



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO
DE ÁGUA PARA REDUÇÃO DO CUSTO COM
ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO**

CLAYTON ALEXANDRE PEREIRA

Bauru - São Paulo

2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO
DE ÁGUA PARA REDUÇÃO DO CUSTO COM
ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO**

CLAYTON ALEXANDRE PEREIRA

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB) – UNESP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Andreoli

Bauru - São Paulo

2021

Pereira, Clayton Alexandre.

Otimização de sistemas de abastecimento de água para
redução do custo com energia elétrica: Um estudo de caso.
2021

55 f.

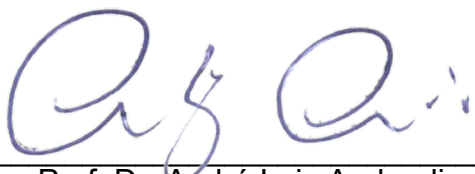
Orientador: Prof. Dr. André Luiz Andreoli

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista.
Faculdade de Engenharia, Bauru, 2021

1. Sistemas de abastecimento de água. 2. Custo com energia
elétrica. 3. Otimização de sistemas de abastecimento. I.
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II.
Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CLAYTON ALEXANDRE PEREIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 29 dias do mês de outubro do ano de 2021, às 08:30 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de CLAYTON ALEXANDRE PEREIRA, intitulada **OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA REDUÇÃO DO CUSTO COM ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. ANDRE LUIZ ANDREOLI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Eletrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. RICARDO AUGUSTO SOUZA FERNANDES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Prof. Dr. ALCEU FERREIRA ALVES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. André Luiz Andreoli

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela saúde e perseverança para evoluir em meu crescimento profissional e acadêmico.

Ao professor Dr. André Luiz Andreoli, pela oportunidade de podermos trabalhar juntos nesta dissertação, me orientando ao longo dos últimos anos.

À minha esposa, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho, companheirismo e dedicação nas atividades que por muitas vezes tive que deixar em segundo plano.

Ao meu filho, pela paciência e compreensão nos momentos em que tive que me ausentar para dedicação ao trabalho.

Aos funcionários da seção de pós-graduação, por todo o atendimento de excelência prestado.

Enfim, agradeço a todos que fizeram parte desta caminhada de alguma forma para conquista deste objetivo.

*“Quando surgirem os obstáculos, mude a sua
direção para alcançar a sua meta, mas
não a decisão de chegar lá.”*

Desconhecido

RESUMO

Devido ao alto custo atual e constantes aumentos originados por uma série de fatores, a energia elétrica tem se demonstrado uma das maiores partes que compõem o orçamento e balanço financeiro de uma empresa. Nas empresas prestadoras de serviços de saneamento básico, que operam o sistema de abastecimento de água dos diversos municípios, este fato não é diferente. Todo o sistema de bombeamento, responsável pela distribuição de água nos mais diversos pontos de cada local, é totalmente dependente de energia elétrica. Para uma vida financeira saudável, as empresas devem buscar alternativas para redução e otimização deste custo tão importante em sua receita. O presente trabalho apresenta um estudo e a otimização de um sistema completo de abastecimento de água a fim de se obter o menor custo levando em consideração os elementos bombeadores alternativos e disponíveis. Nesse contexto, o objetivo principal foi determinar, através de um processo de otimização, o tempo de operação necessário para cada configuração que fornece o menor custo para o abastecimento. Para esse trabalho é utilizada a programação não linear baseada no método SQP (programação quadrática sequencial) para se determinar o mínimo da função do problema de otimização linear, multivariáveis e uni-objetivo com restrições resultantes. Após o processo de otimização dos tempos de operação, é verificado que a metodologia aplicada representa uma redução de 20% nos custos com energia elétrica quando comparada com a configuração atualmente utilizada, além de aumentar a vida útil dos equipamentos e possibilitar o deslocamento da curva de carga para períodos fora do horário de ponta da concessionária.

Palavras-chave: Abastecimento de água, reservatórios, custo de energia elétrica.

ABSTRACT

Due to the current high cost and constant increases arising from a series of factors, electricity has proved to be one of the largest parts that make up a company's budget and financial statement. In companies providing basic sanitation services, which operate the water supply system in the different municipalities, this fact is no different. The entire pumping system, responsible for the distribution of water in the most diverse points of each location, is totally dependent on electrical energy. For a healthy financial life, companies should look for alternatives to reduce and optimize this cost, which is so important in their revenue. The present work presents a study and the optimization of a complete water supply system in order to obtain the lowest cost taking into account the alternative and available pumping elements. In this context, the main objective is to determine, through an optimization process, the operating time required for each configuration that provides the lowest cost for supply. For this work, the non-linear programming method based on the SQP method (sequential quadratic programming) is used to determine the minimum function of the linear optimization problem, multivariable and uni-objective with resulting restrictions. After the process of optimizing the operating times, it is verified that the applied methodology represents a 20% reduction in electricity costs when compared to the configuration currently used, in addition to increasing the useful life of the equipment and enabling the displacement of the power curve. charge for periods outside the dealer's peak hours.

Keywords: Water supply, reservoirs, electricity cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de água no Brasil.....	5
Figura 2. Sistema de abastecimento de água.....	8
Figura 3. Valor final de energia elétrica.....	21
Figura 4. Sistema de abastecimento do RAP 3.....	24
Figura 5. Fluxograma do sistema completo de abastecimento do RAP3.....	25
Figura 6. (a) Resposta da função objetivo e (b) resposta do tempo t_1 (vermelho) (c) resposta do tempo t_2 (vermelho) (d) resposta do tempo t_3 (vermelho) (e) resposta do tempo t_4 (vermelho) (f) resposta do tempo t_5 (vermelho) obtidos com 30 suposições iniciais geradas aleatoriamente (marcadores pretos).....	36
Figura 7. Resposta da função objetivo e tempos de operação (t_x) obtidos com 30 suposições iniciais.....	37
Figura 8. Suposições iniciais em formato de colunas.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela I. Indicadores sugeridos para economia energética.....	10
Tabela II. Indicadores sugeridos para economia de água.....	11
Tabela III. Tipos de situações contratuais.....	18
Tabela IV. Dados operacionais e indicador CP referente ao poço PPS3.....	27
Tabela V. Dados operacionais e indicador CP referente a elevatória EEAT PPS3.....	28
Tabela VI. Dados operacionais e indicador referente ao poço PPS 4.....	28
Tabela VII. Dados operacionais e indicador CP referente a elevatória EEAT PPS4.....	29
Tabela VIII. Dados operacionais e indicador CP referente a estação de tratamento ETA.....	29
Tabela IX. Resumo dos dados operacionais das instalações.....	30
Tabela X. Configurações de abastecimento e seus respectivos custos.....	30
Tabela XI. Resultados obtidos no processo de otimização.....	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DAE	Departamento de água e esgoto
EPE	Empresa de pesquisa energética
ETA	Estação de tratamento de água
ETE	Estação de tratamento de esgoto
IEA	<i>International Energy Agency</i>
SGE	Sistema de Gestão de Energia
SAA	Sistema de abastecimento de água
SNIS	Sistema nacional de informações sobre saneamento
ONU	Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Objetivos	2
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Considerações Iniciais.....	4
2.1.1 Ciclo de uso da água.....	4
2.1.2 Fontes de água bruta.....	5
2.1.3 Água de reuso.....	6
2.2 Sistemas de abastecimento de água.....	7
2.2.1 Demanda de energia elétrica para o tratamento de água bruta.....	9
2.3.2 Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS).....	12
2.3.3 Despesas com energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água no Brasil.....	13
2.3.4 Perdas de água nos sistemas de abastecimento: perdas físicas e perdas não físicas..	13
2.4 Gestão energética.....	13
2.4.1 Gestão de energia elétrica nos sistemas de abastecimento.....	15
2.5 Sistema de gestão de energia.....	15
2.6 Ações para a redução de custo de energia elétrica.....	17
2.7 Aneel.....	20
2.7.1 Modalidades tarifárias.....	20
2.7.1.1 Tarifa verde.....	21
2.7.1.2 Tarifa azul.....	21
2.7.1.3 Tarifa branca.....	22
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA E MODELO MATEMÁTICO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO	23
3.1 Considerações iniciais.....	23
3.2 Metodologia aplicada.....	23
3.3 Estudo de caso.....	23
3.4 Modelo matemático para o estudo de caso.....	31
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1 Considerações iniciais.....	34
4.2 Otimização do custo de abastecimento	34
4.3 Análise de viabilidade econômica.....	38

CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....	41

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O consumo de energia elétrica e conseqüentemente o custo relacionado a este consumo é um dos fatores de maior influência quando se trata de uma boa gestão operacional e financeira de um sistema de abastecimento de água. Todo o sistema de distribuição de água tratada até o consumidor final, que vai desde a captação de água bruta, seja através de poços profundos ou captações superficiais, passando pelas estações de tratamento, sendo enviada ou não para reservatórios, seguindo até as redes de distribuição são dependentes de sistemas de bombeamento operados com a utilização de energia elétrica. Operar o sistema utilizando o conceito e práticas de eficiência energética irá garantir um balanço financeiro saudável para a empresa.

Segundo o Balanço Energético Nacional 2021 (EPE, 2021), o consumo de energia elétrica do Brasil foi de 545,4TWh no ano de 2019, enquanto que o consumo dos prestadores de serviços de saneamento foi da ordem de 13,26TWh de acordo com os dados contidos no diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020). Ou seja, 2,43% de toda a energia consumida no país deve-se ao setor de abastecimento de água e coleta de esgoto.

O cenário atual brasileiro apresenta uma crescente demanda na utilização dos recursos hídricos e energéticos, o que comprova sob uma perspectiva ambiental, também a necessidade de se aplicarem os melhores conceitos de gestão e eficiência para excelência na operação do sistema.

O mesmo serviço pode ser obtido com menor gasto de energia e, conseqüentemente, com menores impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais (EPE, 2013).

As empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água atuam monitorando alguns indicadores operacionais, entre estes, o indicador de falta de água registrado pelo consumidor final em centrais de atendimento ao cliente. Desta forma, cria-se o paradigma de se operar sempre com os reservatórios em sua capacidade máxima de volume, não importando a época do ano, horários de trabalho, tempo de funcionamento do sistema de bombeamento, etc.

A alteração do regime de trabalho dos reservatórios de água objetiva como resultado final a não operação do sistema de bombeamento em horário de pico, por exemplo, quando se

tem um custo de energia elétrica, tanto de consumo como de demanda contratada, superior ao custo de consumo na demais horas do dia.

Trata-se então da quebra do paradigma de se trabalhar com os reservatórios sempre cheios, fazendo uso de todo o seu volume nominal armazenado para abastecimento em determinados períodos do dia e, quando possível, eliminar ou minimizar a operação da carga instalada que opera durante o horário de ponta.

Segundo a Resolução Normativa nº 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010), o horário de ponta é um período composto por 3 horas consecutivas definidas pelas distribuidoras considerando a curva de carga de cada sistema com exceção a sábados, domingos e feriados. Ainda segundo a resolução, as unidades consumidoras classificadas como grupo A, devem estar classificadas dentro das modalidades tarifárias verde e azul. Ambas apresentam custos diferenciados para a energia consumida e demanda contratada no horário de ponta.

Segundo a empresa CPFL Energia (CPFL, s/d), o horário de pico é definido entre as 18h e 21h e o consumo de energia elétrica é muito mais alto entre esses horários, pois funcionam ao mesmo tempo fábricas, iluminações públicas e residenciais e a maioria das cargas residenciais como chuveiros.

As empresas prestadoras de serviços de saneamento e distribuição de água deveriam observar os consumos de água e energia elétrica de maneira integrada (MOURA, 2010) para uma maior eficiência do sistema de abastecimento e não de forma separada como normalmente é feito. Se estes indicadores forem planejados e monitorados de maneira conjunta, terão impacto mais significativo na gestão operacional e orçamentária destas empresas.

A motivação e justificativa para o presente trabalho se deve ao fato dos constantes cenários que o país vem presenciando de escassez hídrica, baixos níveis de reservatórios de água e crises de abastecimento de energia elétrica, fatores estes que contribuem significativamente para o aumento dos custos operacionais com estes dois importantes insumos, exigindo que os consumidores finais adotem técnicas que otimizem estes custos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo e a otimização de um sistema completo de abastecimento de água a fim de se obter o menor custo operacional com energia elétrica, levando em consideração os elementos bombeadores alternativos e disponíveis. Nesse

contexto, o objetivo principal é determinar, através de um processo de otimização, o tempo de operação necessário para cada configuração que forneça o menor custo para o abastecimento. Para esse trabalho é utilizada a programação não linear baseada no método SQP (programação quadrática sequencial) para se determinar o mínimo da função do problema de otimização linear, multivariáveis e uni-objetivo com restrições resultantes.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo serão apresentados os conceitos básicos relacionados ao ciclo do uso da água bem como a operação dos sistemas de abastecimento de água (SAA) existentes nos diversos municípios. Serão abordados também os dados relativos ao cenário atual brasileiro e alguns procedimentos que envolvem os sistemas de gestão de energia elétrica neste setor.

2.1.1 CICLO DO USO DA ÁGUA

O ciclo do uso da água pode ser considerado um ciclo interno, dentro do ciclo da água da Terra, que também é conhecido como ciclo urbano. Este é responsável por todo o ciclo que a água perpassa desde o momento em que a mesma é captada até o seu retorno ao meio ambiente (FREITAS, 2020).

A água bruta (normalmente retirada dos rios e lençóis subterrâneos) é líquida e geralmente de boa qualidade, porém ela sofre alterações de acordo com a sua utilização (SPERLING, 2020).

O ciclo da água tem o início quando a água bruta é coletada ou extraída do manancial (MOURA, 2010), para que em seguida seja transportada através das tubulações para o seu tratamento e finalmente ser enviada para os usuários finais.

Ainda de acordo com Moura (2010) as águas de uso urbano são coletadas e tratadas para que após esse processo sejam levadas ao meio ambiente, diferentemente das águas de uso agrícola, que não são tratadas antes de serem despejadas no meio ambiente (MOURA, 2010).

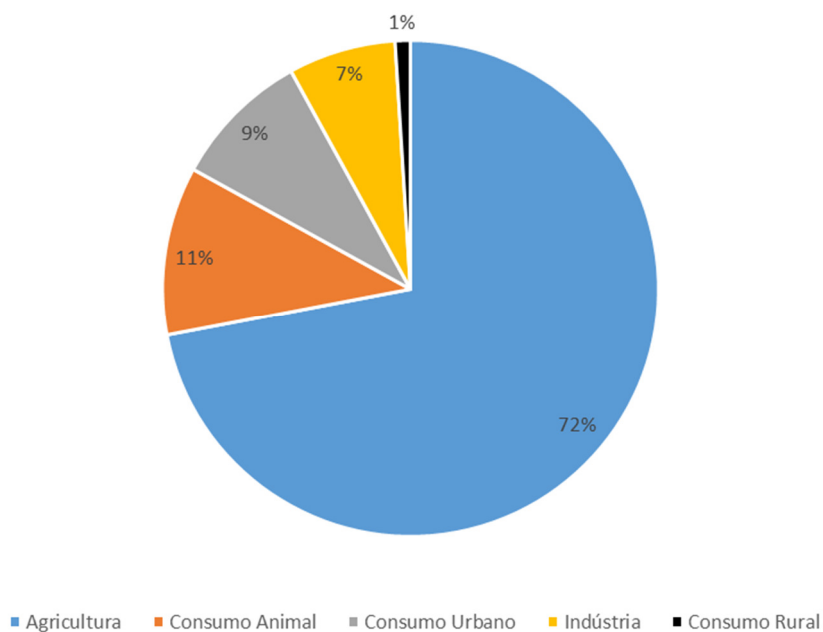
Quando a água é tratada, ela passa por processos que a deixam apta para ser usada em determinados fins como, por exemplo, abastecimento residencial e industrial. A água utilizada é classificada como esgoto e, dessa forma, é desprezada como um resíduo líquido (SPERLING, 2020). O esgoto tratado também é uma opção de reutilização da água para determinados fins, depois de passar por alguns tipos de tratamentos para ser enviado ao corpo receptor (SPERLING,2020).

Devido ao aumento populacional e conseqüentemente ao crescimento industrial, o homem vem prejudicando o equilíbrio ambiental, principalmente com o consumo exagerado da água. Os recursos naturais do planeta estão sendo usados de maneira descontrolada provocando inúmeras conseqüências ao meio ambiente e conseqüentemente ao homem. Utiliza-se a água excessivamente, sem controle, causando enormes prejuízos para o planeta. A falta de água pode

ser tornar um dos problemas ambientais mais graves atualmente e que poderá atingir toda a população em um futuro bem próximo (BACCI; PATACA, 2008).

A figura 1 apresenta um gráfico que demonstra os setores que mais consomem água no país.

Figura 1. Consumo de água no Brasil



Fonte: EOS organizações e sistemas (2017)

Como descrito na figura 1, o setor da agricultura (72%) é o que apresenta maior consumo de água, com uma margem significativa em relação ao segundo colocado que é o consumo animal (11%), seguidos pelo consumo urbano, a indústria e o consumo rural.

2.1.2 FONTES DE ÁGUA BRUTA

Existem duas formas para o homem conseguir água para o seu abastecimento: as águas superficiais e as águas subterrâneas. As superficiais são retiradas dos rios, lagos entre outros e as subterrâneas através dos lençóis subterrâneos “nem sempre essas duas formas de obter a água estão separadas, em seu deslocamento pela crosta terrestre a água que em determinado local é superficial pode ser subterrânea em uma próxima etapa e até voltar a ser superficial posteriormente” (Guimarães; Carvalho; Silva, 2007, p.77).

Para o consumo humano e também para o desenvolvimento de outras atividades são utilizadas água da fonte, água doce superficial ou subterrânea, por isso é necessária uma atenção especial para as normas e aspectos legais e gerenciais (DAE, 2020).

De acordo com o site EOSConsultores, 70% da superfície terrestre é coberta por água, porém, nem 3% desse volume é de água doce. Dessa forma, o volume de água para as atividades que envolvem necessidades humanas é muito baixo. A água da chuva e da natureza são impróprias para o consumo. Considera-se água própria para o consumo, a água que atenda todos os requisitos para que a mesma se torne potável, ou seja, que possa ser consumida pela população sem riscos para a sua saúde. Pode-se citar compostos nitrogenados e cloretos como componentes químicos que alteram o padrão da água, tornando-a poluída (EOSCONSULTORES, 2020).

Por isso, é importante a necessidade da população economizar a água potável e mesmo a água que chega para outros fins, pois a água é um recurso natural renovável porém esgotável, constatado em face aos atuais cenários de escassez presenciados pela população em diversas regiões mundiais.

2.1.3 ÁGUA DE REUSO

Ao invés de descartar, a palavra chave para o meio ambiente é o reaproveitamento dos recursos naturais, como é o caso da água. Explicando de uma forma simples, a reutilização da água é um processo onde a água usada passa por um tratamento que pode fazer com que a mesma volte a ter um certo teor de qualidade.

As águas residuais podem ser descritas, de uma maneira simples, como a água que é despejada no esgoto, assim como os líquidos de origem de edificações e industriais. As águas residuais são muito importantes pois é possível recicla-las, ou seja, reaproveitá-las. (SILVA; SAMANTA, 2014). A água utilizada na torneira da cozinha, no tanque e no chuveiro pode passar por um processo chamado de filtragem podendo ser reaproveitada.

Através de processos que envolvem tecnologia, a água de reuso pode ser utilizada na plantação de alimentos e também destinada para residências para uso em atividades domésticas. Através da reutilização da água, é possível auxiliar na preservação do meio ambiente, assim como elevar a oferta da mesma para a população (SILVA, 2020).

A prática do reuso da água não é uma prática nova. Existem registros que desde a Grécia Antiga esse processo acontecia com a utilização do esgoto na irrigação das plantações, mas atualmente o consumo de água é tão grande que existe uma preocupação dos órgãos responsáveis em conscientizar a população para evitar o desperdício da mesma (SILVA; SAMANTA, 2014). Ainda de acordo com os autores citados anteriormente, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), em sua resolução de nº 54 da data de 28 de novembro

de 2005, descreve o reuso da água como uma prática de racionalização e conseqüentemente conservação deste recurso natural tão importante para a vida de todo ser vivo (SILVA; SAMANTA, 2014)

Essa prática reduz o despejo de poluentes em rios e lagos, reduzindo a poluição ambiental, conservando os recursos hídricos, para que os mesmos possam ser levados ao consumo da população. De acordo com Silva e Samanta (2014) a Lei Federal 9.433 de janeiro de 1997 é um dos principais marcos da importância da gestão da água. Através dessa Lei, é instituído o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Híbridos, o qual, descreve a água como um bem de domínio público e um recurso natural limitado e que, em casos de escassez, a prioridade do seu uso é o consumo humano e de animais.

Vários são os benefícios do reuso da água, além da diminuição do consumo em residências, indústrias e também na agricultura, em alguns casos a água ao passar por tratamentos e filtragem pode retornar a um alto teor de qualidade, gerando a possibilidade de ser reutilizada de várias maneiras.

Silva e Samanta (2014, p.5) em seu artigo explicam que existem vários tipos de reuso da água, sendo os principais: reuso para fins urbanos (irrigação de jardins e lavagem de carro por exemplo), reuso para fins agrícolas e florestais (produção agrícola e cultivo de florestas), reuso para fins ambientais (utilização da água para projetos ambientais), reuso para fins industriais (utilização da água para processos industriais) e reuso na aquicultura (utilização da água para a criação de animais).

2.2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DA ÁGUA

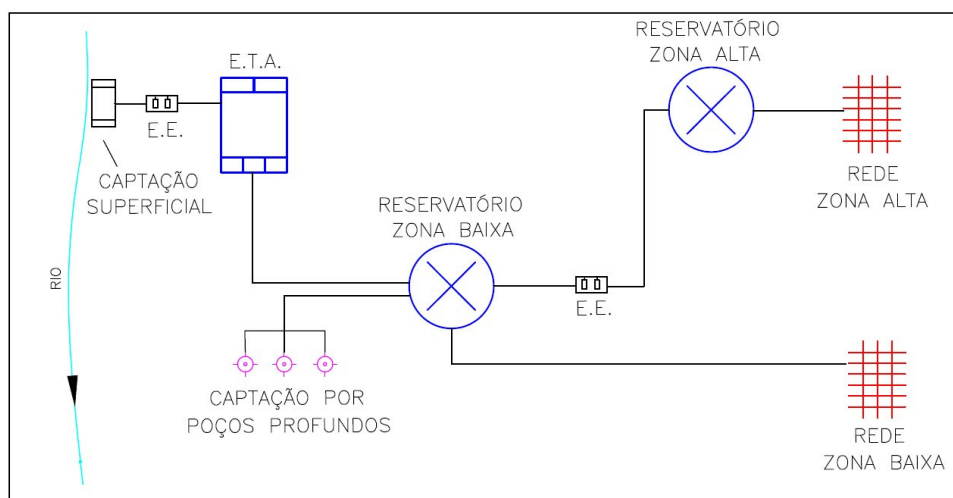
Segundo Moura (2010), os sistemas de abastecimento de água são um conjunto de obras, equipamentos e serviços que se destinam ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, industrial, serviços públicos e outros diversos usos. Um SAA caracteriza-se pela captação de água na natureza, adequação de sua qualidade, transporte aos conglomerados humanos e fornecimento à população, em quantidade compatível com suas necessidades. Estes sistemas podem ser concebidos para atender a pequenos povoados ou grandes regiões metropolitanas, variando suas características e porte das instalações.

A concepção dos SAA pode variar significativamente de acordo com o tamanho, topografia e posição da cidade em relação aos mananciais. Geralmente, os sistemas possuem as seguintes partes constituintes (TSUTIYA, 2001):

- Manancial: corpo d'água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento populacional;
- Captação: conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água junto ao sistema de abastecimento;
- Estação elevatória (EE): conjunto de obras e equipamentos para recalcar a água para a unidade seguinte;
- Adutora: canalizações para conduzir água entre unidades que precedem a rede de distribuição;
- Estação de Tratamento de Água (ETA): unidade onde a água é tratada para atender as normas e padrões de potabilidade vigentes no país;
- Reservatório: unidade do sistema onde a água tratada é armazenada para ser distribuída aos consumidores;
- Rede de distribuição: tubulações e acessórios para levar a água tratada aos consumidores.

Em resumo, a água é captada, através de sistemas de bombeamento, de um corpo d'água superficial ou subterrâneo, encaminhada até um sistema de tratamento para dosagens de produtos químicos diversos de acordo com as características da água captada, e bombeada até os reservatórios responsáveis pelo armazenamento da água tratada e distribuição aos consumidores finais, ou seja, a população. Todo o sistema descrito pode ser visualizado na figura 2.

Figura 2. Sistema de abastecimento de água



Fonte: Adaptado de Tsutiya (2001)

2.2.1 DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA BRUTA

A demanda de água até o ano de 2050 terá um aumento aproximado de 55%, de acordo com dados obtidos da Organização das Nações Unidas (2015). O consumo não sustentável de água e de energia elétrica já é um problema enfrentado pela população mundial e, ainda segundo a ONU, aproximadamente 748 milhões de pessoas não tem acesso a água ao redor do mundo (Guanais; Cohim; Medeiros, 2016).

O consumo da energia comercial na entrega da água aos seus respectivos destinos pode representar até 7% do consumo energético no mundo todo e os processos de distribuição da água para os municípios chegam a utilizar até 80% desta parcela quando comparado aos outros processos envolvidos, por exemplo, tratamento, medidores diversos, iluminação das áreas, etc. (GUANAIS; COHIM; MEDEIROS, 2016).

Dessa forma, diante do consumo excessivo de água e energia pela população, é preciso criar soluções para que o uso se torne consciente e racional. Por isso, deve-se realizar análise de consumo em todas as etapas do sistema de água e esgoto, verificando os pontos de baixa eficiência do setor e conseqüentemente sugerir melhorias para reduzir o consumo de água e energia principalmente em horários de picos. Deve-se também realizar um trabalho específico com empresas e indústrias, que também consomem esses dois recursos e, na maioria das vezes, não observa as melhores práticas em relação ao consumo, sem o estabelecimento de critérios adequados para uso de energia em determinados horários.

O consumo de energia e seus indicadores variáveis são preocupações dos órgãos responsáveis desde a época da crise do petróleo em 1970 e, logo após os anos 80, a queima de combustíveis tornou-se uma preocupação mundial. Em seguida, houve o tratado de Kyoto (1992), onde foi firmado um acordo para metas de redução de CO₂ (OLIVEIRA, 2017).

A partir das conclusões de Oliveira (2017), as principais características de um sistema sustentável de energia são: eficiência energética, custos reduzidos e utilização de fontes alternativas e renováveis de energia. A Tabela I, a seguir, apresenta os principais indicadores apontados pelo autor.

Tabela I. Indicadores sugeridos para economia energética

INDICADORES PARA VARIÁVEL DE ENERGIA ELÉTRICA		
INDICADORES	UNIDADE DE MEDIDA	REFERÊNCIAS
Realizar iniciativas pontuais de redução do consumo de energia	KWh economizados	ETHOS/Fiesp
Cumprir a legislação vigente para controle das emissões atmosféricas	gCO ₂ /KWh	ETHOS
Desenvolver campanhas com empregados visando a redução do consumo de energia	KWh economizados	ETHOS
Possuir planos de ação formalizados para reduzir o consumo de energia direta e indireta	Quantidade/ano	ETHOS/ISO/GreenMetric
Realizar investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias com foco em redução do consumo de energia	R\$/ano	ETHOS
Promover investimentos buscando evoluir no uso de novas fontes de energia renováveis e limpas	R\$/W	ETHOS/GreenMetric
Monitorar o consumo de energia (direta, indireta e renovável) e realizar análises visando à redução de custos operacionais	Quantidade/ano	ETHOS
Estabelecer metas e indicadores de redução do consumo de energia que devam ser atendidos por sua cadeia de suprimentos	Quantidade/ano	ETHOS
Realizar parcerias estratégicas com a cadeia de valor para a mitigação de impactos negativos	Quantidade/ano	ETHOS
Monitorar os benefícios ou impactos negativos decorrentes do consumo de energia na cadeia de valor	Quantidade/ano	ETHOS
Quantidade de energia usada por ano	KWh/ano	ISO
Quantidade de energia usada por serviço	KWh/ano	ISO
Quantidade de cada tipo de energia usada	KWh/ano	ISO
Utilização energia com aparelhos eficientes	KWh/mês	GreenMetric
Possuir programas que oferecem incentivos para os membros da comunidade para reduzir o uso de energia	Quantidade/ano	Report Card
Instalação de energia solar, eólica, geotérmica ou de outras fontes alternativas de energia	R\$/KW	Report Card
Participação da energia produzida a partir de fontes renováveis na matriz energética	KWh renovável/KWh total	Report Card
Volume de eletricidade autogerada	KWh	Fiesp
Consumo total de combustível	Litros/ano	Fiesp

Fonte: Oliveira (2017)

Tabela II. Indicadores sugeridos para economia de água

INDICADORES PARA VARIÁVEL ÁGUA		
INDICADORES	UNIDADE DE MEDIDA	REFERÊNCIAS
Realizar iniciativas pontuais para a redução do consumo de água	Quantidade/ano	ETHOS/GreenMetric
Respeitar os limites de retirada de água e de outorgas	Quantidade/ano	ETHOS
Atender à legislação de destinação adequada de efluentes	Quantidade/ano	ETHOS
Realizar campanhas com empregados que visam à diminuição no consumo de água	Quantidade/ano	ETHOS
Realizar ações para instalação de dispositivos economizadores de água ou novas tecnologias	Quantidade/ano	ETHOS
Ter indicadores para o monitoramento contínuo do seu consumo de água, visando a sua redução	Quantidade/ano	ETHOS
Ter indicadores para o monitoramento contínuo da sua geração de efluentes	Quantidade/ano	ETHOS
Ter planos de ação formalizados para reduzir o consumo de água e a geração de efluentes	Quantidade/ano	ETHOS
Redução de consumo de água como referência para desenvolvimento de produtos, remuneração de empregados, etc.	Quantidade/ano	ETHOS
Monitorar o consumo de água e realiza análises de redução de custos operacionais	Quantidade/ano	ETHOS
Realizar investimentos para o reuso de água ou capacitação de água da chuva para ser utilizada em seus processos	Quantidade/ano	ETHOS/GreenMetric
Estabelecer metas e indicadores de redução do consumo de água que devam ser atendidos por sua cadeia de suprimentos	Quantidade/ano	ETHOS
Quantidade de água reutilizada	M ³	ISO
Água tratada consumida	M ³ /ano	GreenMetric/Fiesp
Redução de lançamentos de esgoto	Quantidade/ano	GreenMetric/Fiesp
Percentual da população efetivamente atendida pelos serviços de abastecimento de água em relação à totalidade da população	Pop. Atendida/Pop. Total	PNIA

Fonte: Oliveira (2017)

A água é um recurso indispensável para a sobrevivência da vida na Terra, seja ela humana, animal ou vegetal, porém é preciso preservá-la para que a mesma não falte. De acordo com Oliveira (2017), existe uma necessidade de gestão integrada de consumo de energia, pois considera-se a gestão uma importante ferramenta que auxilia na organização e resolução de problemas.

É preciso que haja um equilíbrio entre a necessidade real de consumo nos seus mais variados usos com a preservação da mesma, para que, em um futuro próximo, esse recurso natural fundamental para a existência do ser vivo não acabe. Oliveira (2017) cita alguns indicadores de resultados sugeridos na Tabela II.

2.3.2 SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO (SNIS)

O Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento ou mais conhecido como SNIS, é um sistema do governo que reúne informações e indicadores sobre a prestação de serviços de água e esgoto, assim como resíduos sólidos e manejos pluviais (SNIS, 2020).

Esse sistema é organizado através de três componentes: água e esgoto, resíduos sólidos e águas pluviais. O SNIS é vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Regional e conseqüentemente à Secretaria Nacional do Saneamento. Todas as informações que chegam até o sistema nacional de informação sobre o saneamento, são de responsabilidades das empresas que comandam o setor de água e esgoto de cada município.

Antes de qualquer publicação ou qualquer diagnóstico de indicadores, o SNIS consulta, através de uma amostra preliminar dos resultados, os responsáveis pelas informações. Os órgãos responsáveis pelos dados irão revisar as informações passadas e dar uma devolutiva para que o sistema possa publica-los (SNIS, 2020).

O SNIS disponibiliza 84 indicadores relacionados à prestação de serviços de distribuição de água e coleta e tratamento de esgoto, 47 serviços relacionados ao manejo de resíduos sólidos dos municípios e 25 para serviços relacionados a águas pluviais (SNIS, 2020).

A água incorpora impurezas de diversas naturezas após o consumo em atividades domésticas, nocivas ao homem e ao ambiente, caracterizando o que é conhecido como esgoto sanitário. Um sistema de esgotamento sanitário pode ser entendido como conjunto de infraestruturas, equipamentos e serviços com o objetivo de coletar e tratar os esgotos domésticos e com isso evitar a proliferação de doenças e a poluição de corpos hídricos após seu lançamento na natureza. (SNIS, 2020).

O sistema de esgotamento sanitário possui duas etapas principais:

- A coleta: que é realizada por uma rede de tubulações até a estação de tratamento de esgoto.

- Estação de tratamento de esgoto (ETE): nessa segunda etapa grande parte dos poluentes são removidos, porém, é preciso que o efluente esteja em um limite seguro para que se possa devolvê-lo à natureza.

2.3.3 DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

O SNIS, como descrito no tópico anterior, é o mais importante sistema de controle de informações do setor de saneamento brasileiro; anualmente gera um relatório contendo informações sobre o sistema de saneamento.

A otimização é a palavra chave para que se consiga reduzir o impacto ambiental assim como as despesas relacionadas ao uso da energia elétrica. Através da otimização dos processos é possível reduzir o consumo de energia. Foi realizado um balanço para calcular dados de consumo entre os anos de 2003 e 2015 (Brasil) e os momentos de desperdícios e perdas de energia, sendo que o resultado foi comparado e analisado não apenas no Brasil, mas também em outros países. Chegando-se a conclusão que o alto consumo da energia elétrica está diretamente relacionado com o tamanho da população abastecida, e seu uso desnecessário.

Hoje em dia, um dos maiores problemas do abastecimento de água é a deterioração dos sistemas mais antigos, principalmente nos que dizem respeito a distribuição de água, pois ocorrem muitos vazamentos e rompimentos de redes, ocasionando falta de água nos bairros. Todo abastecimento de água envolve o consumo de energia elétrica desde o início que é a captação até o final que é a distribuição (BARBOSA et al, 2019).

2.3.4 PERDAS DE ÁGUA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO: PERDAS FÍSICAS E PERDAS NÃO FÍSICAS

As perdas podem ser classificadas como perdas físicas e perdas não físicas (perdas de faturamento). Em qualquer uma das duas, ocorrem perdas significativas na realização da receita operacional na companhia de saneamento (MOURA, 2010)

Pode-se citar como perda física, a água que é produzida, mas não é consumida (são os casos que ocorrem vazamentos na rede de distribuição). Já as perdas não físicas são aquelas fornecidas, mas não faturadas, por exemplo em ligações clandestinas (MOURA, 2010).

2.4 GESTÃO ENERGÉTICA

Houve uma grande preocupação com a eficiência energética nas últimas décadas, que vem aumentando devido ao aumento dos valores de insumos energéticos e também devido

a influência da sociedade de um modo geral e organizações voltadas para o meio ambiente e para o uso consciente dos recursos naturais que estão se tornando cada vez mais escassos (MOURA, 2010).

Dessa forma, a gestão de energia dentro das empresas está cada vez mais presente, tanto nas públicas quanto nas privadas, fazendo com que os recursos energéticos sejam utilizados de maneira eficaz e sem desperdício. Na verdade, a gestão energética deve ser vista com uma estratégia para melhorar a qualidade de fornecimento de água até o seu destino, assim como reduzir custos e desperdícios, ajudando a preservar o meio ambiente. Para Moura (2010) as principais formas de tornar eficaz a gestão de recursos energéticos é a economia de energia elétrica através da economia da água e também a diminuição da demanda de energia dos sistemas de abastecimentos de água.

A gestão de energia é capaz de reduzir e também controlar os custos de energia elétrica, em uma residência, empresa, indústria, transformando essa redução de gastos, em redução de desperdício. Quando se trata de gestão de energia elétrica em empresas e indústrias, é possível afirmar também que através da gestão é possível aumentar a competitividade e a sustentabilidade no mercado (GIRARDI, 2020).

O mercado da energia elétrica é um dos setores que mais apresentam competitividade e rentabilidade, dessa forma, é importante ter como objetivo a redução de gastos sem perder a qualidade das operações e resultados de uma atividade e ou negócio (GIRARDI, 2020).

Ainda de acordo com Girardi (2020, s/p): a tarifa de energia elétrica no país superou a inflação em quase 50% nos últimos anos. No ano de 2017, o custo da energia elétrica era a sexta mais cara do mundo de acordo com um levantamento realizado pela Federação das Indústrias do Rio de Janeiro, fazendo com que a energia elétrica se torne o principal insumo em 79% das empresas da área industrial.

Em janeiro de 2015, deu-se início a um novo sistema tarifário de bandeiras, coordenado pela ANEEL, no qual a conta de energia elétrica sofreria um acréscimo pelo uso das termelétricas para a geração elétrica (GUTIERREZ; GONÇALVES; LUQUETTI, 2016).

Desde o ano de 2013, o Brasil vem enfrentado uma crise de energia devido aos baixos níveis de reservatórios de águas de praticamente todas as usinas hidroelétricas do país, dessa forma o Governo Federal, ANEEL e as distribuidoras de energia elétrica vêm aplicando

uma sobretaxa no valor da energia elétrica e que conseqüentemente repassada para o consumidor final (GUTIERREZ; GONÇALVES; LUQUETTI, 2016)

O consumo de energia elétrica é caracterizado por diversos fatores que influenciam o preço final da energia ao consumidor. Este custo aumentou e ainda continua a aumentar devido à crise hídrica que atinge o país ao longo dos últimos anos (GUTIERREZ; GONÇALVES; LUQUETTI, 2006).

2.4.1 GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Sistemas de gestão de todo tipo estão sendo instalados das empresas, indústrias e comércio com o objetivo de fazer com que seu estabelecimento produza cada vez mais, buscando sempre priorizar a qualidade do produto ou serviço oferecido. Moura (2010) em seu artigo, explica que a primeira etapa para que se possa identificar as entradas e saídas, assim como os recursos e informações necessárias para melhorar o desempenho das empresas e organizações é o mapeamento.

Para Sobrinho e Borja (2016), a perda de água é considerada um dos principais indicadores de empenho operacional para os prestadores de serviço público de água, ainda de acordo com os autores esse desperdício ocorre em todos os componentes de um sistema de abastecimento de água; desde o início do processo até o final.

Os prestadores de serviços, tanto da área elétrica quanto relacionados à água, enfrentam alguns problemas como descarte incorreto, perdas no abastecimento, vazamentos entre outros fatores, em relação a gestão e distribuição das mesmas, devido ao crescimento dos grandes centros urbanos e o uso da água de maneira irracional (SOBRINHO; BORJA, 2016).

Diante desse contexto, é indispensável o controle das perdas de água em sistemas de abastecimento, pois o que não é consumido não é faturado. Por isso, quantificar essas perdas é fundamental para os prestadores de serviço para que os mesmos consigam uma distribuição de água com eficiência e economia, além da preservação ambiental (SOBRINHO; BORJA, 2016).

O processo de gestão ajudará a controlar e verificar essas perdas, auxiliando na melhoria da empresa assim como na redução de custos, tanto para ela quanto para o cliente.

2.5 SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA

O sistema de gestão energética executa um papel fundamental na busca por uma sociedade mais sustentável, Dias (2018) em seu artigo assevera que a *International Energy*

Agency (IEA) define eficiência energética como uma fonte de energia importante para o desenvolvimento de políticas públicas, que buscam o desenvolvimento sustentável de toda sociedade (DIAS, 2018)

Com a intenção de auxiliar a gestão de energia, foi criada em 2011 a ISO 50.001, reconhecida mundialmente, que estabelece um sistema para que seja implantada a eficiência energética dentro das indústrias, instalações comerciais e em empresas como um todo. Através desta norma, foi possível estabelecer requisitos bem detalhados e específicos, fazendo com que tanto a empresa quanto a organização responsável pela distribuição de energia, reduza seu consumo de energia e aumente sua eficiência energética, viabilizando o uso da energia em suas atividades (DIAS, 2018).

A aplicação da ISO 50.001, faz com que a empresa reduza seus custos de produção e aumente sua eficiência energética. Outro ponto positivo da aplicação dessa norma é redução na emissão de gases, auxiliando a redução do efeito estufa (DIAS, 2018).

Os sistemas de gestão de energia (SGE) proporcionam melhores estruturas e estratégias para que as organizações alcancem seus objetivos em busca da eficiência energética, além de obter planos de intervenção e opções de investimentos que devem ser vistos como prioritários, organizam relatórios de resultados, entre outras funções que proporcionam melhorias no desempenho da eficiência energética (MOURA, 2010)

A Organização das Nações Unidas possui uma agência especializada denominada United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) que fornece suporte para o desenvolvimento industrial sustentável de seus Estados-membros e clientes. A cooperação técnica está focada em três prioridades temáticas: a redução da pobreza por meio de atividades produtivas; a construção da capacidade de comércio; e energia e meio ambiente (UNIDO, 2009)."

Moura (2010) em seu artigo, baseando-se em informações de Unido (2009) cita algumas medidas eficientes no sistema de gerenciamento de gestão (SGE), são elas:

- Ter tudo planejado, documentado para poder ser mensurado, e realizar estratégias para buscar melhorias na eficiência energética;
- Apresentar uma equipe (equipe formada por profissionais de outros setores, que talvez possam apresentar soluções para determinados problemas por trabalharem em outra área) bem preparada, com um coordenador que responderá diretamente para a administração central;

- Realizar procedimentos verificando compra, uso e disponibilidade da energia;
- Ter sempre projetos em andamento, buscando a eficiência energética;
- Ter um manual de energia, que deve ser atualizado sempre que necessário de acordo com as novas estratégias e tecnologias adquiridas,
- A empresa deverá estar atenta a indicadores de desempenhos de processo, sendo que as pessoas responsáveis devem ficar atentas em relação ao resultado do desempenho;

Os itens citados anteriormente, são fatores importantes que devem ser seguidos para que a empresa consiga uma gestão energética adequada, buscando melhorias dentro da mesma.

2.6 AÇÕES PARA A REDUÇÃO DE CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA

A redução dos custos de uma empresa é fundamental para o bom funcionamento e desenvolvimento da mesma. Através da redução de custos, é possível realizar uma reserva para possíveis problemas ou investir em alguma melhoria. Uma das contas que gera mais impacto dentro da empresa devido ao seu aumento nos últimos anos é a conta de energia elétrica.

Moura (2010) em sua dissertação explica que as companhias de saneamento básico podem e devem realizar ações que auxiliem na redução do custo de energia elétrica através da sua gestão como por exemplo a redução do custo com ou sem a diminuição do consumo de energia elétrica, redução do custo pela alteração do sistema operacional, redução do custo pela automação dos SAA e a redução do custo pela geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos.

O contrato com a concessionária é muito importante para verificar como sua conta elétrica está sendo gerada como consta na Cartilha Energia (Brasil, 2015, p.15-18). Quando o cliente se encaixa no Grupo A (de média tensão), três critérios devem ser observados.

O primeiro critério é o critério da demanda contratada, ou seja, o cliente deve verificar na fatura se a demanda contratada está de acordo com as suas necessidades, evitando ociosidades ou multas por ultrapassagem. A tabela III apresenta três situações contratuais de demanda.

Tabela III. Exemplos de situações contratuais

Demanda contratada	Demanda medida	Demanda faturada	Multa por ultrapassagens
150KW	100KW	150 KW	Sem multa pois não consumiu além do contrato
150 KW	170 KW	150KW + 20KW a mais utilizado	Multa aplicada sobre os 20KW excedido com o dobro do custo normal
150KW	152KW	150KW + 2KW	Não haverá multa devido a tolerância de 5% concedida pela ANEEL

Fonte: BRASIL, Cartilha Energia

Sendo a demanda contratada pelo cliente junto à concessionária, a demanda medida a máxima demanda registrada nos dados mensais da instalação, a demanda faturada a demanda contratada ou a demanda medida se esta for maior e a multa por ultrapassagens o valor a ser pago pelo cliente por ultrapassar a demanda contratada.

O segundo critério para a redução de custo de energia elétrica é não possuir fator de potência fora dos limites permitidos pela concessionário devido à utilização de energia reativa. Energia reativa é aquela que não produz trabalho útil e de acordo com a Cartilha Energia, se cobrada pela concessionária, pode indicar problemas no fator de potência das instalações, dessa forma, é preciso solucionar rápido esse problema para que o mesmo não ocasiona custos adicionais. Quando a instalação está adequada, não existem cobrança adicionais de energia (BRASIL, 2015).

O cliente deve verificar a sua conta de energia e caso exista a cobrança de EREX (Energia Reativa Excedente), providências devem ser tomadas para sua eliminação, como por exemplo, a instalação de bancos de capacitores (BRASIL, 2015).

O terceiro critério para a redução de custos com energia elétrica é verificar se a instalação se enquadra na modalidade tarifária adequada que resultará em menor custo total. Em resumo, em uma das modalidades tarifárias verde ou azul, as quais dependem das características da sua instalação e do seu funcionamento. “As tarifas variam conforme os horários de ponta e fora de ponta, nos períodos úmido e seco” (BRASIL, 2015, p18). No próximo capítulo serão detalhadas as modalidades tarifárias verde e azul.

Para a alteração contratual de acordo com a Resolução Normativa de nº 414/2010 da ANEEL, os dados contratuais podem ser alterados a cada 12 meses (modalidades tarifárias); nesse caso a distribuidora deve atender apenas os pedidos de redução de demanda que não

forem decorrentes da implementação de medidas de eficiência energética. Essas solicitações devem ser feitas por escrito, e com antecedência de pelo menos cento e oitenta dias de sua aplicação. A redução de demanda pode ser realizada apenas uma vez por ano, ou seja, a cada 12 meses (BRASIL, 2015).

Se por acaso forem implementadas medidas de eficiência energética que, após comprovações, resultem em redução da demanda de potência, deverá ocorrer alteração imediata pela concessionária, independentemente do tempo, priorizando o pedido do cliente (BRASIL, 2015, p.20). A Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL, em seu ART. 134, dispõe sobre alterações de contrato e o período de testes e ajustes, retiradas da Cartilha Energia (BRASIL, 2015, p.20):

Art. 134. A distribuidora deve aplicar o período de testes, com duração de 3 (três) ciclos consecutivos e completos de faturamento, com o propósito de permitir a adequação da demanda contratada e a escolha da modalidade tarifária, nas situações seguintes:

I – início do fornecimento;

II – mudança para faturamento aplicável a unidades consumidoras do grupo A, cuja opção anterior tenha sido por faturamento do grupo B;

III – enquadramento na modalidade tarifária horária azul;

IV – acréscimo de demanda, quando maior que 5% (cinco por cento) da contratada.

§ 1º A distribuidora deve fornecer, sempre que solicitado pelo interessado, as informações necessárias à simulação do faturamento.

§ 2º Durante o período de testes, (...), a demanda a ser considerada pela distribuidora para fins de faturamento deve ser a demanda medida, exceto na situação prevista no inciso IV, em que a distribuidora deve considerar o maior valor entre a demanda medida e a demanda contratada anteriormente à solicitação de acréscimo.

Como forma de se obter uma boa eficiência do sistema de abastecimento com menor custo possível são utilizadas técnicas de otimização. Dependendo do sistema, um ou mais objetivos podem ser otimizados e as variáveis de projeto e suas restrições são levadas em consideração. Pedrosa (2006) apresenta um modelo computacional de apoio à tomada de decisão para verificar a melhor estratégia diária dos estados das bombas e válvulas de um sistema adutor, de forma que resulte na minimização do consumo e demanda e que seja operacionalmente viável. No contexto de otimização, Albuquerque (2007) mostra que diferentes técnicas de otimização podem ser aplicadas ao mesmo sistema e que a escolha depende das características distintas de cada sistema. Além disso, algoritmos genéticos também são utilizados para se determinar as estratégias de operações com custos energéticos reduzidos em sistemas de abastecimento de água (COSTA, CASTRO, RAMOS, 2010).

2.7 ANEEL

A ANEEL é a Agência Nacional de Energia Elétrica que organiza e determina as regras para que toda rede de energia elétrica opere normalmente, desde a sua origem até a casa do cliente, tendo como principal objetivo o desenvolvimento do setor elétrico (ANEEL, 2016).

É função da ANEEL também supervisionar todos os serviços públicos e privados que são responsáveis por levar energia elétrica até o cliente. Caso a empresa concessionária descumpra alguma regra e não forneça energia de qualidade, poderá receber punições e até mesmo perder a concessão de fornecer tais serviços.

A ANEEL realiza a fiscalização econômico-financeira dos serviços de geração e eletricidade, buscando atingir todas as concessionárias, permissionárias e autorizadas do País. Com o mesmo foco, seus fiscais monitoram e instruem quanto ao cumprimento de suas obrigações contratuais e regulamentares. Ao final do trabalho, os técnicos elaboram um relatório que resume as constatações, incluindo recomendações (sugestões) ou determinações quando se tratar de casos mais graves (ANEEL, 2020).

Como descrito, as concessionárias de energia elétrica são fiscalizadas pela ANEEL e podem ser advertidas de várias maneiras, correndo risco de até perder sua concessão. Estas regras estão previstas na resolução de nº 846, de 11 de junho de 2019. As três etapas necessárias para a produção de energia elétrica no país são a geração, transmissão e distribuição. A ANEEL é a agência reguladora que fiscaliza todo esse processo, bem como as superintendências responsáveis pela fiscalização de cada uma das etapas.

2.7.1 MODALIDADES TARIFÁRIAS

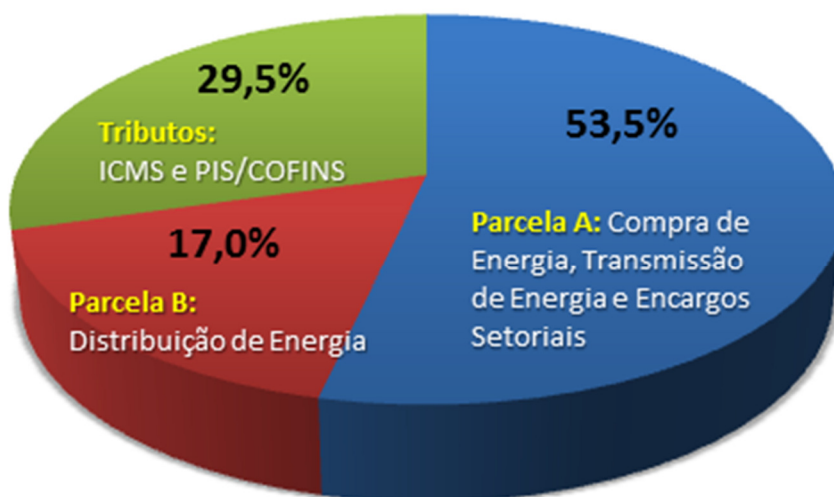
Segundo o site da ANEEL, as modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas relacionadas a componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas (ANEEL,2012). Ainda de acordo com ANEEL resolução normativa de nº 479, as bandeiras tarifárias têm como objetivo demonstrar para o cliente, ou seja, aos consumidores faturados, os valores atuais da energia elétrica.

As tarifas de energia cobradas, são um conjunto de valores (referentes a parte operacional e de investimentos) que são incluídas no valor total mensal que chega até o cliente. Pode-se dizer que as tarifas são a somatória da transmissão, distribuição e comercialização da energia. De acordo com o site da CPFL (2020), essas tarifas constituem em três custos diferentes são eles:

- Tributos, distribuição e compra de energia (corresponde a 29,5% da conta de energia);
- Transmissão de energia (17% da conta de energia);
- Encargos setoriais (53,5% da conta de energia);

Os dados descritos podem ser visualizados na figura 3.

Figura 3. Valor final da energia elétrica



Fonte: CPFL (2020)

2.7.1.1 TARIFA VERDE

De acordo com o site da CPFL esta modalidade possui apenas uma tarifa para a demanda e duas para o consumo, uma para o horário de ponta (das 18h às 21h., de segunda a sexta) e outra para o horário fora de ponta (das 21h01 às 17h59). As tarifas de consumo também são diferentes de acordo com a época do ano, ou seja, período mais seco (de maio a novembro) e o período mais úmido (de dezembro a abril do ano seguinte). “É disponível para unidade consumidora com qualquer demanda contratada desde que seja atendida com tensão inferior a 69 kV” (CPFL, 2020).

2.7.1.2 TARIFA AZUL

Ao contrário da tarifa verde, esta modalidade possui duas tarifas para a demanda e duas para o consumo (sendo estas para o horário de ponta e para o horário fora de ponta) e também são diferentes de acordo com a época do ano (período seco e período úmido). “A tarifa azul está disponível para qualquer demanda e tensão contratada” (CPFL, 2020).

2.7.1.3 TARIFA BRANCA

A tarifa branca foi implantada em janeiro de 2018, como uma opção para os consumidores de baixa tensão. “A tarifa branca sinaliza aos consumidores a variação do valor da energia conforme o dia e o horário do consumo” (CPFL, 2019). Ele pode ser aplicado em residências, comércios e indústrias, porém o valor da tarifa varia de acordo com o horário e o dia da semana. “Ela é oferecida para as unidades consumidoras que são atendidas em baixa tensão (127, 220, 380 ou 440 Volts), denominadas de grupo B e as do grupo A faturadas no grupo B.” (CPFL, 2020). A população que optou por migrar para a tarifa branca foi de forma gradual, seguindo algumas normas estabelecidas pela CPFL. A seguir estão descritas as formas migratórias que a empresa utilizou para realizar esse processo:

- 2018 - Apenas os novos consumidores ou clientes com consumo médio superior a 500 kWh/mês nos últimos 12 meses, com exceção dos clientes baixa renda e iluminação pública.
- 2019 - Clientes com consumo médio superior a 250 kWh/mês nos últimos 12 meses, com exceção dos clientes baixa renda, iluminação pública e faturada na modalidade de pré-pagamento.
- 2020 - Todos os consumidores do Grupo B poderão aderir ao novo modelo tarifário, com exceção dos clientes baixa renda e iluminação pública (CPFL, 2020)

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA E MODELO MATEMÁTICO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2 demonstrou de forma objetiva a rígida relação existente entre os sistemas de abastecimento de água e o consumo de energia elétrica necessário para operação dos elementos bombeadores, tratamento, automatização, etc.

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada para realização do estudo que tem como objetivo a otimização do sistema para se obter o menor custo com energia elétrica, utilizando as alternativas operacionais disponíveis e mantendo as condições necessárias para a manutenção do abastecimento de água.

3.2 METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada no presente trabalho foi realizar um levantamento e estudo de um sistema de abastecimento, levando em consideração a atual configuração do sistema e uma melhor condição que pode ser obtida através de ferramentas de otimização.

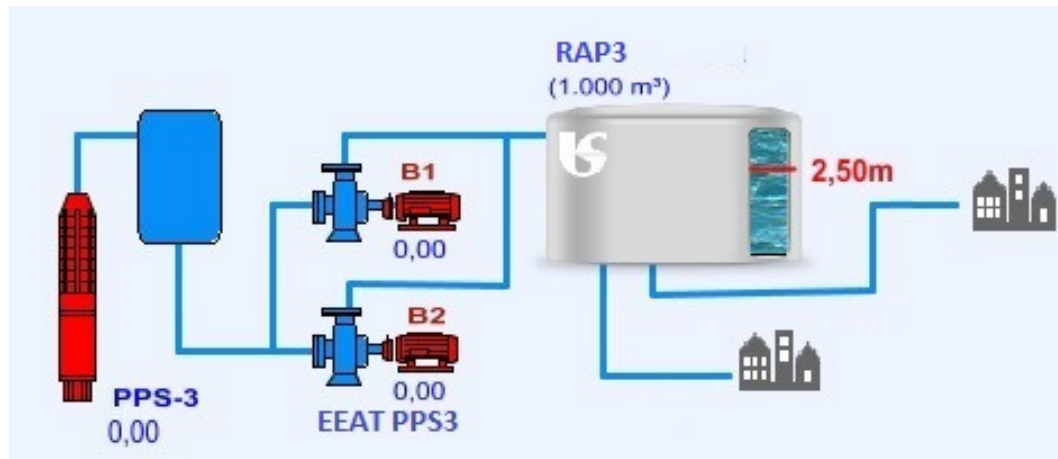
Para isso, um modelo matemático foi definido, levando em consideração todas as maneiras disponíveis para abastecimento de um ponto.

Uma vez definido, o modelo matemático foi implementado em um processo de otimização, para obter o menor custo possível por hora de abastecimento, levando em consideração a demanda necessária de água.

3.3 ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso para verificação dos benefícios que podem ser gerados, foi utilizado o sistema representado na figura 4.

Figura 4. Sistema de abastecimento do RAP3



Fonte: Autor.

O sistema é composto por um poço profundo submerso para a captação da água denominado PPS3 e por uma estação elevatória de água tratada ilustrada na figura 4 como EEAT PPS3 que é responsável pelo deslocamento da água até o reservatório apoiado RAP3, através de uma rede adutora de 4.000m de extensão e desnível geométrico de 120m.

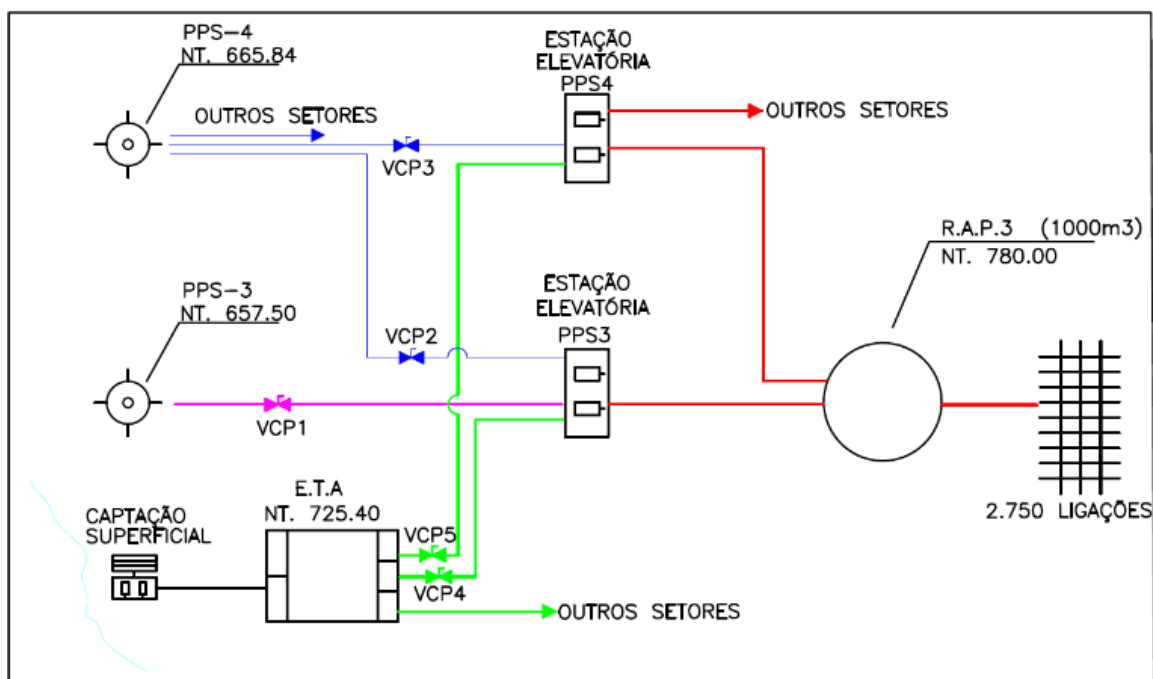
A partir do reservatório, a água é distribuída para 2750 ligações, que pode ser através de sistema bombeado ou gravidade.

No regime de trabalho atual, não existe critério para o acionamento do poço PPS3, que permanece operando durante todo o dia, para manter o nível máximo de água no reservatório, independentemente do nível mínimo atingido com o consumo.

Porém, o sistema de abastecimento até o ponto em estudo é flexível, ou seja, possui alternativas para manutenção do abastecimento de água no RAP3, fato necessário quando ocorre uma falha ou danos na bomba do poço, por exemplo.

A figura 5 ilustra o sistema completo, contendo as outras manobras que são utilizadas apenas em situações excepcionais.

Figura 5. Fluxograma do sistema completo de abastecimento do RAP3



Fonte: Autor.

Em resumo, o sistema ainda possui mais duas captações de água além do poço profundo submerso PPS3 já visto. São elas a ETA (Estação de Tratamento de Água) que é abastecida por uma captação superficial existente em um córrego do município e um outro poço profundo submerso denominado PPS4.

Estas duas outras captações também são responsáveis pelo abastecimento de outros setores do município fora do contexto do trabalho. Por este motivo, existe uma vazão limite de água que pode ser retirada de cada uma delas sem que haja perda para o restante das ligações. Estes limites de vazão são de 90,0 m³/h para a ETA e de 40,0 m³/h para o PPS4.

Vale ressaltar que o sistema composto pelo poço PPS3 e sua respectiva elevatória de água são utilizados exclusivamente para abastecimento do reservatório RAP3, não sendo possível manobras com este sistema para outros pontos. Devido a este fato, este sistema permanece operando ininterruptamente, com o único critério de se manter o RAP3 totalmente cheio.

Como o reservatório de água se encontra em um dos pontos mais altos do município, além da captação, se faz necessária a operação de uma estação elevatória de água, como a unidade EEAT PPS3 observada na Figura 5. Além desta elevatória, o sistema ainda

possui uma segunda unidade, localizada no poço p4 e denominada EEAT PPS4 (Estação Elevatória de Água Tratada do Poço Profundo Submerso 4) que também oferece uma opção para se enviar água para o reservatório.

O fluxo de abastecimento de todo o sistema é controlado por válvulas de controle de processo (VCP) que são responsáveis pelo direcionamento do abastecimento através das diversas configurações existentes.

No atual regime de trabalho, apenas a VCP1 permanece aberta para abastecimento do reservatório. Porém, em caso de urgência, as válvulas de controle VCP2 a VCP5 podem ser acionadas de acordo com a necessidade. Importante salientar que o acionamento das válvulas de controle é executado de maneira manual.

Ainda como parte da metodologia aplicada, foram levantados os custos com energia elétrica mensais, referentes ao ano de 2020 de cada instalação, obtidos diretamente das faturas de energia da concessionária, além do volume produzido por cada unidade e as respectivas vazões médias mensais, dados estes pertencentes aos relatórios de produção de água da própria empresa.

Com a utilização destes dados, é possível o cálculo do indicador (I) de custo com energia elétrica por 1000 metros cúbicos de água enviado até o reservatório (R\$/1000m³) de cada instalação, números estes que definem qual a melhor alternativa de abastecimento objetivando a redução dos custos operacionais.

Este indicador é determinado através de (1).

$$I = \frac{C_{ENERGIA}}{V_{PROD}} \times 1000 \quad (1)$$

Onde:

I = Indicador do custo de produção com energia elétrica da unidade consumidora (R\$/1.000m³)

C_{ENERGIA} = Custo mensal de energia elétrica de cada instalação (R\$)

V_{PROD} = Volume mensal produzido de água (m³)

No caso de uma configuração de abastecimento possuir mais de uma unidade consumidora, os custos de produção, referentes a cada uma destas, devem ser somados para que se tenha o custo total da configuração.

Através das faturas de energia elétrica da concessionária responsável pelo fornecimento de energia no município, foram obtidos os custos deste insumo para cada instalação que faz parte deste estudo. Foram também considerados os dias e períodos de leitura das faturas para se obter o volume produzido de água nos mesmos períodos.

A empresa realiza o acompanhamento diário de produção de cada instalação e registra estes dados nos relatórios operacionais. Contidos nestes registros estão o volume produzido em metros cúbicos diário e acumulado mensal bem como a vazão média em metros cúbicos por hora.

Através de (1), é possível determinar o indicador de custo com energia elétrica (I) para cada mil metros cúbicos produzidos (R\$/1000m³), conforme demonstram as tabelas de IV a VIII.

Tabela IV. Dados operacionais e indicador I referente ao poço PPS3

ANO 2020	CUSTO COM ENERGIA ELÉTRICA (Cenergia)	VOLUME PRODUZIDO (Vprod)	PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA	VAZÃO MÉDIA MENSAL	CUSTO DE PRODUÇÃO (I)
MESES	POÇO	m³/mês	m³/dia	(m³/h)	(R\$/1.000m³)
JANEIRO	R\$ 28.367,55	58.151	1.875	113,80	R\$ 487,83
FEVEREIRO	R\$ 25.684,10	53.841	1.856	119,12	R\$ 477,04
MARÇO	R\$ 25.334,11	61.257	1.976	116,68	R\$ 413,57
ABRIL	R\$ 29.295,71	59.110	1.970	117,75	R\$ 495,61
MAIO	R\$ 28.073,81	57.005	1.839	114,70	R\$ 492,48
JUNHO	R\$ 24.111,53	52.173	1.739	104,14	R\$ 462,15
JULHO	R\$ 27.188,54	59.851	1.995	103,19	R\$ 454,27
AGOSTO	R\$ 29.991,88	60.825	1.962	102,74	R\$ 493,08
SETEMBRO	R\$ 30.990,58	63.620	2.121	102,28	R\$ 487,12
OUTUBRO	R\$ 31.618,84	58.144	2.044	102,20	R\$ 543,80
NOVEMBRO	R\$ 36.852,65	66.548	2.267	116,06	R\$ 553,78
DEZEMBRO	R\$ 36.008,09	65.689	2.119	101,69	R\$ 548,16
MÉDIA ANUAL	R\$ 29.459,78	59.685	1.980	109,53	R\$ 492,41

Fonte: Autor.

Tabela V. Dados operacionais e indicador I referente a elevatória EEAT PPS3

ANO 2020	CUSTO COM ENERGIA ELÉTRICA (Cenergia)	VOLUME PRODUZIDO (Vprod)	PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA	VAZÃO MÉDIA MENSAL	CUSTO DE PRODUÇÃO (I)
MESES	ELEVATÓRIA	m ³ /mês	m ³ /dia	(m ³ /h)	(R\$/1.000m ³)
JANEIRO	R\$ 21.819,69	58.151	1.875	113,80	R\$ 375,22
FEVEREIRO	R\$ 20.084,90	53.841	1.856	119,12	R\$ 373,04
MARÇO	R\$ 21.859,32	61.257	1.976	116,68	R\$ 356,85
ABRIL	R\$ 21.857,87	59.110	1.970	117,75	R\$ 369,78
MAIO	R\$ 20.979,04	57.005	1.839	114,70	R\$ 368,02
JUNHO	R\$ 19.509,19	52.173	1.739	104,14	R\$ 373,93
JULHO	R\$ 21.332,69	59.851	1.995	103,19	R\$ 356,43
AGOSTO	R\$ 23.440,18	60.825	1.962	102,74	R\$ 385,37
SETEMBRO	R\$ 25.413,83	63.620	2.121	102,28	R\$ 399,46
OUTUBRO	R\$ 26.312,77	58.144	2.044	102,20	R\$ 452,54
NOVEMBRO	R\$ 30.586,40	66.548	2.267	116,06	R\$ 459,61
DEZEMBRO	R\$ 29.731,22	65.689	2.119	101,69	R\$ 452,61
MÉDIA ANUAL	R\$ 23.577,26	59.685	1.980	109,53	R\$ 393,57

Fonte: Autor.

Tabela VI. Dados operacionais e indicador I referente ao poço PPS4

ANO 2020	CUSTO COM ENERGIA ELÉTRICA (Cenergia)	VOLUME PRODUZIDO (Vprod)	PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA	VAZÃO MÉDIA MENSAL	CUSTO DE PRODUÇÃO (I)
MESES	POÇO PPS4	m ³ /mês	m ³ /dia	(m ³ /h)	(R\$/1.000m ³)
JANEIRO	R\$ 26.528,78	62.182	2.104	118,21	R\$ 426,63
FEVEREIRO	R\$ 19.992,26	49.562	1.709	123,89	R\$ 403,38
MARÇO	R\$ 17.364,83	40.135	1.295	115,00	R\$ 432,66
ABRIL	R\$ 20.287,12	48.095	1.603	123,64	R\$ 421,81
MAIO	R\$ 20.623,18	55.870	1.802	130,23	R\$ 369,13
JUNHO	R\$ 23.748,91	67.360	2.245	131,31	R\$ 352,57
JULHO	R\$ 25.847,33	74.390	2.480	128,70	R\$ 347,46
AGOSTO	R\$ 28.102,93	76.510	2.468	123,40	R\$ 367,31
SETEMBRO	R\$ 31.707,15	79.720	2.657	119,70	R\$ 397,73
OUTUBRO	R\$ 29.433,07	79.230	2.556	123,22	R\$ 371,49
NOVEMBRO	R\$ 29.702,64	75.560	2.519	121,67	R\$ 393,10
DEZEMBRO	R\$ 33.495,75	77.190	2.490	121,94	R\$ 433,94
MÉDIA ANUAL	R\$ 25.569,50	65.484	2.161	123,41	R\$ 393,10

Fonte: Autor.

Tabela VII. Dados operacionais e indicador I referente a elevatória EEAT PPS4

ANO 2020	CUSTO COM ENERGIA ELÉTRICA (Cenergia)	VOLUME PRODUZIDO (Vprod)	PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA	VAZÃO MÉDIA MENSAL	CUSTO DE PRODUÇÃO (I)
MESES	POÇO PPS4	m ³ /mês	m ³ /dia	(m ³ /h)	(R\$/1.000m ³)
JANEIRO	R\$ 21.705,37	62.182	2.104	118,21	R\$ 349,06
FEVEREIRO	R\$ 16.357,30	49.562	1.709	123,89	R\$ 330,04
MARÇO	R\$ 14.207,59	40.135	1.295	115,00	R\$ 353,99
ABRIL	R\$ 16.598,55	48.095	1.603	123,64	R\$ 345,12
MAIO	R\$ 16.873,51	55.870	1.802	130,23	R\$ 302,01
JUNHO	R\$ 19.430,93	67.360	2.245	131,31	R\$ 288,46
JULHO	R\$ 21.147,82	74.390	2.480	128,70	R\$ 284,28
AGOSTO	R\$ 22.993,31	76.510	2.468	123,40	R\$ 300,53
SETEMBRO	R\$ 25.942,22	79.720	2.657	119,70	R\$ 325,42
OUTUBRO	R\$ 24.081,60	79.230	2.556	123,22	R\$ 303,95
NOVEMBRO	R\$ 24.260,80	75.560	2.519	121,67	R\$ 321,08
DEZEMBRO	R\$ 27.405,61	77.190	2.490	121,94	R\$ 355,04
MÉDIA ANUAL	R\$ 20.917,05	65.484	2.161	123,41	R\$ 321,58

Fonte: Autor.

Tabela VIII. Dados operacionais e indicador I referente a estação de tratamento ETA

ANO 2020	CUSTO COM ENERGIA ELÉTRICA (Cenergia)	VOLUME PRODUZIDO (Vprod)	PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA	VAZÃO MÉDIA MENSAL	CUSTO DE PRODUÇÃO (I)
MESES	ETA+CAPTAÇÃO	m ³ /mês	m ³ /dia	(m ³ /h)	(R\$/1.000m ³)
JANEIRO	R\$ 36.265,48	196.580	6.341	270,77	R\$ 184,48
FEVEREIRO	R\$ 30.961,49	164.686	5.679	269,08	R\$ 188,00
MARÇO	R\$ 29.540,49	208.924	6.739	293,43	R\$ 141,39
ABRIL	R\$ 31.441,10	190.108	6.337	288,48	R\$ 165,39
MAIO	R\$ 30.383,16	178.683	5.764	274,05	R\$ 170,04
JUNHO	R\$ 26.698,20	161.523	5.384	263,07	R\$ 165,29
JULHO	R\$ 30.798,19	164.329	5.478	250,50	R\$ 187,42
AGOSTO	R\$ 33.214,30	169.078	5.454	247,91	R\$ 196,44
SETEMBRO	R\$ 32.048,49	187.654	6.255	273,15	R\$ 170,79
OUTUBRO	R\$ 33.190,22	184.120	5.939	271,16	R\$ 180,26
NOVEMBRO	R\$ 29.445,19	165.767	5.526	250,40	R\$ 177,63
DEZEMBRO	R\$ 35.329,20	170.965	5.515	254,03	R\$ 206,65
MÉDIA ANUAL	R\$ 31.609,63	178.535	5.868	267,17	R\$ 177,82

Fonte: Autor.

A tabela IX demonstra resumidamente os dados de cada instalação, contendo o custo médio mensal de energia elétrica de cada instalação durante o ano de 2020, o volume médio mensal produzido, a média diária de produção do ano, a vazão média de cada unidade e o indicador de custo de produção médio obtido de (1).

Tabela IX. Resumo dos dados operacionais das instalações

UNIDADE	CUSTO COM ENERGIA ELÉTRICA	VOLUME PRODUZIDO (m³)	PRODUÇÃO DIÁRIA (m³)	VAZÃO (Q) (m³/h)	INDICADOR (I) (R\$/1000m³)
PPS3	R\$ 29.459,78	59685	1980	109,53	R\$ 492,41
EEAT PPS3	R\$ 23.577,26	59685	1980	109,53	R\$ 393,57
PPS4	R\$ 25.569,50	65484	2161	123,41	R\$ 393,10
EEAT PPS4	R\$ 20.917,05	65484	2161	123,41	R\$ 321,58
ETA	R\$ 31.609,63	178535	5868	267,17	R\$ 177,82

Fonte: Autor.

Conforme demonstra o fluxograma ilustrado na figura 6, é possível realizar o abastecimento do reservatório RAP3 em cinco diferentes formas de configuração, utilizando as três captações existentes e as duas estações elevatórias de água. Para o cálculo do indicador (I) deve-se considerar o custo da unidade de captação somado ao custo da estação elevatória nas diferentes alternativas. O custo de cada configuração de abastecimento pode ser visualizado na tabela X.

Tabela X. Configurações de abastecimento e seus respectivos custos

CONFIGURAÇÃO	CAPTAÇÃO	EEAT	VAZÃO (Q) (l/s)	INDICADOR DE CUSTO (I) (R\$/1.000m³)	LIMITE (m³/h)
1	PPS3	EEAT PPS3	30,42	R\$ 885,98	NÃO HÁ
2	PPS4	EEAT PPS3	34,28	R\$ 786,67	40
3	PPS4	EEAT PPS4	34,28	R\$ 714,68	40
4	ETA	EEAT PPS3	74,21	R\$ 571,39	90
5	ETA	EEAT PPS4	74,21	R\$ 499,40	90

Fonte: Autor.

Pode-se observar na tabela X que o sistema utilizado atualmente para abastecimento do RAP3 é o que possui o indicador de custo mais alto entre as cinco configurações existentes, somando-se o indicador (I) das duas instalações envolvidas PPS3 e EEAT PPS3.

As outras quatro configurações possuem valores mais baixos para o indicador, porém existe um limite máximo de vazão que pode ser enviado para o sistema em estudo para que não ocorram prejuízos no abastecimento no restante das ligações.

3.4 MODELO MATEMÁTICO PARA O ESTUDO DE CASO

Para o cálculo do custo total de fornecimento de uma configuração do sistema por determinado período de tempo, deve-se considerar a vazão da configuração (Q_X), em litros/segundos ou metros cúbicos por hora, o tempo (t_X) que a instalação permanece operando dentro do período analisado e o custo de produção (I_X) de uma ou mais unidades consumidoras que pertencem a esta configuração, utilizando (2)

$$C_X = Q_X \times t_X \times I_X \quad (2)$$

Sendo x o número da configuração de abastecimento em estudo.

Nos sistemas em que existem mais de uma alternativa de abastecimento, como o caso em estudo, todos os custos de abastecimento (C_X) devem ser calculados e otimizados a fim de se obter a melhor performance do sistema, levando em conta a garantia do volume de água necessário ao menor custo possível, conforme determina (3)

$$C_{\text{SISTEMA}} = Q_1 \times t_1 \times I_1 + Q_2 \times t_2 \times I_2 + \dots + Q_N \times t_N \times I_N \quad (3)$$

Onde N é o número de configurações que podem ser utilizadas para abastecimento do sistema.

Para a eficácia da otimização, deve ser observado se há limites de operação do sistema e quais são eles. Caso haja limite de vazão de alguma das opções de abastecimento, deve-se verificar o máximo de tempo que esta configuração pode operar sem que haja prejuízo ao sistema como um todo.

O mesmo deve ser observado quanto aos limites técnicos do sistema, por exemplo, a vazão nominal dos elementos bombeadores ou o diâmetro da rede adutora de água. Estes limites determinarão um volume máximo que pode ser transportado de um ponto a outro em um determinado período de tempo.

O modelo matemático desenvolvido deve fornecer os dados referente a uma hora de abastecimento, ou seja, 3600 segundos respeitando os limites de vazão determinados e a capacidade nominais e técnicas das unidades envolvidas.

Aplicando (3) para o sistema em estudo, obtém-se (4):

$$C_{\text{SISTEMA}} = Q_1 \times t_1 \times I_1 + Q_2 \times t_2 \times I_2 + Q_3 \times t_3 \times I_3 + Q_4 \times t_4 \times I_4 + Q_5 \times t_5 \times I_5 \quad (4)$$

A otimização através do algoritmo deve obter como resultado os tempos de operação de cada uma das configurações para o menor custo possível, considerando uma hora de abastecimento.

Os valores referentes a vazão de cada uma das configurações são constantes pois são definidos pelas características técnicas do sistema. Os indicadores de custos (I_x) são obtidos através dos custos com energia elétrica e o volume produzido. Ambos os dados podem ser obtidos na tabela X.

Para o correto funcionamento do sistema, considerando o não desabastecimento de outros setores do município, deve-se respeitar os limites de vazão determinados para a estação de tratamento de água (ETA) e também para o poço profundo submerso 4 (PPS4).

O atendimento para a condição de 40 metros cúbicos por hora da PPS4 deve ser determinado por (5)

$$t_2 + t_3 \leq 1167s \quad (5)$$

Ou seja, somando-se os tempos das configurações que envolvem o poço PPS4, o máximo tempo disponível para uma hora de abastecimento será de 1167 segundos, considerando a vazão do poço de 34,28L/s.

O mesmo deve ser determinado para os tempos das configurações que envolvem o abastecimento através da ETA (t_4 e t_5). Considerando a vazão de 74,21 L/s da instalação e respeitando o limite de 90 metros cúbicos por hora, tem-se (6).

$$t_4 + t_5 \leq 1213s \quad (6)$$

Os limites de abastecimento também devem levar em consideração a capacidade máxima dos sistemas em estudo. Para este caso, serão utilizadas as vazões médias atuais das elevatórias de água tratada, pois este item envolve as características técnicas das bombas, diâmetro nominal da rede adutora, etc.

Para atender o limite do sistema abastecido pela EEAT PPS3, considerando sua vazão média de 109,53m³/h, ou seja, 109530 litros em uma hora de abastecimento, as configurações 1, 2 e 4, que são as configurações ligadas a este sistema, devem respeitar esta condição através de (7).

$$Q_1 \times t_1 + Q_2 \times t_2 + Q_4 \times t_4 = 109530 L \quad (7)$$

O mesmo deve ser definido para o sistema abastecido pela EEAT PPS4, cuja vazão média é de 123410 litros em uma hora de abastecimento. As configurações de abastecimento 3 e 5, que estão ligadas nesta instalação, devem atender este limite através de (8).

$$Q_3 \times t_3 + Q_5 \times t_5 = 123410 L \quad (8)$$

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esse capítulo apresenta os dados obtidos com a aplicação do método de otimização bem como os resultados que serão possíveis com este processo.

Será também abordada uma análise quanto a viabilidade técnica e financeira relacionada à nova configuração de operação proposta para o sistema de abastecimento de água objeto do estudo.

4.2 OTIMIZAÇÃO DO CUSTO DE ABASTECIMENTO

Nesse trabalho o processo de otimização tem a finalidade de minimizar o custo de abastecimento em um período de uma hora. Nesse caso, são levadas em consideração as diferentes configurações existentes, aumentando a eficiência e melhor distribuindo as vazões disponíveis no sistema de abastecimento do setor. Durante o processo de otimização os parâmetros de tempo de cada configuração são inseridos como variáveis de projeto e as restrições pertinentes ao volume são consideradas.

Para esse trabalho foi utilizado o programa MATLAB, versão 2020, aplicando o método de programação não linear baseado no método SQP (programação quadrática sequencial). Esse método é comumente utilizado para encontrar o mínimo de problemas de otimização lineares e não lineares, multivariáveis e uni-objetivo com restrições resultantes, como o descrito em (9).

Os problemas de otimização podem ser escritos de forma geral como (9).

$$\begin{aligned} & \underset{x}{\text{minimizar}} \quad f_0(x) \\ & \text{sujeito a} \quad f_i(x) \leq b_i, i = 1, \dots, m. \end{aligned} \tag{9}$$

sendo:

$f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ é a função objetivo a ser minimizada ao longo do vetor de n – variáveis x ,

$g_i(x) \leq 0$ são chamadas restrições de desigualdade,

$h_j(x) = 0$ são chamadas restrições de igualdade, e

$m_c \geq 0$ e $p_c \geq 0$.

Quando m_c e p_c forem iguais a 0, o problema é considerado um problema de otimização irrestrito. Por convenção, o formulário padrão define um problema de minimização. Um problema de maximização pode ser tratado negando a função objetivo.

O menor custo para abastecimento do reservatório, descrito em (4), é uma função linear, o que caracteriza o sistema também como linear, inclusive em relação às restrições impostas no modelo matemático.

No entanto, a classificação de um problema de otimização deve ser expressa com base na natureza da função objetivo e de suas restrições (RAO, 2019). Em termos práticos o problema de otimização apresentado nesse trabalho pode ser classificado como:

- Problema de otimização com restrições
- Função objetivo de natureza linear
- Variáveis de projeto determinísticas que assumem valores inteiros
- Função objetivo não separável (uni-objetivo)
- Otimização multivariável e uni-objetivo;

O problema de otimização para obter o menor custo para abastecimento do reservatório RAP3 apresentado pode ser escrito da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \underset{x}{\text{minimizar}} \quad C_{\text{SISTEMA}} \\ & \text{sujeito a} \quad x_2 + x_3 \leq 1167s \\ & \quad \quad \quad x_4 + x_5 \leq 1213s \\ & \quad \quad \quad Q_1 x_1 + Q_2 x_2 + Q_4 x_4 = 109530L \\ & \quad \quad \quad Q_3 x_3 + Q_5 x_5 = 123410L \end{aligned}$$

sendo que,

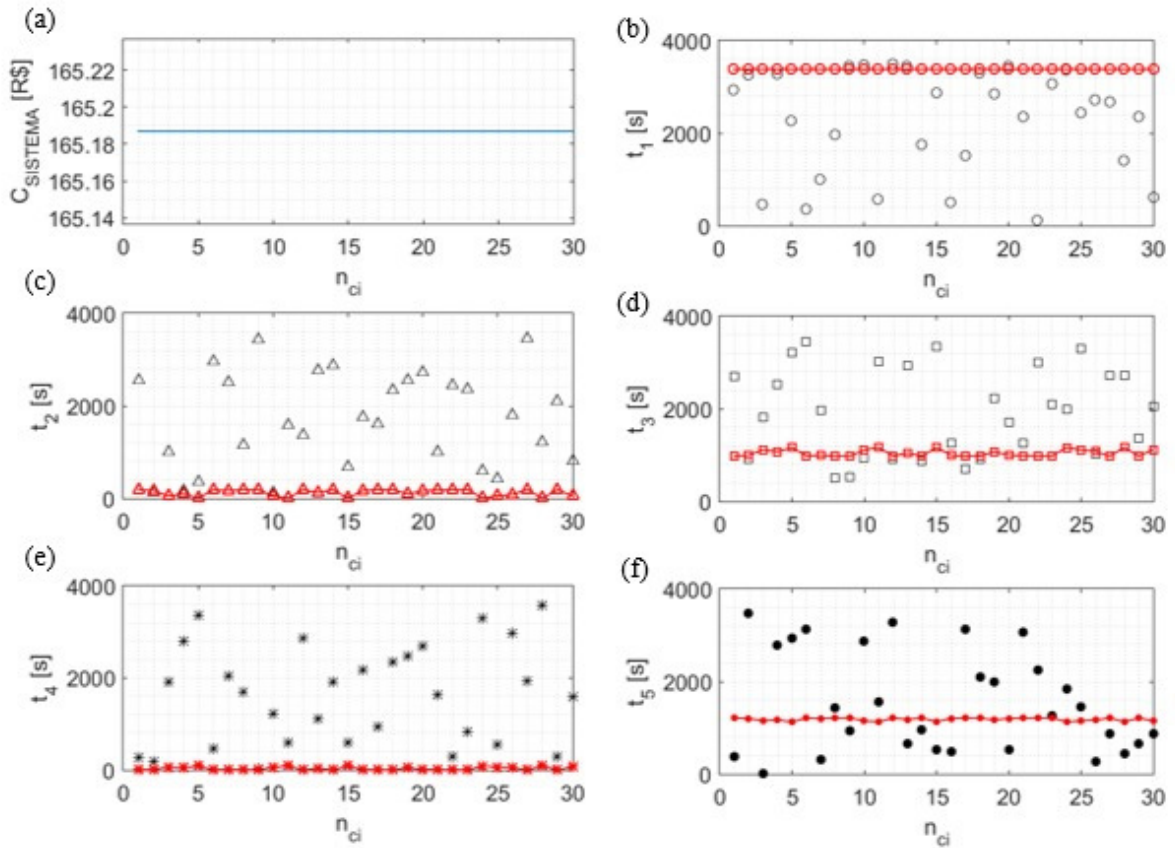
$$x = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ t_5 \end{Bmatrix} \tag{10}$$

Sendo t_1 a t_5 são os tempos de operação para cada configuração.

Em problemas de otimização, dependendo da complexidade da função objetivo é possível que o algoritmo encontre um mínimo local na função objetivo.

Dessa forma, a fim de se verificar a eficácia do algoritmo utilizado em determinar o mínimo valor, foram feitas diferentes combinações de suposição iniciais. A figura 6 apresenta a resposta da função objetivo e dos tempos de operação (t_1 a t_5) obtidos após o processo de otimização com 30 suposições iniciais geradas aleatoriamente.

Figura 6 (a) Resposta da função objetivo e (b) resposta do tempo t_1 (vermelho) (c) resposta do tempo t_2 (vermelho) (d) resposta do tempo t_3 (vermelho) (e) resposta do tempo t_4 (vermelho) (f) resposta do tempo t_5 (vermelho) obtidos com 30 suposições iniciais geradas aleatoriamente (marcadores pretos)

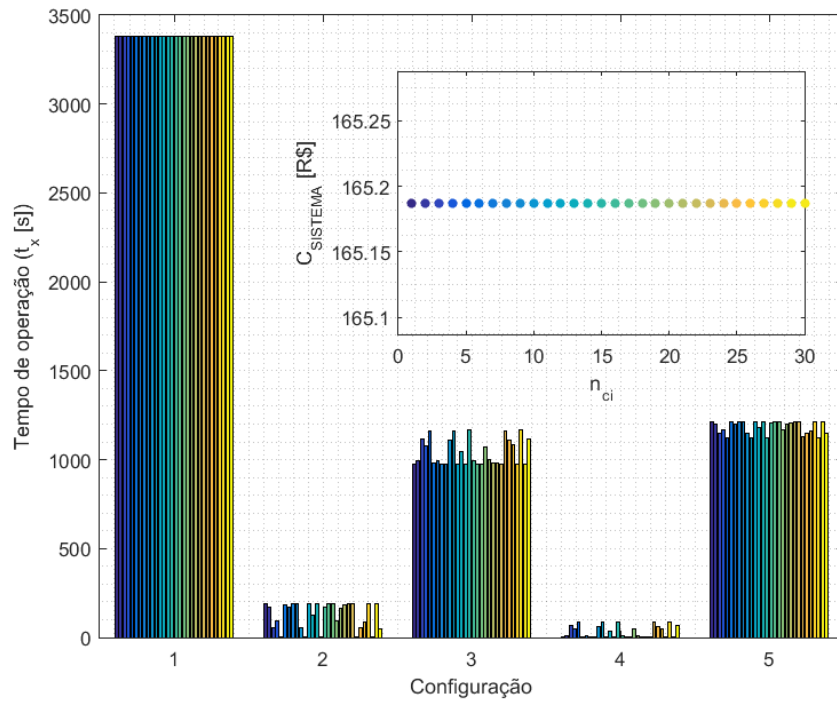


Fonte: autor

A figura 6 mostra que apesar de diferentes suposições iniciais terem sido consideradas, que todas essas levaram para um mesmo valor de mínimo da função, mostrando a eficácia do algoritmo utilizado.

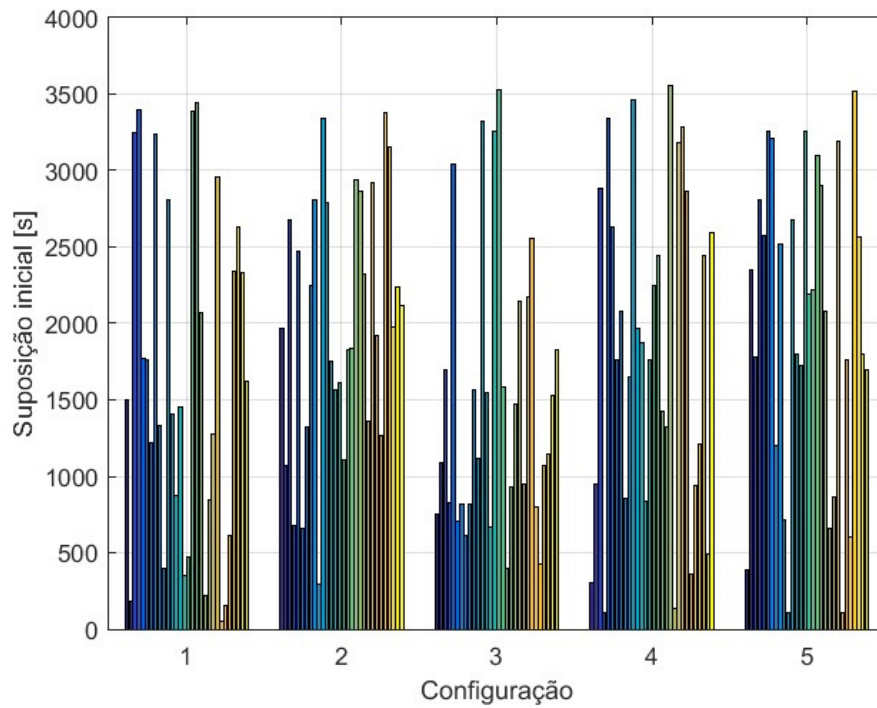
A resposta da função objeto e os tempos de operação são demonstrados também na figura 7 em um formato de colunas para melhor visualização.

Figura 7. Resposta da função objetivo e tempos de operação (t_x) obtidos com 30 suposições iniciais.



Fonte: Autor.

Figura 8. Suposições iniciais em formato de colunas



Fonte: Autor

Um fator importante a ser observado é que algumas das variáveis de projeto apresentaram diferentes valores de acordo com a suposição inicial. Nota-se principalmente na figura 6c e figura 6d que os valores obtidos têm variações consideráveis de acordo com a condição inicial. Isso demonstra que, para o sistema analisado nesse trabalho, diferentes combinações de tempo para cada configuração podem ser utilizadas e que o custo mínimo será mantido.

Após o processo de otimização, foi obtido (11) determinando o conjunto de parâmetros que minimizaram a função objetivo.

$$x = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3382,59 \text{ s} \\ 178,11 \text{ s} \\ 988,89 \text{ s} \\ 6,82 \text{ s} \\ 1206,18 \text{ s} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

Esse conjunto de valores será utilizado para as comparações com o sistema instalado atualmente, apresentados no capítulo 3.

4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Considerando os valores de tempos obtidos em (11) com a implantação da equação (10) no processo de otimização, os valores de volume produzido e custo por hora de cada configuração podem ser visualizados na Tabela XI.

Tabela XI. Resultados obtidos no processo de otimização

CONFIGURAÇÃO	CAPTAÇÃO	EEAT	TEMPO (s)	VOLUME (Litros)	CUSTO POR HORA
1	PPS3	EEAT PPS3	3382,59	102914	R\$ 91,18
2	PPS4	EEAT PPS3	178,11	6105	R\$ 4,80
3	PPS4	EEAT PPS4	988,89	33900	R\$ 24,23
4	ETA	EEAT PPS3	6,82	506	R\$ 0,29
5	ETA	EEAT PPS4	1206,18	89515	R\$ 44,70
TOTAL			5762,59	232940	R\$ 165,20

Fonte: Autor.

Ou seja, para atendimento ao volume total de 232940 litros por hora permitido pelo sistema, o menor custo obtido com a minimização da função objetivo é de R\$ 165,20.

A demanda média atual do sistema, observando apenas a operação do poço PPS3 e da EEAT PPS3 que é a configuração utilizada, para abastecimento das 2750 ligações, incluindo as perdas, é de 1980 m³ por dia, ou 59685 m³ por mês, conforme demonstra a tabela IV.

Considerando o volume de abastecimento de 232,94 m³ em uma hora obtido com a aplicação do algoritmo, o tempo diário necessário para atendimento a demanda de água é dado por (12)

$$\text{Tempo}_{\text{diário}} = \frac{1980}{232,94} = 8,5 \text{ horas/dia} \quad (12)$$

Ou seja, esta configuração necessita de 8,5 horas diárias de operação para atendimento a demanda de água do reservatório. O período total de abastecimento mensal será (13).

$$\text{Tempo}_{\text{mensal}} = \frac{59685}{232,94} = 256,22 \text{ horas/mês} \quad (13)$$

Considerando o custo de R\$165,20 por hora de operação do sistema na configuração proposta, o custo mensal total com energia elétrica é obtido em (14)

$$\text{Custo}_{\text{mensal}} = 256,22 \times 165,20 = \text{R\$ } 42.327,54 \quad (14)$$

Conforme demonstra a tabela IX, o sistema atualmente utilizado, ou seja, o poço profundo submerso PPS3 e a estação elevatória de água tratada EEAT PPS3, que operam sem critério algum, possuem um custo médio mensal com energia elétrica, somando as duas instalações, de R\$ 53.037,00 para operação.

Desta forma, aplicando o método de otimização demonstrado e implantando a configuração de abastecimento obtida com a minimização da função objetivo, a redução é de 20,19% nos custos com energia elétrica do sistema.

De acordo com a configuração proposta, o período diário de operação do sistema será de 8,5 horas para atendimento à demanda necessária para abastecimento das ligações. Ou seja, os equipamentos não estarão operando 24 horas por dia, o que pode significar um aumento da vida útil. Da mesma forma, existe a possibilidade de não operar os equipamentos no horário de ponta da concessionária, garantindo assim uma redução ainda maior no custo operacional com energia elétrica do sistema.

CONCLUSÃO

A eficiência de um sistema de abastecimento de água está diretamente relacionada com o melhor aproveitamento de energia elétrica. Todas as etapas dos processos de captação, tratamento e distribuição de água dependem de equipamentos elétricos como motores, bombas, controladores, entre outros.

As empresas prestadoras de serviço de abastecimento de água nos diversos municípios devem monitorar constantemente o nível de eficiência energética que está sendo praticado em suas diversas instalações, afim de evitar desperdícios desta que representa uma parcela bastante significativa em seu balanço financeiro.

O modelo aplicado no presente trabalho representa uma redução bastante significativa nos custos de operação, sendo algo em torno de 20%.

Vale ressaltar que a aplicação do método de otimização teve como objetivo apenas um sistema de abastecimento. Geralmente, são necessários mais de um sistema para abastecimento de todo um município o que resultaria em maior seria a economia mensal.

A automatização das válvulas de controle seria fundamental para maior eficiência do sistema, auxiliando na redução dos custos com energia elétrica, deslocamento de funcionários, etc. Os custos desta implantação podem ser avaliados em trabalhos futuros.

Outras vantagens ainda podem ser obtidas, por exemplo, o aumento da vida útil dos equipamentos, que estarão trabalhando por um menor período de tempo, e a possibilidade de deslocamento da curva de carga para períodos fora do horário de ponta da concessionária.

As perdas de água, sejam físicas ou não físicas, devem ser detectadas e eliminadas pois também representam energia elétrica utilizada e desperdiçada.

As faturas de energia elétrica das concessionárias responsáveis pela distribuição informam importantes dados relacionados a operação da carga em questão e o contrato de fornecimento sendo possível identificar penalidades, superdimensionamento de demanda contratada, a modalidade tarifária que a instalação está enquadrada bem como seus custos.

Através de medidas como a redução ou parada de equipamentos no horário de ponta e uma minuciosa revisão contratual no fornecimento de energia elétrica, as empresas de abastecimento de água podem ter uma economia importante em seu orçamento.

Estas medidas devem estar alinhadas com a capacidade e operação do sistema de abastecimento, pois, em hipótese alguma, não deverá faltar água para o consumidor final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. A. **Análise e métodos de otimização para eficiência energética de estações elevatórias em sistemas de abastecimento de água.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campo Grande. [2007]. Disponível em: <http://www.gota.eng.br/downloads/teses/tesearagao.pdf> Acesso em: 15 de abril de 2021

ANEEL. **Resolução normativa nº 479, de 3 de abril de 2012.** [2012] Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf> Acesso em: 20 out. 2020

ANEEL. **Essencial para a energia. Essencial para o Brasil.** [2016] Disponível em: https://www.aneel.gov.br/aneel-essencial/-/asset_publisher/c4M6OIOMkLad/content/o-que-a-aneel-faz-?inheritRedirect=false. Acesso em: 10 de set. 2020

ANEEL. **Fiscalização do serviço público de energia elétrica** [2020] Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/fiscalizacao-do-setor-eletrico>. Acesso em: 15 de out. 2020

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 414, estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada.** [2010] Disponível em: <https://www.joaocesa.com.br/uploads/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20n%C2%BA%20414%20de%209%20de%20Setembro%20de%202010-min.pdf>. Acesso em: set. 2020.

ANEEL **Tarifa branca é nova opção para quem tem consumo acima de 250 KWh/mês.** [2019] Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-quem-tem-consumo-acima-de-250-kwh/656877?inheritRedirect=false#:~:text=TARIFA%20BRANCA-,Tarifa%20branca%20%C3%A9%20nova%20op%C3%A7%C3%A3o%20para%20quem,acima%20de%20250%20KWh%20Fm%C3%AAs&text=A%20tarifa%20branca%20sinaliza%20aos,e%20o%20hor%C3%A1rio%20do%20consumo. Acesso em: 13 out. 2020

BACCI, D. D. La C.; PATACA, E. M. **Educação para a água.** [2008] Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a14.pdf> Acesso em: 10 nov. 2020

BARBOSA, W. H. A.; CHEUNG, P. B.; BARBOSA, A. T. R.; BARBOSA, J. L. A. [2019] **Consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água.** Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/consumo-energia-sistema-abastecimento/> Acesso em: 23 nov. 2020

BRASIL. **Balanco Energético Nacional – BEN.** [2013] Rio de Janeiro: MME-EPE. 288p.

BRASIL. **Cartilha Energia. Como analisar gastos com energia elétrica.** Ministério do Desenvolvimento. [2005] Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/cartilha%20de%20energia%20v%2003.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2020.

COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H. de; RAMOS, H. **Utilização em um algoritmo genético híbrido para operação ótima de sistemas de abastecimento de água.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. [2010] Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/xXsmX4pp7DP3bmXcDyQNB8h/abstract/?lang=pt> Acesso em: 15 de dez. 2020

CPFL ENERGIA. **Cartilha de utilização consciente da energia elétrica** – Programa de Eficiência Energética (PEE). Campinas.

CPFL ENERGIA. **Saiba mais – modalidade tarifária.** [2020] Disponível em: <https://www.cpflempresas.com.br/noticias/modalidadetarifaria.aspx>. Acesso em: 16 out. 2020.

CPFLSOLUÇÕES. **O que é tarifa de energia e como ela é calculada na conta de luz?** [2020] Disponível em: <https://cpflsolucoes.com.br/o-que-e-tarifa-de-energia-e-como-ela-e-calculada-na-conta-de-luz/>. Acesso em: 12 out. 2020

DAE-BAURU. **Meio ambiente.** [2020] Disponível em: <http://www.daebauru.sp.gov.br/2014/ambiente/ambiente.php?secao=hidrico&pagina=0>. Acesso em: 03 dez. 2020

DIAS, R. **Sistema de Gestão de Energia.** [2018] Disponível em: <https://www.cubienergia.com/sistema-gestao-energia/>. Acesso em: 03 dez. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2021** –Ano Base 2020 (BEN 2021). Rio de Janeiro, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **NOTA TÉCNICA DEA 07/13: Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída.** Rio de Janeiro, 2013.

EOSCONSULTORES. **O que é e como funciona um sistema de abastecimento de água.** [2017] Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/sistema-de-abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

FREITAS, E. **Ciclo da água.** [2020] Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/ciclo-agua.htm>. Acesso em: 10 nov. 2020

GIRARDI, G. **Gestão de energia: o que é e como fazer?** [2020] Disponível em: <https://www.way2.com.br/blog/gestao-de-energia/> Acesso em: 03 dez. 2020

GUANAIS, A. L. R.; COHIM, E. B.; MEDEIROS, D. L. **Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água.** [2016] Artigo Técnico. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v22n6/1809-4457-esa-s1413-41522017146180.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2020

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico.** [2007] Disponível em: ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf Acesso em 03 de nov. de 2020

GUITIERREZ, R. H; GONÇALVES, O. A. V.; LUQUETTI, J. A. **Gestão do consumo de energia elétrica: revisão da literatura nas bases Scopus e Scielo.** [2016] Acesso em: 26 nov. 2020

MOURA, G. N. P. de. **A relação entre água e energia: Gestão energética nos sistemas de abastecimento de água das companhias de saneamento básico do Brasil,** Dissertação de Mestrado Rio de Janeiro. [2010] Disponível em:

http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Gustavo_Nikolaus_Pinto_de_Moura.pdf. Acesso em: 15 nov. 2020

OLIVEIRA, M. V. G. de. **Indicadores ambientais para as variáveis água, energia e resíduo sólido urbano para instituição de ensino**. [2017] Acesso em: 10 nov. 2020

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. (2015) **The United Nations World Water Development Report 2015: water for a sustainable world**. UNESCO. 139 p.

PEDROSA, L. de A. F. **Um modelo de operação de sistemas adutores de abastecimento de água com vistas a minimização dos custos energéticos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. [2006] Disponível em: http://ct.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/pesquisa-lenhs/2006-dissertacao_laudelino.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020

RAO, Singiresu S. **Engineering optimization: theory and practice**. John Wiley & Sons, 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2019. Brasília, 2020.

SILVA, A. de A. da. **Reuso das águas cinzas**. [2020] Disponível em: <http://portalsemiar.org.br/boaspraticas/reuso-de-aguas-cinzas/> Acesso em: 15 nov. 2020

SILVA, M. A. da. **REUSO DE ÁGUA: possibilidades de redução do desperdício nas atividades domésticas** [2014] Disponível em: <http://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/05/REUSO-DE-%C3%81GUA-possibilidades-de-redu%C3%A7%C3%A3o-do-desperd%C3%ADcio-nas-atividades-dom%C3%A9sticas.pdf> Acesso em: 10 nov. 2020

SNIS. **Perguntas frequentes sobre o SNIS** [2020] Disponível em: <http://www.snis.gov.br/perguntas-frequentes>. Acesso em: 20 nov. 2020

SNIS. **Componentes dos SNIS**. [2020] Disponível em: <http://www.snis.gov.br/componentes/menu-snis-componente-agua-e-esgotos> Acesso em: 3 nov. 2020

SOBRINHO, R. A.; BORJA, P. C. **Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS**. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000400783 Publicado em: 2016 Acesso em: 03 dez. 2020

SPERLING, M. V. **Ciclo do uso da água**. [2020] Disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/saneamento/abastecimento_de_agua/ciclo_do_uso_da_agua.html. Acesso em: 10 nov. 2020

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. 1ª. Ed. São Paulo: ABES, 2001.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION [UNIDO]. **Industrial Energy Efficiency and Climate Change: Energy Management Standards**. UNIDO, 2009. Disponível em <http://www.unido.org/index.php?id=5844>. Acesso em: 15 nov. 2020