UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

CAMILA DA COSTA CORRÊA

VALÉRIA RODRIGUES GONÇALVES

SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO CONSUMO DE ÁGUA NO CUSTO OPERACIONAL DE UM MODELO COMPUTACIONAL DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

TUCURUÍ
2019

CAMILA DA COSTA CORRÊA
VALÉRIA RODRIGUES GONÇALVES

SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO CONSUMO DE ÁGUA NO CUSTO OPERACIONAL DE UM MODELO COMPUTACIONAL DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Me. Raynner Menezes Lopes
Coorientador: Prof. Me. Davi Edson Sales e Souza

TUCURUÍ
2019

CAMILA DA COSTA CORRÊA

VALÉRIA RODRIGUES GONÇALVES

SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO CONSUMO DE ÁGUA NO CUSTO OPERACIONAL DE UM MODELO COMPUTACIONAL DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: ____/____/_____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Me. Raynner Menezes Lopes
FAESA-UFPA (Examinador Interno)

_____

Prof. Dr. Ezequiel de Andrade Belo
MEC-UFPA (Examinador Externo)

_____

Profa. Dra. Etiene Elayne Meireles da Rocha
FAESA-UFPA (Examinadora Interna)

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por proporcionar tantas bençãos em minha vida e por ter me permitido chegar até aqui, sendo meu maior refúgio nos momentos difíceis.

Agradeço também a minha família querida por todo o apoio nesses anos, sem vocês nada disso seria possível, eu estou aqui por mérito inteiramente de vocês e principalmente dos meus pais Claudia Cristina Corrêa Costa e Pedro da Costa Corrêa que me proporcionaram toda a tranquilidade para que eu pudesse seguir em frente nesta caminhada, aos meus irmãos Carla da Costa Corrêa e Pedro da Costa Corrêa Junior agradeço por todas as risadas que me arrancaram nos momentos de tristeza e pela preocupação e companheirismo de sempre, ao meu primo e irmão Marcio Flávio da Costa por ser parceiro e sempre me ajudar quando eu precisei, obrigada a todos vocês pela força, pelos conselhos, pelos abraços, por todo amor e por fazerem eu me sentir uma pessoa tão amada, agradeço também ao meu querido avô por todo amor e carinho, eu sei que ele está feliz onde estiver, eu os amo família.

Aos meus amigos agradeço pela força nos momentos difíceis, por todos os conselhos, e por me ajudarem sempre que precisei, não medindo esforços para isto, em especial aos meu amigo Thallis Pereira que se disponibilizou a me ajudar sempre que precisei durante esse trabalho.

A família da minha parceira Valéria agradeço por sempre terem me acolhido como uma filha durante esses anos e principalmente nessa reta final e a ela que já se tornou uma irmã para mim, obrigada por todos esses anos de amizade e por está comigo em todos os momentos bons e ruins que eu passei ao longo desses cinco anos.

Ao meu orientador Prof. Me. Raynner Lopes eu agradeço pelas inúmeras oportunidades de crescimento profissional concedidas, por todo conhecimento transmitido e por ter me mostrado que eu conseguiria sair da minha zona de conforto e realizar um trabalho como este, sei que não foi fácil mas o senhor foi de fundamental importância para esse momento.

Agradeço também ao meu coorientador Prof. Me. Davi Sales por todo o conhecimento que me proporcionou ao longo desses anos, seu apoio e a sua ajuda em todas as etapas e principalmente nesta, foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

Camila Corrêa

Nesse momento tão especial em minha vida, quero agradecer à Deus por todas as graças recebidas em minha vida, por ter me ajudado nos momentos mais difíceis em toda essa trajetória Universitária na qual tanto almejei.

Agradeço à minha família, meus pais amados Raimundo Conceição Costa Gonçalves e Vanda Rodrigues Gonçalves, meu irmão Wagner Rodrigues Gonçalves que sempre me deram todo o apoio que precisei durante toda minha vida, e principalmente no decorrer deste trabalho, por terem sido pacientes e não terem me deixado fraquejar.

Aos meus amigos que sempre me incentivaram a persistir em minha caminhada na graduação.

Ao amigo Thallis Pereira por toda a ajuda e apoio no decorrer desses 5 anos de estudos, sou grata pela amizade adquirida através do curso e espero leva-la para a vida toda.

A família Corrêa, Seu Pedro, Dona Cláudia, Carla, Pedro Júnior, Márcio Flávio pelo acolhimento em sua casa, pelo carinho a mim dado e principalmente à minha amiga e parceira neste trabalho Camila Corrêa, com quem compartilhei vários momentos, sendo eles bons ou ruins, mas com a Graça de Deus conseguimos chegar a reta final do nosso curso.

Ao meu orientador Prof. Me. Raynner Menezes Lopes por ter disseminado seu conhecimento e através desde tema, proporcionou uma nova aprendizagem, dando apoio nas dificuldades e auxílio em todo o trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Me. Davi Sales que teve grande contribuição para esse trabalho através de seu conhecimento científico da área.

A Universidade Federal do Pará que foi lugar de momentos de lutas, vitórias e superação, onde durante 5 anos recebi muitos conhecimentos que levarei para vida.

Valéria Rodrigues

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma de como nos acostumamos a ver o mundo”. (Albert Einstein)

RESUMO

O Sistema de abastecimento de água é imprescindível para que ocorra uma boa gestão dos recursos hídricos, pois auxilia no monitoramento do mesmo. Tratando-se de gestão de recursos naturais é necessário a realização precisa de fatores que influenciem em sua administração. O seguinte estudo visou a simulação do consumo de energia elétrica através da modelagem de sistemas de bombeamento com cenários variados utilizando o programa EPANET 2.0. Este programa permite simulações hidráulicas, dinâmicas e estáticas com variados parâmetros existentes. Através dos resultados obtidos foi possível observar a diferença no custo da energia elétrica em cenários e vazões distintas, sendo a potência do conjunto motobomba um fator de essencial importância, onde as simulações são feitas com potências comerciais que são usualmente utilizadas no mercado para atender a faixa de pressão e velocidade regida em norma e com potências mínimas não comerciais que também atendem a mesma. Além da possibilidade de utilização da potência mínima que atenda à demanda de consumo, o trabalho trouxe como principal escopo, análise da presença ou não da aplicação de tarifação quanto ao consumo per capita, considerando que sua ausência eleva o consumo de água e por consequência o consumo de energia elétrica. Reduzindo o consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento possibilita a redução significativa nos gastos referentes aos mesmos.

Palavras-chave: Sistema de bombeamento, energia elétrica, potências comerciais e mínimas.

ABSTRACT

The water supply system is essential for good management of water resources, as it assists in the monitoring of them. In the case of natural resources management, it is necessary to have precise factors influencing its management. The following study aimed at the simulation of the electric energy consumption through the modeling of pumping systems with varied scenarios using the EPANET 2.0. Program that allows hydraulic, dynamic and static simulations with a variety of existing parameters. Based on the results obtained, it was possible to observe the difference in the cost of electric energy in different scenarios and flows, being the power of the motorcycle pump a factor of essential importance, where the simulations are made with commercial powers that are usually used in the market to attend to pressure range and speed governed in standard and with minimum non-commercial powers that also meet the same. In addition to the possibility of using the minimum power that meets the consumption demand, the work has as main scope, the analysis of the presence or not of the application of tariffs in relation to the consumption per capita, considering that its absence increases the consumption of water and consequently the electric power consumption. Reducing the consumption of electric energy in pumping systems allows the significant reduction in the expenses related to them.

Keywords: Pumping system, electric energy, commercial and minimum powers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema simplificado de um abastecimento de água. 20
Figura 2 - Possíveis localizações das estações elevatórias de água.....21
Figura 3 - Tipologias de redes de distribuição.....24
Figura 4 - Tipologia de sistema adotada no estudo com reservação. 40
Figura 5 - Tipologia de sistema adotada no estudo sem reservação.....40
Figura 6 - Configuração geométrica do sistema de sucção.....41
Figura 7 - Cenário 1 para o sistema de bombeamento para a tipologia 1 (sistema 1+1). 42
Figura 8 - Cenário 1 para o sistema bombeamento para a tipologia 4 (sistema 1+1).....43
Figura 9 - Modelo hidráulico para o cenário 1 no EPANET 2.0 para a tipologia 1. 44
Figura 10 - Modelo hidráulico para o cenário 1 no EPANET 2.0 para a tipologia 4. 44
Figura 11 - Cenário 2 para o sistema de bombeamento para a tipologia 1 (sistema 2+1). 45
Figura 12 - Cenário 2 para o sistema de bombeamento sem reservação (sistema 2+1). 45
Figura 13 - Modelo hidráulico para o cenário 2 no EPANET 2.0 para a tipologia 1. 46
Figura 14 - Modelo hidráulico para o cenário 2 no EPANET 2.0 para a tipologia 4. 47
Figura 15 - Cenário 3 para o sistema de bombeamento conforme a tipologia 1 (sistema 3+1)...47
Figura 16 - Cenário 3 para o sistema de bombeamento conforme a tipologia 4 (sistema 3+1)...48
Figura 17 - Modelo hidráulico para o cenário 3 no EPANET 2.0 conforme a tipologia 1. 49
Figura 18 - Modelo hidráulico para o cenário 3 no EPANET 2.0 conforme a tipologia 4. 49
Figura 19 - Editor de propriedades da bomba (CMB). 50
Figura 20 - Editor de propriedades do nó (REDE). 51
Figura 21 - Curva adimensional de consumo de água do município de Ananindeua – PA. 53
Figura 22 - Inserção dos valores adimensionais da curva de consumo do município de Ananindeua no editor de padrão do EPANET. 53
Figura 23 - Curva de consumo de água simulada no EPANET 2.0. 54
Figura 24 - Editor de propriedades do RNV no EPANET 2.0. 54
Figura 25 - Inserindo o preço do kWh no horário fora de ponta para a tarifa verde na aba de opções de energia do EPANET 2.0. 55
Figura 26 - Edição do padrão temporal no EPANET 2.0 para a variação do preço da energia elétrica ao longo do dia na modalidade tarifária verde. 56
Figura 27 - Execução da simulação dinâmica do cenário 1 no EPANET 2.0. 58
Figura 28 - Gráficos comparativos de potência e energia elétrica para o cenário 1. 58
Figura 29 - Execução da simulação dinâmica do cenário 2 no EPANET 2.0. 59
Figura 30 - Gráficos comparativos de potência e energia elétrica para o cenário 2. 60
Figura 31 - Execução da simulação dinâmica do cenário 2 no EPANET 2.0. 61
Figura 32 - Gráficos comparativos de potência e energia elétrica para o cenário 3. 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modalidade tarifária verde da CELPA 2018. 34
Tabela 2 - Valores Utilizados para o Cálculo da Vazão. 38
Tabela 3 - Descrição das singularidades e seus respectivos coeficientes k de perda de carga. ...41
Tabela 4 - Singularidades do sistema de recalque no cenário 1. 43
Tabela 5 - Singularidades do sistema de recalque no cenário 2. 46
Tabela 6 - Singularidades do sistema de recalque no cenário 3. 48
Tabela 7 - Curvas de consumo utilizadas nas simulações. 52
Tabela 8 - Custo da energia elétrica na modalidade tarifária verde. 55
Tabela 9 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 312,0044 L/s no cenário 1. 63
Tabela 10 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 702,8 L/s no cenário 1. 64
Tabela 11 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 312,0044 L/s no cenário 2. 65
Tabela 12 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 702,8 L/s no cenário 2. 65
Tabela 13 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 312,0044 L/s no cenário 3. 67
Tabela 14 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 702,8 L/s no cenário 3. 68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL= Agencia Nacional de Energia Elétrica

CELPA = Central Elétrica do Estado do Pará

CMB = Conjunto Motor Bomba

ETA = Estação de Tratamento de Água

ETE = Estação de Tratamento de Esgoto

FUNASA = Fundação Nacional de Saneamento Básico

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS = Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

NBR = Norma Brasileira Regulamentadora

PROCEL = Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RECESA = Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica Em Saneamento Ambiental

SAA = Sistema de Abastecimento de Água

SES = Sistema de Esgotamento Sanitário

PROSAB = Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

PRC = Portaria de Consolidação

REL = Reservatório Elevado

RAP = Reservatório Apoiado

EE = Estação Elevatória

IMBIL = Indústria e Manutenção de Bombas ITA Ltda

ICMS = Imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação

PIS = Programa de Integração Social

COFINS = Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

REN = Resolução Normativa

ANA = Agência Nacional de Águas

EAB = Elevatória de Água Bruta

RNV = Reservatório de Nível Variado

EAT = Elevatória de Água Tratada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

2 OBJETIVOS 17

2.1 Objetivo Geral 17

2.2 Objetivo Específico 17

3 JUSTIFICATIVA 18

4 REFERENCIAL TEÓRICO 19

4.1 Sistema de Abastecimento de água 19

4.1.1 Curso de água ou manancial 20

4.1.2 Captação 20

4.1.3 Estação Elevatória 21

4.1.4 Adução 22

4.1.5 Estação de tratamento de água (ETA) 22

4.1.6 Reservatório 23

4.1.7 Rede de distribuição 23

4.1.8 Sistema de bombeamento 24

4.1.9 Bombas 29

4.2 Energia Elétrica 33

4.2.1 Tarifas de Energia Elétrica 33

4.2.2 Postos Tarifários 34

4.3 Simuladores Hidráulicos 35

4.3.1 EPANET 2.0 36

5 METODOLOGIA 38

5.1 Etapa 1 – Determinação de vazão de Abastecimento da Rede de Distribuição 38

5.2 Etapa 2 – Modelagem do Sistema De Bombeamento 39

5.2.1 Sistema de Sucção 40

5.2.2 Sistema de Recalque 42

5.2.3 CMBs 50

5.2.4 Rede de distribuição 51

5.3 Etapa 3 – Determinação da curva de consumo de água para a modelagem do Reservatório Elevado (REL) e a definição do padrão de Energia Elétrica. 51

5.3.1 Reservatório Elevado 54

5.3.2 Tarifas de Energia Elétrica 55
6 RESULTADOS 57
6.1 Análise para o sistema utilizando a Tipologia 1. 57
6.1.1 Cenário 1 57
6.1.2 Cenário 2 59
6.1.3 Cenário 3 60
6.2 Análise para o sistema utilizando a Tipologia 4 62
6.2.1 Cenário 1 62
6.2.2 Cenário 2 64
6.2.3 Cenário 3 67
7 CONCLUSÃO 70
8 REFERÊNCIAS 71

1 INTRODUÇÃO

O setor do saneamento básico é um dos que mais necessitam diretamente da energia elétrica para o seu pleno funcionamento. Por exemplo, o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é o setor que sofre uma influência direta da energia elétrica tanto para a captação quanto para o tratamento e a distribuição aos usuários. Neste sentido, faz-se necessário que haja uma gestão deste sistema para uma constante evolução do mesmo, buscando assim melhorias no equilíbrio financeiro e a sustentabilidade das suas práticas. (GOMES 2009)

A preocupação com a preservação dos recursos tanto energéticos quanto hídricos é crescente, principalmente com a disponibilidade destes para as gerações futuras. Isto envolve questões como o acesso aos serviços de abastecimento de água e energia que são algumas das necessidades básicas da população e as consequências dos impactos gerados em decorrência do uso destes recursos que, na maioria dos casos, ocorrem sem nenhuma gestão adequada que vise buscar e garantir a sustentabilidade e a qualidade destes recursos que são fornecidos à população. (PROSAB 2009)

Filho (2003) afirma que atualmente, não só no Brasil mas no mundo inteiro, o consumo de energia está cada vez maior e isso se dá pelo desenvolvimento da tecnologia e o crescimento dos países. Como sabemos, todo consumo exagerado traz consequências significativas, tanto positivas quanto negativas para o meio, e podem ter impactos locais, assim como também impactos mundiais dependendo da sua magnitude.

Segundo Gomes, (2009), sistemas de água e esgoto são responsáveis por cerca de 3% da energia que é consumida no mundo, já no Brasil, segundo uma pesquisa realizada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia para o setor de Saneamento – PROCEL SANEAR de 2008, cerca de 2 a 3% do consumo total de energia elétrica do país é consumido pelas prestadoras destes serviços, isto equivale a aproximadamente 10 bilhões de kWh/ano, nestes sistemas tem-se como os maiores consumidores os equipamentos motobomba das estações elevatórias, pois os mesmos equivalem a 90% do consumo de energia.

Muitas vezes o alto consumo de energia elétrica destes sistemas pode está ligado à ineficiência dos mesmos, pois podem ser mal dimensionados e com isso comprometer o seu rendimento, equipamentos antigos ou com falta de manutenção que tem sua capacidade comprometida, excesso de perda de carga hidráulica por onde a água e o esgoto passarão, entre outros motivos que podem causar o aumento do

consumo de energia elétrica. Devido a isto, promover a eficiência energética e hidráulica dos sistemas de saneamento (SAA e SES) precisa ser levado como uma meta aos governos, para que os municípios alcancem a sustentabilidade, tendo em vista o grande consumo de energia que esses sistemas demandam em todo o seu processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da falta de tarifação no Sistema de Abastecimento de água e por consequência o aumento do consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento de água.

2.2 Objetivo Específico

Simular a operação de sistema de bombeamento de água com reservatório e sem reservatório no *software* EPANET 2.0, considerando três cenários diferentes, isto é, para 1 bomba operando, 2 bombas operando e 3 bombas operando;

Analisar a influência que a falta de tarifação pela concessionária responsável pelo abastecimento de água causa no consumo de Energia Elétrica do sistema;

Analisar também a influência direta no custo da energia devido a utilização das potências comerciais nos conjuntos motobomba utilizando a tarifa horo-sazonal verde.

3 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista os problemas encontrados atualmente no Brasil, principalmente no atendimento pelo setor energético ao setor de saneamento básico, o presente trabalho se justifica pela necessidade de estudos que visem a redução no consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento de água, haja vista que este é o responsável pela maior parte da energia elétrica consumida no setor de saneamento básico. Desta forma a presente pesquisa possui grande relevância ao analisar ainda a influência na falta de tarifação pelo consumo de água o que ocasiona uma discrepância no consumo deste recurso, quando comparado a locais onde possui a tarifação pelo uso do mesmo. Buscando assim, verificar a melhor opção para a economia de energia sem prejudicar a demanda de consumo solicitada pela rede de distribuição de água, o que ocasionará ainda uma maior conscientização por parte da população através do uso consciente da água.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

A água é um elemento de vital importância para a totalidade dos seres vivos. A humanidade necessita desse recurso em quantidade e qualidade adequadas para as suas necessidades diárias, para manter sua saúde e para promover o desenvolvimento, considerando que para toda e qualquer finalidade desde a mais simples a mais sofisticada, ela se faz necessária. (BRASIL, 2006)

Este contexto impulsionou os seres humanos a encontrar mecanismos para que a sua distribuição fosse feita de maneira fácil, rápida e eficiente. Um dos serviços geralmente encontrados é o chamado "Sistema de Abastecimento de Água".

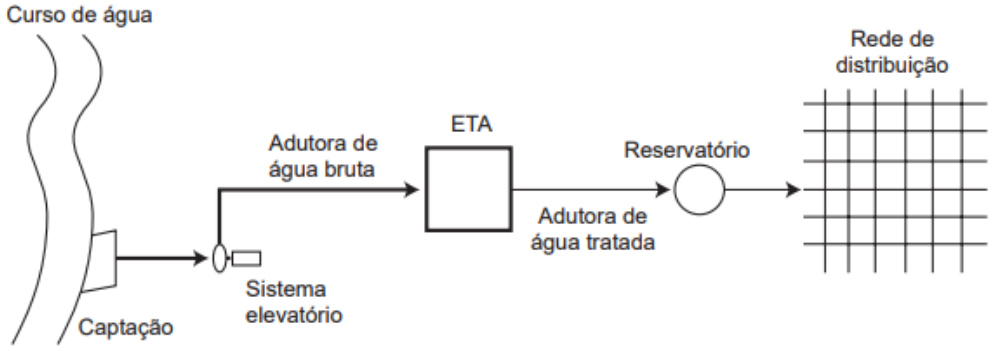
4.1 Sistema de Abastecimento de água

O Sistema de Abastecimento de água é composto por basicamente duas soluções, uma individual, que normalmente é utilizada em zonas rurais e com uma população dispersa que se referem exclusivamente a um único domicílio, e uma coletiva, que serve para o abastecimento de água de uma comunidade (BRASIL, 2006).

Ainda segundo BRASIL 2006, este sistema caracteriza-se pela retirada da água da natureza, adequação de sua qualidade, transporte até os aglomerados humanos e fornecimento à população em quantidade compatível com suas necessidades e sua principal função é a proteção da saúde humana. Um sistema de abastecimento pode ser concebido para atender a pequenos povoados ou grandes cidades variando nas características e no porte de suas instalações. O mesmo representa o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

Um Sistema de Abastecimento de Água é composto por diversas unidades e possui diferentes tipologias de acordo com a sua concepção e a localidade para qual o mesmo for projetado. Este sistema possui uma configuração básica conforme a Figura 1.

Figura 1 - Esquema simplificado de um abastecimento de água.



Fonte: Tsutiya 2006.

4.1.1 Curso de água ou manancial

É um corpo hídrico que pode ser tanto superficial quanto subterrâneo de onde será feita a retirada da água para abastecimento e o mesmo deve oferecer uma vazão suficiente para qual o projeto foi planejado.

Conforme Netto (1998), as águas desses mananciais deverão preencher requisitos mínimos no que tange à qualidade das mesmas no ponto de vista físico, químico, biológico e bacteriológico.

De acordo com Tsutiya (2005), para a seleção do melhor manancial, é indispensável que se faça a verificação da disponibilidade de volume de água, bem como as condições sanitárias, além da localização do sistema de captação e a distância do consumo. Para que através destes pontos possa ser escolhido o melhor e o mais viável tanto economicamente quanto sanitariamente.

4.1.2 Captação

A captação é o nome dado para o conjunto de elementos que são construídos com a finalidade de extrair as águas provenientes dos mananciais, estes podem ser subterrâneos, como é o caso das fontes, do lençol freático ou do lençol profundo/artesiano; ou dos mananciais superficiais, como os córregos, lagos, represas e rios, que se destinam ao abastecimento público. (NETTO, 1998).

Esta é uma obra hidráulica que tem como finalidade a retirada da água do manancial como já citado anteriormente. Existem diversos tipos de captação e os mesmos variam de acordo com o manancial a ser utilizado e com o local onde será instalada, levando em conta a topografia e características do mesmo. Para a implantação da captação é necessário que, além de um levantamento cauteloso sobre a área

abrangida, sejam realizadas inspeções em campo a fim de averiguar as condições hidráulicas e geológicas do manancial, bem como também as áreas de inundação e os focos poluidores (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA 12213/1992).

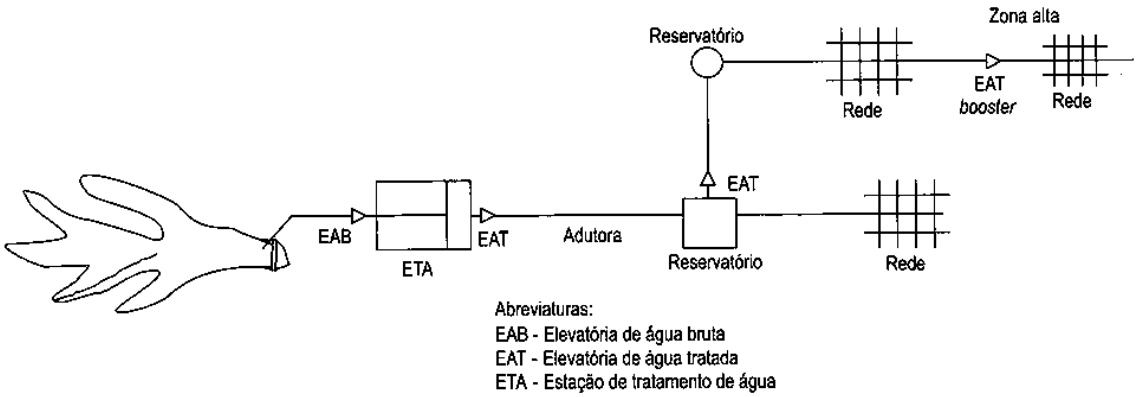
De acordo com Heller e Pádua (2006) a escolha do manancial e a respectiva captação de suas águas podem trazer o êxito do sistema de abastecimento público, isso porque a correta construção da captação do sistema e a preservação do manancial fornecem o suprimento necessário ao consumo.

4.1.3 Estação Elevatória

Segundo Polese (2010), a estação elevatória é uma estrutura que tem a função de fazer a elevação da água bruta ou tratada de uma cota mais baixa para uma mais elevada ou aumentar a pressão na rede de um sistema de abastecimento. Esta confere maior energia potencial a água, fazendo que a mesma possa ser transportada até seus pontos de reservação e consumo.

De acordo com o descrito por Heller e Pádua (2006), as estações elevatórias podem ser diferenciadas de duas formas, quando as mesmas levam água não tratada, denominadas como elevatória de água bruta, e quando ocorre o contrário, levam água tratada, chamadas de elevatória de água tratada (Figura 2).

Figura 2: Possíveis localizações das estações elevatórias de água.



Fonte: Heller e Pádua, 2006.

Tsutiya (2005) afirma que elementos integrantes de uma estação elevatória podem ser separados em: equipamentos eletromecânicos (como as bombas e os motores); tubulações, (tanto de sucção quanto de recalque e barrilete e este é a tubulação que se origina no reservatório e da qual derivam as colunas de distribuição) e

a parte de construção civil (como o poço de sucção e a casa de bomba). E para embasar a elaboração do projeto de uma estação de bombeamento deve-se obedecer ao descrito pela ABNT / NBR 12214/1992.

4.1.4 Adução

Uma canalização, de grande diâmetro para que possa ser feita a condução da água bruta (adutora de água bruta) ou tratada (adutora de água tratada) pelas unidades do sistema, operando por gravidade, por pressão ou de forma mista.

De acordo com Tsutiya (2005), adutoras podem ser diferenciadas pela seguinte forma:

Pela natureza da água que a mesma transporta:

- Adutoras de águas brutas: estas conduzem águas provindas do corpo hídrico até a Estação de Tratamento de Água ETA;

- Adutoras de águas tratadas: estas conduzem águas da Estação de Tratamento de Água ETA até o reservatório;

Quanto à energia de movimentação da água na mesma:

- Adutoras por gravidade: quando a água escoa do ponto mais alto para o mais baixo, caso seja através de um conduto forçado à água estará sob uma pressão superior à pressão atmosférica. Caso seja através de um conduto livre estará sob a pressão atmosférica.

- Adutoras por recalque: transportam a água de um ponto mais baixo ao outro mais elevado, porém necessita do auxílio de uma estação elevatória.

- Adutoras Mistas: estas compartilham alguns trechos em gravidade e outros em recalque.

4.1.5 Estação de tratamento de água (ETA)

Conforme o descrito pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (NBR: 12216/92, p.01), uma estação de tratamento de água pode ser definida como "Conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade.", ou seja, é a unidade do sistema que é responsável pelo tratamento das águas, destinada à eliminação de impurezas e/ou correção de propriedades inadequadas ao uso da água, ocorrendo através da utilização de produtos químicos e processos que se completam, assim transformando em água de boa qualidade do ponto de vista físico,

químico, biológico e bacteriológico, se enquadrando nos padrões de potabilidade estipulados pelas legislações para que assim possam ser distribuídos para a população (KURITZA, 2017).

A ABNT (NBR: 12216/92) deve ser observada quando se trata de projetos de estações de tratamento de água para abastecimento, pois esta norteia o que diz respeito a isto. Sabe-se que as características encontradas nas águas brutas irão interferir diretamente na escolha da tecnologia adotada na estação tendo em vista que atualmente existem inúmeras tecnologias no mercado e devem, ao final do tratamento, atender todos os padrões de potabilidade que são estabelecidos pela PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, antiga portaria 2.914/2011 (BRASIL, 2017)

4.1.6 Reservatório

Estrutura construída para a reservação de água entre as unidades do sistema e também utilizada para a regulação das vazões que estes recebem, no sentido de equiparar a uma vazão média, armazenando, assim, o volume de água quando a demanda for inferior e provisionar vazão de água quando esta for acima da média estipulada. Este também está sujeito a regulação das pressões.

Estes reservatórios podem ser caracterizados segundo Tsutiya (2005), quanto a:

- Localização do mesmo no sistema: onde são divididos ainda em reservatórios de montante, de jusante ou de posição intermediária.

- Localização no terreno: podendo ser enterrados, semienterrado, apoiado ou elevado.

- Sua forma: estes podem ser circulares ou retangulares, mas devem assegurar uma máxima economia nas suas etapas construtivas, no local de implantação, nos equipamentos a serem utilizados e na interligação com o restante do sistema.

- Materiais de construção: os mais empregados são o concreto armado (tanto o comum como o protendido), aço, poliéster armado com fibras de vidro, além de outros, como a madeira, borracha e alvenaria.

4.1.7 Rede de distribuição

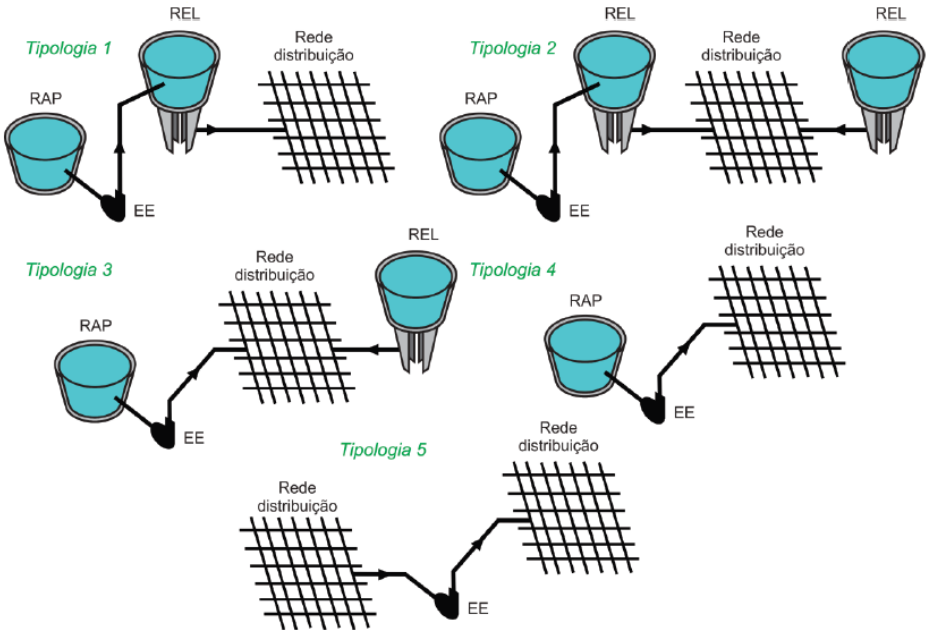
A unidade do sistema que é responsável pela chegada da água nas residências, é composta por um conjunto de tubulações e acessórios que servem para fazer a ligação até os devidos pontos de consumo.

Conforme Garcez (1976), uma rede de distribuição é o conjunto de tubulações e peças que são destinadas à condução da água até os seus pontos de consumo tanto públicos quanto das instalações prediais. Esta é a parte do sistema que têm o maior custo, podendo chegar de 70% a 80% do custo total.

Estas redes precisam ser construídas de forma adequada, levando em consideração as características da região em que será instalada, as necessidades da população local, além de necessitarem de uma equipe que deve estar sempre pronta para operá-las e repará-las quando for necessário.

Existem algumas tipologias de redes de distribuição de água e estas podem ser observadas na Figura 3:

Figura 3 - Tipologias de Redes de Distribuição



Fonte: Manual Lenhs

Esta figura além de exemplificar as tipologias das redes de distribuição, também podem mostrar as várias posições que podem ser encontrados os reservatórios em relação às mesmas e no sistema como um todo.

4.1.8 Sistema de bombeamento

Para o sistema de saneamento básico é comum a necessidade de mover a água ou o esgoto contra a ação da gravidade através das tubulações e para isto faz-se necessário o uso de bombas hidráulicas. Essas bombas, para o ponto de vista energético,

são máquinas que convertem a energia elétrica, produzida por um motor, em energia hidráulica, na forma de pressão e energia. Os tipos de motores que predominam são os elétricos, mas também podem ser utilizados outros tipos (GOMES, 2009).

4.1.8.1 Dimensionamento de um Sistema de Bombeamento para o Abastecimento de Água

Buscando o correto funcionamento deste sistema é necessário que se dimensione todas as unidades descritas anteriormente, com base nas características e peculiaridades da região a ser instalado.

Um sistema sempre é dimensionado considerando a população de onde será implantado, a segurança e a flexibilidade operacional do mesmo. A seguir estão descritas algumas etapas necessárias para que o sistema seja dimensionado até que chegue na rede de distribuição, pois a partir deste o dimensionamento possui diferentes etapas.

4.1.8.1.1 Vazão

Para o cálculo da vazão é necessário conhecer a população e seu consumo per capita local, caso haja. Se negativo, pode-se utilizar o recomendado pelas normas competentes, além do mais os coeficientes necessários e vazão industrial caso o sistema for receber esta parcela também. A fórmula mais indicada para este cálculo e para a vazão máxima de consumo pode ser observado na Equação 1.

$$Q = \frac{P.q.K1.K2}{86400} + Qesp \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

Q: Vazão em l/s

P: População em hab;

q: Consumo per capita em l/hab.dia;

K1: Dia de maior consumo; (adimensionalizada)

K2: Hora de maior consumo; (adimensionalizada)

Qesp: Vazão específica.

4.1.8.1.2 Diâmetro

O dimensionamento do diâmetro das canalizações tanto de recalque quanto de sucção é de suma importância para a eficiência e bom funcionamento de um sistema. A

fórmula normalmente utilizada como alternativa para o dimensionamento econômico de tubulações é a fórmula de Bresse, fazendo uma suposição 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). Esta é representada pela Equação 2, a seguir:

$$D = K \times \sqrt{Q} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:

K: Coeficiente de custo de investimento;

Q: Vazão em m³/s;

D: Diâmetro em metros.

4.1.8.1.3 Velocidade

A velocidade máxima na tubulação não deve ultrapassar 3 m/s conforme a NBR 12215-1 de 2017, evitando pressão elevada quando houver interrupção do fluxo (golpe de Aríete), vibrações na tubulação que reduzem a vida útil, perda de carga (pressão) excessiva, pois ela é diretamente proporcional à velocidade da água e a velocidade mínima de 0,3 m/s para evitar deposição de partículas.

Esta para se ter uma maior precisão pode ser calculada pelas seguintes equações, Equação 3, Equação 4 e Equação 5.

4.1.8.1.3.1 Teste de Velocidade

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi \times D^2}{4}} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:

V: Velocidade em m/s;

Q: Vazão em m³/s;

D: Diâmetro em metros.

4.1.8.1.3.2 Secção do tubo

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:

S: Secção do tubo em m²;

D: Diâmetro em metros.

As velocidades usuais serão calculadas através da Equação da Continuidade como pode ser observada na Equação 5.

4.1.8.1.3.3 Velocidade Usual

$$V = \frac{Q}{S} \qquad \text{Equação 5}$$

Onde:

V: Velocidade usual em m/s;

Q: Vazão em m³/s;

S: Secção do tubo em m².

4.1.8.1.4 Perda de Carga

As canalizações não são constituídas apenas por tubos retilíneos e de mesmo diâmetro, são necessárias adaptações que incluem peças especiais e conexões, que por consequência da sua forma de disposição, elevam a turbulência, provocam atritos e causam choque de partículas, que dão origem as perdas de carga. As perdas podem ocorrer também através da resistência ao longo de condutos, ocasionadas pelo movimento da água na própria tubulação (NETTO, 2015). Sendo assim, podemos dividi-la em duas partes: perda de carga distribuída, ou seja, nos trechos retos, e a perda de carga localizada, perda ocorrida nos acessórios.

4.1.8.1.4.1 Perda de Carga Localizada

Está é provocada pelas perdas especiais e também pelas singularidades que uma instalação hidráulica venha a possuir, são muito importantes para canalizações e sistemas curtos que possuem peças especiais, já nas canalizações longas e em sistemas relativamente grandes estas perdas são desprezíveis se forem comparadas as perdas distribuídas (NETTO, 2015) a mesma é calculada conforme a Equação 6.

$$H_L = (\sum K) \times \frac{V^2}{2g} \qquad \text{Equação 6}$$

Onde:

HL: Perda de carga localizada;

V: Velocidade média da água, antes ou depois do ponto singular, conforme o caso;

K: Coeficiente determinado de forma empírica para cada tipo de ponto singular;

g: Aceleração da gravidade.

4.1.8.1.4.2 Perda de Carga Total Distribuída

Tendo origem através do movimento da água no interior da tubulação. Esta é uniforme em todo e qualquer trecho de uma canalização, independente da sua posição desde que ela possua dimensões constantes (NETTO, 2015), a mesma pode ser calculada conforme a Equação 7.

$$H_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \qquad \text{Equação 7}$$

Onde:

H_f: perda de carga ao longo do comprimento do tubo (m);

f: fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional);

L: comprimento da canalização (m);

V: velocidade média do escoamento (m/s);

D: diâmetro da tubulação (m);

g: aceleração da gravidade (m/s^2);

4.1.8.1.5 Altura manométrica

A altura manométrica de um sistema de abastecimento de água é estipulada como a energia que este vai demandar da bomba para que assim a mesma consiga transferir a água de um ponto a outro com uma vazão específica. Esta pode variar levando em consideração as resistências que o sistema fornece à água, sendo elas: a diferença entre as pressões dos reservatórios de recalque e sucção, as perdas de carga da canalização, e a altura geométrica, que é dada pela diferença entre os níveis dos reservatórios de recalque e de sucção. Essas medidas são realizadas através da superfície da água, no reservatório em que se encontram e assim indo até a linha central do rotor da bomba.

Para calcular a altura manométrica na sucção utiliza-se a Equação 8.

$$Hms = Hgs + Hfs \qquad \text{Equação 8}$$

Onde:

Hms: Altura manométrica de sucção (m);

Hgs: Altura geométrica de sucção (m);

Hfs: Perda de Carga total de sucção (m).

Já para calcular a altura manométrica de recalque foi utilizada a Equação 9.

$$Hmr = Hgr + Hfr \qquad \text{Equação 9}$$

Onde:

Hmr: Altura manométrica de recalque (m);

Hgr: Altura geométrica de recalque (m);

Hfr: Perda de Carga total de recalque (m).

Para obtermos a perda de carga total da rede devemos somar as perdas de carga da sucção e de recalque, como exemplificado na Equação 10:

$$Hmt = Hms + Hmr \qquad \text{Equação 10}$$

Onde:

Hmt: Altura Manométrica total (m);

Hms: Altura manométrica de sucção (m);

Hmr: Altura manométrica de recalque (m).

4.1.9 Bombas

Uma bomba nada mais é do que um dispositivo que é utilizado para transferência de energia de fluido. Este é o dispositivo mais antigo que se conhece para esse tipo de transferência (GOMES, 2009).

Segundo Brasil (2010) as Bombas são máquinas geratrizes que têm por finalidade a realização do deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo, portanto, uma máquina geratriz, ela transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia hidráulica, que é comunicado ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética.

Conforme Netto (2015) a escolha de uma bomba pode ser determinada de acordo com as condições econômicas, de manutenção e de operação, pois normalmente o comprador está sempre interessado em instalar um equipamento que o forneça a vazão que ele deseja ao fluido, bem como a pressão necessária.

Em relação ao equipamento, é possível afirmar que sua qualidade sofre influência no maior ou menor custo operacional, sendo que os equipamentos que têm melhor qualidade ou são melhor dimensionados para a operação, proporcionam

considerável diferença no processo, diz o engenheiro especializado da Imbil, (CARMINATTI, 2015).

Ainda segundo Carminatti (2015), equipamento com melhor rendimento têm condições de executar a mesma tarefa com potência menor, sendo assim, o consumo de energia é menor. A capacidade de bombeamento está ligada a tarefa executada, e bombas bem dimensionadas podem executar com mais facilidade aumentando a vida útil do equipamento e diminuindo as manutenções.

As Bombas usualmente utilizadas, nos sistemas de saneamento básico são:

Bombas submersíveis: Normalmente utilizadas para efluentes, água bruta, água de resfriamento, lama, água pluvial e efluente industrial;

Bombas centrífugas horizontal: água, irrigação, indústria e bombas utilizadas nos condomínios verticais e horizontais;

Bombas submersas de poço: bombas para captação de água de poços profundos;

Bombas split case: para grandes volumes de água;

Bombas fluxo axial (tipo turbina): para grandes volumes de água;

Bombas a diesel: Normalmente para locais mais distantes onde não há ponto de alimentação elétrica para a bomba. Por exemplo, drenagem de minas, drenagem de construções, by-pass das companhias de saneamento.

Alguns fatores são importantes para definir a escolha de um modelo de bomba adequado. São eles: altura manométrica, vazão, desnível geométrico, características do líquido a serem bombeados e características da tubulação.

4.1.9.1 Associação de Bombas

Em determinados sistemas de bombeamento podem ter algumas exigências operacionais que não possam ser supridas com apenas uma única bomba. Então nestes casos, é comum que seja feita uma associação das bombas, as mesmas podendo ser em série ou em paralelo, de acordo com o desejado.

Conforme Gomes, (2009) quando se deseja aumentar a vazão ou a altura manométrica de uma unidade de bombeamento deve-se aumentar o número de bombas. Caso o objetivo seja ganhar vazão devem-se associar as unidades em paralelo, caso seja ganhar altura manométrica associam-se as unidades em série.

4.1.9.1.1 Associação em paralelo

A referida associação é feita com intuito de somar as vazões de uma ou mais unidades e muitas vezes surgem questionamentos em relação ao porquê de não usar bombas com um porte maior para tal capacidade, porém, no mercado não existem bombas capazes de isoladamente atender a vazão desejada, o custo de duas ou mais bombas pequenas em séries pode ser bem menor do que o de uma máquina grande que muitas vezes é feita sob medida, este tipo de associação é interessante para ajustar a vazão disponível que o sistema demanda e em períodos de pico todas as bombas funcionam e quando a demanda cai apenas uma ou mais unidades podem operar Carvalho e Silva (2006).

Quanto maior a quantidade de bombas, menor será o ganho proporcional de vazão e na prática é comum utilizar quatro bombas, porém no máximo três devem operar simultaneamente e uma deve ficar de reserva. (GOMES, 2009).

Segundo Netto, (2015) duas ou mais bombas com capacidades distintas, podem funcionar satisfatoriamente em paralelo se as mesmas tiverem suas características semelhantes.

4.1.9.1.2 Associação em Série

De acordo com Carvalho e Silva (2006) em alguns casos é necessário que as bombas sejam associadas em série quando tiver condições topográficas ou por outro motivo que o sistema poderá exigir grandes alturas manométricas.

Andrade (2017) afirma que devem-se associar duas ou mais bombas em série quando há a necessidade de vencer alturas que de nenhuma forma poderiam ser alcançadas somente com a utilização de uma única bomba. Isto pode ocorrer quando a elevatória atender a reservatórios em níveis ou distâncias diferentes ou ainda quando em um processo houver condições de pressão bastante diversas que precisem ser supridas, um exemplo são as bombas que alimentam caldeiras e as bombas que são utilizadas em prédios (edifícios) muito elevados.

As bombas em série são colocadas uma após a outra, estas recalcam a mesma vazão e podem ser iguais ou não depende da escolha e avaliação do profissional adequado; a curva característica do conjunto é obtida através da soma das ordenadas de cada curva característica das bombas componentes.

4.1.9.2 Potência da Bomba

A escolha correta da potência dos motores elétricos é de suma importância, está tem influência direta nos gastos com a instalação devido o custo do motor ser diretamente ligado a sua potência. A utilização de potências inadequadas em motores pode acarretar perturbações durante o funcionamento deste, fazer com que seu rendimento decaia, aumentar as despesas com a sua instalação, entre outros. A melhor forma de reduzir custos operacionais é selecionar de forma correta o motor elétrico. Esta varia em função da vazão que o sistema demanda e da altura manométrica em que se encontram as adutoras, estes motores normalmente trabalham em conjunto (dois ou mais), sendo na maioria dos casos um reserva. (GOMES, 2010)

Ao dimensionar a potência necessária de um motor, há um acúmulo das folgas técnicas, podendo assim gerar um superdimensionamento, necessitando do emprego de maior capital e acarretando no desperdício de energia elétrica, por recorrência do baixo rendimento e ao baixo fator de potência.

4.1.9.3 Rendimento dos Conjuntos Motor e Bomba

A operação deste conjunto está diretamente relacionada com a quantidade de água que o Sistema de Abastecimento de água demanda. Caso haja a redução do volume de água que é perdido, diminuirá o tempo de funcionamento dos CMBs e dos outros equipamentos utilizados para o fornecimento de água, ocasionando, assim, o decaimento do consumo de energia elétrica. O rendimento destes conjuntos precisa ser elevado para que o consumo de energia elétrica seja baixo (PEREIRA, 2014).

O rendimento e o fator de potência variam com a carga do motor. As curvas características dos motores indicam os valores típicos de rendimento e de fator de potência em função da carga. Normalmente, a curva característica de rendimento de um motor de indução apresenta valores maiores quando a carga do motor se situa entre 75% e 100% de sua capacidade nominal, enquanto seu fator de potência atinge o valor máximo com 100% a 125% de carregamento nominal. Portanto, com um carregamento abaixo de 75% do nominal, os motores elétricos requerem, proporcionalmente, maior quantidade de energia elétrica para produzir a mesma energia mecânica. As perdas são mais baixas em motores de alto rendimento (WEG, 2000).

4.2 Energia Elétrica

Sabemos que para gerar energia elétrica de alguma forma ocorre a exploração do meio ambiente. As maiores fontes de geração de energia utilizadas, ainda são as usinas hidroelétricas, tais usinas causam significativos impactos ambientais e danos irreversíveis ao meio tanto social quanto ambiental.

Conforme o MME - Ministério de Minas e Energias (2015) a energia elétrica é o segundo bem mais utilizado durante todo o processo produtivo no setor de saneamento básico do país, a mesma chega a representar cerca de 2,5% de toda a matriz energética do Brasil e cerca de 50% dos custos operacionais demandados por uma companhia de saneamento.

4.2.1 Tarifas de Energia Elétrica

Nas décadas entre 70 e 90, havia apenas uma tarifa de energia elétrica em todo o Brasil, sendo assim os consumidores pagavam o mesmo valor pela energia consumida. O valor obtido pelas cobranças garantia a remuneração das concessionárias, independentemente da eficiência na prestação de serviço das mesmas (ANEEL 2008).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, no Brasil a tarifa de Energia Elétrica é calculada considerando diferentes fatores, como a infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, bem como fatores econômicos de incentivos à modicidade tarifária e sinalização ao mercado.

Para que haja o abastecimento de água de qualidade são necessários custos que garantam a geração e o transporte de energia elétrica, os mesmos são cobrados por meio de tarifas. Os usuários pagam o custo das tarifas para as distribuidoras que garantirão o serviço no fornecimento de energia elétrica.

De acordo com a ANEEL a tarifa de energia elétrica é a composição de valores calculados que representam cada parcela dos investimentos e operações técnicas realizadas pelos agentes da cadeia de produção, bem como da estrutura necessária para que a energia possa ser utilizada pelo consumidor. Esta é a soma de todos os componentes do processo industrial de geração, transporte (transmissão e distribuição) e comercialização de energia elétrica. São acrescidos ainda os encargos direcionados ao custeio da aplicação de políticas públicas.

A ANEEL tem a responsabilidade de fixar as tarifas de energia elétrica de forma a promover a modicidade tarifária na defesa do interesse público e o equilíbrio econômico-financeiro dos agentes que prestam os serviços de energia.

Como determinado na Resolução nº 189/2005 da ANEEL, serão adicionados o ICMS, PIS e COFINS ao valor da tarifa. As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEL) no Brasil existem várias modalidades tarifárias, e cada uma possuí a sua peculiaridade e sua cobrança conforme o tipo de consumidor, e algumas delas são a convencional, a branca e a horo-sazonal que é dividida entre verde e azul.

Para este trabalho, escolheu-se analisar a modalidade tarifária horo-sazonal verde por ser a modalidade tarifária mais usual.

De acordo com a ANEEL a modalidade tarifária horária verde é aplicada às unidades consumidoras do grupo A do sistema tarifário brasileiro, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência como pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 – Modalidade tarifária Verde da CELPA 2018.

Modalidade Tarifária Verde A3a (30 a 44 kV)		
Demanda	D (kW)	25,29000
Consumo ponta	C (kWh)	2,54902
Consumo fora de ponta	C (kWh)	0,3499

Fonte: Companhia de Energia Elétrica do Estado do Pará

4.2.2 Postos Tarifários

Os postos tarifários são definidos para permitir a contratação e o faturamento da energia e da demanda de potência diferenciada ao longo do dia, conforme as diversas modalidades tarifárias. A regulamentação consta na Resolução Normativa ANEEL - REN nº 414/2010:

Horário de ponta refere-se ao período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos sábados, domingos, e feriados nacionais.

Horário fora de ponta refere-se ao período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta e intermediário (no caso da Tarifa Branca).

O horário intermediário refere-se ao período de uma hora anterior e posterior ao horário de ponta, aplicado exclusivamente as unidades tarifárias pertencentes à tarifa branca.

Existe também o horário reservado aplicado ao consumidor irrigante, período do dia, normalmente na madrugada, em que a carga destinada à irrigação ou aquicultura recebe um desconto na tarifa de acordo com a região em que se localiza e o grupo tarifário a que pertence. Esta regulamentação está na REN nº 414/2010, art. 107, 108 e 109;

4.3 Simuladores Hidráulicos

Segundo Brasil, (2008) Simuladores Hidráulicos são programas de computador utilizados para simular, tentar prever o comportamento de um sistema submetido a determinadas condições. Todos os simuladores possuem entre si algumas características em comum são elas: Admitem a possibilidade de trabalhar com mais de um sistema de unidades; possibilitam a geração de relatórios e gráficos das variáveis selecionadas dentre as envolvidas nos cálculos. Possuem a capacidade de simular diversos cenários, sejam eles físicos (configurações do sistema distribuidor, por exemplo), temporais (diversos tipos de projeções populacionais ou etapas de uma determinada projeção) ou até mesmo operacionais (determinada válvula fechada ou aberta, por exemplo).

Alguns modelos existentes no mercado permitem a simulação do custo preliminar do projeto, de modo a possibilitar uma comparação, do ponto de vista econômico, das diversas alternativas de soluções possíveis para um determinado problema. Um conhecido simulador hidráulico é o EPANET 2.0.

Existem atualmente vários *softwares* de modelagem computacional que permitem tais simulações, como o WATERCAD®, WATERGEMS® que são simuladores de Modelagem Hidráulica da empresa Bentley, EPANET® que é um simulador hidráulico desenvolvido pela U. S. Environmental Protection Agency (USEPA) dentre outros.

O processo de escolha do softwares de modelagem a ser utilizado deve considerar vários aspectos, tais como: custo, facilidade de utilização, operacionalidade, flexibilidade do programa, robustez do modelo, velocidade de processamento,

integração com bases de dados de CAD® que é um programa criado e comercializado pela Autodesk, Inc. desde 1982, SIG® sendo um Sistema de Informação Geográfica hardware e software e Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, ou abreviadamente SCADA® e o apoio técnico do desenvolvedor bem como a disponibilidade de manuais de operação do programa.

Conforme o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) os modelos hidráulicos de sistemas de abastecimento de água tentam representar o funcionamento hidráulico dos condutos sob pressão, incluindo as unidades não lineares, tais como bombas, válvulas e reservatórios, dada a origem dos softwares que utilizamos, em língua inglesa. Resumindo, um modelo pode ser considerado como a união de um software com os respectivos dados de entrada.

Sob a ótica do planejamento e do projeto, as análises são feitas, dentre outras funções, para: prevenir o colapso dos sistemas (possibilitando a execução de obras de ampliação no momento ótimo); estudar que alteração seria necessária no sistema no caso da introdução de um consumo significativo (indústria, bairro, etc...); avaliar o período de vida útil do sistema existente em função da projeção do crescimento demográfico; estabelecer etapas de obras, otimizando a aplicação dos recursos financeiros; e estudar a circulação da água, evitando problemas de qualidade devido a "pontos mortos" no sistema. (ELETROBRAS, 2005)

4.3.1 EPANET 2.0

O EPANET é um programa gratuito para simulação hidráulica criado pela agência de proteção ambiental dos EUA (USEPA), e constituído como um poderoso simulador hidráulico de condutos forçados.

Segundo o Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – LENHS da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), este programa permite executar simulações estáticas e dinâmicas verificando assim o comportamento hidráulico e da qualidade da água em redes de distribuição pressurizada. O EPANET 2.0 é um programa computacional que serve de apoio para as redes de distribuição de água pois ele permite com que através das suas ferramentas os seus usuários possam obter valores da vazão em cada trecho de tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos intervalos de cálculo.

Complementarmente, além das espécies químicas, este modelo representa o cálculo da idade da água e o rastreio da origem de água em qualquer ponto da rede.

Esta é uma ferramenta que foi desenvolvida para auxiliar a análise de sistemas de distribuição de água para abastecimento urbano, sistemas de irrigação, de combate a incêndio e etc. Ele visa melhorar a eficiência de um sistema de abastecimento de água em termos não só de qualidade mas também de quantidade e o que se conhece sobre o transporte e o destino das águas para consumo humano, para com isso permitir que se possa avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica das estações de bombeamento (GOMES, 2009).

5 METODOLOGIA

Este trabalho utilizou alguns parâmetros de projeto do município de Tucuruí, sudeste do Pará, os quais foram adotados nas simulações computacionais realizadas no software EPANET 2.0. As simulações consistiram em definir um ponto de consumo simbolizando uma rede de distribuição, para analisar o consumo de água e o quanto se gastaria com energia elétrica para bombear determinada quantidade de água. Para a melhor execução da pesquisa, esta foi dividida em duas três Etapas:

5.1 Etapa 1 – Determinação de vazão de Abastecimento da Rede de Distribuição

As simulações computacionais demandaram variáveis indispensáveis em modelagem dessa natureza, como a Vazão (Q) de água. Para isso, foram considerados dados municipais disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), no Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2017) e dados da literatura, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Valores Utilizados para o Cálculo da Vazão.

Dados	**Valores**	**Unidades**	**Referência**
População	97.128	Habitantes	IBGE 2010
Consumo Per Capta médio do Estado do Pará	154,19	l/hab.dia	SNIS, 2017
Consumo efetivo Per Capita de Tucuruí	347,32	l/hab.dia	Barra e Português 2018
K1	1,2	-	ANA 2008
K2	1,5	-	ANA 2008

Fonte: as autoras (2019)

Foram calculadas duas vazões distintas, com intuito de verificar a influência que a falta de tarifação no abastecimento de água causa no seu consumo e por consequência no consumo de energia elétrica que o sistema demanda.

Devido a isto foram utilizados dois per capitas, um sendo consumo médio per Capita de água do estado do Pará (q) e outro com consumo efetivo per capita de água de Tucuruí (q_e). É importante citar que em projetos de rede de distribuição de água, é usual para os cálculos o consumo per capita (q), que difere do consumo efetivo per capita (q_e) por incluir as perdas de água no sistema.

Para este estudo foi utilizado os dois consumos, haja vista que ambos os valores são bem distintos um do outro, buscando com isto, como dito anteriormente,

verificar a influência destes com relação aos custos de energia elétrica no sistema de bombeamento, a qual pode ser influenciada diretamente pela falta de tarifação no abastecimento de água.

Ambas as vazões (Q) de abastecimento da rede foram determinadas utilizando-se a Equação 1.

$$Q = \frac{97.128\ x\ 154{,}19\ x\ 1{,}2\ x\ 1{,}5}{86400} + 0$$

Para este, utilizando o consumo per capita médio de Tucuruí (q) encontrou-se uma vazão de 312,0044 L/s.

$$Q = \frac{97.128\ x\ 347{,}32\ x\ 1{,}2\ x\ 1{,}5}{86400} + 0$$

Já para o cálculo que utilizou o consumo efetivo per capita (q_e) de Tucuruí a vazão encontrada foi de 702,8 L/s. Ambas foram utilizadas como vazão de consumo de água na rede de distribuição simulada no EPANET.

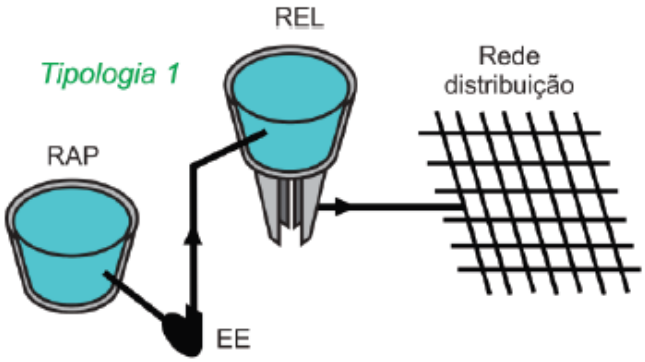
5.2 Etapa 2 – Modelagem do Sistema De Bombeamento

As simulações foram realizadas no *Software* EPANET 2.0 com dois modelos de sistemas distintos, para comparação em três cenários: o primeiro com uma bomba funcionando e uma reserva, o segundo com duas bombas funcionando em paralelo e uma reserva e o terceiro com três bombas funcionando em paralelo e uma reserva.

Foi analisado a influência do consumo, devido à falta de tarifação pelo uso da água, na seleção dos CMBs e por consequência no gasto com energia elétrica. Além disso, verificou-se a influência direta no custo da energia elétrica em decorrência da utilização das potências comerciais ao invés das potências mínimas exigidas para o funcionamento dos CMBs que atendessem as demandas da rede.

Primeiro foi modelado um sistema de abastecimento conforme a tipologia 1, composta por Reservatório Apoiado (RAP), Estação Elevatória (EE), Reservatório Elevado (REL), adutora de água tratada e rede de distribuição conforme a Figura 4.

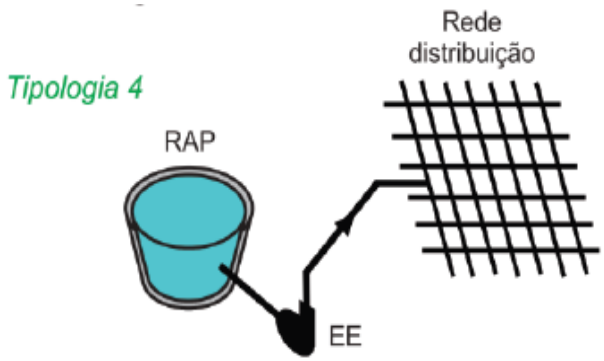
Figura 4 – Tipologia de sistema adotada no estudo com reservatório.



Fonte: Manual Lenhs

A segunda modelagem foi um sistema de abastecimento conforme a tipologia 4, composta por Reservatório Apoiado (RAP), Estação Elevatória (EE), adutora de água tratada e rede de distribuição. Ou seja, um bombeamento sem necessidade de reservatório elevado, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Tipologia de sistema adotada no estudo sem reservatório.



Fonte: Manual Lenhs

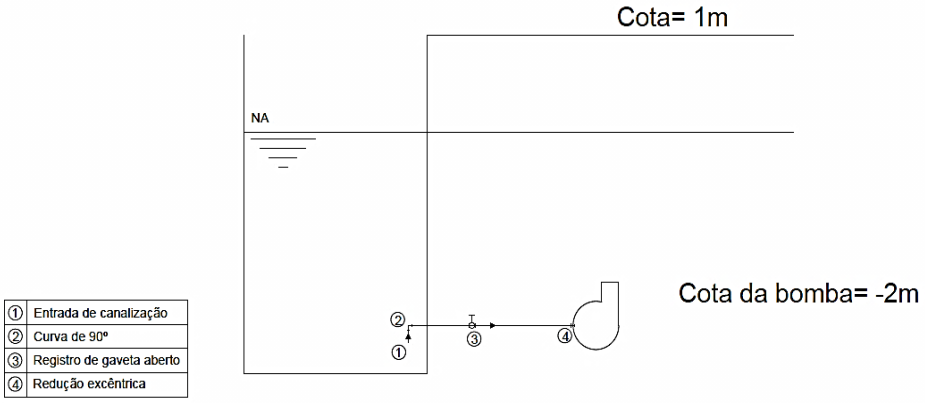
No primeiro cenário, a condição operacional é 1+1, isto é, um conjunto motor e bomba (CMB) operando em paralelo com um CMB reserva. No segundo cenário, a condição operacional é 2+1, sendo dois CMBs operando em paralelo com um reserva. Já no terceiro cenário, a condição operacional é 3+1, com três CMBs operando em paralelo com um CMB reserva.

5.2.1 Sistema de Sucção

A configuração geométrica da sucção foi a mesma para os CMBs de todos os cenários, e em ambas as tipologias, isto porque as tubulações de sucção não são interligadas, como ocorre nas tubulações de recalque. Na Figura 6 pode ser observada a

configuração geométrica do sistema de sucção de cada CMB para todos os cenários estudados.

Figura 6 – Configuração geométrica do sistema de sucção.



Fonte: as autoras (2019)

Na Tabela 3 estão descritas as singularidades presentes no sistema de sucção de todos os cenários. A soma de todos os coeficientes k de perda de carga, assim como comprimento da tubulação de sucção que é de 3 m, foram todos inseridos no modelo computacional.

Tabela 3 – descrição das singularidades e seus respectivos coeficientes k de perda de carga.

Descrição peça	**Quantidade**	**K***	**k total**
Entrada de Canalização	1	0,5	0,5
Curva de 90º	1	0,9	0,9
Registro de Gaveta Aberto	1	0,2	0,2
Redução Excêntrica	1	0,2	0,15
Total	-	-	1,75

Fonte: Azevedo Netto (2015)

A perda de carga hidráulica distribuída foi modelada no EPANET 2.0 pela formula de Darcy-Weisbach (formula universal). Desse modo, além dos valores de k e do comprimento, foi inserida rugosidade absoluta ε de 0, 25 mm, que, de acordo com Netto et al. (1998), é a rugosidade da tubulação de ferro fundido novo.

Como o número de CMBs é crescente do cenário 1 para o cenário 3, no entanto a vazão total de abastecimento é a mesma no momento de cada simulação para os três cenários, relembrando que foram utilizados os mesmos cenários para ambas as vazões, tem-se que a vazão de sucção e de saída de cada da bomba (antes do barrilete), diminui do cenário 1 para o cenário 3. Assim, para que as velocidades não fiquem abaixo do valor recomendado pela NBR 12215-1 de 2017 de 0,3 m/s e 3 m/s, foram adotados

diâmetros distintos de sucção e recalque (antes da tubulação do barrilete) do cenário 1 para o cenário 3.

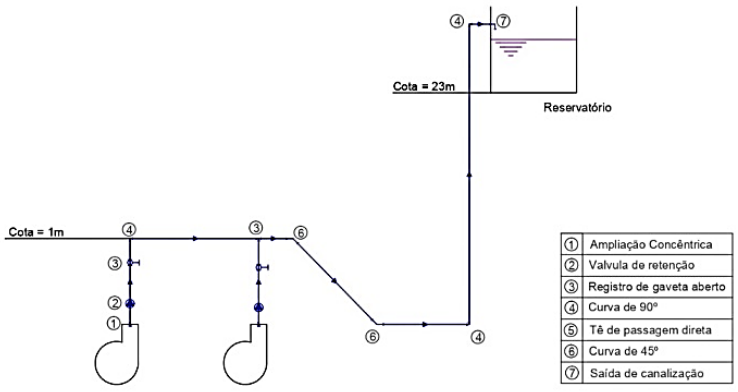
5.2.2 Sistema de Recalque

Para a tubulação de recalque, o comprimento utilizado foi de 35 m, e como os CMBs estão interligados em paralelo, para cada cenário em que se adiciona um CMB, tem-se o incremento de uma singularidade (Tê de passagem direta), e com isso, a soma dos coeficientes k de perda de carga será maior. Da mesma forma, como citado anteriormente, o diâmetro das tubulações de sucção e da saída da bomba antes da tubulação do barrilete também mudam. Assim, para cada cenário, a condição hidráulica é diferente, com uma abordagem individual para cada um dos cenários. Para o recalque o que irá diferenciar de uma tipologia para outra é o reservatório.

5.2.2.1 Cenário 1

Para este cenário, foi realizada apenas com um CMB abastecendo o sistema e outro CMB de reserva, para o caso de manutenções necessárias (condição operacional 1+1). As características geométricas do sistema de bombeamento com reservatório para o cenário 1 podem ser observadas na Figura 7.

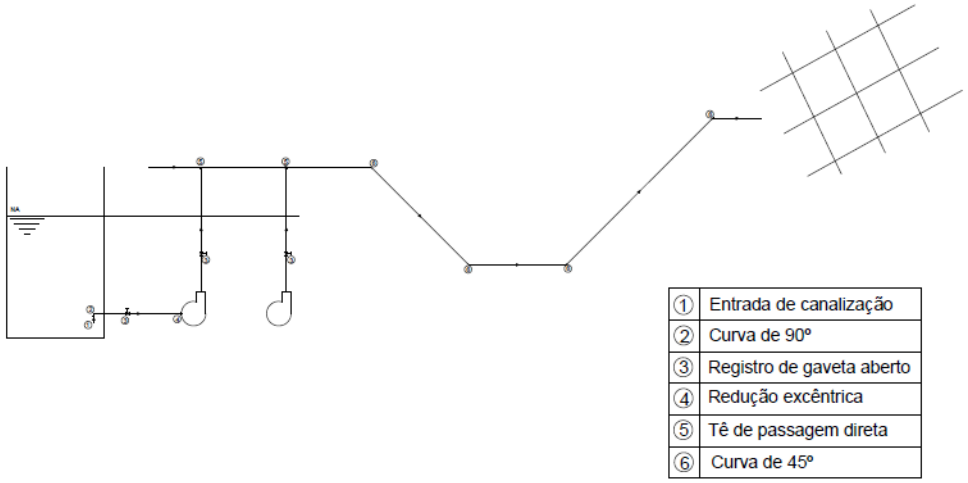
Figura 7 – Cenário 1 para o sistema de bombeamento para a tipologia 1 (sistema 1+1).



Fonte: as autoras (2019)

As características geométricas do sistema de bombeamento sem reservatório para o cenário 1 podem ser observadas na Figura 8.

Figura 8 – Cenário 1 para o sistema bombeamento para a tipologia 4 (sistema 1+1).



Fonte: as autoras (2019)

Para este cenário, ambas tipologias possuem basicamente as mesmas características no seu recalque, devido a isto, as singularidades também serão as mesmas. Então na Tabela 4 podem ser observadas as singularidades existentes no sistema de recalque do Cenário 1.

Tabela 4 – Singularidades do sistema de recalque no cenário 1.

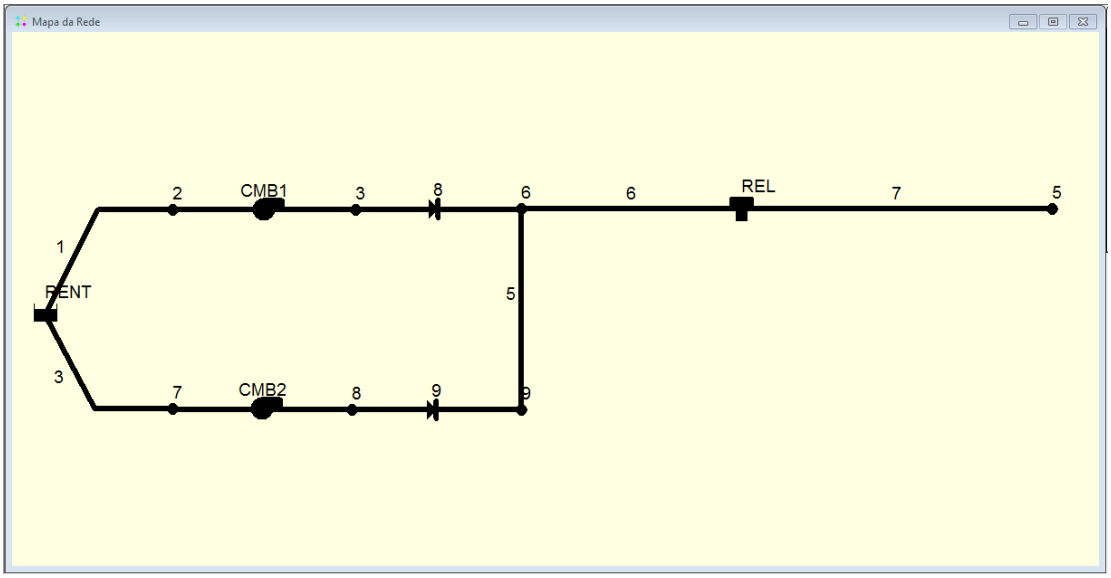
Descrição peça	**Quantidade**	**k**	**k total**
Ampliação Concêntrica	1	0,3	0,3
Válvula de Retenção	1	2,5	2,5
Registro de Gaveta Aberto	1	0,2	0,2
Curva de 90º	3	0,4	1,2
Tê de passagem direta	1	0,6	0,6
Curva de 45º	2	0,2	0,4
Saída de Canalização	1	1,0	1,0
Total	-	-	6,2

Fonte: Azevedo Netto (2015)

Os diâmetros internos da tubulação de ferro fundido (possuem rugosidade ε de 0,25 mm) na tubulação de sucção e de recalque, foram de 480 mm e 532mm, para a vazão de 312,0044 L/s respectivamente. Para a vazão de 702,8 L/s, foram utilizados os diâmetros de 738 mm para sucção e 842 mm para o recalque respectivamente. Esses valores de diâmetros são comerciais para tubulação de ferro fundido, fabricada pela empresa Saint Gobain Canalizações.

Com as informações mostradas na Figura 6, Tabela 3, Tabela 4 e Figura 7 foi possível modelar o sistema de bombeamento para o cenário 1, conforme a tipologia 1, com reservatório, no EPANET 2.0 (Figura 9).

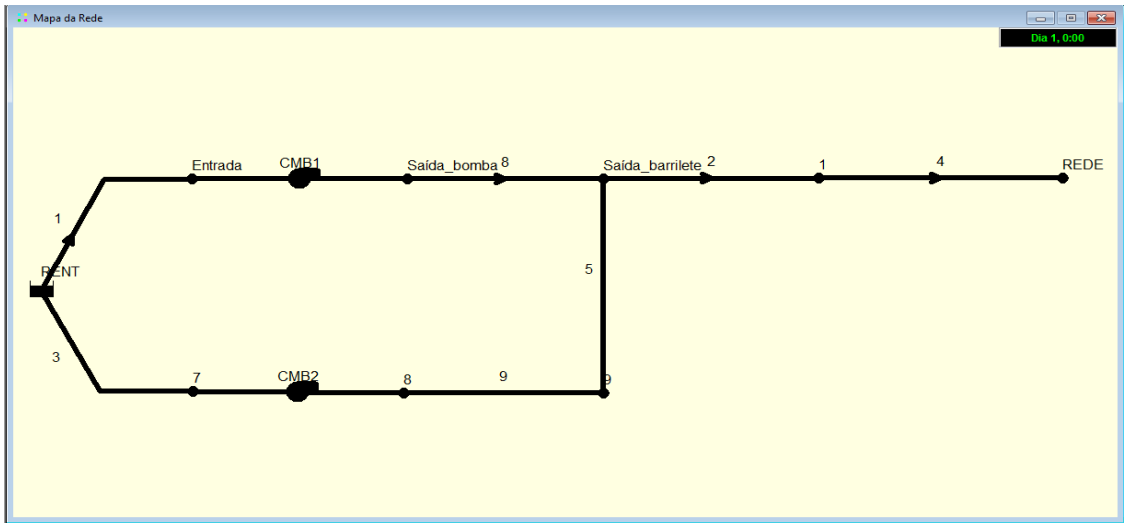
Figura 9 – Modelo hidráulico para o cenário 1 no EPANET 2.0 para a tipologia 1.



Fonte: Software EPANET 2.0

Também conforme as informações mostradas na Tabela 6, Tabela 3, Tabela 4 e Figura 8 foi possível modelar o sistema de bombeamento para o cenário 1, conforme a tipologia 4, sem reservatório, no EPANET 2.0 (Figura 10).

Figura 10 – Modelo hidráulico para o cenário 1 no EPANET 2.0 para a tipologia 4.



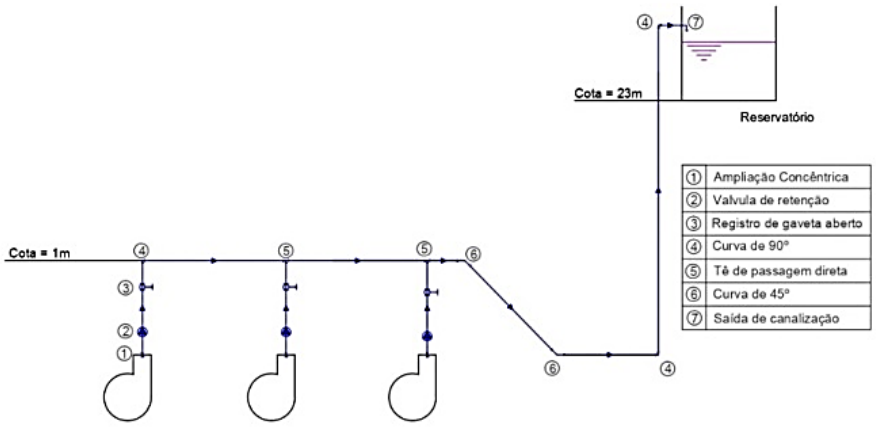
Fonte: Software EPANET 2.0

Após a modelagem de ambas tipologias inseriu-se todos os dados necessários para fazer as devidas simulações conforme o que se pretendia neste estudo.

5.2.2.2 Cenário 2

Para este cenário, foi realizada a simulação com dois CMBs em paralelo abastecendo o sistema e outro de reserva, para o caso de manutenções necessárias nos dois primeiros operantes (condição operacional 2+1). As características geométricas do sistema de bombeamento com reservatório para o cenário 2 podem ser observadas na Figura 11.

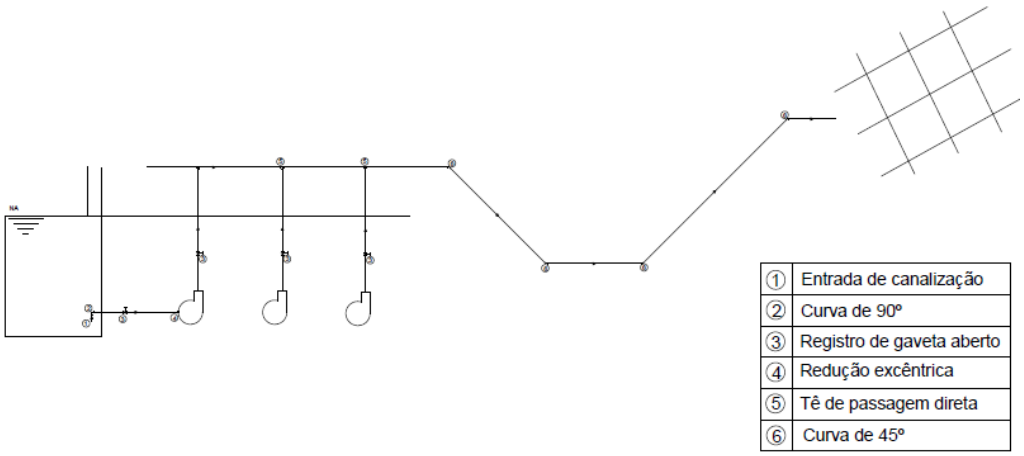
Figura 11 – Cenário 2 para o sistema de bombeamento para a tipologia 1 (sistema 2+1).



Fonte: as autoras (2019)

Já as características geométricas do sistema de bombeamento para a tipologia 4 para o cenário 2 podem ser observadas na Figura 12.

Figura 12 – Cenário 2 para o sistema de bombeamento sem reservatório (sistema 2+1).



Fonte: as autoras (2019)

Para este também foi utilizado em suas concepções o mesmo recalque para ambas as tipologias e com isto as mesmas possuem singularidades iguais. Na Tabela 5 ser observadas as singularidades existentes no sistema de recalque do Cenário 2 que serão utilizadas.

Tabela 5 – Singularidades do sistema de recalque no cenário 2.

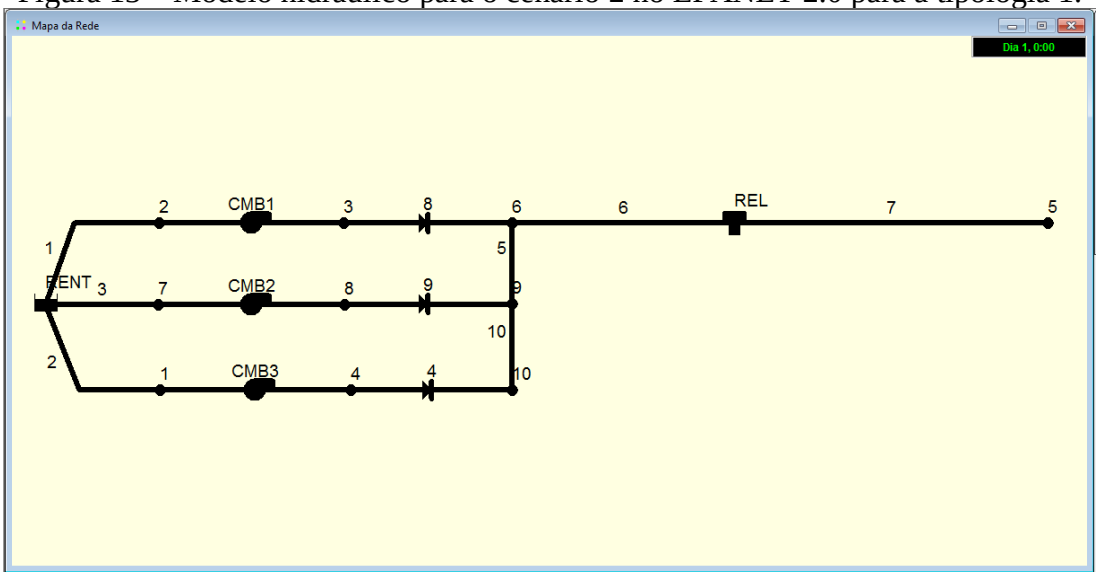
Descrição peça	**Quantidade**	**k**	**k total**
Ampliação Concêntrica	1	0,3	0,3
Válvula de Retenção	1	2,5	2,5
Registro de Gaveta Aberto	1	0,2	0,2
Curva de 90º	3	0,4	1,2
Tê de passagem direta	2	0,6	1,2
Curva de 45º	2	0,2	0,4
Saída de Canalização	1	1,0	1,0
Total	-	-	6,8

Fonte: Azevedo Netto (2015)

Os diâmetros internos da tubulação de ferro fundido (ε de 0, 25 mm) na saída das bombas, nas tubulações do barrilete e tubulação de recalque, para a vazão de 702,8 L/s foram de 532 mm, 738 mm e 842 mm respectivamente. Para a vazão de 312,0042 L/s na saída das bombas, nas tubulações do barrilete e tubulação de recalque foi utilizado um diâmetro de 532 mm. Todos os valores são comerciais para tubulação de ferro fundido, fabricada pela empresa Saint Gobain Canalizações.

Com as informações mostradas Figura 6 e Tabela 3, Tabela 5 e Figura 11, foi possível modelar o sistema de bombeamento para o cenário 2, conforme a tipologia 1, com reservatório, no EPANET, este podendo ser observado na Figura 13.

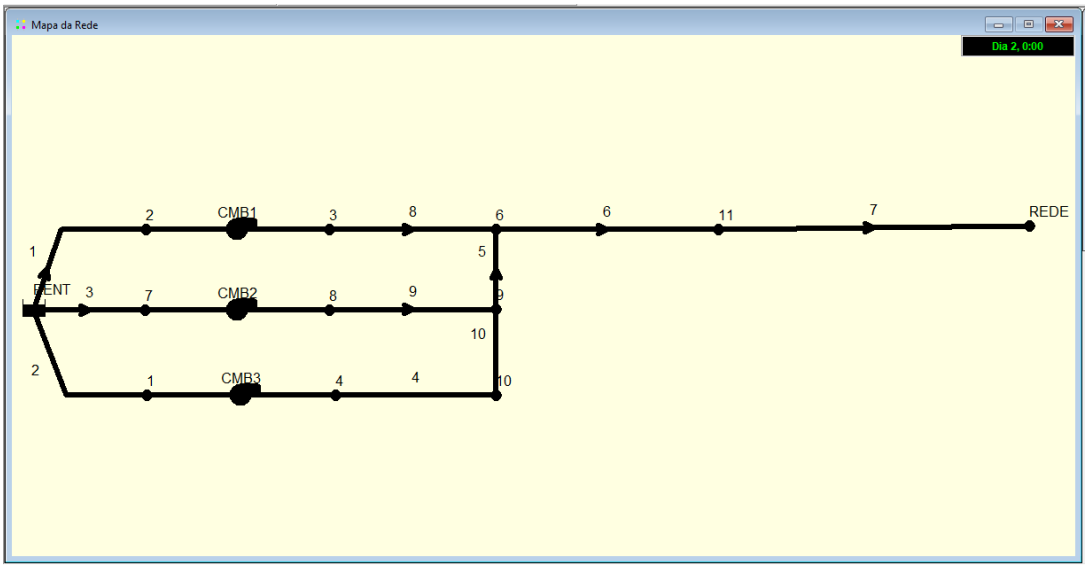
Figura 13 – Modelo hidráulico para o cenário 2 no EPANET 2.0 para a tipologia 1.



Fonte: Software EPANET 2.0

De acordo com as informações mostradas Figura 6 e Tabela 3, Tabela 5 e Figura 12, foi possível modelar o sistema de bombeamento para o cenário 2, conforme a tipologia 4, sem reservatório, no EPANET, este podendo ser observado na Figura 14.

Figura 14 – Modelo hidráulico para o cenário 2 no EPANET 2.0 para a tipologia 4.

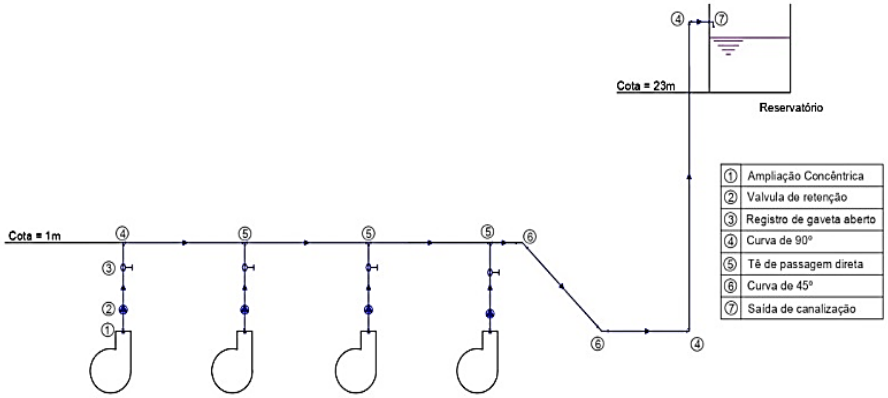


Fonte: Software EPANET 2.0

5.2.2.3 Cenário 3

Para este cenário, tem-se a realização da simulação com três CMBs, estes em paralelo, funcionando ao longo das 24 horas e um CMB reserva, visando ser necessária sua utilização caso os três primeiros estejam inoperantes devido algum problema ou manutenção. As características geométricas do sistema de bombeamento para o cenário 3 conforme a tipologia 1(condição operacional 3+1) pode ser observado na Figura 15.

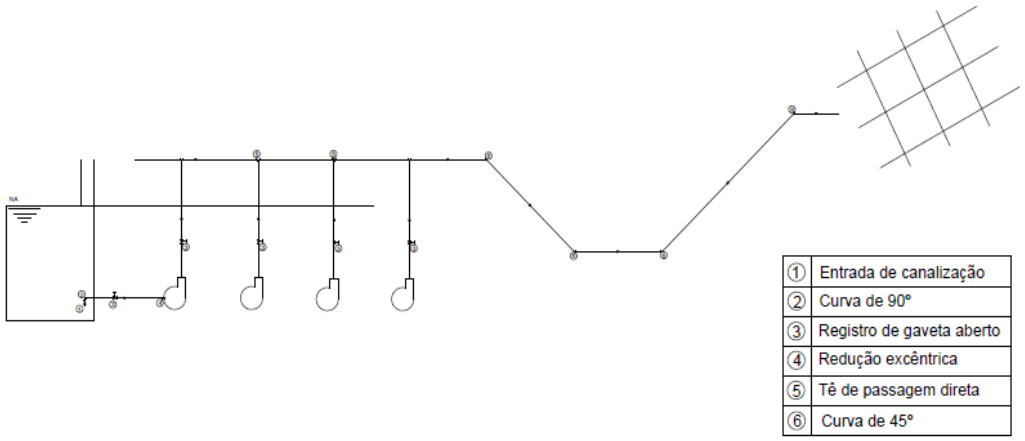
Figura 15 – Cenário 3 para o sistema de bombeamento conforme a tipologia 1 (sistema 3+1)



Fonte: as autoras (2019)

Já as características geométricas do sistema de bombeamento sem reservatório para o cenário 2 podem ser observadas na Figura 16.

Figura 16 – Cenário 3 para o sistema de bombeamento conforme a tipologia 4 (sistema 3+1)



Fonte: as autoras (2019)

Assim como para os cenários anteriores neste também foi feita a mesma concepção de recalque com as mesmas singularidades para ambas as tipologias. Na Tabela 6 podem ser observadas as singularidades do sistema de bombeamento para o Cenário 3 conforme a tipologia 1 e 4.

Tabela 6 – Singularidades do sistema de recalque no cenário 3.

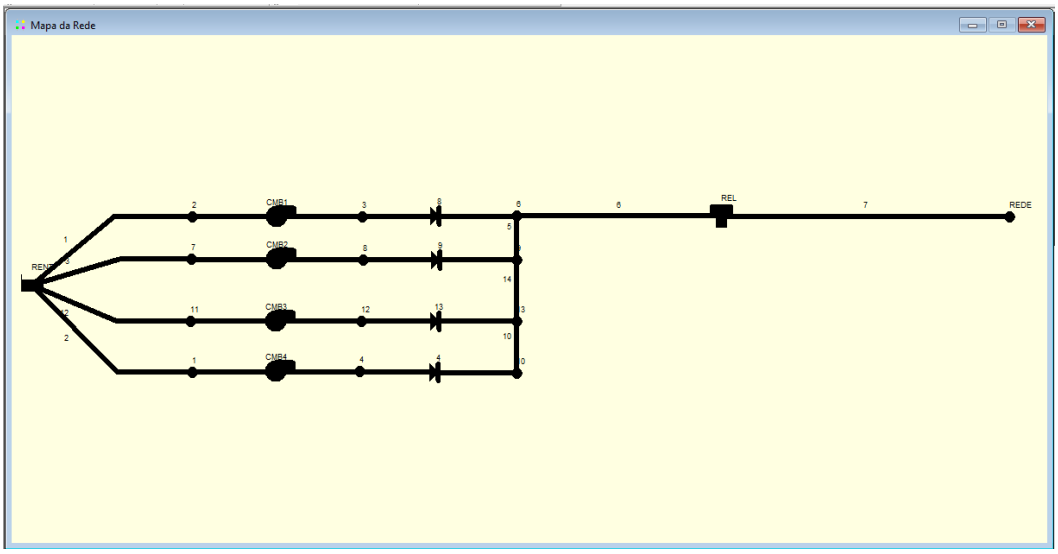
Descrição peça	**Quantidade**	**k**	**k total**
Ampliação Concêntrica	1	0,3	0,3
Válvula de Retenção	1	2,5	2,5
Registro de Gaveta Aberto	1	0,2	0,2
Curva de 90º	3	0,4	1,2
Tê de passagem direta	3	0,6	1,8
Curva de 45º	2	0,2	0,4
Saída de Canalização	1	1,0	1,0
Total	-	-	7,4

Fonte: Azevedo Netto (2015)

Os diâmetros internos das tubulações de ferro fundido (ε de 0, 25 mm) na saída da bomba foi de 480mm e na tubulação do barrilete e tubulação de recalque foram de 532 mm para ambas, para a vazão de 702,8 L/s foram de 480 mm, 635 mm, 842 mm, respectivamente. Tais valores são comerciais para as para tubulação de ferro fundido, fabricada pela empresa Saint Gobain Canalizações.

A partir das informações mostradas na Figura 6 e Tabela 3, Tabela 6 e Figura 15, foi possível modelar o sistema de bombeamento para o cenário 3, conforme a tipologia 1, com reservatório, no EPANET, este podendo ser observado na Figura 17.

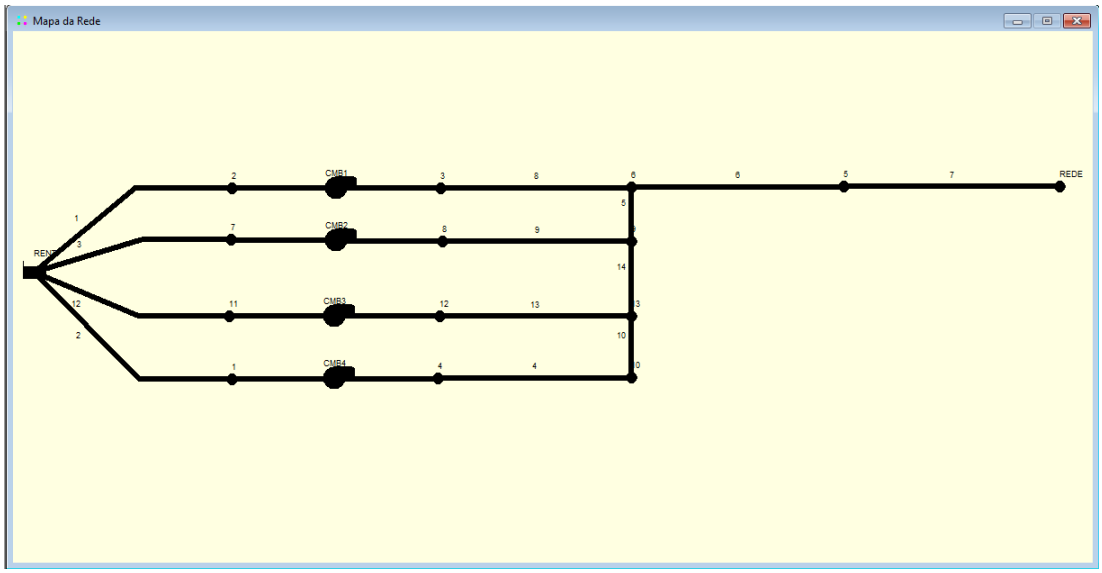
Figura 17 – Modelo hidráulico para o cenário 3 no EPANET 2.0 conforme a tipologia 1.



Fonte: Software EPANET 2.0

De posse das informações mostradas na Figura 6 e Tabela 3, Tabela 6 e Figura 16, foi possível modelar o sistema de bombeamento para o cenário 3, conforme a tipologia 4, sem reservatório, no EPANET, este podendo ser observado na Figura 18.

Figura 18 – Modelo hidráulico para o cenário 3 no EPANET 2.0 conforme a tipologia 4.



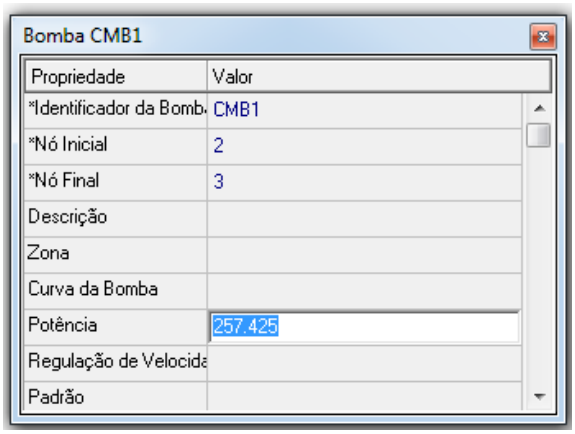
Fonte: Software EPANET 2.0

A partir destas concepções inseriu-se no programa os dados necessários para que posteriormente pudessem ser feitas as simulações e analises pertinentes, conforme o objetivo deste.

5.2.3 CMBs

Para representar os CMBs foram atribuídas, de modo interativo, as potências em kW aos de cada cenário, com rendimento médio de 75%. As potências selecionadas para os CMB foram aquelas que conseguiram suprir a rede de abastecimento de água, sem que o simulador gerasse algum tipo de advertência sobre pressões negativas na rede de distribuição. Na Figura 19 pode ser observado o editor de propriedades do CMB do EPANET 2.0.

Figura 19 – Editor de propriedades da bomba (CMB).



Fonte: Software EPANET 2.0

Primeiro analisou-se a potência dos CMBs de forma distintas, para as duas vazões explanadas anteriormente, buscando verificar a influência do consumo na demanda exigida por cada CMB e conforme cada cenário para melhor economia de energia elétrica.

Realizou-se a comparação utilizando a tipologia 1, com o bombeamento de 24 horas para os três cenários e para as duas vazões, inserindo através do método interativo somente as potências comerciais.

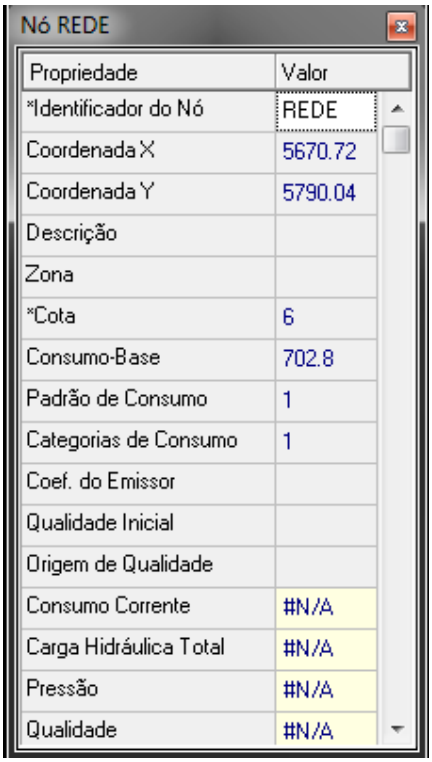
Em seguida, para a tipologia 4, sem reservatório elevado, realizou-se também uma verificação das potências, neste caso potências mínimas e comerciais que os CMBs necessitam para atender a demanda da rede com vazão, velocidade e pressão adequadas, com ambas vazões e para os referidos cenários, buscando com isso fazer um comparativo também da influência do consumo na demanda das potências, haja vista que também foram realizados os testes para as duas vazões, mas, principalmente, o

comparativo em relação à economia de energia elétrica caso pudessem ser utilizados CMBs com as potências mínimas que as redes necessitam.

5.2.4 Rede de distribuição

A modelagem da rede de distribuição foi realizada por meio de um único ponto de consumo, que dentro do EPANET 2.0 é chamado de nó. Neste caso, isto ocorreu devido o foco da pesquisa ser influência do consumo na escolha dos CMBs e no custo com energia elétrica do sistema, para a simulação operacional dos cenários apresentados e não uma análise e modelagem da rede de distribuição em si. Na Figura 20 pode ser observado o editor de propriedades de um nó no EPANET 2.0.

Figura 20 – Editor de propriedades do nó (REDE).



Fonte: Software EPANET 2.0

5.3 Etapa 3 – Determinação da curva de consumo de água para a modelagem do Reservatório Elevado (REL) e a definição do padrão de Energia Elétrica.

A determinação do perfil (variação) da Vazão (Q) de consumo horário de água (curva de consumo) na rede é importante para que se possa realizar uma simulação dinâmica dos três cenários do sistema no EPANET 2.0. Na simulação dinâmica, é possível observar a variação do consumo de água na rede a cada hora ao longo do dia.

Devido não haver disponibilidade de curva de consumo de água na saída dos reservatórios que abastecem o município de Tucuruí, foram pesquisadas curvas de consumo reais. De acordo com Tsutiya (2006) quando não há disponibilidade da curva de consumo do local para o qual se está projetando o sistema, pode ser utilizada a curva de consumo de outra localidade que tenha características semelhantes. Essas características são: clima, economia e cultura.

Assim, foram utilizadas 11 curvas de consumo adimensionalizadas de setores de abastecimento de água localizados em vários lugares do Brasil, estas foram encontradas por Silva (2003), em seu estudo denominado Previsão multivariada da demanda horária de água em sistemas Urbanos de abastecimento e por Kuritza (2017), em seu estudo relacionados à eficiência energética e hidráulica no saneamento. As curvas utilizadas foram das localidades conforme o observado na Tabela 7.

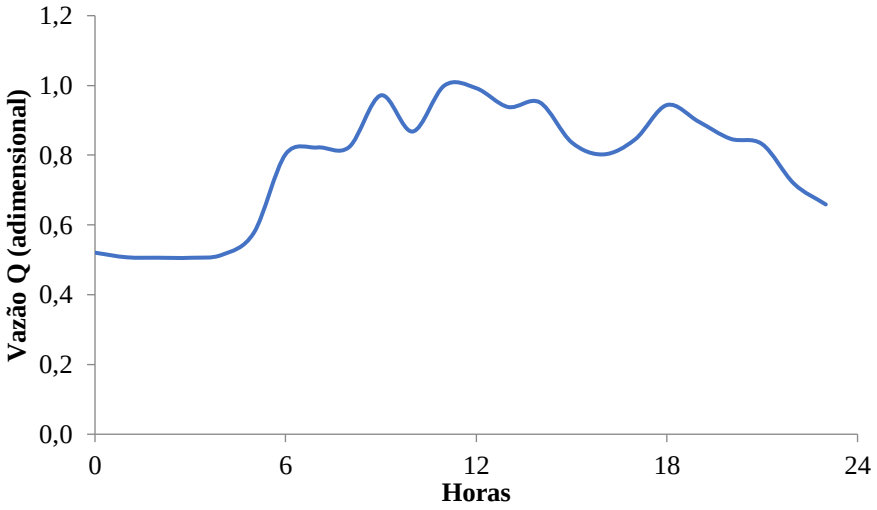
Tabela 7 – Curvas de consumo utilizadas nas simulações.

CURVA	**LOCALIDADE**
1*	Reservatório Guanabara – Ananindeua PA
2*	Reservatório DMAE – Porto Alegre
3**	Reservatório Edu Chaves – Região Metropolitana de SP
4**	Reservatório Cangaíba – Região Metropolitana de SP
5**	Reservatório Jaçanã – Região Metropolitana de SP
6*	Reservatório campus do Vale UFRGS
7**	Reservatório campus UFPA – Belém PA
8*	Reservatório da Penha – Região Metropolitana de SP
9*	Reservatório Matarazzo – Região Metropolitana de SP
10*	Reservatório Gopoúva – Região Metropolitana de SP
11*	Reservatório Jardim Popular – Região Metropolitana de SP

* Retirada de KURITZA (2017).
** Retirada de SILVA, C. S. da. (2003).
Fonte: as autoras (2019).

Como um exemplo do que foi feito para todas as 11 curvas, está a do município de Ananindeua – PA. Essa curva foi utilizada por Kuritza (2017) em seu estudo e pode ser observada na Figura 21.

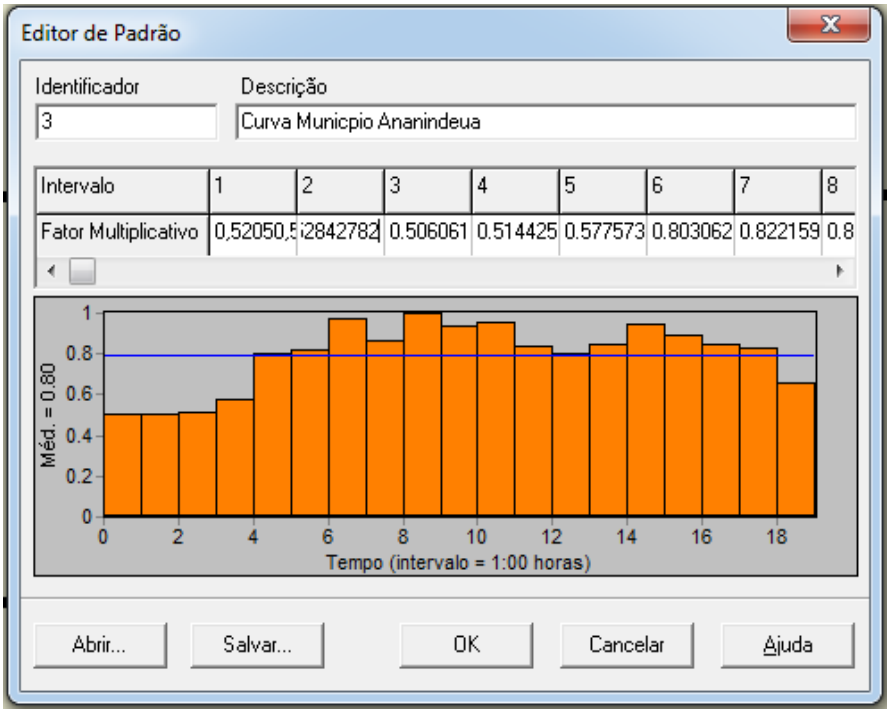
Figura 21 – Curva adimensional de consumo de água do município de Ananindeua – PA.



Fonte: Kuritza (2017).

A curva adimensional do município de Ananindeua, para ser reconhecida com curva de variação do consumo de água no EPANET 2.0, deve ser inserida como um padrão temporal. Dessa forma, na Figura 22 podem ser observados os valores adimensionais inseridos no editor de padrão temporal do EPANET 2.0.

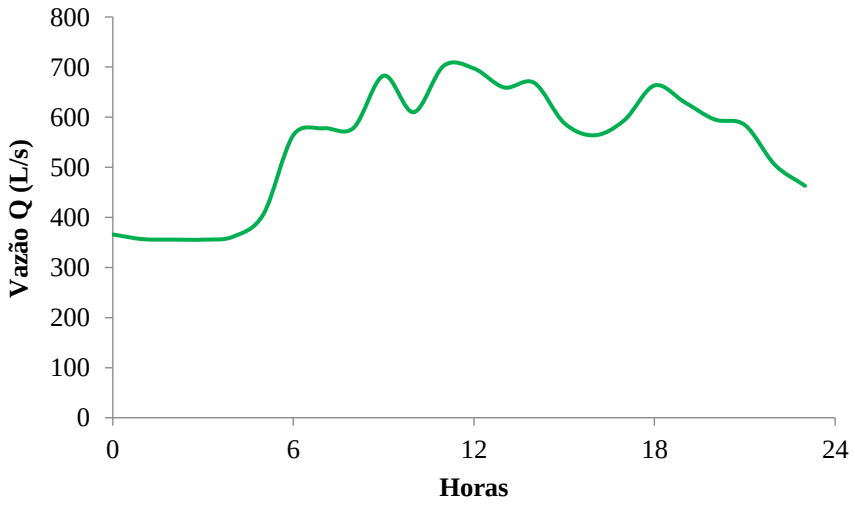
Figura 22 – Inserção dos valores adimensionais da curva de consumo do Município de Ananindeua no editor de padrão do EPANET.



Fonte: Software EPANET 2.0

Após a criação do padrão temporal, o EPANET 2.0 irá multiplicar o valor da vazão por cada um dos 24 valores adimensionais inseridos no editor padrão, e irá gerar o perfil de variação de consumo, como pode ser observado na Figura 23 para a vazão de 702,8 L/s.

Figura 23 – Curva de consumo de água simulada no EPANET 2.0.

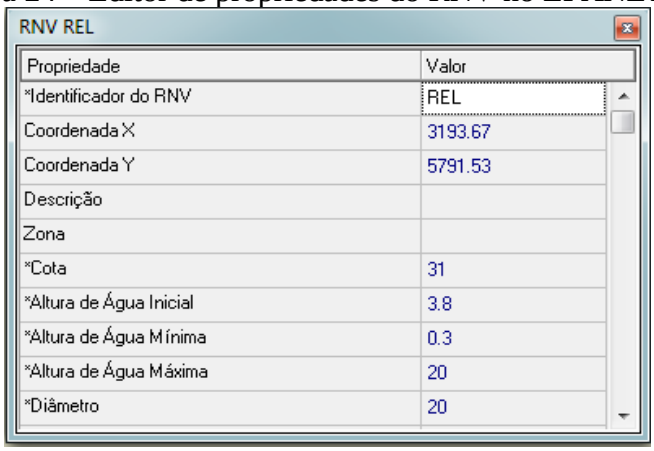


Fonte: Kuritza (2017).

5.3.1 Reservatório Elevado

Para a tipologia 1, foi necessário um reservatório elevado e o volume do mesmo foi realizado através do método interativo no próprio programa, até que o mesmo pudesse realizar as simulações sem advertências. Foi inserido nas propriedades do Reservatório de Nível Variado (RNV) do EPANET 2.0 um diâmetro de 20 metros e altura de água também de 20 metros para o reservatório elevado, conforme pode ser observado na Figura 24, totalizando um volume útil de 6.283,18 m³.

Figura 24 – Editor de propriedades do RNV no EPANET 2.0.



Fonte: Software EPANET 2.0

5.3.2 Tarifas de Energia Elétrica

Foram utilizadas a tarifa verde da CELPA/PA vigentes até 06 de agosto de 2019. Os valores para a tarifa verde podem ser observados na Tabela 8.

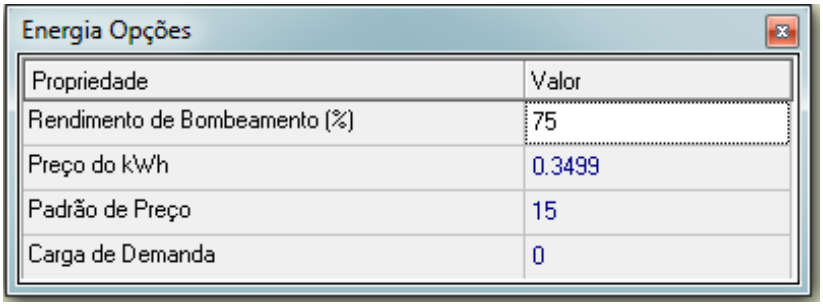
Tabela 8 – Custo da energia elétrica na modalidade tarifária verde.

MODALIDADE TARIFÁRIA VERDE Consumidores A3a (30 a 44 kV) e A4 (2,3 a 25 kV)		
Demanda	D (kW)	R$ 25,29000
Consumo Ponta	C (kWh)	R$ 2,54902
Consumo Fora Ponta	C (kWh)	R$0,3499

Fonte: Companhia Elétrica do Estado do Pará (2018).

O horário de ponta utilizado para a simulação no EPANET 2.0 foi das 18:00 horas às 20:59 horas. A inserção dos preços das tarifas de energia elétrica no EPANET 2.0 é feita no menu "opções de energia", onde foram inseridos os preços da tarifa verde (Figura 25) para a primeira rodada de simulações com vazão de 702,8 L/s com os três cenários, e posteriormente, a vazão de 312,0 L/s na segunda rodada de simulações.

Figura 25 – Inserindo o preço do kWh no horário fora de ponta para a tarifa verde na aba de opções de energia do EPANET 2.0.



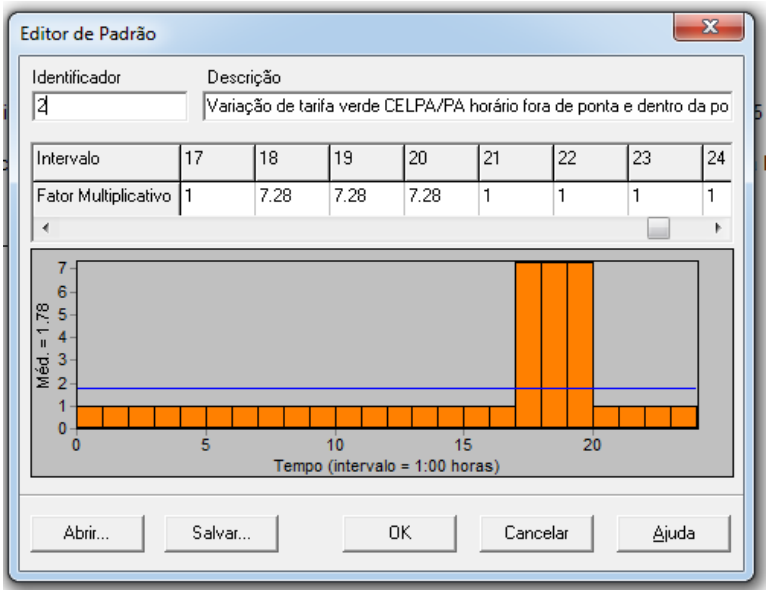
Fonte: Software EPANET 2.0

Como pode ser observado na Tabela 8, por exemplo, no horário de ponta, que nesta pesquisa vai das 18:00 horas às 20:59 horas, há um aumento significativo no custo da energia elétrica. Para a tarifa verde, este aumento é de 7,28 vezes o valor da tarifa no horário fora de ponta (R$2,54902/ R$0,3499=7,28).

Para que essa variação do preço da tarifa de energia elétrica ao longo do dia pudesse ser considerada pelo EPANET 2.0, esta foi inserida na forma de um padrão temporal, da seguinte forma: de 01:00 hora até as 18:00 horas, inserido um o fator multiplicativo 1 em cada um dos intervalos de 1 hora do padrão temporal. Das 18:00 horas às 20:00 horas, foi inserido o valor de 7,28 como fator multiplicativo, indicando o significativo aumento do preço da tarifa no horário fora de ponta (R$0,3499) para R$

2,54902 no horário de ponta. Posteriormente, das 21:00 horas às 24:00 horas, foi inserido, novamente, o fator multiplicativo 1, encerrando dessa forma, a edição do padrão temporal (Figura 26).

Figura 26 – Edição do padrão temporal no EPANET 2.0 para a variação do preço da energia elétrica ao longo do dia na modalidade tarifária verde.



Fonte: Software EPANET 2.0

6 RESULTADOS

O consumo está diretamente atrelado a vazão demandada pela rede, este é bem variável em todos os locais, o mesmo, por exemplo, é menor a noite e ocorrem alguns picos durante o decorrer do dia, devido as atividades cotidianas comuns da população, entre essas estão os banhos, preparo de alimentos e lavagem de roupas. Além destes fatores, também podem afetar no consumo as estações do ano, o clima e a ocorrência de determinados eventos que podem alterar a demanda de água significativamente, conforme (BITTENCOURT, 2014).

Os resultados a seguir são comparações entre vazões distintas, pois para calcular uma foi utilizado o consumo per Capita do estado do Pará e para a outra utilizado o consumo efetivo per Capita de Tucuruí, 154,19 L/s e 347,32 L/s, respectivamente.

Vale ressaltar que para o sistema de bombeamento utilizando a tipologia 1 foi analisado somente a potência comercial, para ser realizada a comparação entre a diferença do custo com energia elétrica onde ocorre a tarifação pelo uso da água e onde não existe a mesma, já para o bombeamento utilizando a tipologia 4 foram realizadas as comparações entre as potências comerciais e mínimas.

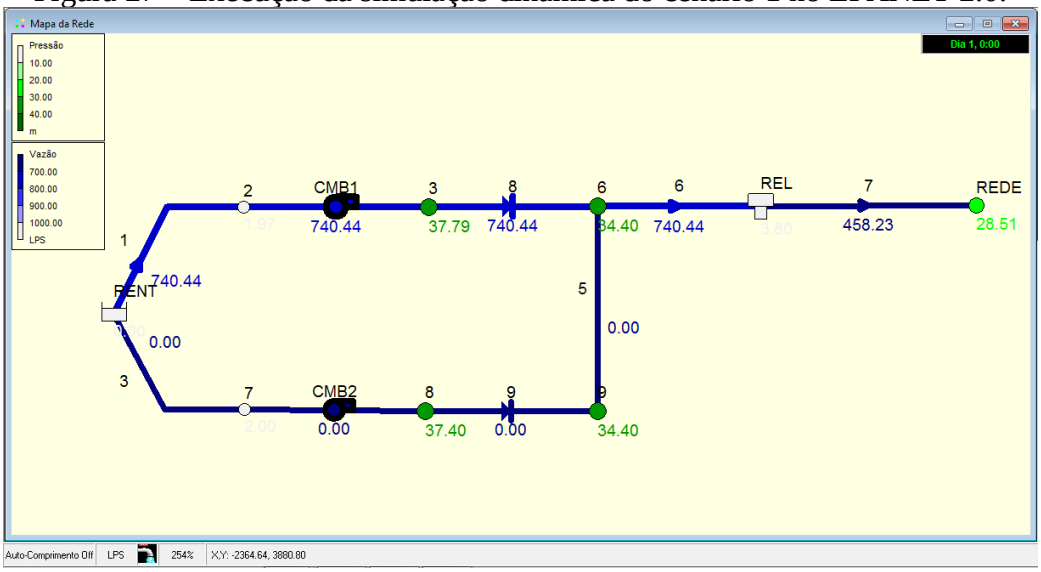
6.1 Análise para o sistema utilizando a Tipologia 1.

Os resultados para o sistema utilizando a tipologia 1 e bombeando 24h, para ambas as vazões, estão descritos nas Figura 28, Figura 30 e Figura 32. Nestes foram analisados a influência direta da falta de tarifação na elevação do consumo de água e energia elétrica.

6.1.1 Cenário 1

Com a simulação realizada para o Cenário 1 (Figura 27), os dados obtidos para cada curva e conforme cada vazão podem ser observados na Figura 28. Em decorrência disto pode-se comparar o comportamento deste cenário no atendimento de consumos distintos.

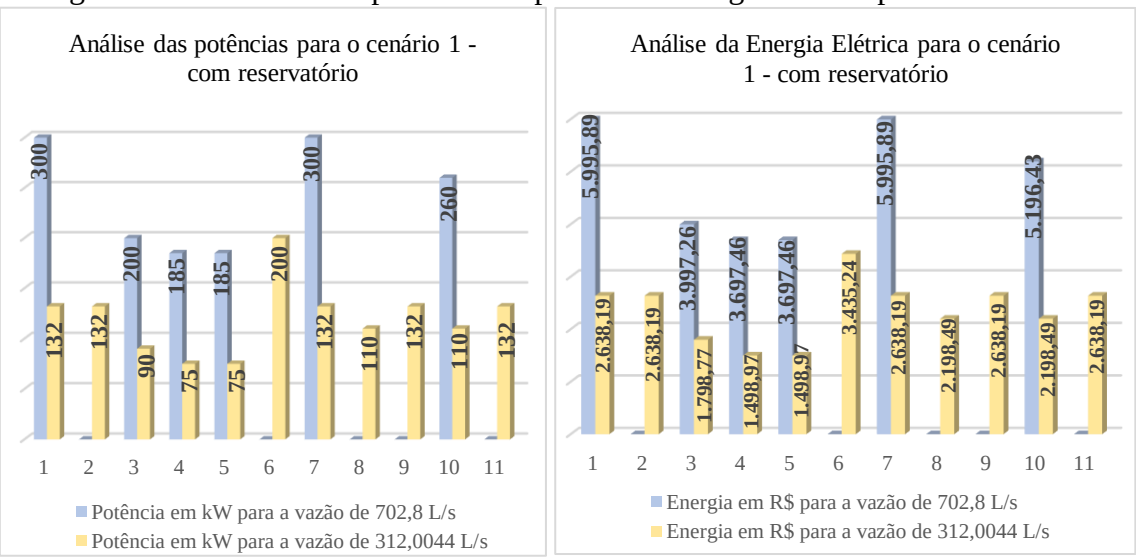
Figura 27 – Execução da simulação dinâmica do cenário 1 no EPANET 2.0.



Fonte: Software EPANET 2.0

Ao analisar a utilização apenas de uma bomba para atender o sistema como um todo, foi possível verificar (Figura 28) que quando há um consumo exacerbado de água, o que ocorre para a vazão de 702,8 L/s, apenas uma bomba pode não ser suficiente para atender a demanda da população, dependendo do comportamento de consumo e isso pode ser observado ao longo dos resultados para as 11 curvas.

Figura 28 – Gráficos comparativos de potência e energia elétrica para o cenário 1.



Fonte: As autoras (2019).

Neste caso as potências necessárias são bem elevadas, pois é utilizado apenas um único CMB, devido a isto pôde-se perceber que para algumas curvas de consumo não foram encontradas potências comerciais suficientes que atendessem as necessidades da rede para a vazão de 702,8 L/s e para que as simulações no EPANET 2.0 não

gerassem advertências, como observado nos gráficos da Figura 28 para as curvas de consumo 2, 6, 8, 9 e 11.

Mesmo utilizando a maior potência comercial encontrada, esta não atendeu a demanda do sistema, fazendo com que houvesse a necessidade de aumentar o diâmetro do reservatório, o que se torna praticamente inviável, haja vista que não se pode ter um reservatório com um volume exorbitante.

Já para a vazão de 312,0 L/s foram encontradas potências comerciais para todas as curvas e estas bem menores do que as identificadas para a outra vazão, e por consequência os valores de energia elétrica são bem distintos.

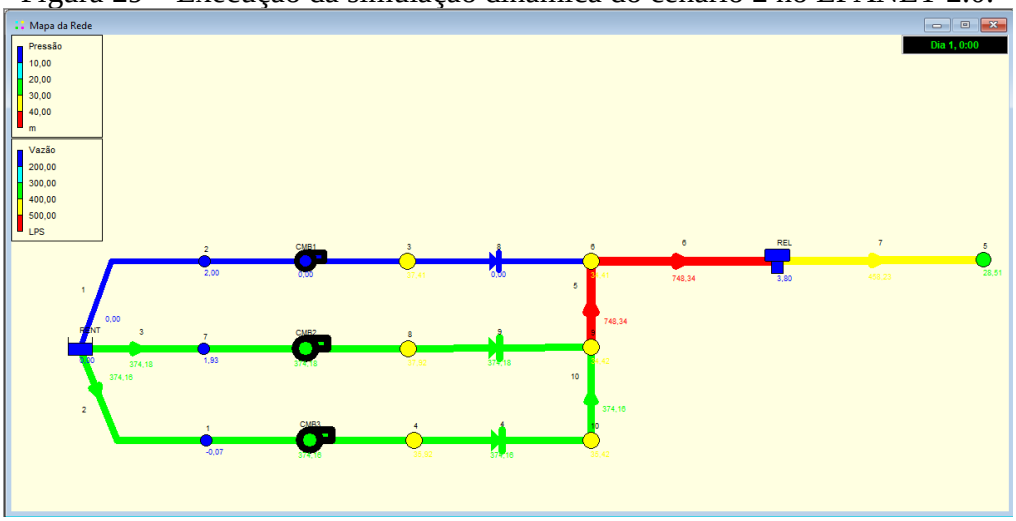
Por exemplo, a curva 7 que para a maior vazão necessita da potência de 300 kW e seu custo diário com energia elétrica é de R$ 5.995,89 e para a menor vazão exige uma potência de 132 kW e seu custo de energia diário é de R$ 2.638,19.

Observando separadamente as curvas, é possível verificar que somente um sistema de bombeamento para uma localidade onde não há o uso da tarifação no abastecimento de água nem sempre será suficiente para atender a demanda da rede, pois, dependendo do consumo, não haverá potência comercial suficiente.

6.1.2 Cenário 2

Com a simulação realizada para o Cenário 2 (Figura 29), os dados obtidos para cada curva e conforme cada vazão podem ser observados na Figura 30. Em decorrência disto pode-se comparar o comportamento deste cenário no atendimento de consumos distintos como o realizado para o cenário anterior.

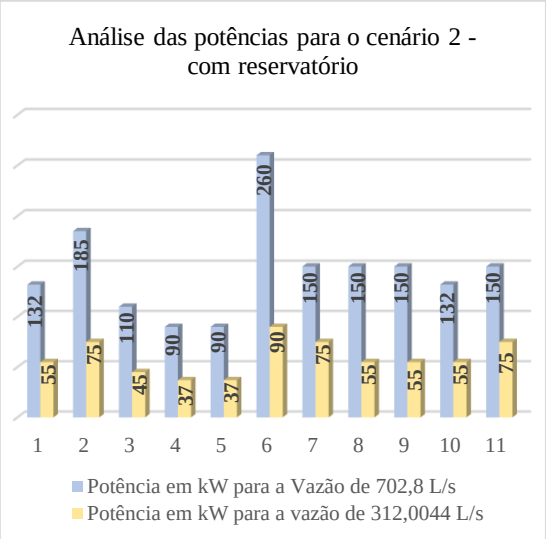
Figura 29 – Execução da simulação dinâmica do cenário 2 no EPANET 2.0.

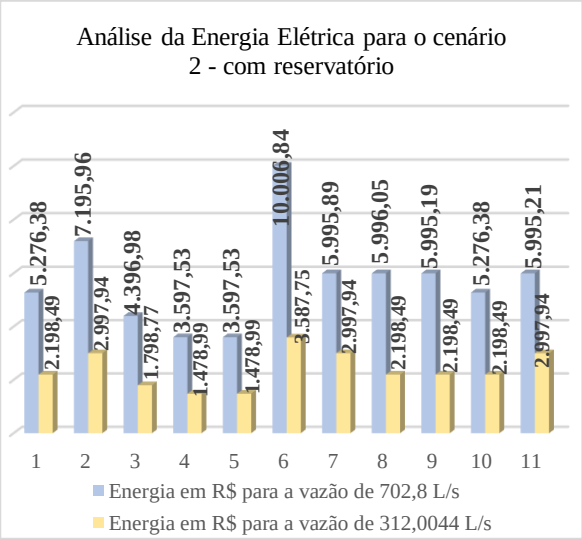


Fonte: Software EPANET 2.0

Também com intuito de verificar a influência do consumo na escolha das potências dos CMBs e na geração de energia elétrica. Verificando a diferença entre os dois cenários mostrado até o momento.

Figura 30 – Gráficos comparativos de potência e energia elétrica para o cenário 2.





Fonte: As autoras (2019).

Este cenário quando comparado ao primeiro se mostrou vantajoso no que diz respeito ao fato do mesmo possuir dois CMBs funcionando em paralelo e com isto possibilitando o atendimento de todas as curvas com potências comerciais que as mesmas demandam, já com relação aos custos com energia elétrica não se mostrou tão vantajoso, devido o mesmo possuir valores mais elevados para algumas curvas, tornando assim o sistema mais oneroso, isto ocorre, quando a potência necessária para o funcionamento de cada um dos dois CMBs ao se somarem acabem ultrapassando a potência requerida no conjunto da mesma curva para o cenário 1.

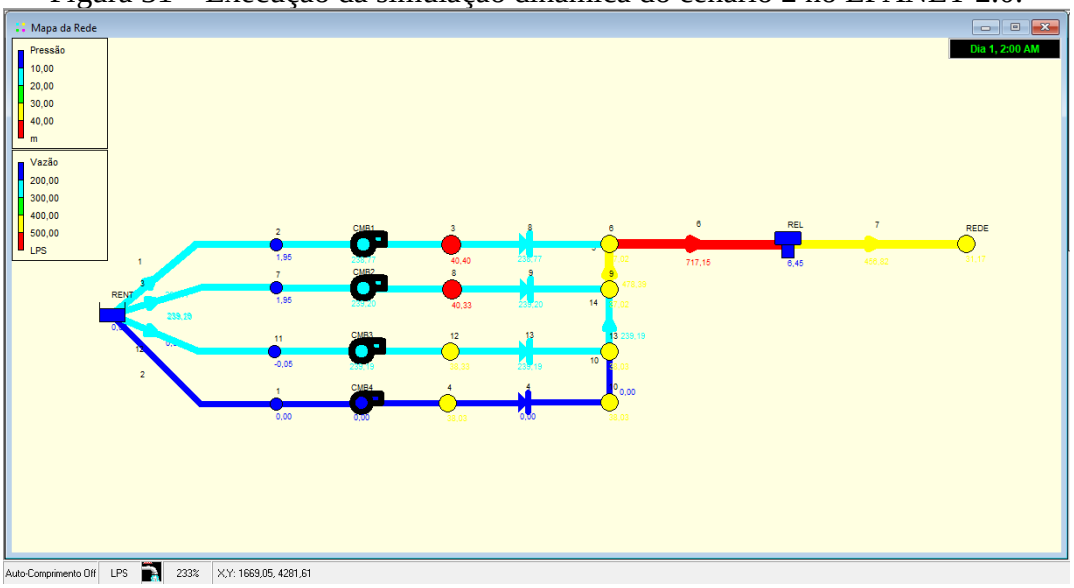
Por exemplo, a curva 3 no primeiro cenário demanda para a vazão de 702,8 L/s uma potência de 200 kW e já para este cenário para a mesma vazão ira exigir a potência de 110 kW em cada CMB, que ao se somarem resultarão em uma total de 220 kW, ou seja, maior do que a demandada pela bomba do cenário 1 e isto justifica o custo de energia elétrica mais acentuado nesta simulação, e assim se repetirá para todos os casos em que a soma das potências dos dois CMBs se contraponham.

6.1.3 Cenário 3

Com a simulação realizada para o Cenário 3 (Figura 31), os dados obtidos para cada curva e conforme cada vazão podem ser observados na Figura 32. Em decorrência

disto pode-se comparar o comportamento deste cenário no atendimento de consumos distintos como o realizado para os cenários anteriores.

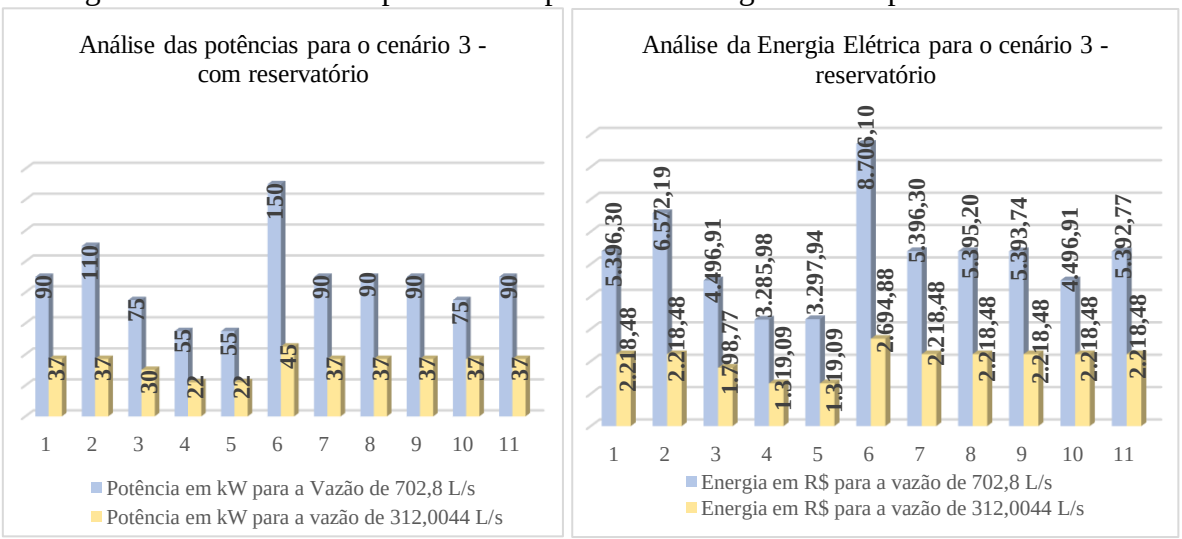
Figura 31 – Execução da simulação dinâmica do cenário 2 no EPANET 2.0.



Fonte: Software EPANET 2.0

Ao analisar este cenário para as duas vazões foi possível verificar que ocorreu o mesmo comportamento em relação ao cenário 2, pois quando há o valor de mesma potência elas somam-se, resultando no igual valor de energia, porém, quando este valor ultrapassa a potência utilizada no cenário 2, o custo de energia torna-se mais elevado.

Figura 32 - Gráficos comparativos de potência e energia elétrica para o cenário 3.



Fonte: As autoras (2019).

Através da comparação entre os três gráficos, foi possível observar que este cenário, apesar de possuir o maior número de CMBs mostrou-se mais eficiente em relação aos fatores analisados.

A diferença entre as potências e valores de energia para as vazões distintas, são visíveis em todos os cenários e para todas as curvas, isto pode se dá pelo fato de que a cidade de Tucuruí não possui cobrança pelo uso da água além de se localizar as margens do Rio Tocantins, o que pode ajudar a contribuir para que a população não tenha uma preocupação com o uso deste bem.

Os próximos resultados estão evidenciando a economia de energia com relação aos três cenários já descritos anteriormente e os mesmos para o bombeamento utilizando a tipologia 4.

6.2 Análise para o sistema utilizando a Tipologia 4

Para Luz et al. (2016), o alto consumo de energia elétrica no bombeamento do SAA, está relacionado aos equipamentos, que são arcaicos e estes muitas vezes não são dimensionados adequadamente. Além deste fator, o aumento da demanda de água resulta em um maior funcionamento dos CMB's para atender a mesma.

Para o referido sistema buscou-se apresentar a diferença entre os custos com energia elétrica, caso fosse possível a utilização das potências mínimas, que são necessárias para o funcionamento adequado dos CMBs ao invés das comerciais que normalmente são encontradas.

Este sistema se difere do primeiro pois, para as mesmas vazões as potências exigidas para o funcionamento dos CMBs são visivelmente inferiores e consequentemente os custos de energia foram menores.

6.2.1 Cenário 1

Para este cenário utilizando a tipologia 4, buscou-se analisar nas Tabela 9 e Tabela 10 a diferença no custo da energia elétrica, devido a utilização das potências comerciais e mínimas. Ao analisar a Tabela 9 é possível verificar que possuem curvas em que as potências mínima e comercial se igualam e por consequência não ocorre diferença entre o custo de energia elétrica.

Tabela 9 – Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 312,0 L/s no cenário 1.

Curva	Potência em kW		Custo de Energia Elétrica/dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / mês	Diferença de custo com Energia Elétrica / ano
Curva 1	Mínima	75	1.498,97	0	0	0
	Comercial	75	1.498,97			
Curva 2	Mínima	97	1.938,67	259,82	7.794,60	93.535,20
	Comercial	110	2.198,49			
Curva 3	Mínima	55	1.099,25	0	0	0
	Comercial	55	1.099,25			
Curva 4	Mínima	55	1.099,25	0	0	0
	Comercial	55	1.099,25			
Curva 5	Mínima	55	1.099,25	0	0	0
	Comercial	55	1.099,25			
Curva 6	Mínima	188	3.757,42	239,84	7.195,20	86.342,40
	Comercial	200	3.997,26			
Curva 7	Mínima	103	2.058,59	139,9	4.197	50.364
	Comercial	110	2.198,49			
Curva 8	Mínima	85	1.698,83	99,94	2.998,20	35.978,40
	Comercial	90	1.798,77			
Curva 9	Mínima	87	1.738,81	59,96	1.798,80	21.585,60
	Comercial	90	1.798,77			
Curva 10	Mínima	64	1.279,12	219,85	6.595,50	79.146
	Comercial	75	1.498,97			
Curva 11	Mínima	96	1.918,68	279,81	8.394,30	100.731,60
	Comercial	110	2.198,49			

Fonte: As autoras (2019).

Feita essa comparação realizou-se uma avaliação dos resultados e constatou-se que no Cenário 1 ocorreu a coincidência das curvas 1, 3, 4 e 5 terem o mesmo valor para suas potências comerciais e mínimas, portanto, não houve diferença entre o custo com energia elétrica.

Já para os cenários em que ocorre a diferença entre as potências comerciais e mínimas, observa-se que há uma desigualdade no custo da energia, sendo esse elevado, podendo ser observado diariamente, mensalmente e anualmente.

Para a vazão de 702,8 L/s foi possível observar que em todas curvas houve uma diferença entre as potências necessárias, estas podendo ser observadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 702,8 L/s no cenário 1.

Curva	Potência em kW		Custo de Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / mês	Diferença de custo com Energia Elétrica / ano
Curva 1	Mínima	158	3.157,83	539,63	16.188,90	194.266,80
	Comercial	185	3.697,46			
Curva 2	Mínima	199	3.977,27	19,99	599,7	7.196,40
	Comercial	200	3.997,26			
Curva 3	Mínima	118	2.358,38	279,81	8.394,30	100.731,60
	Comercial	132	2.638,19			
Curva 4	Mínima	118	2.358,38	279,81	8.394,30	100.731,60
	Comercial	132	2.638,19			
Curva 5	Mínima	118	2.358,38	279,81	8.394,30	100.731,60
	Comercial	132	2.638,19			
Curva 6	Mínima	360	7.195,06	199,87	5.996,10	71.953,20
	Comercial	370	7.394,93			
Curva 7	Mínima	211	4.217,11	779,46	23.383,80	280.605,60
	Comercial	250	4.996,57			
Curva 8	Mínima	177	3.537,57	159,89	4.796,70	57.560,40
	Comercial	185	3.697,46			
Curva 9	Mínima	181	3.617,52	79,94	2.398,20	28.778,40
	Comercial	185	3.697,46			
Curva 10	Mínima	136	2.718,14	279,8	8.394	100.728
	Comercial	150	2.997,94			
Curva 11	Mínima	198	3.957,28	39,98	1.199,40	14.392,80
	Comercial	200	3.997,26			

Fonte: As autoras (2019).

Por exemplo na curva 7 para a vazão de 312,0 L/s teria uma economia de R$ 50.364 anualmente, já para a vazão de 702,8 L/s a economia seria de R$ 280.605,60.

Em comparação, a curva 1, com a menor vazão não foi possível verificar a diferença entre os custos, considerando que não houve alterações entre suas potências, mas, para a maior vazão esta diferença pode chegar a R$ 194.266,80 se pensarmos anualmente.

6.2.2 Cenário 2

Para este cenário utilizando a tipologia 4, buscou-se analisar nas Tabela 11 e Tabela 12 a diferença no custo da energia elétrica, devido a utilização das potências comerciais e mínimas assim como realizado no cenário anterior.

Tabela 11 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 312,0 L/s no cenário 2.

Curva	Potência em kW		Custo de Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia/ dia	Diferença de custo com Energia/ mês	Diferença de custo com Energia/ ano
Curva 1	Mínima	38	1.518,96	279,81	8.394,30	100.731,60
	Comercial	45	1.798,77			
Curva 2	Mínima	49	1.958,66	239,83	7.194,90	86.338,80
	Comercial	55	2.198,49			
Curva 3	Mínima	28	1.119,23	79,95	2.398,50	28.782
	Comercial	30	1.199,18			
Curva 4	Mínima	28	1.119,23	79,95	2.398,50	28.782
	Comercial	30	1.199,18			
Curva 5	Mínima	28	1.119,23	79,95	2.398,50	28.782
	Comercial	30	1.199,18			
Curva 6	Mínima	96	3.837,37	559,61	16.788,30	201.459,60
	Comercial	110	4.396,98			
Curva 7	Mínima	52	2.078,57	119,92	3.597,60	43.171,20
	Comercial	55	2.198,49			
Curva 8	Mínima	43	1.718,82	79,95	2.398,50	28,782
	Comercial	45	1.798,77			
Curva 9	Mínima	44	1.758,79	39,98	1.199,40	14.392,80
	Comercial	45	1.798,77			
Curva 10	Mínima	32	1.279,12	199.87	5.996,10	71.953,20
	Comercial	37	1.478,99			
Curva 11	Mínima	49	1.958,66	239,83	7.194,90	86.338,80
	Comercial	55	2.198,49			

Fonte: As autoras (2019).

Tabela 12 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 702,8 L/s no cenário 2.

Curva	Potência em kW		Custo de Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / mês	Diferença de custo com Energia Elétrica / ano
Curva 1	Mínima	80	3197.81	399.72	11.991,60	143.899,20
	Comercial	90	3597.53			
Curva 2	Mínima	100	3997.26	399.72	11.991,90	143.899,20
	Comercial	110	4396.98			
Curva 3	Mínima	60	2398.35	599.59	17.987.7	215.852,40
	Comercial	75	2997.94			
Curva 4	Mínima	60	2398.35	599.59	17.987.7	215.852,40
	Comercial	75	2997.94			

Curva 5	Mínima	60	2398.35	599.59	17.987.7	215.852,40
	Comercial	75	2997.94			
Curva 6	Mínima	182	7275.01	119.92	3.597,60	43.171,20
	Comercial	185	7394.93			
Curva 7	Mínima	107	4277.07	119.91	3.597,30	43.167.6
	Comercial	110	4396.98			
Curva 8	Mínima	89	3557.56	39.97	1.199,10	14.389,20
	Comercial	90	3597.53			
Curva 9	Mínima	91	3637.50	759.48	22.784,40	273.412,80
	Comercial	110	4396.98			
Curva 10	Mínima	69	2758.11	239.83	7.194,90	86.338,80
	Comercial	75	2997.94			
Curva 11	Mínima	100	3997.26	399.72	11.991,60	143.899,20
	Comercial	110	4396.98			

Fonte: As autoras (2019).

Realizando a análise dos resultados nas presentes tabelas para o cenário 2, verificou-se que para ambas as vazões, as curvas 3, 4 e 5 coincidentemente necessitaram do mesmo valor de potência comercial e mínima, tendo, portanto, a mesma economia de energia. No caso para a vazão de 312,0 L/s a potência mínima de 28 kW e comercial de 30 kW tendo uma economia de R$ 28.782 anualmente. Já para a vazão de 702,8 as potências comercias e mínimas respectivamente são de 75kW e 65 kW, tendo uma economia de R$ 215.852,40 por ano.

Para a vazão de 702,8 L/s na curva 9 a potência mínima necessária foi de 91 kW, mesmo sendo muito próxima da potência de 90 kW não foi possível a sua escolha, sendo assim escolhida a imediatamente superior que foi a de 110 kW e com isso gerando uma diferença anual de R$ 273.412,80.

Ao observar esse cenário pode-se perceber que para as mesmas curvas e somente para as vazões diferentes o custo anual com a diferença entre as potências é muito significativo.

Quando comparado este cenário com o primeiro é possível verificar que quando relacionado os custos com energia elétrica o primeiro se mostrou mais vantajoso tendo em vista que em algumas curvas nem apresentaram diferenças entre as potências e os valores diários, mensais e anuais são bem mais elevados para o cenário 2.

6.2.3 Cenário 3

Para este cenário utilizando a tipologia 4, buscou-se analisar nas Tabela 13 e Tabela 14 a diferença no custo da energia elétrica, devido a utilização das potências comerciais e mínimas assim como realizado nos cenários anteriores.

Tabela 13 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 312,0 L/s no cenário 3.

Curva	Potência em kW		Custo de Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / mês	Diferença de custo com Energia Elétrica / ano
Curva 1	Mínima	24	806,17	201,54	6.046,20	72.554,40
	Comercial	30	1.007,71			
Curva 2	Mínima	30	1.007,71	0	0	0
	Comercial	30	1.007,71			
Curva 3	Mínima	19	638,22	100,77	3.023,10	36.277,20
	Comercial	22	738,99			
Curva 4	Mínima	19	638,22	100,77	3.023,10	36.277,20
	Comercial	22	738,99			
Curva 5	Mínima	19	638,22	100,77	3.023,10	36.277,20
	Comercial	22	738,99			
Curva 6	Mínima	54	1.813,88	33,59	1.007,70	12.092,40
	Comercial	55	1.847,47			
Curva 7	Mínima	32	1.074,89	167,95	5.038,50	60.462
	Comercial	37	1.242,84			
Curva 8	Mínima	27	906,94	100.77	3.023,10	36.277,20
	Comercial	30	1.007,71			
Curva 9	Mínima	27	906,94	100.77	3.023,10	36.277,20
	Comercial	30	1.007,71			
Curva 10	Mínima	21	705,4	33,59	1.007,70	12.092,40
	Comercial	22	738,99			
Curva 11	Mínima	30	1.007,71	0	0	0
	Comercial	30	1.007,71			

Fonte: As autoras (2019).

É possível verificar que para as curvas 2, e 11 não houve diferença entre suas potências e consequentemente não gerando uma diferença entre a energia elétrica. A curva 1 obteve a maior diferença em relação aos custos, quando comparada as outras curvas, gerando anualmente R$ 72.554,40 de diferença.

Tabela 14 - Diferença entre as potências máximas e mínimas e a diferença nos custos com a energia elétrica para a vazão de 702,8 L/s no cenário 3.

Curva	Potência em kW		Custo de Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / dia	Diferença de custo com Energia Elétrica / mês	Diferença de custo com Energia Elétrica / ano
Curva 1	Mínima	63	2.116,20	403,08	12.092,40	145.108,80
	Comercial	75	2.519,28			
Curva 2	Mínima	83	2.788,00	235,14	7.054,20	84.650,40
	Comercial	90	3.023,14			
Curva 3	Mínima	44	1.477,98	33,59	1.007,70	12.092,40
	Comercial	45	1.511,57			
Curva 4	Mínima	44	1.477,98	33,59	1.007,70	12.092,40
	Comercial	45	1.511,57			
Curva 5	Mínima	44	1.477,98	33,59	1.007,70	12.092,40
	Comercial	45	1.511,57			
Curva 6	Mínima	178	5.979,09	235,13	7.053,90	84.646,80
	Comercial	185	6.214,22			
Curva 7	Mínima	90	3.023,14	0	0	0
	Comercial	90	3.023,14			
Curva 8	Mínima	72	2.418,51	100,77	3.023,10	36.277,20
	Comercial	75	2.519,28			
Curva 9	Mínima	74	2.485,69	33,59	1.007,70	12.092,40
	Comercial	75	2.519,28			
Curva 10	Mínima	52	1.746,70	100,77	3.023,10	36.277,20
	Comercial	55	1.847,47			
Curva 11	Mínima	83	2.788,00	235,14	7.054,20	84.650,40
	Comercial	90	3.023,14			

Fonte: As autoras (2019).

A curva 7 não teve diferença entre as potências comerciais e mínimas, assim sendo, também não gerou gastos com essa diferença. Para esta vazão a curva 1 também foi a que mais gerou diferença entre os custos com energia elétrica, sendo anualmente de R$ 145.108,80.

Comparando os cenários simulados é possível verificar que o cenário 3 se mostrou mais econômico, quando comparado os valores de energia elétrica e os valores de potencias mínimas e comercias, para ambas as vazões.

Ao analisar as tabelas é possível verificar que se pudessem ser utilizadas as potências mínimas necessárias para o funcionamento dos CMBs o sistema de abastecimento de água teria uma economia de energia significativa, que poderia ser visível diariamente.

Além disto, a diferença entre as potências e valores de energia são visíveis em todos os casos, atrelando isso ao consumo em decorrência da falta de tarifação pelo uso da água na cidade de Tucuruí, a qual não ocorre uma preocupação com o controle no uso deste bem, isto é notoriamente refletido em um alto custo com a energia elétrica.

O Instituto Democracia e Sustentabilidade (2017) afirma que para o Sistema de abastecimento de água a tarifação é imprescindível, pois é necessário que seja feita a realização da manutenção e da expansão deste sistema e isto se potencializa através da tarifação. A cobrança da tarifa aos usuários busca auxiliar o planejamento e a prática do consumo sustentável, haja vista que levará a população a utilizar este bem de forma consciente.

7 CONCLUSÃO

A partir desde trabalho foi possível a realização de um estudo focado na questão dos gastos energéticos, gerados através dos conjuntos motobomba utilizados em sistemas de abastecimento de água. Além disso, o mesmo também teve um foco na verificação da consequência que a falta de tarifação de água acarreta para o meio.

Neste verificou-se que a cidade de Tucuruí possui um consumo muito maior do que a média do estado do Pará, provocando impactos substanciais nas simulações realizadas. Verificando com isto que se faz necessário o uso da tarifação no abastecimento de água, pois a falta da mesma gera um custo exorbitante com energia elétrica para o sistema e a concessionária não tem o retorno deste investimento.

Além disso, observou-se uma diferença discrepante do consumo de energia nos cenários utilizando a tipologia 4, através do método interativo de mudanças de potências comerciais e mínimas das bombas, o que influenciou diretamente na economia do consumo de energia elétrica no sistema de bombeamento.

De acordo com todas as análises realizadas, o cenário mais adequado para à economia de energia elétrica foi o 3 em ambas as tipologias mas o mesmo se mostrou mais eficiente para isto com a tipologia 4, porém a tipologia mais recomendada é a 1 tendo em vista que caso haja a necessidade de manutenção no sistema de bombeamento o reservatório poderá suprir as necessidades da rede sem interrupção no abastecimento de água.

Verificou-se também que através de análises mais precisas com relação às potências utilizadas em sistemas de bombeamento, por exemplo visando a utilização de inversores de frequência nas bombas, seria possível utilizar as mesmas com a potência mínima necessária para atender a rede de distribuição, ocasionando uma redução significativa no consumo e no valor gasto diariamente, mensalmente e anualmente com energia elétrica.

8 REFERÊNCIAS

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

_____. NBR 12213 – **Projeto de captação água de superfície para abastecimento público** 1992.

_____. NBR 12214 – **Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento**

_____. NBR 12215 - **Projeto de adutora de água Parte 1:** Conduto forçado. 1ª Edição. 2017.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Pró-Água Nacional:** Manual Operativo. Vol II. Brasilia, 2008. 165 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (Brasil) **Por dentro da conta de luz : informação de utilidade pública**. Brasília : ANEEL, 2008

BASTOS, Pedro Abreu. **Seleção de bomba e equipamentos hidráulicos para unidade de jateamento de alta pressão.** Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2014.

BRASIL, **Construção, operação e manutenção de redes de distribuição de água**. Administração – Brasil. 2. Saneamento – Legislação – Brasil. I. Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. II. Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. 2008.

BRASIL, Universidade Federal de Santa Catarina. Disponivel em: <https://grupos.moodle.ufsc.br/>

BRASIL, A.N. **Máquinas termo hidráulicas de fluxo**. Itaúna: Universidade de Itaúna, 2010

ELETROBRAS, Ministério de Minas Energia. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, FUPAI/EFFICIENTIA**. Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

FILHO, Delly Oliveira. RIBEIRO, Marcos C. MANTOVANI, Everardo C. SOARES, Antônio A. FERNANDES, Haroldo C. **DIMENSIONAMENTO DE MOTORES PARA O BOMBEAMENTO DE ÁGUA.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.6, p.1012-1022, nov./dez. 2010

CARVALHO, Daniel Fonseca. SILVA, Leonardo Duarte Batista. **FUNDAMENTOS DE HIDRÁULICA.** Outubro (2006).

FILHO, Donato Silva. **Dimensionamento de Usinas Hidroelétricas através de técnicas de otimização evolutiva.** (São Carlos: USP, 2003), p 10.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de engenharia hidraulica e sanitária**. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 1976, 2ª Ed, 356 p

GOMES, Heber Pimentel **Sistemas de Saneamento – Eficiência Energética** 1ª Edição. 366p. João Pessoa Editora Universitária/UFPB, 2010 1.

GONÇALVES, R.F. **Projeto PROSAB: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Ricardo Franci Gonçalves (Coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352p. 2009. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-deprogramas/prosab/prosab5_tema_5.pdf>

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

KURITZA, Jóice Cristini. **Metodologia para avaliação da eficiência energética de Sistemas De Bombeamento de água com velocidade de rotação variável.** Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia. UFRGS Porto Alegre, 2017.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA HIDRÁULICA E SANEAMENTO. Universidade Federal da Paraíba. Cidade Universitária - João Pessoa – PB, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil) Disponível em: <www.mme.gov.br>

NETTO, A.J.M. et al: **Manual de Hidráulica**. 8ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998.

NETTO, A.J.M. et al: **Manual de Hidráulica**. 9ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2015.

POLESE, E.L. Eficiência energética em sistemas de bombeamento: uso do variador de frequência. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre -RS, 2010.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 519p. **público** 1992.

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**, 2016.

RCICHTER, Carlos Alfredo. **Diâmetros econômicos das canalizações de recalque adaptação e atualização de formulas Koch e Vibert**. Companhia ade saneamento do Paraná Sanepar. Revista DAE, nº 133. 1983.

SILVA, C. S. da. **Previsão multivariada da demanda horária de água em sistemas Urbanos de abastecimento**. Tese apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil Universidade Estadual de Campinas, como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração Recursos Hídricos. UNICAMP Campinas, 2013.

Transversal : **lodo gerado durante o tratamento de água e esgoto :guia do profissional em treinamento : nível 2** / Ministério das Cidades.Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Brasília :Ministério das Cidades, 2008. 90

TSUTYIA, M. T. **Abastecimento de Água**. 2. Ed. São Paulo, 2005.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. São Paulo, 2006, 643 p

WEG. **Catálogo eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul. Disponível em: <http://www.weg.com.br/ >