350,6		
BHS8180-08	08	175	130,50	M10	292,0	233,6	229,9	226,9	210,4	169,6	141,5	105,3		1886	1864	3750	511,8	222	
BHS8180-09	09	198	145,41		331,2	251,0	258,3	253,0	236,1	189,5	159,0	118,8		2066	1864	3930	523,0		
BHS8180-10	10	215	160,33		358,0	290,0	284,5	283,0	262,6	211,4	177,7	133,1		2246	1964	4210	554,2		
BHS8180-06	11	235	175,24		390,6	316,4	312,7	308,6	285,4	228,2	190,0	142,9	2427	1964	4391	565,4			

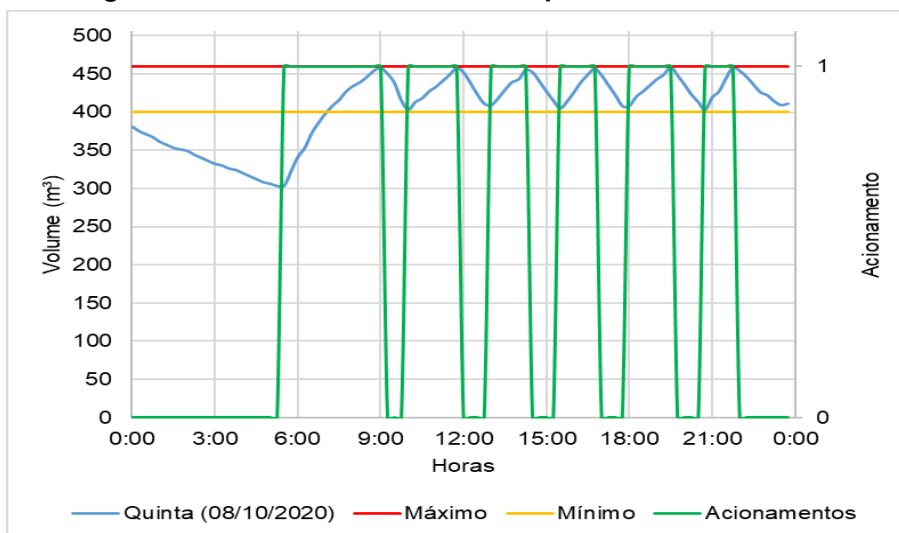
Fonte: EBARA (2017)

## **APÊNDICE I: PADRÃO 1 DE ACIONAMENTO**

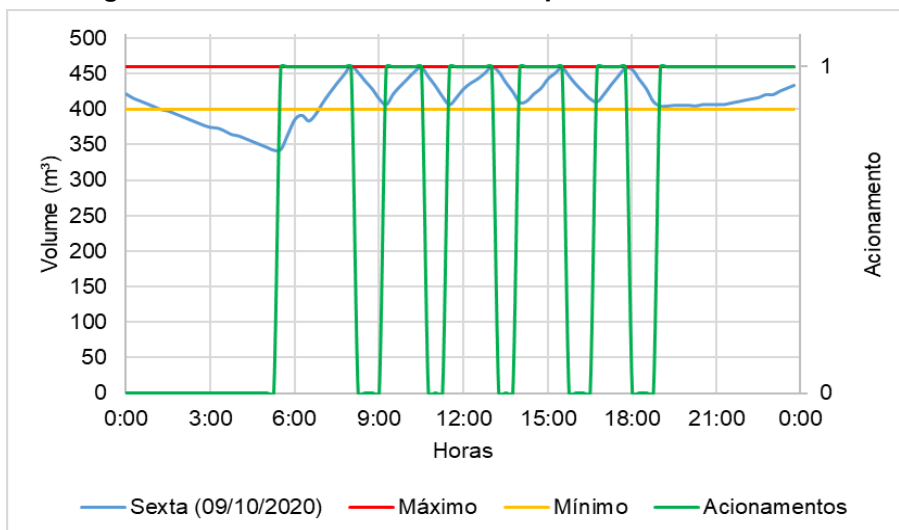
**Figura 27 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 04/10/2020**



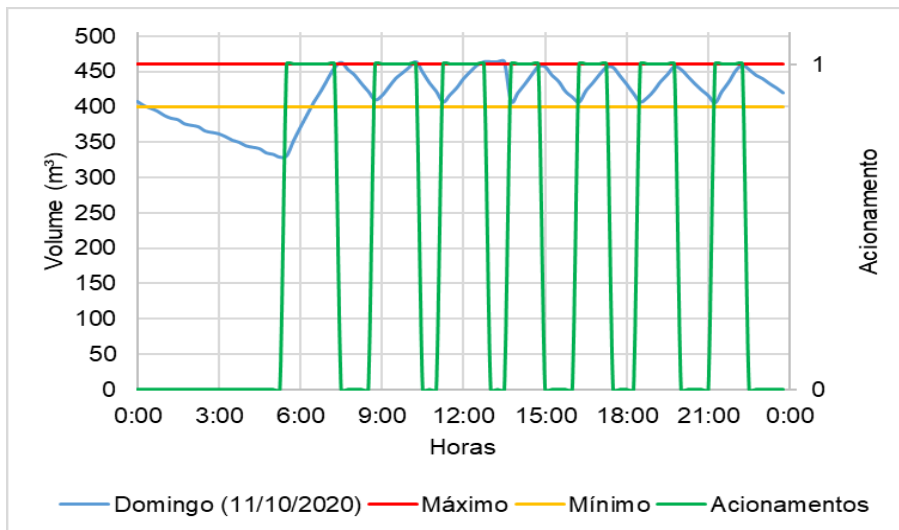
**Figura 28 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 08/10/2020**



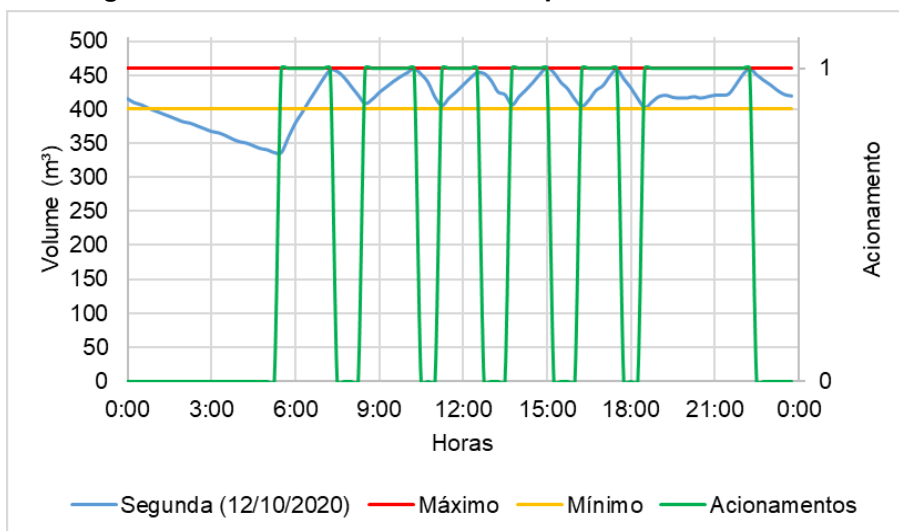
**Figura 29 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 09/10/2020**



**Figura 30 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 11/10/2020**

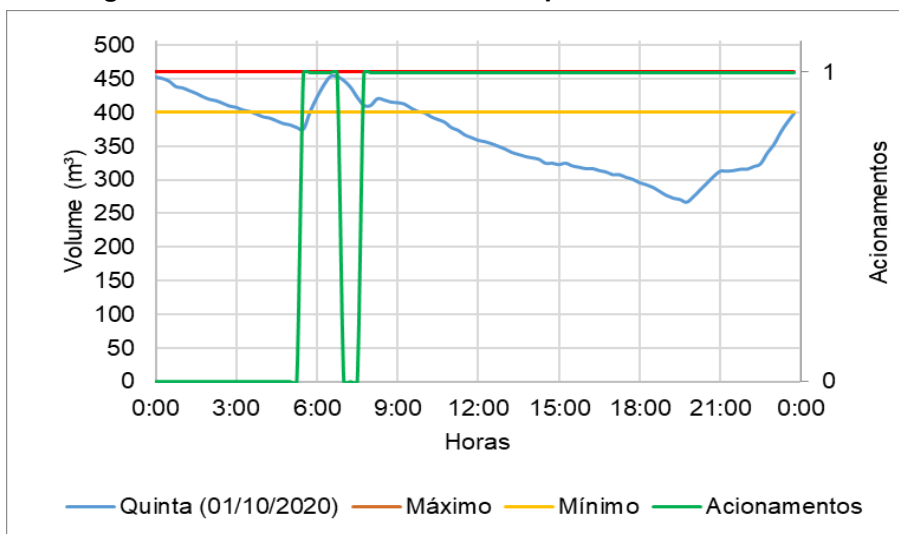


**Figura 31 - Acionamento do sistema padrão 1 dia 12/10/2020**

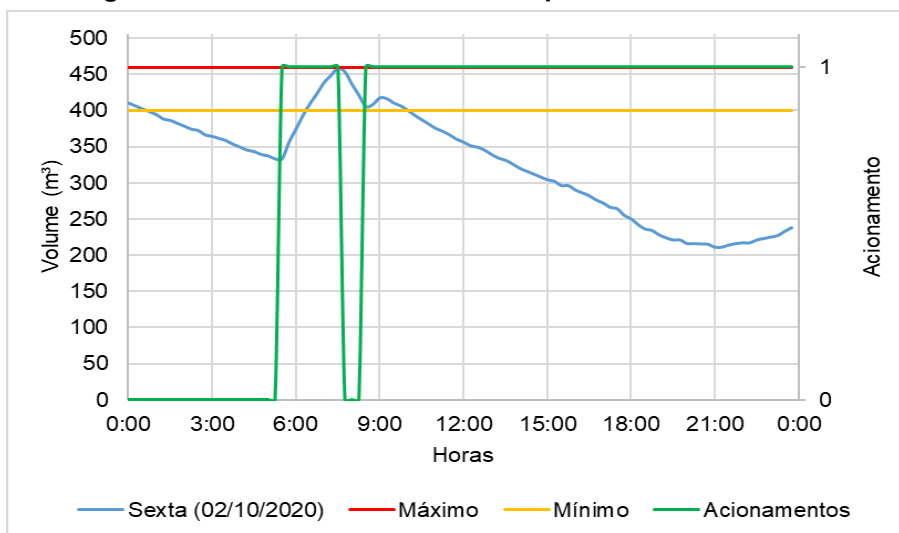


## **APÊNDICE II: PADRÃO 2 DE ACIONAMENTO**

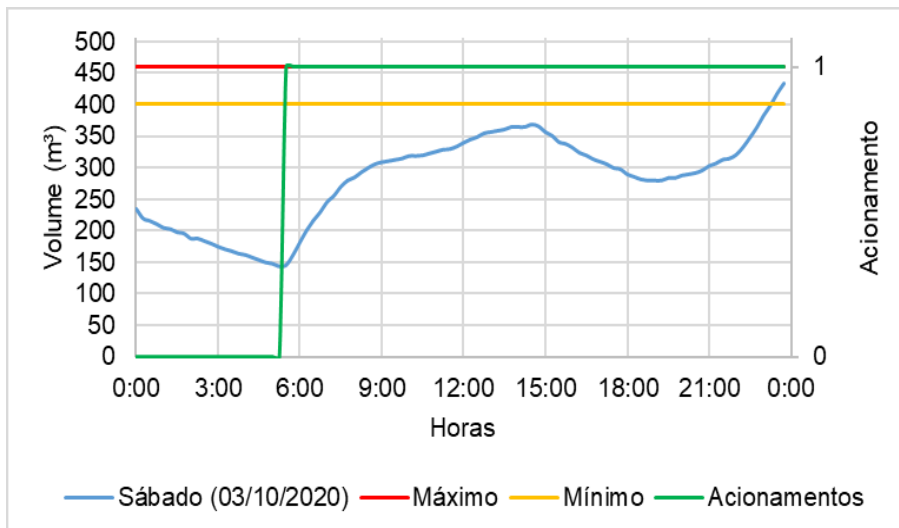
**Figura 32 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 01/10/2020**



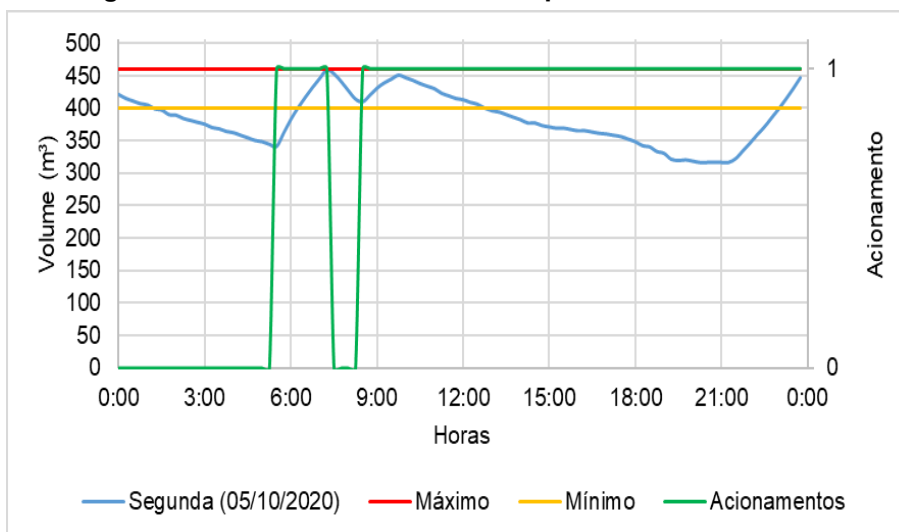
**Figura 33 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 02/10/2020**



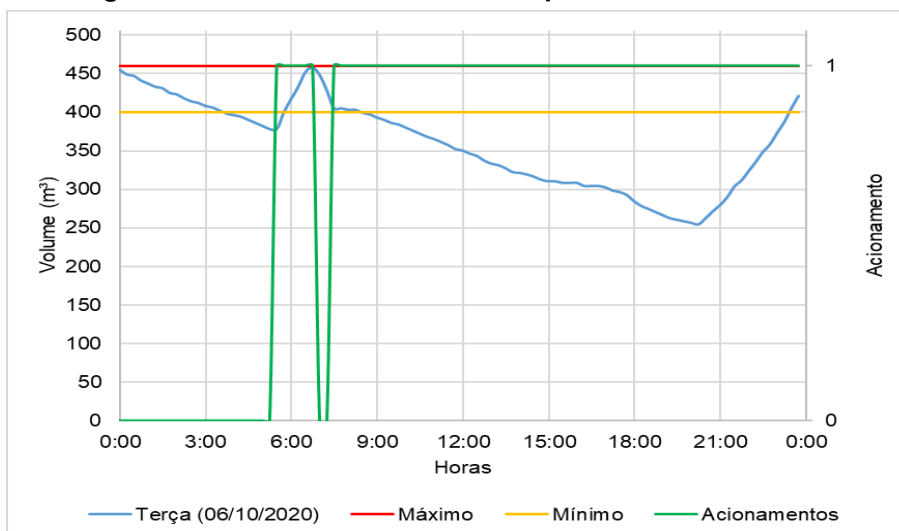
**Figura 34 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 03/10/2020**



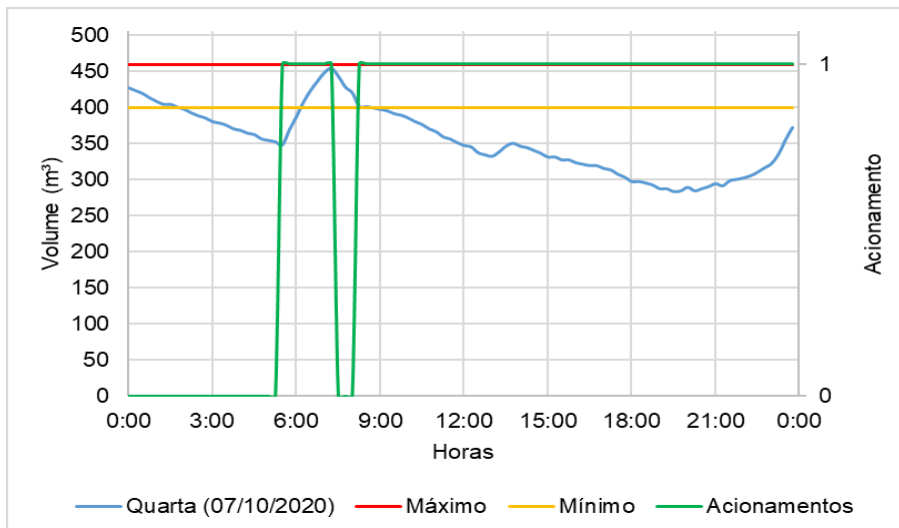
**Figura 35 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 05/10/2020**



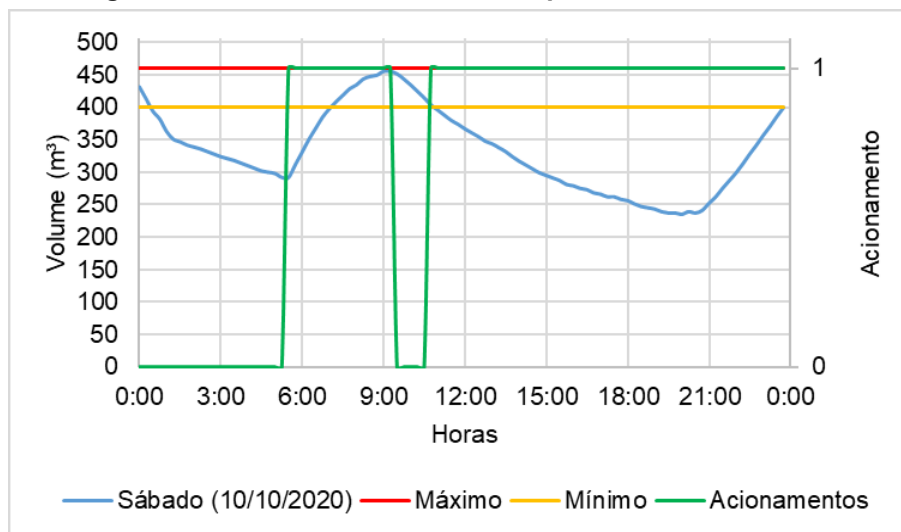
**Figura 36 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 06/10/2020**



**Figura 37 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 07/10/2020**



**Figura 38 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 10/10/2020**



**Figura 39 - Acionamento do sistema padrão 2 dia 13/10/2020**

