



UNIVERSIDADE CEUMA
REITORIA
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE

BRUNNA CAROLINE CORREIA DIAS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SÃO LUÍS-MA**

Orientador: Prof. Dr. Maurício Dzedzic

São Luís
2020

BRUNNA CAROLINE CORREIA DIAS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SÃO LUÍS-MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente da Universidade CEUMA, como requisito para obtenção do grau de Mestre (a) em Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Dziedzic

São Luís
2020

UNIVERSIDADE CEUMA
REITORIA
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE

**Folha de aprovação da Dissertação de BRUNNA CAROLINE
CORREIA DIAS defendida e aprovada pela Comissão Julgadora
em 31/07/2020**

Brunna Caroline Correia Dias

Prof^a. Rebecca Moreira Dziedzic - Avaliadora Externa
1º Titular

Prof^a. Rita de Cássia Mendonça de Miranda – Avaliadora Interna
2º Titular

Prof^a. Maria Raimunda Chagas Silva – Avaliadora Interna
3º Titular

Prof. Maurício Dziedzic - Orientador
Presidente da Comissão

Prof. Fabrício Brito Silva
Pró-Reitor de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão

Resumo

O crescimento da demanda por água faz com que concessionárias de todo o mundo enfrentem grandes desafios na melhoria da eficiência dos sistemas. Sistemas de abastecimento de água possuem alto consumo de energia, tornando fundamental a busca por uma melhor gestão das redes de distribuição de água, a fim de melhorar sua eficiência e diminuir gastos. O presente artigo propõe método para avaliar eficiência energética de sistemas de abastecimento de água, com estudo de caso na cidade de São Luís-Ma. O programa computacional Epanet foi utilizado para desenvolver modelo da rede e comparar cenários, buscando melhorias das condições operacionais do sistema, por meio de simulações nos conjuntos de bombas, desligando-as no horário de ponta e reduzindo seu tempo de funcionamento, como também avaliando a influência das perdas nos custos com energia elétrica. Os resultados apontam que a programação não otimizada do sistema de bombeamento em conjunto com os elevados índices de perdas são responsáveis pelo consumo elevado de energia.

Palavras-chave: Recursos hídricos, Gestão, Perdas, Sistema produtor Italuís.

Abstract

The growing demand for water means that utilities around the world face major challenges in improving the efficiency of their systems. Water supply systems have high energy consumption, making essential a search for better management of water distribution, in order to improve their economy and reduce costs. This article proposes a method to evaluate the energy efficiency of water supply systems, with a case study in the city of São Luís - MA. The computer program Epanet was used to develop a network model and compare scenarios, seeking improvements in system conditions, simulating changes in pumping and water losses. The results indicate that poor pumping practices together with high levels of water losses result in high energy use.

Keywords: Water resources; Management; Losses; Italuís producer system.

Epígrafe

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Martin Luther King)

Agradecimentos

Primeiramente a Deus por me agraciar com grandes pessoas e oportunidades no decorrer da minha vida.

À minha mãe Raimunda Nonata Costa Correia, que sempre me apoiou e acreditou incondicionalmente em mim, tem sido a minha base em todas as circunstâncias.

Ao meu orientador, Maurício Dziedzic, pela confiança, apoio, compreensão, amizade, paciência e dedicação em me orientar.

À FAPEMA pelo apoio e incentivo à pesquisa, tendo concedido bolsa de mestrado.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa ao orientador.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Tempo de retorno de investimentos de ações de melhoria de eficiência energética.....	24
Tabela 2. Indicadores de eficiência de um Sistema de Abastecimento de Água.....	25
Tabela 3. Características dos reservatórios de nível variável.....	27
Tabela 4. Fragmento dos cenários realizados para definir dimensões mínimas do reservatório R9.....	30
Tabela 5. Custo da energia utilizada no bombeamento em um dia médio para as simulações em três diferentes cenários.....	30
Tabela 6. Resultados do indicador de utilização de capacidade de bombeamento dos cenários simulados	34
Tabela 7. Resultados do indicador de consumo de energia dos cenários simulados.....	35
Tabela 8. Resultados do indicador de consumo de energia normalizado dos cenários simulados.....	36

Lista de Figuras

Figura 1. Caracterização da área de estudo na cidade de São Luís - Ma.....	23
Figura 2. Rede de distribuição, delimitação das zonas de Abastecimento dos reservatórios e bairros abastecidos na Zona V da cidade de São Luís.....	27
Figura 3. Topografia da rede de distribuição da cidade de São Luís - MA.....	28
Figura 4. Relação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura na cidade de São Luís no ano de 2018.....	29
Figura 5. Variação do custo da energia elétrica.....	29
Figura 6. Índice de perdas na rede de distribuição de água nas capitais do Brasil.....	31
Figura 7. Relação entre as perdas de água na rede de distribuição e o gasto diário médio das simulações.....	32
Figura 8. Relação entre redução das perdas na rede de distribuição e a redução dos gastos com energia elétrica nas simulações.....	32
Figura 9. Relação entre a redução das perdas e pressão no sistema durante as simulações.....	33
Figura 10. Comparativo da Energia Mínima Necessária em dois cenários. Cenário 1 bombas funcionando em sua programação real e Cenário 2 bombas funcionando programação ideal.....	37
Figura 11. Localização do uso de Válvulas Reguladoras de Pressão na porção da Zona Vb.....	37

Lista de Abreviaturas

AIA – Associação Internacional da Água

CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética

CAEMA – Companhia de Abastecimento Ambiental do Maranhão

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

ETA – Estação de Tratamento de Água

FAPEMA – Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão

IBNET – The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento

PVC – Policloreto de Vinila

UME – Unavoidable Minimum Energy required

VRP – Válvulas Reguladoras de Pressão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Sistema de Abastecimento de Água e seus Componentes	13
2.2 Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água.....	15
2.2.1 O uso eficiente da água e energia.....	15
2.3 Métodos para Controle de Energia Hidráulica e Pressão	17
2.4 Sistema Tarifário Brasileiro e o Custo da Energia	19
2.4.1 Classes de fornecimento	19
2.4.2 Bandeira Tarifária	20
3 CAPÍTULO I: Artigo a ser Submetido à Revista Brasileira de Recursos Hídricos	22
4 CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS	43
Atividades Desenvolvidas no período	45
ANEXO A	46
ANEXO B	47
ANEXO C: Normas para submissão na Revista.....	48

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por eletricidade impacta diretamente o meio ambiente, uma vez que, o modelo global de geração de energia elétrica é baseado principalmente no uso de combustíveis fósseis. Os sistemas de abastecimento de água estão entre os principais consumidores de energia. (DINIZ et al., 2015).

São necessários altos volumes de água para a geração de energia elétrica, que, por sua vez, é necessária para produção, tratamento e distribuição de água potável. A busca por intervenções que visem melhorar a eficiência energética do sistema proporciona benefícios econômicos, ambientais e sociais (KANAKOUDIS et al., 2012).

Os altos índices do uso de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água contribuem significativamente para a emissão de gases do efeito estufa. Nos últimos anos, concessionárias de diversas partes do mundo foram desafiadas a otimizar os processos dentro dos sistemas, diminuindo os custos, reduzindo os poluentes e melhorando a eficiência (WONG; MUI; ZHOU, 2017).

Em nenhum lugar a escassez hídrica é tão evidente como nas redes de abastecimento e distribuição de água, onde o fluxo é regularmente interrompido pela demanda que na maioria das vezes excede a oferta. Algumas deficiências encontradas nas redes são ocasionadas por desperdício e uso ilegal (MAMADE et al., 2017).

O crescimento populacional e o anseio da população pelo aumento do nível de qualidade de vida também são fatores responsáveis por contribuir no aumento do consumo de água e energia. É fundamental que todos os setores usuários da água e em especial os Sistemas de Abastecimentos de Água (SAA) se adequem ao cenário atual e busquem alternativas para a melhoria dos seus sistemas de fornecimento de água (HERRERA et al., 2018).

2 Referencial teórico

2.1 Sistema de Abastecimento de Água e seus Componentes

O sistema de abastecimento de água tem como seu principal objetivo o fornecimento de água potável para a população, de forma a atender diferentes fins de consumo. A água fornecida deverá permanecer dentro dos padrões de qualidade estabelecidos de acordo com a legislação vigente (AZEVEDO NETO et al. 2015).

Segundo Tsutiya (2006), a concepção de um sistema de abastecimento de água varia de acordo com o tamanho, a topografia e a localização da cidade em relação aos mananciais. Normalmente, os sistemas são constituídos pelas seguintes partes descritas abaixo e representadas a seguir pela Figura 01.

a) Manancial: responsável por permitir a retirada de água em qualquer época do ano para os sistemas de abastecimento de água, em quantidade suficiente ao abastecimento e com a maior qualidade possível.

b) Captação: é a unidade do sistema responsável pela retirada de água do manancial, em quantidade necessária e suficiente para atender os possíveis usuários. Os tipos de captação variam de acordo as características dos mananciais; leito, qualidade, velocidade, variação do nível da água, etc. As obras de captação devem ser projetadas e constituídas de forma que, em qualquer época do ano, sejam asseguradas condições de fácil entrada da água, tanto quanto possível, da melhor qualidade encontrada no manancial em consideração, levando em consideração condições futuras.

c) Estação elevatória: A captação pode ocorrer por gravidade, por recalque (por meio de estação elevatória), ou de ambas as maneiras. Os sistemas que funcionam por gravidade possuem a vantagem de não necessitarem do uso de energia para impulsionar a água. Nos casos por recalque, a água é conduzida pressurizada mediante estação elevatória, também conhecida como de bombeamento. Também é comum a estação elevatória tipo “booster”, que tem a função de aumentar a pressão em adutoras ou rede de distribuição de água (TSUTIYA, 2006).

d) Adutora: o transporte da água entre o manancial, a unidade de tratamento e os reservatórios é realizado através de linhas adutoras, que

conduzem a água por recalque e/ou por meio da gravidade, dependendo das cotas e das distâncias entre as partes constituintes. Os diferentes tipos de adutoras combinam trechos de escoamento por gravidade quando possíveis com outros trechos de escoamento por recalque, aproveitando, assim os desníveis favoráveis do percurso e reduzindo o consumo de energia necessária para o bombeamento de água (GOMES, 2009).

e) Estação de tratamento de água (ETA): componente do sistema responsável por garantir os padrões da água fornecida à população de acordo com a legislação vigente do ponto de vista físico, químico e biológico.

f) Reservatório: elemento do sistema de abastecimento de água destinado a regularizar as variações entre vazão de adução e distribuição, e condicionar as pressões na rede de distribuição. Os reservatórios de nível variável possuem papel importante no processo de eficiência energética, pois têm como objetivo o bombeamento de água fora dos horários de pico elétrico. Já os reservatórios de nível fixo representam um volume de armazenamento de água, de grande capacidade e carga hidráulica praticamente constante. Constituem, assim, fontes ou sumidouros de água externos à rede. Em geral os reservatórios de nível variável devem ter a capacidade suficiente para armazenar um terço do consumo diário correspondente aos setores por eles abastecidos (TSUTIYA, 2006).

g) Rede de distribuição: parte do sistema constituída por tubulações (obras enterradas), essas tubulações denominadas rede de distribuição, atravessam a cidade, onde, em frente a cada um dos prédios é efetuada uma ligação a outro tubo de menor diâmetro denominado ramal predial. Este ramal, finalmente, é ligado aos reservatórios das edificações, que têm por finalidade fornecer, em regime contínuo, água potável em quantidade, qualidade e pressão adequada (AZEVEDO NETO, et al. 2015).

2.2 Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água

2.2.1 O uso eficiente da água e energia

Os sistemas de abastecimento de água são grandes consumidores de energia. O uso ineficiente da água causa demanda evitável de energia. As perdas influenciam os indicadores de eficiência energética e desempenham um papel importante no esforço de concessionárias de água. Mundialmente, os gastos com energia representam 35% das despesas totais associadas à produção (HAMICHE et. al 2016).

O volume de perda é influenciado pela vazão e duração de vazamento antes de ser reparado (SAMIR, 2017). Os componentes de vazamento podem ser divididos em três categorias: Rompimentos e vazamentos relatados: possuem vazão alta e pequena duração, são normalmente identificados pela população e comunicados à concessionária. Rompimentos e vazamentos não relatados: possuem vazão moderada e normalmente são identificados por equipe de controle de vazamentos da concessionária. Perdas ocultas: possuem como principal característica baixas vazões e difícil detecção, normalmente são encontrados por meio de técnicas mais avançadas, como a acústica.

São muitos os fatores determinantes para a ineficiência energética de uma rede de distribuição de água. A distribuição é responsável por cerca de 90% do consumo do sistema. E assim como todo o sistema, as redes de distribuição devem ser cuidadosamente projetadas e mantidas adequadamente para o fornecimento da quantidade necessária de água com pressão adequada para todos os consumidores (JINESH BABU; MOHAN, 2012).

Aproximadamente 0,6kWh a um custo de R\$0,16 é gasto por cada metro cúbico de água produzida. Um bom desempenho hidráulico e energético é crucial para a redução dos custos (GIUSTOLISI; SIMONE; RIDOLFI, 2017).

A eficiência energética do sistema depende de uma gestão contínua, que considere desde aspectos operacionais até as bases institucionais, legais e educacionais (COELHO; ANDRADE-CAMPOS, 2018).

Disponibilizar mais água, atendendo assim um maior número de usuários; diminuir os investimentos para atender as demandas de pico e diminuir o

consumo de energia elétrica, são considerados por Tsutiya (2006), alguns dos principais benefícios de um sistema eficiente.

Um dos principais problemas na operação do abastecimento de água são as possíveis perdas. As perdas em geral causam gastos desnecessários no sistema, quando elevadas causam ineficiência e despesas excessivas no bombeamento e em outras etapas (ROGERS; CALVO, 2015).

Os responsáveis pelo funcionamento dos sistemas de abastecimento de água lutam pela dupla questão da avaliação e atendimento da demanda. Basicamente, um vazamento é uma demanda. Embora um vazamento possa ser fisicamente igual a uma demanda, sua principal característica é que ele não fornece receita e tende a permanecer fora do controle do usuário (LEU; BUI, 2016).

O consumo de energia e as perdas de água possuem relação direta, havendo assim uma necessidade da eficiência hidráulica em conjunto com a energética para o bom funcionamento do SAA (AL-WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016).

2.3 Métodos para Controle de Energia Hidráulica e Pressão

Dentre os benefícios da recuperação de energia hidráulica pode ser realçado o aumento da eficiência energética do sistema por meio da redução de dependência externa de eletricidade e a conseqüente redução dos custos operacionais (VIEIRA; RAMOS, 2009); (WRIGHT et al., 2015).

Alguns métodos são utilizados para dissipar e controlar o excesso de energia hidráulica em sistemas de tubulação de água potável, dentre os quais se pode citar: Válvulas Redutoras de Pressão (VRP), e Microturbinas.

A utilização de VRP em sistemas de abastecimento de água é responsável pela redução de perdas e pela estabilização da pressão, proporcionando a redução de danos às instalações. Esse dispositivo mantém o controle de pressão na rede, aumentando ou reduzindo sua seção de escoamento e assim ocasionando a perda de carga e estabilizando a pressão (RAMOS; KENOV; VIEIRA, 2011); (FIATKOSKI, 2015).

As microturbinas transformam a energia do escoamento em energia mecânica, conduzindo a um movimento de rotação. O uso das microturbinas é atraente devidos ao seu baixo custo e alto desempenho (AL-WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016).

Os sistemas de Microturbinas e de Válvulas Redutoras de Pressão podem ser utilizados para controle de pressão de vazão e para a produção de eletricidade ao mesmo tempo, ambos proporcionam uma vazão garantida durante a operação, sem colocar restrições aos consumidores ou a outros usos da água (WRIGHT et al., 2015).

De acordo com Vasanthakumar et al. (2014), percebeu-se acidentalmente a eficiência de bombas atuando como turbinas em sistemas de abastecimento de água. o pico de eficiência é o mesmo que no modo de origem, além de reduzir os custos pode ser usado como uma alternativa à turbina convencional.

Os sistemas de bombas funcionando como turbinas transformam energia hidráulica em energia mecânica, e se diferenciam das Microturbinas por não possuírem função de controle de vazão. Ao longo dos anos, tornou-se uma alternativa economicamente viável devido à variedade de marcas e modelos disponíveis no mercado (FIATKOSKI, 2015).

No entanto, para que o rendimento da bomba operando como turbina seja igual ao rendimento da bomba operando como bomba é importante que a altura e a vazão da bomba funcionando como turbina sejam maiores do que as da bomba funcionando como bomba para a mesma rotação. Os aumentos compensam as perdas devido à inversão do sentido na vazão da bomba, aumentando a potência do eixo quando a bomba estiver operando como turbina (FECAROTTA et al., 2016).

2.4 Sistema Tarifário Brasileiro e o Custo da Energia

Em meados de 1930 o sistema tarifário de energia elétrica no Brasil era bastante limitado, haviam acordos entre as concessionárias da época e os municípios, que, por sua vez, eram responsáveis por deter a concessão dos serviços de eletricidade. A tarifa era determinada por meio da Cláusula Ouro que garantia o ajuste dos preços pela variação cambial. Nesse período o sistema tarifário sofria forte influência das concessionárias americanas (MARQUES FARIAS; SELLITTO, 2011).

Com a criação do Código das Águas instituído pelo Decreto 24.643, de 10 de julho de 1934 foi revogado o uso da Clausula de ouro como regime tarifário e definiu a indústria produtora de energia elétrica como serviço público. O Decreto 41.019/57 estabeleceu que as tarifas fossem cobradas visando a cobrir o custo do serviço.

Mediante a necessidade de melhorias na relação prestador e consumidor foi criada pela ANEEL e publicada no Diário Oficial da União em 30/11/2000 a Resolução nº 456/2000 que estabelece os direitos e deveres das distribuidoras de energia elétrica, bem como os direitos e deveres dos consumidores. Foi, contudo, revogada pela Resolução Normativa ANEEL nº 414, de 09/09/2010 que estabelece as condições gerais para o fornecimento de energia elétrica.

O entendimento sobre o custo da energia elétrica e a forma como são calculados e apresentados os valores nas faturas de energia, é importante para a concepção de novos projetos que visem à obtenção de eficiência energética (ANEEL, 2015).

2.4.1 Classes de fornecimento

A Resolução nº 414/2010 estabelece a divisão dos consumidores por classes descritas a seguir:

I – Residencial: fornecimento para fim residencial e “Residencial baixa renda” de acordo com os critérios vigentes da resolução para redução da tarifa.

II – Industrial: fornecimento para unidade consumidora que desenvolva atividade industrial, seja no transporte de matéria-prima, insumo ou produto

resultante do seu processamento. As atividades industriais são classificadas de acordo com o Cadastro Nacional de Atividades Econômicas – CNAE.

III – Comercial, Serviços e outras Atividades: fornecimento para unidade consumidora em que seja exercida atividade comercial ou de prestação de serviços, ou outras atividades não previstas nas demais classes.

IV – Rural: fornecimento para unidade consumidora localizada em área rural, sujeita à comprovação perante a concessionária sobre a atividade desenvolvida referente à agropecuária, seu beneficiamento e/ou a conservação de produtos agrícolas provenientes da mesma propriedade.

V – Poder Público: fornecimento para unidade consumidora solicitada por pessoa jurídica de direito público que assuma as responsabilidades inerentes à condição de consumidor, e também destinado a atender eventos realizados em áreas públicas.

VI – Consumo Próprio: fornecimento destinado ao consumo de energia elétrica da própria concessionária.

Os consumidores se dividem em dois grupos: A e B.

O Grupo A é composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, caracterizado pela estruturação tarifária binômica que é definida pelos valores monetários aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável.

Já o Grupo B é composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela estruturação tarifária monômica definida por tarifas de consumo de energia elétrica independentemente das horas de utilização do dia.

2.4.2 Bandeira tarifária

Segundo ANEEL (2015), os sistemas de geração de energia elétrica sinalizam aos consumidores os custos reais da geração de energia elétrica por meio das bandeiras tarifárias. O sistema funciona com uma definição por cores que indicam os custos da energia em função da geração de eletricidade.

- Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;

- Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,010 para cada kWh consumidos;
- Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada kWh consumido.
- Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,050 para cada kWh consumido.

Além da tarifa convencional, também são apresentadas as tarifas da modalidade horária branca, com tarifas diferenciadas por regiões. Ao contrário da tarifa convencional a tarifa branca possui valores que sofrem alterações ao longo do dia e apenas em dias úteis.

- a) Horário de Ponta: tarifa mais elevada;
- b) Intermediário: tarifa de valor intermediário; e
- c) Fora do horário de Ponta: tarifa de valor menor.

Para os grandes consumidores, com preços diferenciados para a energia consumida nos períodos chuvosos e secos e também para a demanda nos períodos de ponta e fora de ponta dos sistemas de distribuição foi criada a “Estrutura tarifária horosazonal”.

A variação do uso da energia elétrica no decorrer do ano está relacionada às variáveis climáticas. Na cidade de São Luís o período chuvoso ocorre normalmente no primeiro semestre do ano, de janeiro a junho e o período de seca no segundo semestre ocorrendo de julho a dezembro (INMET, 2019).

No Brasil, o horário de ponta ocorre das 18h00 às 21h00 em dias úteis. A tarifa pode variar em função da disponibilidade hídrica, configurando as condições da bandeira tarifária.

Capítulo 3: Artigo a ser submetido à Revista Brasileira de Recursos Hídricos

Energy Efficiency of Water Distribution Systems: case study of the city of São Luís – MA

Eficiência Energética de Sistemas de Distribuição de Água: estudo de caso da cidade de São Luís – MA

Brunna Caroline Correia Dias¹, Maurício Dzedzic¹

¹Universidade Ceuma, São Luís, MA, Brasil

E-mails: brunnacorreia.eng@gmail.com (BCCD), mauricio.dzedzic@ceuma.br (MD)

ABSTRACT

The growing demand for water means that utilities around the world face major challenges in improving the efficiency of their systems. Water supply systems have high energy consumption, making essential a search for better management of water distribution, in order to improve their economy and reduce costs. This article proposes a method to evaluate the energy efficiency of water supply systems, with a case study in the city of São Luís - MA. The computer program Epanet was used to develop a network model and compare scenarios, seeking improvements in system conditions, simulating changes in pumping and water losses. The results indicate that poor pumping practices together with high levels of water losses result in high energy use.

Keywords: Water resources; Management; Losses; Italuís producer system.

RESUMO

O crescimento da demanda por água faz com que concessionárias de todo o mundo enfrentem grandes desafios na melhoria da eficiência dos sistemas. Sistemas de abastecimento de água possuem alto consumo de energia, tornando fundamental a busca por uma melhor gestão das redes de distribuição de água, a fim de melhorar sua eficiência e diminuir gastos. O presente artigo propõe método para avaliar eficiência energética de sistemas de abastecimento de água, com estudo de caso na cidade de São Luís- Ma. O programa computacional Epanet foi utilizado para desenvolver modelo da rede e comparar cenários, buscando melhorias das condições operacionais do sistema, por meio de simulações nos conjuntos de bombas, desligando-as no horário de ponta e reduzindo seu tempo de funcionamento, como também avaliando a influência das perdas nos custos com energia elétrica. Os resultados apontam que a má programação do sistema de bombeamento em conjunto com os elevados índices de perdas são responsáveis pelo consumo elevado de energia.

Palavras-chave: Recursos hídricos; Gestão; Perdas; Sistema produtor Italuís.

INTRODUÇÃO

A partir da década de 1990 as concessionárias responsáveis pelo abastecimento de água procuraram implementar a gestão integrada da energia e da qualidade da água (ROGERS; CALVO, 2015).

Raucher et. al (2008) descrevem os setores de água e energia como setores intrinsecamente ligados. São necessários altos volumes de água para a geração de energia elétrica, que, por sua vez, é necessária para a produção, tratamento e distribuição de água potável. O estudo integrado da eficiência energética em sistemas de abastecimento de água proporciona benefícios econômicos para ambos os setores (KANAKOUDIS et al., 2012).

Historicamente as despesas de um sistema de abastecimento de água associadas ao consumo de energia eram desconsideradas devidos ao baixo custo da energia elétrica. As perdas de água, em conjunto com o aumento constante do preço da eletricidade, mudaram esse cenário. Os sistemas de abastecimento de água, incluindo suas redes de distribuição, demandam entre 2 e 3% da energia no país (KWOK et al., 2010) (VILA NOVA; BALESTIERI, 2015).

A complexidade do funcionamento das redes de distribuição de água se deve principalmente à heterogeneidade das áreas a serem atendidas. O mal planejamento nos processos de implantação e operação das redes de distribuição, especialmente seus sistemas de bombeamento, comprometem sua eficiência (MOURA et al., 2018).

Segundos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2019), foram gastos com energia elétrica no setor cerca de R\$ 6,19 bilhões, tendo sido consumidos 12,9 TWh, dos quais 11,5 TWh, são utilizados no abastecimento de água.

Diminuir as perdas de água dentro do sistema e especialmente nas redes de distribuição também é fundamental para as reduções com os custos de energia elétrica e maior eficiência do sistema. Cerca de 70 % das perdas são constituídas por vazamentos, tornando-se importante sua análise e redução (SAMIR et al., 2017).

São Luís, como a maioria das cidades do estado do Maranhão, sofre com a má distribuição dos recursos hídricos e com a precariedade do Sistema de Saneamento Básico, o que influencia o desenvolvimento e bem-estar da população (BEZERRA et al., 2008). Atualmente a cidade possui cerca de 81,49% da população atendida pelo abastecimento de água (SNIS, 2019).

No início do século XIV, a população da cidade de São Luís era abastecida de água por meio de carroças. O crescimento populacional, em conjunto com as frequentes epidemias, forçou o governo a criar alternativas para o abastecimento da cidade. Inicialmente, por meio da Lei Provincial 287 de 4 de dezembro de 1850, foi criada a Companhia das Águas do Anil, e em 1910 criada a Companhia das Águas São Luís. A partir de então, o abastecimento de água da cidade deixa de ser prestado por empresas privadas. A Caema iniciou suas atividades na cidade de São Luís em 1966, com o sistema tendo sua última ampliação em junho de 1998.

Sousa (2017) e Gabriel (2018) realizaram estudos em João Pessoa e Pará, respectivamente, com climas próximos ao da cidade São Luís, porém, apenas visando o dimensionamento de sistemas de abastecimento de água sem levar em consideração as questões de energia.

A escassez de artigos e estudos relacionados ao tema na região Norte e Nordeste, especialmente na cidade de São Luís, ressalta a importância de avaliar os impactos da eficiência energética das redes de distribuição como forma de contribuir para que sejam tomadas medidas de prevenção e controle, visando à melhoria na eficiência dos processos e ao desenvolvimento sustentável da região.

Nesse contexto o objetivo do presente trabalho foi propor método para avaliar a eficiência energética de sistemas de abastecimento de água, aplicando este método à cidade de São Luís.

A cidade de São Luís, localizada na ilha de Upaon-Açu está inserida no Meio-Norte, uma das sub-regiões do Nordeste do Brasil e é capital do Estado do Maranhão (Figura 1). Possui área de 834.785 km², sendo a 15ª cidade mais populosa no Brasil, com um total de cerca de 1.101.884 habitantes (IBGE, 2019).

Para estudo do Sistema de Abastecimento de Água da cidade de São Luís foi selecionada para análise a Zona V, composta do reservatório R8 responsável pelo abastecimento dos reservatórios R9, R10 e R11. A área de estudo foi delimitada de acordo com a disponibilidade dos dados fornecidos pela concessionária de abastecimento de água.

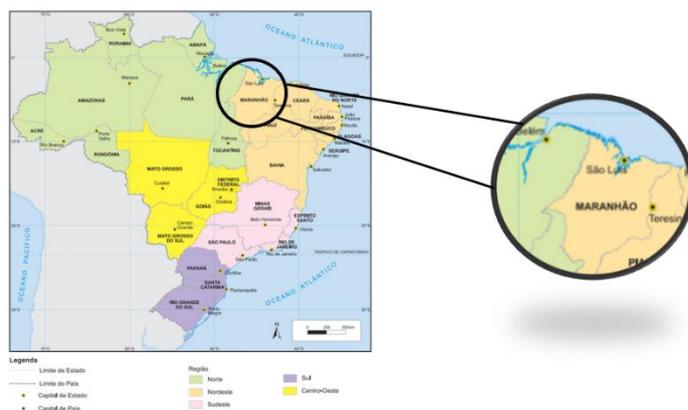


Figura 1. Caracterização da área de estudo na cidade de São Luís- MA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

O termo “eficiência” se refere ao uso de recursos (matérias-primas, fundos, força de trabalho, energia, água, entre outros). Normalmente, a eficiência é expressa como a relação entre o produto e a quantidade de recursos necessários para a sua produção. O indicador de desenvolvimento de eficiência começa com o estabelecimento de uma meta, que significa o nível aceitável de desempenho para o indicador (CABRERA et al., 2010).

Reduzir os índices de perdas relacionadas à produção e distribuição de água tratada é uma condição para a construção de um sistema eficiente (OCIEPA; MROWIEC; DESKA, 2019).

Os indicadores de consumo energético são fundamentais para a criação de estratégias, uma vez que disponibilizam informações sobre diversos estados de funcionamento da rede em análise de forma simplificada e objetiva. Dentre os indicadores mais populares na literatura, dois publicados pela IWA (2000) apresentam o Consumo Específico de Energia Elétrica – CE e o Consumo Específico Normalizado de Energia Elétrica – (CEN).

Para o cálculo do CE, utiliza-se a equação 1.

$$CE = \frac{P_a t}{V} \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \quad (1)$$

Onde, P_a é a potência elétrica medida em (kW), t é o tempo de bombeamento (h), V é o volume de água bombeado (m^3). Para este indicador de desempenho faz-se necessário o uso de grandezas físicas.

Para o cálculo do CEN, utiliza-se a equação 2.

$$CEN = \frac{P_a \cdot t}{V \cdot \frac{H_{man}}{100}} \quad (2)$$

Onde H_{man} é a altura manométrica de recalque (m).

No Consumo Normalizado de Energia Elétrica, o indicador é definido pela quantidade média de energia gasta para bombear 1 m^3 de água a uma altura de 100 m

Segundo Barry (2007), a redução dos gastos com energia elétrica ocorre com a identificação de pontos de maior consumo seguida da implantação de ações de redução. A Tabela 1 apresenta o tempo de retorno do investimento de acordo com a ação implantada.

Tabela 1. Tempo de retorno de investimentos de ações de melhoria de eficiência energética

ÁREA	ATIVIDADE	RETORNO (anos)
Tarifa elétrica	Redução da demanda em horário de ponta	0 -2*
Instalações elétricas	Otimização do fator de potência	0,8 – 1,5
	Redução da tensão de desequilíbrio	1,0 -1,5
Operação e manutenção	Controle de pressão na rede	2
	Otimização na regra de operação da bomba	0,5
Produção e distribuição	Instalação de válvulas de pressão	0,5 -3
	Instalação de variadores de velocidade	0,5 - 3

(*) – dependendo da capacidade dos reservatórios

Fonte: (BARRY, 2007)

Uma capacidade de produção insuficiente pode ser causada não apenas pelo aumento na demanda, mas por um nível excessivo de vazamentos. Ter consciência e controle das perdas garante que o consumidor final não seja obrigado a pagar pela ineficiência do sistema (ROGERS; CALVO, 2015).

A definição do gasto energético mínimo para o funcionamento de um sistema de distribuição de água é um problema complexo. Pelli e Hitz (2000) recomendam o indicador de eficiência energética caracterizado pela energia efetiva utilizada para transportar a água durante um ano. A energia mínima necessária é definida como a diferença de energia potencial de uma quantidade determinada de água, entre captação e o ponto de entrega.

Boulos & Bros (2010) recomendam um indicador para avaliar eficiência energética de rede definido pela relação entre a potência necessária para atender o nível mínimo de serviço e a potência real total utilizada. Cabrera et al. (2010) propõem um indicador de “Excesso de energia fornecida”, definido como a relação entre a energia real que entra no sistema e a energia útil mínima necessária em uma rede plana, sem atrito e sem vazamentos servida com a pressão mínima necessária.

Bolognesi et al. (2014) definiram a energia mínima para a operação de uma rede de distribuição de água, calculada em cada dispositivo de acordo com a equação 3.

$$UME = \frac{\gamma \cdot W \cdot (H_{ref} - H_{ups})}{3600000} \quad (3)$$

Onde UME, é a Energia Mínima Necessária utilizada na bomba em (kWh) no período de um dia; γ é o peso específico da água ($N \cdot m^{-3}$); W é o volume total bombeado (m^3) durante o período considerado; H_{ref} é o nível de referência (m) na seção a jusante da bomba; H_{ups} é a carga hidráulica média a montante da bomba (m).

O fornecimento de água potável é uma atividade com alta demanda de energia, que é necessária para captação, tratamento e distribuição. Os custos de energia são específicos do local e dependem de muitos fatores, como topografia, consumo de água, níveis de pressão, idade da infraestrutura, eficiência do equipamento, comprimento da rede, configuração do sistema e práticas de operação e manutenção (CARRIÇO et al., (2014).

A eficiência energética em sistemas de abastecimento de água influencia todo o processo de produção de água. Existem leis criadas com o intuito de desenvolver alternativas e estipular padrões para reduzir o consumo de energia elétrica e por consequência o aumento da eficiência nos sistemas.

A Lei de Eficiência Energética nº 10.295/2001 dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, entre outras providências, determina a existência de níveis mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo específico de energia por equipamentos fabricados ou comercializados no Brasil. Criada sob a premissa de que a conservação de energia deve ser finalidade da Política Energética Nacional, a lei estimula o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional. Com o objetivo de implementar o disposto na lei, foi instituído o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), por meio do Decreto nº 9.864/2019, que regulamenta a Lei de Eficiência Energética.

A Resolução Normativa nº 482/2012 concede ao consumidor brasileiro a possibilidade de gerar a própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e fornecer o excedente para a rede de distribuição. Isso viabiliza o aproveitamento da energia excedente em sistemas de abastecimento de água (SAA).

A recuperação de energia hidráulica é uma medida relevante de eficiência energética que pode ser aplicada a sistemas de abastecimento de água, resultando em benefícios ambientais, econômicos e sociais (Chapallaz et al. (1992) (WRIGHT et al., 2015) (FIATKOSKI, 2015).

A energia é calculada de acordo com a equação 4.

$$P_t = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H (\eta_t - 0,03) \quad (4)$$

Onde P_t , é a Potência disponível (W); ρ é a densidade da água ($Kg \cdot m^{-3}$); g é a aceleração gravitacional ($m \cdot s^{-2}$); Q é a vazão (m^3); H é a queda disponível (m); η_t é a eficiência da bomba funcionando como turbina (%).

A determinação da eficiência hidráulica e energética potencial de SAA ou de seus componentes depende de estudos de engenharia, incluindo modelagem hidráulica e técnicas de otimização. A Associação Internacional da Água (AIA) e o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) apresentam alguns indicadores de eficiência de SAA, listados na Tabela 2.

Tabela 2. Indicadores de eficiência de um Sistema de Abastecimento de Água.

Indicadores	Funcionamento
Utilização da capacidade de bombeamento	Define a utilização da capacidade de bombeamento de todos os conjuntos de bombas de uma instalação de bombeamento em um dia de maior consumo.
Consumo normalizado de energia	Relaciona o consumo de energia à produção de uma unidade de saída, ($1 m^3$ de água).
Recuperação de Energia	Corresponde à razão entre a energia recuperada por turbinas hidráulicas e o consumo total de uma instalação.

Fonte: Adaptado (VILANOVA, BALESTIERI, 2014), (VILANOVA, BALESTIERI, 2015).

METODOLOGIA

Para elaboração do trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica em artigos no portal de periódicos da Capes, com o intuito de identificar na literatura estudos científicos sobre o tema em questão, além de analisar o crescimento, os padrões e a quantidade de publicações. Para esta pesquisa foram utilizados os seguintes termos em busca avançada “Energy efficiency” and “Losses” and Water supply system”, “Water supply system” and “Water distributions networks”, utilizando como intervalo temporal 2010 a 2020.

A pesquisa resultou em um total de 281.945 artigos e dentre eles foram analisados os artigos que continham os termos de pesquisa, “no título” ou “no assunto” reduzindo o total para 75 artigos.

Foi observado que:

- a) 44% dos artigos tratavam do estudo de sistemas de abastecimento de água em âmbito geral;
- b) 33,33% relatavam estudos em países desenvolvidos;
- c) 22,67% relatavam estudos em regiões brasileiras, porém, com características distintas da região Nordeste e, em específico, da cidade de São Luís – MA.

Dentre os 75 artigos selecionados, apenas dois utilizaram em sua metodologia o programa computacional Epanet para a realização da modelagem hidráulica, sendo um realizado em contexto específico da Arábia Saudita e o outro em âmbito geral.

Tsutyia (2006) afirma ser fundamental a implantação de um bom projeto e conseqüentemente uma correta e confiável modelagem das redes de distribuição. Atualmente existem diversos programas de modelagem hidráulica para sistemas de abastecimento de água.

Os principais programas são Epanet, Sistema UFC, WaterCAD e WaterGEMS. Para realização do trabalho foi escolhido o programa Epanet, pois, além de gratuito, é de fácil aprendizagem, com apresentação simples e resultados rápidos. Uma das vantagens do Epanet é sua possibilidade de trabalhar com outros programas como o AUTOCAD, além de confiabilidade reconhecida internacionalmente (IGLESIAS-REY; MARTÍNEZ-SOLANO; RIBELLES-AQUILAR, 2017).

O modelo de simulação hidráulica apresentado pelo Epanet calcula a carga hidráulica nos nós e vazão nos trechos ao longo do tempo, esse valor é obtido pelo balanço hidráulico da rede por meio de técnicas iterativas para resolução de equações não lineares, sendo empregado pelo programa o “Método do Gradiente” (SALGADO et al., 1988).

A Figura 2 mostra o sistema de abastecimento analisado. O reservatório R-8 é abastecido por gravidade e opera em nível constante. Possui capacidade para armazenar 52 m³ e é responsável pelo abastecimento de outros três reservatórios, R9, R10 e R11.

O método proposto para avaliar e otimizar a eficiência energética de sistemas de abastecimento de água será dividido em duas etapas. A primeira etapa foi constituída pela compilação dos dados disponíveis no Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento (SNIS) e fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) sobre a rede da cidade, incluindo informações de projeto e operação.

A segunda etapa incluiu o desenvolvimento do modelo no Epanet da rede distribuição de água que abastece a Zona V e suas demais subdivisões, na cidade de São Luís-MA. Isso foi necessário porque a concessionária de água não dispunha de tal ferramenta.

As características físicas da rede foram inferidas de mapas, desenhos e relatórios disponibilizados pela CAEMA. A demanda do sistema foi inferida a partir de dados da população existente nos respectivos bairros, adotando-se um consumo médio diário de 130 L por habitante (SNIS, 2019).

A variação horária da demanda foi estimada com base em dados de Fortaleza, CE, pois foram os dados encontrados da cidade com características hidrometeorológicas mais semelhantes a São Luís (CALDAS, 2017). A variação sazonal da demanda foi estimada com base na variação do consumo de energia elétrica pelo sistema de distribuição de São Luís.

O custo da energia em São Luís é definido pela Tarifa Branca no valor de R\$0,498, esse valor sofre alterações durante o dia seguindo a seguinte dinâmica em dias úteis: Fora do horário de ponta R\$ 0,498 de 22h00 às 16h00, Intermediário 1 R\$ 0,871 de 16h00 às 18h00, Horário de ponta R\$ 1,4 de 18h00 às 21h00 e Intermediário 2 R\$ 0,871 de 21h00 às 22h00. Nos fins de semana e feriados nacionais a tarifa aplicada é de R\$ 0,498, correspondente ao valor fora do horário de ponta.

Para as simulações não foram considerados fins de semana ou feriados, sendo utilizada a dinâmica da tarifa correspondente aos dias úteis. Foram simulados diferentes cenários em busca da redução dos gastos com a energia elétrica, procurando-se garantir o atendimento da demanda.

Serão identificadas as regiões com maior pressão na rede, assim, verificando a viabilidade da implantação de microturbinas no sistema.

Os reservatórios de nível variável da Zona V foram modelados com as características descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos reservatórios de nível variável

	Cota da base (m)	Altura (m)	D (m)	Vol. (m ³)
R9	34	21,75	12,1	10000
R10	56,3	22	12,03	25000
R11	51,35	16,20	14,02	25000

D – Diâmetro; **Vol.** – Volume.

Fonte: (Autor).

A Zona V foi criada em junho de 1998 por meio de uma ampliação realizada na rede de distribuição. O Sistema Produtor Italuís é responsável pela captação de água do rio Itapecuru, aduzindo uma vazão de 156 L.s⁻¹ via câmara de transição localizada no bairro Tirirical para o abastecimento do reservatório de nível variável R8.

Para funcionamento das sub-regiões da Zona V são utilizadas três bombas de 223,71 kW, sendo uma bomba para abastecer cada reservatório de nível variável (R9, R10 e R11). As simulações foram realizadas considerando os horários reais de funcionamento das bombas e posteriormente testadas possíveis mudanças na regra.

A rede representada pela Figura 3 é composta por 1.445 trechos, com diâmetros variando de 150 a 900mm, cota máxima de 50m e mínima de 7m. A rede possui 839 nós dentre os quais em 800 há consumo de água, sendo o material da rede de distribuição PVC, o coeficiente de rugosidade da fórmula da Hazen-Williams, C, adotado para o trabalho foi de 150, por ser o valor encontrado na literatura para o material da tubulação. Segundo Gomes e Carvalho (2012), apesar de haverem outras fórmulas de perda de carga linear em uma tubulação a fórmula de Hazen-Williams é uma das mais utilizadas devido à sua simplicidade.

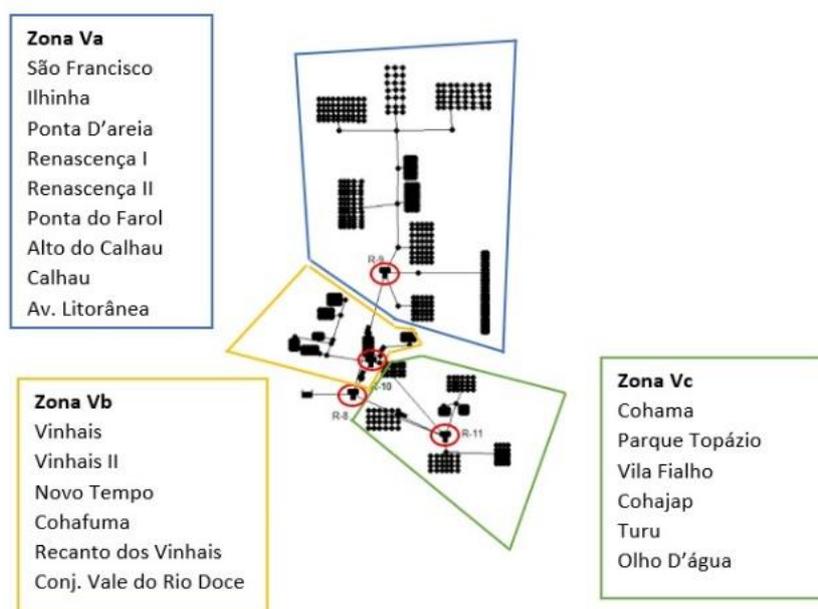


Figura 2. Rede de distribuição, delimitação das zonas de abastecimento dos reservatórios e bairros abastecidos na Zona V da cidade de São Luís.

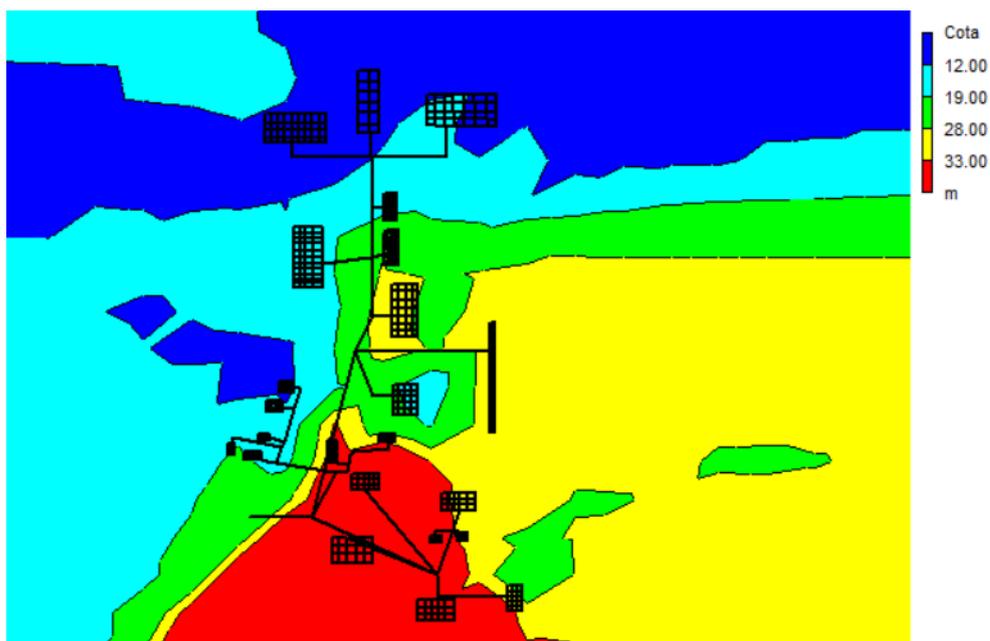


Figura 3. Topografia da rede de distribuição da cidade de São Luís.

Para a Zona V foi considerado um consumo per capita de água de $130 \text{ L.hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, esse valor foi determinado levando em consideração a população atendida da rede de 200.000 pessoas em zona residencial. Por não se conhecer os dados reais de consumo em cada nó da rede, este valor foi estimado de acordo com o total de nós presentes na rede. A demanda base de cada nó foi de $0,38 \text{ L.s}^{-1}$

O padrão de demanda para análise foi considerado de um ano inteiro com variações horárias. Segundo Tsutyia (2006), as variações de consumo de uma população devem ser consideradas a fim de que o sistema funcione de forma contínua sem afetar seu funcionamento em diferentes níveis de consumo.

Caldas (2017) afirma que por meio do estudo de variação anual de um sistema é possível identificar o comportamento da rede em diferentes cenários de consumo, levando em consideração o clima e determinando-se assim o padrão de consumo da região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS COM O CONSUMO DE ENERGIA

A melhoria na eficiência energética em sistemas de abastecimento de água pode ocorrer por meio do reconhecimento do padrão de consumo das cidades, possibilitando a prevenção e a tomada de decisões com relação a manobras operacionais em estações de bombeamento (DINIZ et al., 2015).

É importante reconhecer o padrão de consumo em sistemas de abastecimento de água, por meio dele é possível prever a curva de demanda do uso da água e do consumo da energia elétrica de acordo com a demanda (COELHO; ANDRADE-CAMPOS, 2018).

A Figura 4 apresenta o consumo de energia elétrica do sistema de abastecimento de água de São Luís e a temperatura média da cidade de São Luís em 2018. As estações climáticas da região são divididas em período chuvoso de janeiro a maio, período de transição de junho e julho e período de seca de agosto a dezembro (INMET, 2019).

O consumo de energia elétrica está inversamente ligado à precipitação, pois à medida que a precipitação diminui o consumo de energia elétrica tende a aumentar, em função do aumento da temperatura.

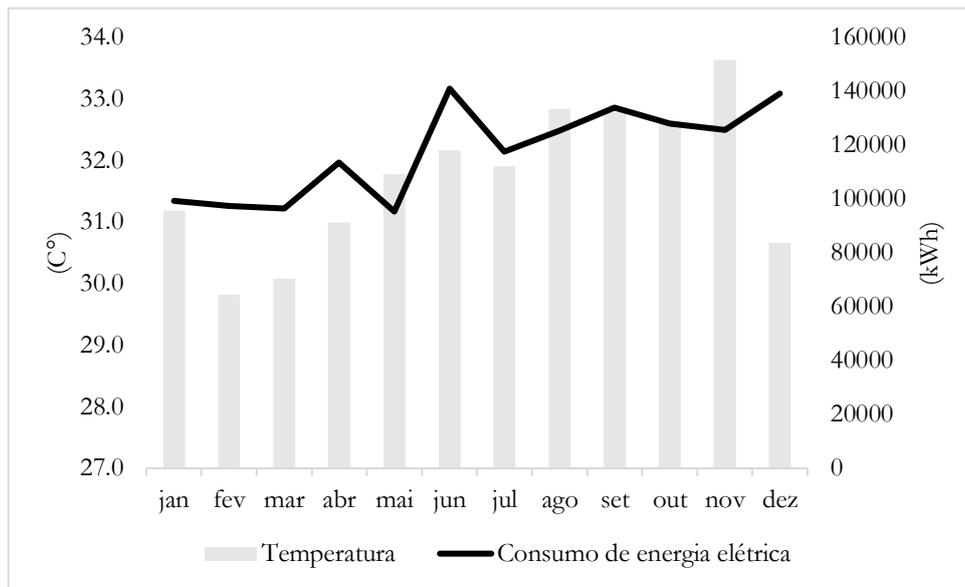


Figura 4. Relação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura na cidade de São Luís no ano de 2018.

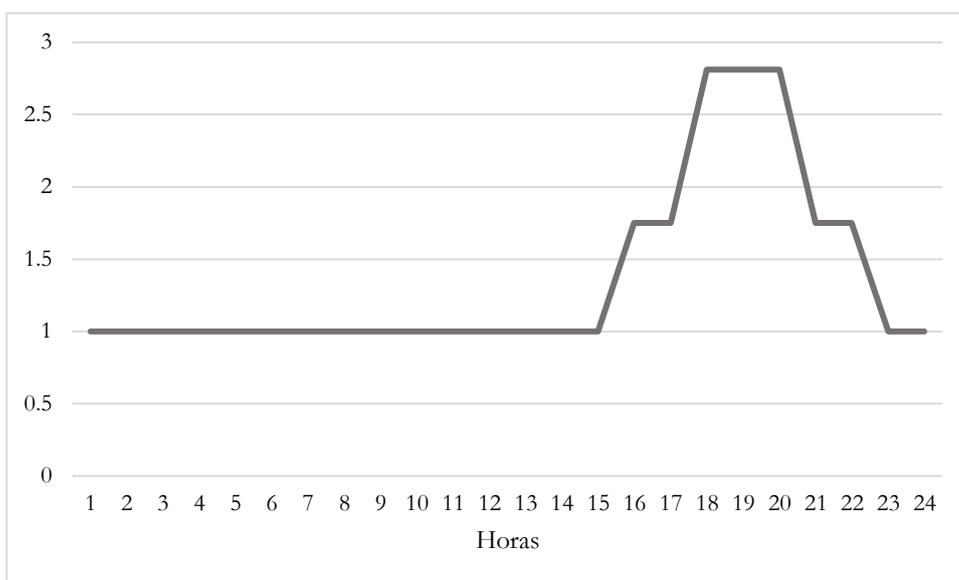


Figura 5. Variação do custo da energia elétrica
 Fonte: (CAEMA, 2018); (ANEEL, 2019).

A primeira simulação resultou em pressões negativas iniciais em toda a Zona Va. O grande crescimento populacional desordenado em conjunto com a falta de manutenção do sistema faz com que o reservatório R9 seja hoje insuficiente para atender a região.

A Zona Va é conhecida como parte nova da cidade e apresentou grande crescimento nos últimos 22 anos, propiciado pelo desenvolvimento imobiliário, com a construção de edifícios residenciais, e pelo grande número de invasões nessa área (CAEMA, 2011).

Foram realizados testes investigando as dimensões mínimas necessárias para expansão dos reservatórios de forma a garantir o abastecimento da região. A Tabela 4 apresenta alguns exemplos das simulações realizadas para determinação das dimensões mínimas necessárias para garantir o abastecimento. Concluiu-se ser necessário ampliar o reservatório R9 para diâmetro de 24,20m, altura máxima de 41,08m e volume de 18.895m³, o que representa um aumento de 88,9 % em relação ao volume atual. O reservatório R10 para diâmetro de 20,03m e um volume de 6.932m³, o que representa um aumento de 177,3% em relação ao volume atual e o reservatório R11 para diâmetro de 20,02 m e volume de 5.099 m³ o que representa um aumento de 103,9% em relação ao volume atual.

Tabela 4. Cenários analisados para definir dimensões mínimas do reservatório R9

CENÁRIO	Reservatório R9	Relatório	SIMULAÇÃO
25.1	Cota: 34m; Hmin: 2m; Hmáx: 46,35m; D: 24,20m.	8.740 Advertências (pressões negativas)	Concluída
25.2	Cota: 34m; Hmin: 2m; Hmáx: 45m; D: 24,20m.	8.554 Advertências (pressões negativas)	Concluída
25.3	Cota: 34m; Hmin: 2m; Hmáx: 44m; D: 24,20m.	8.653 Advertências (pressões negativas)	Concluída
25.4	Cota: 34m; Hmin: 2m; Hmáx: 42m; D: 24,20m.	7.546 Advertências (pressões negativas)	Concluída
25.5	Cota: 34m; Hmin: 2m; Hmáx: 41,10m; D: 19,20m.	7233 Advertências (Pressões negativas)	Concluída
25.6	Cota: 34m; Hmin: 2m; Hmáx: 41,08m; Vol: 18.895m ³ ; D: 24.20m. R10 D: 20,03m; Vol: 6.932m ³ R11 D: 20,02m; Vol: 5.099m ³	S/A	Concluída

Fonte: (Autor)

Foram inicialmente simuladas as regras de operação das bombas informadas pela Caema, utilizando a hipótese do funcionamento com o uso de uma tubulação nova. A bomba B9 é ligada a partir das 21 horas e desligada a partir das 8 horas, a bomba B10 é ligada a partir das 4 horas e desligada a partir das 18 horas e a bomba B11 é ligada a partir das 7 horas e desligada a partir das 21 horas. A simulação foi concluída em todo o sistema e a rede foi analisada ao longo de um ano, 92 nós localizados na Zona Vb e 1 nó na Zona Vc apresentaram pressão maior que 50m. O custo diário de energia das três bombas em funcionamento é R\$ 3.987,77 e o anual R\$ 1.455.536,05.

Na segunda rodada de análises da rede houve alterações nas regras das bombas B9, B10 e B11 de forma que a bomba seja desligada fora do horário de pico. A bomba B9 é ligada a partir das 0h00 e desligada a partir das 10h00, as bombas B10 e B11 são ligadas a partir das 03h00 e desligadas a partir das 17h00. Com o uso das três bombas em funcionamento programado fora do horário de ponta a simulação resultou em uma redução de R\$ 549,59/dia e de R\$ 200.600,35/ano, o equivalente a 13,78% de economia, conforme os valores apresentados na Figura 6.

Em uma terceira rodada de análises as bombas funcionaram fora do horário de ponta e com redução do seu tempo de funcionamento. A bomba B9 é ligada a partir das 0h00 e desligada a partir das 07h00, a bomba B10 é ligada a partir das 03h00 e desligada a partir das 17h00 e a bomba B11 é ligada a partir das 05h00 e desligada a partir das 17h00. A bomba B9 teve uma redução de 46,15% e a bomba B11 13,33% de redução do tempo de funcionamento.

A simulação resultou em uma redução de R\$ 1.008,15/dia e de R\$ 367.974,75/ano, representando uma redução de 25,28%.

Em uma quarta rodada de análises houve alterações para um funcionamento intermitente da porção da Zona Va. A simulação resultou em 8.650 advertências de pressões negativas na rede e mantendo um custo diário médio de R\$ 3.987,77 ao longo de um dia.

Em um último conjunto de cenários foi realizada a simulação das bombas em funcionamento contínuo com os reservatórios em suas dimensões reais, de forma a avaliar o desempenho da rede sem a ampliação dos reservatórios para atendimento da demanda. A simulação resultou 8.742 advertências de pressões negativas na rede e um custo diário médio de R\$ 7.118,13, o equivalente a um aumento de 78,5% ao longo de um dia. Vale ressaltar que as demandas foram mantidas e atendidas em todas as simulações.

Os métodos de melhorias na eficiência energética de sistemas de abastecimento de água encontrados na literatura apresentam como fator principal para bons resultados o aperfeiçoamento do conjunto de bombas, sua programação e monitoramento. A operação adequada de uma estação de bombeamento confere à rede consideráveis reduções de gastos (OCIEPA; MROWIEC; DESKA, 2019).

Tabela 5. Custo da energia utilizada no bombeamento em um dia médio para as simulações em três diferentes cenários.

Cenários	R\$
Horário Programado	3.987.77
Fora do Horário de ponta	3.438.18
Fora do Horário de Ponta + Redução do funcionamento	2.979.62

Fonte: (Autor)

A INFLUÊNCIA DAS PERDAS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com base nos dados de volume de água produzido e volume de água faturado (SNIS, 2019), pode-se definir o índice de perdas nas redes de distribuição das capitais brasileiras no ano de 2017, como mostra a Figura 7.

Boa Vista, Macapá, Porto Velho e São Luís são as capitais do país que apresentaram os piores índices de perdas nas redes de distribuição em 2017, com os valores de, respectivamente, 75,35 %, 66,19 %, 64,12 % e 63,21 %. Os melhores índices ficam com Goiânia (28,52 %) e Rio de Janeiro (30,21 %). A média geral do Brasil, em 2017, foi de 38,29 % (SNIS, 2019).

Países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, como Senegal, Etiópia, Uganda, África do Sul e México apresentam índices de perdas inferiores ao Brasil, com médias, respectivamente, de 33,21 %, 28,52 %, 28,02 %, 26,75 % e 24,02 %. Países desenvolvidos, como Japão e Alemanha, apresentam índices de perda da ordem de 10%, níveis baixos comparados com as capitais brasileiras (IBNET, 2017).

Levando em consideração a influência das perdas na eficiência energética do sistema, foram realizadas simulações avaliando a redução do gasto com energia em razão da redução das perdas. A situação original corresponde a um nível de perdas de água na rede de distribuição de São Luís de 65% (SNIS,2019).

Para as simulações foram consideradas perdas de 60%, 50%, 40%, 30% e 20% considerando os reservatórios com as características existentes e as bombas com redução do seu tempo de funcionamento e fora do horário de ponta. A Figura 8 apresenta os resultados mostrando redução do gasto médio diário com energia com a redução das perdas. A Figura 9 apresenta a redução dos gastos considerando as regras originais de operação das bombas e a redução dos gastos considerando o melhor cenário identificado nas simulações sem considerar redução de perdas.

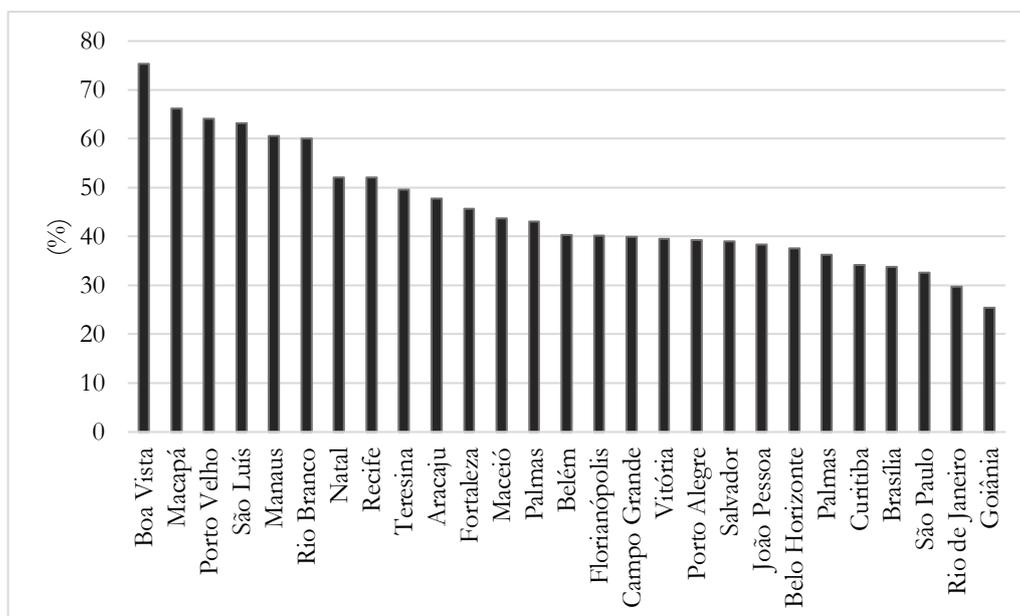


Figura 6. Índice de perdas na rede de distribuição das capitais do Brasil.

Fonte: (SNIS, 2019)

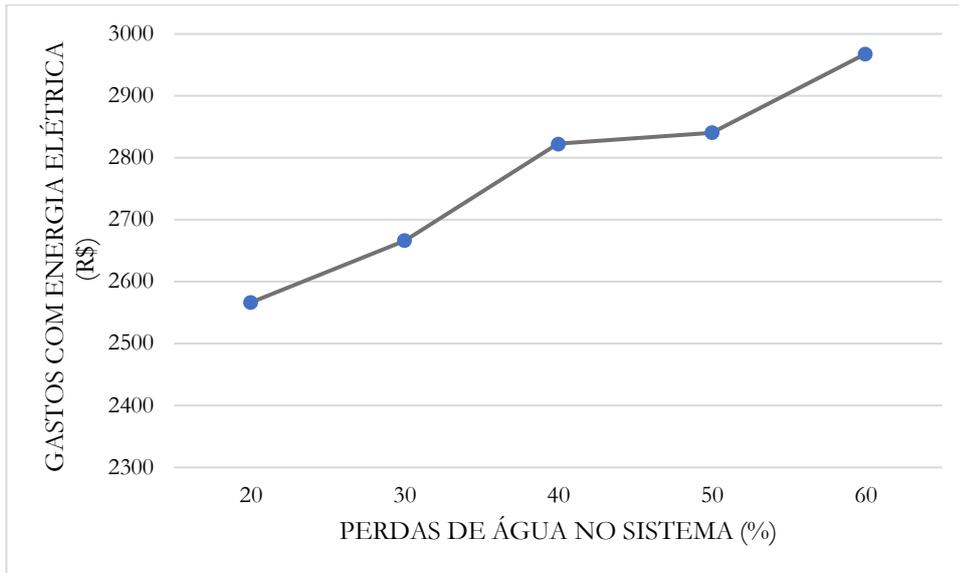


Figura 7. Relação entre as perdas de água na rede de distribuição e o gasto diário médio com energia

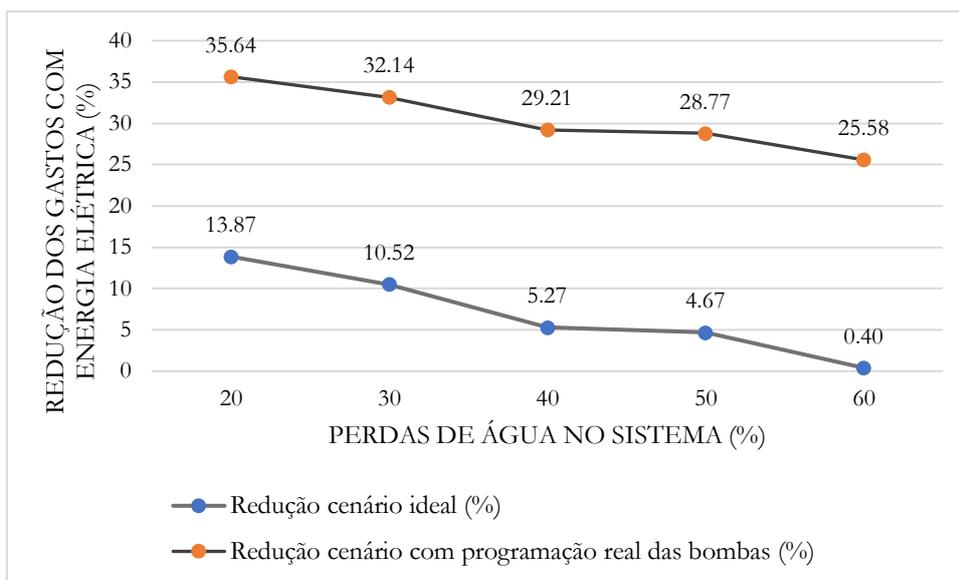


Figura 8. Relação entre as perdas na rede de distribuição e a redução dos gastos com energia elétrica nas simulações.

Ao se reduzir as perdas no sistema, diminui a vazão. Se as bombas utilizadas forem as mesmas, e não contarem com inversor de frequência, isso acarretará em aumento das pressões na rede. Ainda com base na redução das perdas durante a simulação foi analisada a relação entre as perdas e a pressão no sistema. O cenário hipotético demonstra a importância da aplicação de medidas que visem a redução dos vazamentos na rede de distribuição. A Figura 10 apresenta a relação entre a redução das perdas e a pressão durante a simulação.

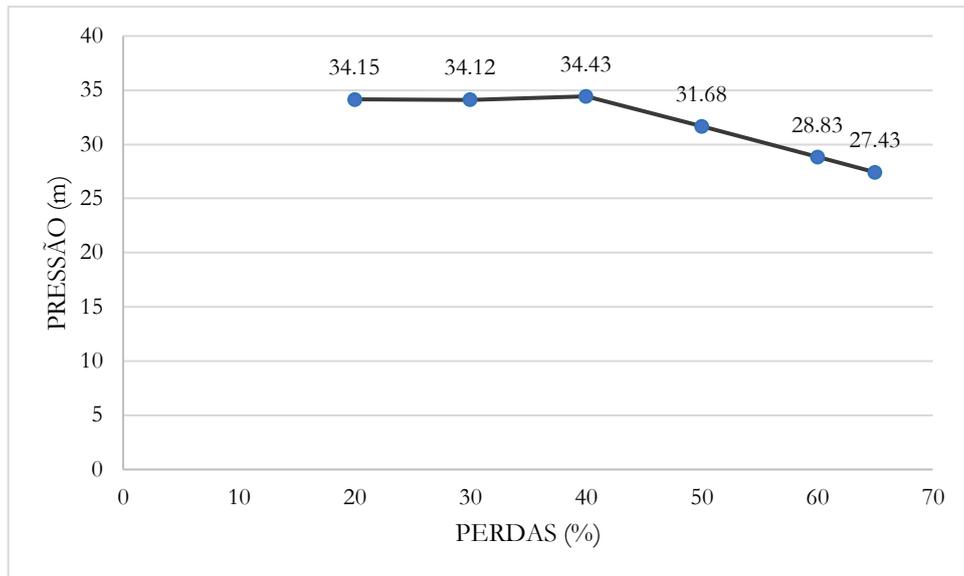


Figura 9. Relação entre as perdas na rede de distribuição e a pressão média no sistema durante a simulação.

A melhoria energética de um sistema de abastecimento de água pode ocorrer por meio de simples, porém eficazes alterações, como gerenciamento da pressão, redução de perdas devido a vazamentos, recuperação de energia elétrica e programação efetiva de sistemas de bombeamento. Os indicadores são ferramentas de representação que permitem analisar resultados para avaliar a evolução e otimização do uso dos recursos. A eficiência é normalmente associada à capacidade produtiva dentro do sistema (VILA NOVA, BALESTIERI, 2014).

As Tabelas 6, 7 e 8 listam três indicadores, a utilização de capacidade de bombeamento levando em consideração o tempo de funcionamento da bomba e sua potência, o consumo de energia elétrica do sistema e a relação do consumo de energia e sua produção, respectivamente. Os indicadores apresentados permitem a comparação entre a situação atual do sistema com vários cenários de melhoria.

Tabela 6. Indicador de utilização de capacidade de bombeamento nos cenários simulados

Utilização da capacidade de bombeamento (%)				
Cenários	Descrição	Bomba 9 ¹	Bomba 10 ²	Bomba 11 ³
1	Ampliação dos reservatórios	46,44	58,33	58,33
2	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta	37,50	58,33	47,46
3	Bombas funcionando continuamente	100	100	100
4	Fornecimento intermitente na Zona Va	46,44	58,33	58,33
5	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 60%	37,50	56,59	48,69
6	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 40%	37,50	58,33	50
7	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 20%	37,50	58,33	50

(¹)– Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Va

(²) – Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Vb

(³) – Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Vc

Fonte: (Autor)

Tabela 7. Indicador de consumo de energia nos cenários simulados

Consumo de energia (kWh.m⁻³)					
Cenários	Descrição	Bomba 9 ¹	Bomba 10 ²	Bomba 11 ³	Desvio padrão
1	Ampliação dos reservatórios	0,09	0,11	0,07	0,02
2	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta	0,08	0,11	0,08	0,02
3	Bombas funcionando continuamente	0,06	0,11	0,08	0,03
4	Fornecimento intermitente na Zona Va	0,09	0,11	0,07	0,02
5	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 60%	0,6	0,11	0,07	0,30
6	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 40%	0,03	0,07	0,08	0,03
7	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 20%	0,03	0,07	0,11	0,04

(¹)– Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Va

(²) – Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Vb

(³) – Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Vc

Fonte: (Autor)

Tabela 8. Indicador de consumo de energia normalizado nos cenários simulados

Consumo normalizado de energia (kWh.m ⁻³ .100 ⁻¹)					
Cenários	Descrição	Bomba 9 ¹	Bomba 10 ²	Bomba 11 ³	Desvio padrão
1	Ampliação dos reservatórios	0,20	0,19	0,12	0,04
2	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta	0,22	0,19	0,17	0,02
3	Bombas funcionando continuamente	0,06	0,11	0,08	0,03
4	Fornecimento intermitente na Zona Va	0,20	0,19	0,12	0,04
5	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 60%	1,62	0,20	0,15	0,8
6	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 40%	0,08	0,12	0,16	0,04
7	Redução do tempo de funcionamento das bombas e Fora do horário de ponta, Perdas de 20%	0,08	0,12	0,16	0,04

(¹) – Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Va

(²) – Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Vb

(³) – Bomba responsável pelo abastecimento da Zona Vc

Fonte: (Autor)

O cenário 2 é o melhor cenário dentre os analisados, pois neste cenário a demanda é atendida apresentando menor consumo de recursos, mantendo assim o funcionamento da rede sem comprometer o serviço de abastecimento.

A Figura 11 mostra a Energia Mínima Necessária encontrada no sistema analisando o Cenário 1 apresentando as regras de operação reais das bombas fornecidas pela Caema e o Cenário 2 determinado anteriormente como melhor cenário com bombas funcionando fora do horário de ponta e com redução do tempo de funcionamento.

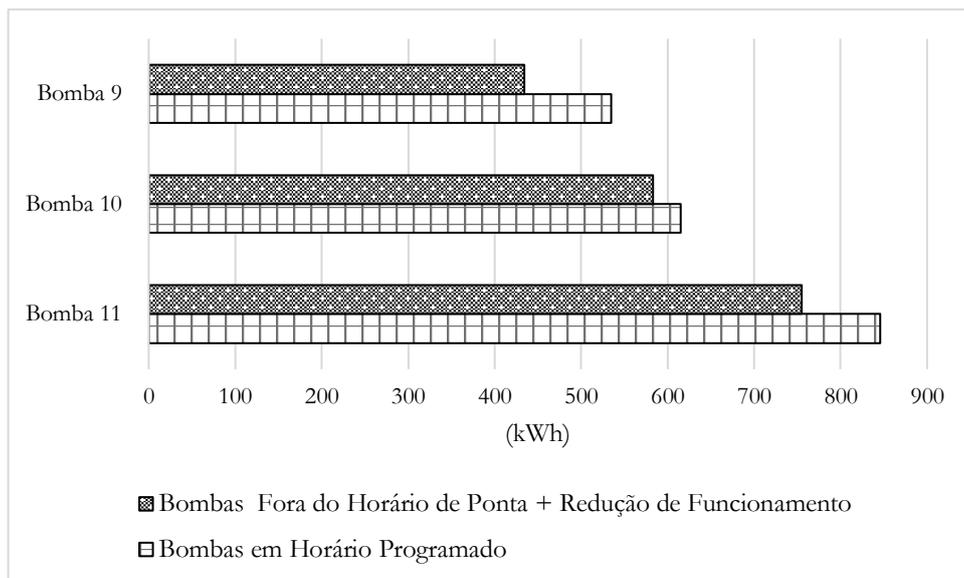


Figura 10. Comparativo da Energia Mínima Necessária em dois cenários. Cenário 1 bombas funcionando em sua programação real e Cenário 2 bombas funcionando programação ideal.

O Cenário 2 apresenta melhores resultados que o Cenário 1, uma vez que contempla a otimização do uso das bombas e consequentemente requer menos energia para o seu funcionamento.

Os indicadores acima utilizados podem ajudar a avaliar, comparar e melhorar a eficiência energética de diferentes redes. De acordo com Pelli & Hitz (2000), e Cabrera et al. (2010), a análise da rede por meio de controle e programação é determinante no consumo de energia e busca por eficiência energética.

O último cenário analisado procurou solucionar o problema de pressão alta em 5 nós localizados na Zona Vb. Para tanto, foram simuladas válvulas reguladoras de pressão para posteriormente representar bombas funcionando como turbinas e que recuperariam parte da energia do sistema, transformando energia potencial em energia elétrica.

A porção da Zona Vb em análise possuía inicialmente nós com pressão de 50m. Após o uso de válvulas reguladoras de pressão durante as simulações, a pressão foi reduzida para 30m, o que corresponde a 40% de redução da pressão nos nós, com uma vazão média de $0,76 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ nos trechos. A Figura 12 a seguir indica os locais nos quais foram simuladas as válvulas reguladoras de pressão.

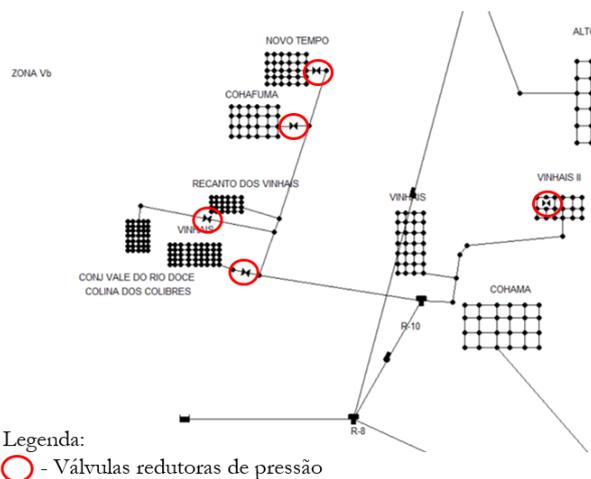


Figura 11. Localização do uso de Válvulas Reguladoras de Pressão na porção da Zona Vb.

Com base nos dados da bomba fornecidos pelo trabalho de Fiatkoski (2015), foi possível quantificar o potencial de energia na rede. A bomba utilizada foi um modelo de fabricação nacional da marca KSB com rotação de 1740 rpm, potência de 12 kW, com um rendimento e eficiência de respectivamente, 0,89 e 65%.

Por meio da equação 4, obteve-se uma energia de 48,5 kW, o que, aplicando a tarifa de energia elétrica, equivale a um retorno de R\$ 24,15 ao dia e a R\$ 8.815,84 ao longo de um ano. Ainda de acordo com o encontrado por Fiatkoski (2015), bombas funcionando como turbinas possuem alta viabilidade e baixo custo para pequenos aproveitamentos hídricos, possuindo um período de retorno de investimento de menos de dois anos. Carraveta et al. (2014) garantem que a diminuição da pressão contribui para a produção de energia ocasionando efeitos positivos na busca de eficiência energética.

Os cenários simulados permitiram identificar que a simples alteração nas regras de operação das bombas podem alcançar níveis de economia de energia da ordem de 25, 28 %, concordando com o relatado por Luna et al., (2019) que indicaram que otimizar a programação de bombas pode melhorar a eficiência do sistema em média 15% em comparação a um sistema sem programação. Os resultados de Bolognesi et al., (2014) seguem o princípio de que a otimização do uso das bombas é fundamental para determinar a Energia Mínima Necessária para ser utilizada no sistema, mostrando ser uma medida viável e de fácil aplicação.

Com relação à análise das perdas no sistema, foi possível determinar que a redução das perdas contribui para a redução dos custos com energia elétrica, e também na economia de energia utilizada para a produção e tratamento de água. Sobrinho; Borja (2016) apresentam a análise das perdas no sistema como um dos fatores relacionados à eficiência energética, o uso de medidas de controle e prevenção de perdas influencia a energia consumida e a eficiência como um todo no sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com ênfase na melhoria da eficiência energética em sistemas de abastecimento de água, este artigo propôs uma medida de avaliação e otimização dos recursos utilizados nas redes de distribuição de água, demonstrando suas possíveis aplicações em uma porção da rede de distribuição de água da cidade de São Luís, Maranhão. No método proposto, a eficiência energética foi avaliada por meio da simulação de cenários no programa computacional Epanet.

Por meio do estudo de caso foi possível observar que o uso de bombas fora do horário de ponta em conjunto com a redução do tempo de funcionamento pode trazer uma economia de cerca de 25% ao sistema específico estudado, que é típico de várias cidades nesta região do país que têm índices de perdas semelhantes.

O estudo de caso também mostrou que as perdas em redes de distribuição de água precisam ser avaliadas na busca por eficiência energética, a redução das perdas proporciona melhor controle do uso da energia elétrica e interfere nos gastos excessivos para a produção e tratamento de água.

A análise da redução da pressão e a contribuição para a geração de energia se mostrou como uma vantagem apresentada na simulação. O uso de bombas funcionando como turbinas apontou ser uma alternativa de baixo custo e eficiente para recuperar a energia excedente em tubulações.

Em tempos de mudanças climáticas, aumento no custo de energia elétrica e incertezas sobre a disponibilidade dos recursos é necessário a implantação de medidas de controle e otimização do uso da água e energia em sistemas de abastecimento de água. Concessionárias de todo o mundo buscam alternativas para minimizar os impactos ambientais e abastecer de forma satisfatória a população atendida. A presente pesquisa apresenta cenários que contemplam o atendimento de água de forma sustentável garantindo o abastecimento e fornecimento de forma homogênea na área analisada atendendo a população atual e buscando dar melhores condições financeiras para que as concessionárias de água possam melhorar o fornecimento dos usuários futuros.

REFERÊNCIAS

AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resources Management*, v. 30, n. 14, p. 4985–5001, 2016.

ANEEL. Resolução normativa n. 482, de 30 de abril de 2012. Condições gerais para geração de micro e mini geração de energia, Brasília, DF, abril 2012.

AZEVEDO NETTO, M. F. Fernandez. Manual de Hidráulica. São Paulo, Edigar Blucher, 2015 9ª ed. 669p.

BENTLEY. Infraestrutura Avançada. Disponível em: <<https://www.bentley.com/pt/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software>>. Acesso em: 20/09/2018.

BEZERRA, D. S., SILVA JR. M.G., SILVA, L. J. C., Análise Espacial do Abastecimento de Água dos Municípios da Zona Costeira do Maranhão, nordeste do Brasil. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, São Luís, v. 21. 2008.

BRASIL. Lei n. 10.295, de 17 de out. de 2001. Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências., Brasília -DF, out 2001.

BRASIL. Decreto nº 9.864, de 27 de junho de 2019. Dispõe sobre a Regulamentação a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dispõe sobre o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. Brasília – DF, junho 2019.

BOLOGNESI, A. et al. Energy efficiency optimization in water distribution systems. *Procedia Engineering*, v. 70, p. 181–190, 2014.

BONA, F. S.; RUPPERT FILHO, E. As microturbinas e a geração distribuída. 5o Encontro De Energia No Meio Rural, p. 10, 2004.

BOULOS, P. F.; BROS, C. M. Assessing the carbon footprint of water supply and distribution systems. *Journal / American Water Works Association*, v. 102, n. 11, p. 47–54, 2010.

CABRERA, E. et al. Energy Audit of Water Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 136, n. 6, p. 669–677, 2010.

CAEMA – Companhia de Abastecimento Ambiental do Maranhão. Histórico da Caema. Maranhão, 2011. Disponível em: <http://www.caema.ma.gov.br/portaacaema/index.php?option=com_content&view=article&id=677&Itemid=103>. Acesso em: 21/05/2020.

CALDAS, J.C. Modelagem Computacional de uma Adutora da Região do Mucuripe pelo uso do Epanet. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

CARRAVETTA, A.; FECAROTTA, O.; SINAGRA M.; TUCCIARELLI, T. Cost-benefit analysis for hydropower production in water distribution networks by a pump as turbine. University of Toronto. 2014. 8 f.

CARRIÇO, N. et al. How to assess the effectiveness of energy management processes in water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, v. 63, n. 5, p. 342–349, 2014.

COELHO, B.; ANDRADE-CAMPOS, A. Energy Recovery in Water Networks: Numerical Decision Support Tool for Optimal Site and Selection of Micro Turbines. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 144, n. 3, p. 04018004, 2018.

DINIZ, A. M. F. et al. Dynamic modeling and simulation of a water supply system with applications for improving energy efficiency. *Energy Efficiency*, v. 8, n. 2, p. 417–432, 2015.

FECAROTTA, O. et al. An improved affinity model to enhance variable operating strategy for pumps used as turbines. *Journal of Hydraulic Research*, v. 54, n. 3, p. 332–341, 2016.

FIATKOSKI, C. Microgeração de Energia por meio de Micro Turbinas: análise de viabilidade de dispositivos conjuntos de redução de pressão e microgeração. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), Universidade Positivo, Curitiba, 2015.

GABRIEL, D. K. S. Dimensionamento de uma Rede de Abastecimento de Água de uma Área Delimitada do Município de Japi-RN com a utilização do Sistema UFC. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECA, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

GIUSTOLISI, O.; SIMONE, A.; RIDOLFI, L. Network structure classification and features of water distribution systems. *Water Resources Research*, v. 53, n. 4, p. 3407–3423, 2017.

GOMES, H. P. et al. Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. In: Gonçalves, Ricardo Franci (Coordenador). *Uso racional de água e energia. Projeto PROSAB Capítulo 4*. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 153-218.

GUIDI, J. M.M. Avaliação da Variação do Consumo de Água utilizando Dados Obtidos por meio de Sistemas de Supervisores Remotos: Estudo de Caso: Município de Franca-SP. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

HAMICHE, A. M., STAMBOULI, A. B., FLAZI, S., A review of the water-energy nexus. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, v. 65, p. 1–1310, 2016.

HERRERA, M. et al. Advanced hydroinformatic techniques for the simulation and analysis of water supply and distribution systems. *Water (Switzerland)*, v. 10, n. 4, 2018.

IBNET – The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities. Country Reportes. United Kingdom, 2017. Disponível em: <https://database.inet.org/quick?goto=country_profile&type=country>. Acesso em: 21/05/2020.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geotecnologias. Panorama das cidades. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/sao-luis.html>>. Acesso em: 21/05/2020.
- IGLESIAS-REY, P. L.; MARTÍNEZ-SOLANO, F. J.; RIBELLES-AQUILAR, J. V. Extending EPANET Capabilities with Add-In Tools. *Procedia Engineering*, v. 186, p. 626–634, 2017.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 21/09/2019.
- JINESH BABU, K. S.; MOHAN, S. Extended Period Simulation for Pressure-Deficient Water Distribution Network. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 26, n. 4, p. 498–505, 2012.
- KANAKOUDIS, V. et al. Water Distribution System Performance Level Integrated Evaluation Using New Performance Indicators Based on a Modified IWA Water Balance. 10th Int. Conf. Hydroinformatics-HIC2012, 2012.
- KSB ETA. Manual Técnico e Curvas Características de Bomba Centrífuga para Uso em Geral. São Paulo, 2019, 83 p.
- KWOK, S. C., LANG, H., O'CALLAGHAN, P. & STIFF, M. *Water Technology Markets: Key Opportunities and Emerging Trends*. Media Analytics Ltd, Oxford, 2010.
- LEU, S. SEN; BUI, Q. N. Leak Prediction Model for Water Distribution Networks Created Using a Bayesian Network Learning Approach. *Water Resources Management*, v. 30, n. 8, p. 2719–2733, 2016.
- LIMA, G. M. et al. Leakage Control and Energy Recovery Using Variable Speed Pumps as Turbines. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 144, n. 1, p. 1–9, 2018.
- LUNA, T. et al. Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization. *Journal of Cleaner Production*, v. 213, p. 342–356, 2019.
- MAMADE, A. et al. A comprehensive and well tested energy balance for water supply systems. *Urban Water Journal*, v. 14, n. 8, p. 853–861, 2017.
- MARQUES FARIAS, L.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Revista Liberato*, v. 12, n. 17, p. 07–16, 2011.
- MOURA, G. DE A. et al. Neural network using the Levenberg–Marquardt algorithm for optimal real-time operation of water distribution systems. *Urban Water Journal*, v. 15, n. 7, p. 692–699, 2018.
- OCIEPA, E.; MROWIEC, M.; DESKA, I. Analysis of water losses and assessment of initiatives aimed at their reduction in selected water supply systems. *Water (Switzerland)*, v. 11, n. 5, p. 1–18, 2019.
- PELLI, T., HITZ, H. U. Energy indicators and savings in water supply. *J. Am. Water Works Assoc.*, v. 92_p.55–62, 2000.
- RAMOS, H.; COVAS, D.; ARAÚJO, L. Válvulas redutoras de pressão e produção de energia. 7o Congresso da Água, p. 1–14, 2004.
- RAMOS, H. M.; KENOV, K. N.; VIEIRA, F. Environmentally friendly hybrid solutions to improve the energy and hydraulic efficiency in water supply systems. *Energy for Sustainable Development*, v. 15, n. 4, p. 436–442, 2011.
- RAUCHER, R.S., et al. *Risks and Benefits of Energy Management for Drinking Water Utilities*. AWWA Research Foundation, 2008.
- ROGERS, D.; CALVO, B. Defining the rehabilitation needs of water networks. *Procedia Engineering*, v. 119, p. 182–188, 2015.
- SAMIR, N. et al. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Engineering Journal*, v. 56, n. 4, p. 601–612, 2017.
- SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2018. Disponível em: <[http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ Diagnostico-SNIS-AE-2018-Capitulo-09.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/Diagnostico-SNIS-AE-2018-Capitulo-09.pdf)>. Acesso em: 21/05/2020.
- 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. p. 783–795, 2016.
- SOUSA, L. P.A. Metodologia de Dimensionamento de Rede de Abastecimento de Água Potável. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017

- TSUTTYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de Água. 3. ed, São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- VASANTHAKUMAR, P. et al. Investigation of Centrifugal Pump as Turbine: A Review Report. v. 3, n. 1, p. 2287–2292, 2014.
- VIEIRA, F.; RAMOS, H. M. Optimization of operational planning for wind / hydro hybrid water supply systems. *Renewable Energy*, v. 34, n. 3, p. 928–936, 2009
- VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. Hydropower recovery in water supply systems: Models and case study. *Energy Conversion and Management*, v. 84, p. 414–426, 2014.
- VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. Modeling of hydraulic and energy efficiency indicators for water supply systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 48, p. 540–557, 2015.
- WONG, L. T.; MUI, K. W.; ZHOU, Y. Energy efficiency evaluation for the water supply systems in tall buildings. *Building Services Engineering Research and Technology*, v. 38, n. 4, p. 400–407, 2017.
- WRIGHT, R. et al. Optimized control of pressure reducing valves in water distribution networks with dynamic topology. *Procedia Engineering*, v. 119, n. 1, p. 1003–1011, 2015.

4 CONCLUSÕES

Com base no levantamento de dados sobre o sistema de abastecimento de água da Zona V, localizada na cidade de São Luís, foi possível realizar e analisar diversos cenários da rede.

Tendo como base os resultados obtidos nestas simulações, foi observado que o controle de programação ideal do sistema de bombeamento possui grande interferência nos custos com a rede e com o nível de eficiência do sistema, sendo viável a utilização das bombas fora do horário de ponta de energia elétrica da região e a redução do tempo de funcionamento sem afetar o fornecimento da área atendida. Isso poderia reduzir os altos custos em energia elétrica apresentados pela concessionária.

A análise de perdas se revelou importante para o estudo de alternativas para a melhoria de eficiência energética, uma vez que as perdas afetam diferentes partes do processo de abastecimento de água e influenciam sobremaneira os custos de distribuição de água da cidade de São Luís, que atualmente apresenta um alto índice de perdas, cerca de 65%.

Observou-se na rede pontos de pressão alta que poderiam ser locais para a transformação de energia potencial em energia elétrica.

Na simulação, foram utilizadas Válvulas Reguladoras de pressão, que na realidade seriam substituídas por bombas funcionando como turbinas, tanto para gerar energia elétrica quanto para evitar excesso de pressão na rede.

A redução da pressão também contribui para a redução de vazamentos, pois as vazões de vazamento são proporcionais à pressão local.

Trabalhos futuros poderiam avaliar o efeito do envelhecimento da tubulação e sua influência na rugosidade, incluindo análise de custo x benefício da manutenção ou substituição de tubos. Também poder-se-ia efetuar análise de custo x benefício da expansão dos reservatórios de nível variável e da instalação de bombas operando como turbinas nos locais específicos aqui identificados. Além disso, o modelo desenvolvido poderia ser ajustado para representar, de fato, a rede real, o que necessitaria um grande esforço da concessionária para o levantamento de dados. Tal esforço poderia ser compensado pela simulação de cenários mais realistas que poderiam orientar uma melhor gestão do sistema.

REFERÊNCIAS

AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resources Management*, v. 30, n. 14, p. 4985–5001, 2016.

ANEEL. Resolução normativa n. 482, de 30 de abril de 2012. Condições gerais para geração de micro e mini geração de energia, Brasília,DF, abril 2012.

AZEVEDO NETTO, M. F. Fernandez. Manual de Hidráulica. São Paulo, Edigar Blucher, 2015 9ª ed. 669p.

BENTLEY. Infraestrutura Avançada. Disponível em: <<https://www.bentley.com/pt/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software>>. Acesso em: 20/09/2018.

BRASIL. Lei n. 10.295, de 17 de out. de 2001. Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências., Brasília,DF, out 2001.

BRASIL. Decreto nº 9.864, de 27 de junho de 2019. Dispõe sobre a Regulamentação a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dispõe sobre o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. Brasília – DF, junho 2019.

CABRERA, E. et al. Energy Audit of Water Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 136, n. 6, p. 669–677, 2010.

COELHO, B.; ANDRADE-CAMPOS, A. Energy Recovery in Water Networks: Numerical Decision Support Tool for Optimal Site and Selection of Micro Turbines. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 144, n. 3, p. 04018004, 2018.

DINIZ, A. M. F. et al. Dynamic modeling and simulation of a water supply system with applications for improving energy efficiency. *Energy Efficiency*, v. 8, n. 2, p. 417–432, 2015.

FECAROTTA, O. et al. An improved affinity model to enhance variable operating strategy for pumps used as turbines. *Journal of Hydraulic Research*, v. 54, n. 3, p. 332–341, 2016.

FIATKOSKI., C. Microgeração de Energia por meio de Micro Turbinas: análise de viabilidade de dispositivos conjuntos de redução de pressão e microgeração. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), Universidade Positivo, Curitiba, 2015.

GIUSTOLISI, O.; SIMONE, A.; RIDOLFI, L. Network structure classification and features of water distribution systems. *Water Resources Research*, v. 53, n. 4, p. 3407–3423, 2017.

GOMES, H. P. et al. Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. In: Gonçalves, Ricardo Franci (Coordenador). *Uso racional*

de água e energia. Projeto PROSAB Capítulo 4. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 153-218.

HERRERA, M. et al. Advanced hydroinformatic techniques for the simulation and analysis of water supply and distribution systems. *Water (Switzerland)*, v. 10, n. 4, 2018.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 21/09/2019.

JINESH BABU, K. S.; MOHAN, S. Extended Period Simulation for Pressure-Deficient Water Distribution Network. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 26, n. 4, p. 498–505, 2012.

KANAKOUDIS, V. et al. Water Distribution System Performance Level Integrated Evaluation Using New Performance Indicators Based on a Modified IWA Water Balance. 10th Int. Conf. Hydroinformatics-HIC2012, 2012.

LIMA, G. M. et al. Leakage Control and Energy Recovery Using Variable Speed Pumps as Turbines. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 144, n. 1, p. 1–9, 2018.

MAMADE, A. et al. A comprehensive and well tested energy balance for water supply systems. *Urban Water Journal*, v. 14, n. 8, p. 853–861, 2017.

MARQUES FARIAS, L.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Revista Liberato*, v. 12, n. 17, p. 07–16, 2011.

RAMOS, H. M.; KENOV, K. N.; VIEIRA, F. Environmentally friendly hybrid solutions to improve the energy and hydraulic efficiency in water supply systems. *Energy for Sustainable Development*, v. 15, n. 4, p. 436–442, 2011.

ROGERS, D.; CALVO, B. Defining the rehabilitation needs of water networks. *Procedia Engineering*, v. 119, p. 182–188, 2015.

SAMIR, N. et al. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Engineering Journal*, v. 56, n. 4, p. 601–612, 2017.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. *Abastecimento de Água*. 3. ed, São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VASANTHAKUMAR, P. et al. Investigation of Centrifugal Pump as Turbine: A Review Report. v. 3, n. 1, p. 2287–2292, 2014.

VIEIRA, F.; RAMOS, H. M. Optimization of operational planning for wind / hydro hybrid water supply systems. *Renewable Energy*, v. 34, n. 3, p. 928–936, 2009.

VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. Hydropower recovery in water supply systems: Models and case study. *Energy Conversion and Management*, v. 84, p. 414–426, 2014.

VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. Modeling of hydraulic and energy efficiency indicators for water supply systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 48, p. 540–557, 2015.

WONG, L. T.; MUI, K. W.; ZHOU, Y. Energy efficiency evaluation for the water supply systems in tall buildings. *Building Services Engineering Research and Technology*, v. 38, n. 4, p. 400–407, 2017.

WRIGHT, R. et al. Optimized control of pressure reducing valves in water distribution networks with dynamic topology. *Procedia Engineering*, v. 119, n. 1, p. 1003–1011, 2015.

Atividades Desenvolvidas no Período

1. Participação no III Fórum de Meio Ambiente
2. Mini curso de Técnicas de Geoprocessamento

ANEXO A:

Tabela 8. Dados da pesquisa

Reservatórios						Adutoras					
Bairros	População	Qtd de nós	Coordenadas	Altura de Água Máx.	Volume (m³)	Cota da base (m)	Diâmetro (m)	Comprimento Adutora (m)	Diâmetro Adutora (m)	Potência bomba (kW)	Horas de bombeamento por dia (h)
R9	Ilhinha, São Francisco, Ponta D'areia, Renascença, Renascença I, Renascença II, Calhau, Alto do Calhau, Avenida Litorânea	95.040 *	431*	582715.97 X* 9722465.75 Y	21.75	2.500	34	24.20	5.153	900	13
R10	Vinhais, Vinhais II, Cohafuma, Novo Tempo, Colina dos Colibres, Conj. Vale do Rio Doce	44.951*	176*	582517.44 X* 9721189.49 Y	22		42.30	12.03	881	800	14
R11	Cohama, Cohajap, Vila Fialho, Parque Topázio, Olho D'água, Turu.	96.645*	204*	583567.52 X* 9720122.40 Y	16.20		51.35	14.02	3.116	900	14

Fonte: (Autor)

ANEXO B:



Prof. Dr. Marcelo Barcellos da Rosa
Editor-chefe Ciência e Natura
Universidade Federal de Santa Maria
Campus UFSM, Santa Maria, RS
CEP 97105-900
e-mail: marcelo.b.rosa@ufsm.br
marcelobdarosa@gmail.com
Fone: +55-55-3220-8066

Santa Maria, RS, 24 de março de 2020.

CARTA DE ACEITE

Declaro para os devidos fins, que o artigo intitulado Wind Speed Seasonality in a Brazilian Amazon-Savanna Region from the Global Land Data Assimilation System de autoria de Leonardo Henrique de Sá Rodrigues, Marcos Aurélio Alves Freitas, Luan Victor Soares Pereira, Brunna Caroline Correia Dias, Vicente Marques Silvino, Janaque Nunes Passinho e Fabrício Brito Silva, foi ACEITO para publicação na Revista Ciência e Natura da Universidade Federal de Santa Maria, RS.

Prof. Marcelo Barcellos da Rosa
(Editor-chefe Ciência e Natura)

ANEXO C: Normas para submissão na Revista

Forma e preparação de manuscritos – Revista Brasileira de Recursos Hídricos

Formatação do Arquivo

O texto deverá ser compatível com o editor Microsoft Word (formato Doc ou Docx). As seguintes orientações deverão ser obedecidas:

- Configuração da página:

Tamanho do papel: A4 (210x297 mm);

- Espaçamento entre linhas: simples;

- Numerar as páginas e não usar cabeçalhos, rodapés ou notas de rodapé;

- O nome do documento que contém o Artigo em formato Word não deve conter partes ou nomes completos do autor principal e/ou coautores;

- Título, resumo, palavras-chaves, título em inglês, abstract e keywords devem estar na primeira página do manuscrito.

- Fontes:

- texto e tabelas: fonte Garamond 10 pontos;

- títulos de tabelas e figuras: Garamond, negrito, 9 pontos;

- demais títulos: Garamond, negrito, 11 pontos.

- Ilustrações e Tabelas

- As linhas usadas nas figuras e gráficos não devem ser muito finas; também os textos e legendas não devem ficar muito pequenos ou muito grandes em relação à figura;

- Legendas: hachuradas ou em tons de cinza; fotos em preto e branco; os artigos poderão ser impressos em cores se o autor arcar com os custos adicionais de impressão;

- Procure elaborar tabelas que ocupem apenas uma coluna da Revista ou, no máximo, meia página; as tabelas devem ser criadas no mesmo editor de textos usado para o artigo;

- As figuras deverão ser incluídas no texto e enviadas em arquivo separado no formato TIFF, JPEG, PCX, GIF ou BMP, com uma resolução mínima de 300 dpi.

- Equações

- Sempre que possível preparar caracteres matemáticos e equações usando o Microsoft Equation disponível em todas as versões do Word a partir do Microsoft

- Office 2003. Usuários do Word 2007/2010 poderão enviar arquivos no formato Docx e utilizar o novo editor de equações disponível nestas versões.

- Referências

- Todas as referências devem estar citadas no texto e vice-versa;
- As citações no texto devem estar em letras minúsculas e nas referências, em maiúsculas, conforme NBR ABNT (exemplos disponíveis abaixo).

Artigo Científico/Técnico

Refere-se a relato de pesquisa original, com hipótese bem definida, prestigiando assuntos inovadores. O texto deverá contemplar os itens destacados em letras maiúsculas e em negrito, sem parágrafo e sem numeração, deixando dois espaços (duas vezes ENTER) após o item anterior e um espaço (uma vez ENTER) para iniciar o texto, na ordem a seguir: título (inglês), nome dos autores, abstract, keywords; título (português), resumo e palavras-chave. Para garantir a análise cega pelos pares, os trabalhos submetidos devem ser apresentados sem autores e rodapé.

TÍTULO: Centralizado; deve ser claro e conciso, permitindo pronta identificação do conteúdo do artigo, procurando-se evitar palavras do tipo: análise, estudo e avaliação. Os manuscritos devem apresentar o título em inglês e português, possibilitando apresentação de sumário bilíngue.

AUTORES: O número de autores deve ser o mínimo possível, considerando-se apenas as pessoas que efetivamente participaram do artigo, e que tenham condições de responder pelo mesmo integralmente ou em partes essenciais. Os autores devem apresentar afiliação completa, com a indicação de instituição, cidade, Estado e país e endereço email de todos os autores. É necessário explicar a presença dos autores no trabalho, através da descrição da contribuição de cada autor. A identificação dos autores e a sua contribuição será descrita em documento específico, anexado durante a fase de submissão dos manuscritos.

RESUMO: O texto deve iniciar-se na segunda linha após o item, ser claro, sucinto e, obrigatoriamente, explicar o(s) objetivo(s) pretendido(s), procurando justificar sua importância (sem incluir referências), os principais procedimentos adotados, os resultados mais expressivos e conclusões, contendo no máximo 12 linhas. Abaixo, na segunda linha após o item, devem aparecer as **PALAVRAS-CHAVE** (seis no máximo, procurando-se não repetir palavras do título) escritas em letras minúsculas e em negrito. Uma versão completa do RESUMO, para o inglês, deverá apresentar a seguinte disposição: **TÍTULO**, **ABSTRACT** e **KEYWORDS**.

INTRODUÇÃO: Apresenta o assunto a ser tratado, seus objetivos e finalidades, informando métodos empregados, delimitação precisa da pesquisa em relação ao campo do conhecimento,

períodos abrangidos e outros elementos necessários para situar o tema do trabalho, utilizando-se de bibliografia recente (últimos 5 anos) e preferencialmente periódicos.

MATERIAL E MÉTODOS: Dependendo da natureza do trabalho, uma caracterização da área experimental deve ser inserida, tornando claras as condições em que a pesquisa foi realizada. Quando os métodos forem os consagradamente utilizados, apenas a referência bastará; caso contrário, é necessário apresentar descrição dos procedimentos utilizados e adaptações promovidas. Unidades de medidas e símbolos devem seguir o Sistema Internacional de Unidades

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Ilustrações (figuras, gráficos, fotografias, etc.) devem ser apresentados com tamanho e detalhes suficientes para a composição final, preferivelmente na mesma posição do texto, podendo ser coloridos. Ilustrações: podem apresentar partes coloridas, e a legenda na posição inferior. A numeração deve ser sucessiva em algarismos arábicos. Tabelas: evitar tabelas extensas e dados supérfluos; agregar em múltiplos de 103 ou 106 números grandes com muitos algarismos; adequar seus tamanhos ao espaço útil do papel e colocar, na medida do possível, apenas linhas contínuas horizontais; suas legendas devem ser concisas e auto-explicativas, devendo, também, apresentar o título em inglês. Fotografias: podem ser coloridas. Na discussão, confrontar os resultados com os dados obtidos na bibliografia.

CONCLUSÕES: Devem basear-se exclusivamente nos resultados do trabalho. Evitar a repetição dos resultados em listagem subsequente, buscando confrontar o que se obteve, com os objetivos inicialmente estabelecidos. As conclusões devem ser escritas facilitando a interpretação do artigo, sem necessidade de consultar outros itens do mesmo.

AGRADECIMENTO(S): Inserir-lo(s), quando necessário, após as conclusões, de maneira sucinta.

REFERÊNCIAS: As referências devem ser ordenadas alfabeticamente e em letra maiúscula, e normalizadas de acordo a norma NBR-6023 (ago. 2000) da ABNT. Deve ser referenciado todos os autores mencionadas no texto e em tabelas, figuras ou ilustrações. Evitar citações de resumos, trabalhos não publicados e comunicação pessoal. Sugere-se que pelo menos 70% das referências sejam dos últimos 5 anos e 70% de artigos de periódicos.

CITAÇÕES: Todas as citações no texto devem constar da lista de Referência. As citações no texto devem aparecer em letras minúsculas e, quando inseridas entre parênteses no final do parágrafo, devem estar em letras maiúsculas, existindo outras referências do(s) mesmo(s) autor(es) no mesmo ano (outras publicações), a mesma será identificada com letras minúsculas (a, b, c) após o ano da publicação. Quando houver três ou mais autores, no texto será citado apenas o primeiro autor seguido de et al., sem italico, mas na listagem bibliográfica final os demais nomes também deverão aparecer. Na citação de citação, identifica-se a obra diretamente consultada; o autor e/ou a obra citada nesta é assim indicado: SILVA (2010) apud Santos (2012). Quaisquer dúvidas,

consultar a norma NBR-6023 (ago. 2000) da ABNT. É aconselhável que, antes de redigir o artigo, os autores tomem como base de formatação um artigo publicado no último número da revista.

Nota Técnica

Deverá apresentar avanços tecnológicos sem apresentação de hipótese. Quando se tratar de estudo de caso, as conclusões devem apresentar proposições. Deve ser redigido em linguagem técnica, de fácil compreensão, sobre assuntos relacionados às áreas de conhecimento da Revista, por autor(es) que demonstre(m) experiência sobre o assunto tratado, permitindo orientação para os diferentes usuários da RBRH. Somente justifica-se a apresentação de artigos que tragam contribuição sobre o assunto e não simplesmente casos pessoais ou de interesse restrito. Com maior liberdade de estilo do que em artigos científicos, as notas técnicas devem, na maioria das vezes, conter os seguintes itens: Título, Autor(es), Resumo, Abstract, Palavras-Chave (Keywords), Introdução, Descrição do Assunto, Conclusões e Referências. A identificação dos autores será incluída somente após a aprovação do artigo. A redação dos itens devem seguir as mesmas orientações para Artigos Científicos, com as seguintes particularidades:

No cabeçalho da primeira página deve aparecer a identificação: **NOTA TÉCNICA**, em letras maiúsculas, sublinhadas, negritadas, centralizadas e espaçadas de 1,1 cm da margem superior. O número de autores deve ser o mínimo possível, considerando-se apenas as pessoas que efetivamente participaram do artigo, e que tenham condições de responder pelo mesmo integralmente ou em partes essenciais. Os autores devem apresentar afiliação completa, com a indicação de instituição, cidade, Estado e país e endereço email de todos os autores. É necessário explicar a presença dos autores no trabalho, através da descrição da contribuição de cada autor. A identificação dos autores e a sua contribuição será descrita em documento específico, anexado durante a fase de submissão dos manuscritos.

INTRODUÇÃO: deve conter breve histórico, esclarecendo a importância, o estágio atual do assunto, apoiando-se em revisão bibliográfica, e deixar claro o objetivo do artigo.

DESCRIÇÃO DO ASSUNTO: com diferentes títulos que podem ser divididos em subitens, deve-se discorrer sobre o assunto, apontando-se as bases teóricas, trazendo experiências e recomendações, discutindo e criticando situações, baseando-se ao máximo em bibliografia e normas técnicas.

CONCLUSÕES: quando couberem, devem ser redigidas de forma clara e concisa, coerentes com o(s) objetivo(s) estabelecido(s). Não devem ser uma simples rerepresentação de outros parágrafos do artigo.

EXEMPLOS:

CITAÇÃO NO TEXTO

Um autor

No parágrafo Silva (2000) ou

Entre parênteses (SILVA, 2000)

Dois autores

No parágrafo Santos e Luz (2010) ou

Entre parênteses (SANTOS; LUZ, 2010)

Três autores:

No parágrafo Ribeiro, Carmo e Castelo Branco (2000) ou

Entre parênteses (RIBEIRO; CARMO; CASTELO BRANCO, 2000)

Quatro ou mais autores

Melo et al. (2012) ou

(MELO et al., 2012)

Documentos do mesmo autor publicados no mesmo ano:

No parágrafo Brasil (2000a,b) ou

Entre parênteses (BRASIL, 2000a,b)

CITAÇÃO DE CITAÇÃO:

No parágrafo Pereira et al.1 (1947 apud REIS; NÓBREGA, 2013, p. 86)

Indicar em nota de rodapé o autor citado e na lista de referências o autor consultado.

Este tipo de citação só deve ser utilizada nos casos em que o documento original não foi recuperado (documentos muito antigos, dados insuficientes para a localização do material etc.).

REFERÊNCIAS

Incluir apenas as referências citadas no texto, em tabelas e ilustrações, que já foram publicadas, organizadas em ordem alfabética pelo sobrenome do autor(es) e em letras maiúsculas. Utilizar o recurso tipográfico *itálico* para o destaque do título da obra. Pelo menos 70% das referências devem ser dos últimos 5 anos e 70% de artigos de periódicos. Quaisquer dúvidas, consultar a norma ABNT NBR-6023.

Exemplos:

ARTIGO DE PERIÓDICO

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; BORGES JUNIOR, J. C. F. Transporte no solo de solutos presentes na água residuária de café conilon. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 28, n. 1, p. 29-35, jan./mar. 2006.

ARTIGO DE PERIÓDICO ON-LINE

VAZ, C. A. B.; SILVEIRA, G. L. O modelo PEIR e base SIG no diagnóstico da qualidade ambiental em sub-bacia hidrográfica urbana. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 19, n. 2, p. 281-298, abr./jun. 2014. Disponível em: http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/b1394cc48a760488bf0af84be5678b0f_b6cf0c395f9e0a65a73ccf7619e6e63b.pdf. Acesso em: 12 fev. 2015.

LIVRO

Mesmo Autor da Obra no Todo

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PAN-Brasil. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

Autor distinto da obra no todo

RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ROCHA, G. C.; BORGES JUNIOR, J. C. F. Transporte de solutos no solo. In: van LIER, Q. J. Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. cap. 6, p. 213-240.

DISSERTAÇÕES/TESES

RENNER, L. C. Geoquímica de sills basálticos da formação Serra Geral, sul do Brasil, com base em rocha total e micro-análise de minerais. 2010. 226 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, 2010.

DISSERTAÇÕES/TESES ON-LINE

COSTA, L. Contribuições para um modelo de gestão da água para a produção de bens e serviços a partir do conceito de pegada hídrica. 2014. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-29122014-170217/fr.php>.
Acesso em: 12 fev. 2015.

TRABALHO APRESENTADO EM EVENTO

BERLATO, M. A.; MARTINS, E. J.; CORDEIRO, A. P. A.; ODERICH, E. H. Tendência observada da precipitação pluvial anual e estacional do Estado do Rio Grande do Sul e relação com a temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracaju, SE. Anais... Campinas: Campinas: CBAGRO, 2007. CD-ROM.

TRABALHO APRESENTADO EM EVENTO ON-LINE FECHINE, J. A.; GALVÍNCIO, J. D. Aplicação do teste de Menn Kendall na análise de tendências climáticas em anos de El Niño - Bacia Hidrográfica do Rio Pontal – Estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. Anais... São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/42_65198.pdf. Acesso em: 12 fev. 2015.

Taxa de Submissão

Para os valores apresentados a seguir, considera-se o autor correspondente do trabalho para o enquadramento em cada faixa.

- Valor de submissão para autor associado da ABRH: R\$ 120,00;
- Valor de submissão para autores não associados da ABRH: R\$ 300,00;
- Desconto para autores que colaboraram como revisores da RBRH em três ou mais revisões em 12 meses: 50% do valor correspondente à categoria.
- Artigos cujo primeiro autor for estrangeiro, não residente no Brasil, tendo realizado o trabalho em instituição estrangeira, serão isentos da taxa de submissão até o final do ano de 2017.

Os pagamentos devem ser realizados por boleto bancário emitido pelo sistema da ABRH.

O processo de avaliação será iniciado somente quando o pagamento do boleto for identificado pelo sistema da ABRH. Este processo é automático, não sendo necessária a ação do autor.

A taxa de submissão não será restituída caso o manuscrito seja rejeitado para publicação na RBRH.