



CAROLINE ELOI OLIVEIRA DA SILVA

**ESTUDO DOS CUSTOS OPERACIONAIS DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DE LAVRAS**

**LAVRAS – MG
2021**

CAROLINE ELOI OLIVEIRA DA SILVA

**ESTUDO DOS CUSTOS OPERACIONAIS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

Orientador
Prof. Dr. Ronaldo Fia

**LAVRAS-MG
2021**

CAROLINE ELOI OLIVEIRA DA SILVA

**ESTUDO DOS CUSTOS OPERACIONAIS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

Monografia apresentada ao Colegiado do
curso de Engenharia Ambiental e Sanitária,
para obtenção de título de Bacharel.

APROVADA em 21 de janeiro de 2021.

D.Sc. Fátima Resende Luiz Fia UFLA

M. Sc. Dyego Maradona Ataíde de Freitas UFLA

Dr. Ronaldo Fia

Orientador

LAVRAS – MG

2021

*Aos meus pais, por todo apoio, carinho e
dedicação.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força e sabedoria para continuar a lutar pelos meus sonhos.

Aos meus pais, Jurema e Francisco, por toda dedicação e confiança depositada em mim e, principalmente, por me apoiar em todas as minhas decisões.

Aos meus irmãos, Caluã e Adriano, por todo o incentivo e colaboração.

A todos os meus familiares, tias e tios, por acreditarem em mim. Sem todos vocês nada disso seria possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Fia, por compartilhar seus conhecimentos e por todo aprendizado transmitido. Agradeço por toda dedicação e paciência para que este trabalho fosse finalizado frente a todas as adversidades apresentadas.

Ao Dyego Freitas, por todas as oportunidades de atuação em programas e projetos que me foram concedidas durante a graduação. Agradeço também pelo fornecimento de dados e por toda a ajuda para a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Dimitri Viana, pela disponibilidade e fornecimento de dados fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Aos operadores da ETE-UFLA, em especial Aroldo e Aline, por sempre me receberem com carinho e se disporem a sanar quaisquer dúvidas.

Por fim, estendo o agradecimento a todos os meus amigos, que sempre me apoiaram e incentivaram durante os meus anos de graduação.

Obrigada!

RESUMO

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) possuem diversos custos, com a construção, operação e manutenção do sistema. O entendimento da estrutura desses custos é necessário para determinar a viabilidade de instalação e escolha de uma tecnologia de tratamento, além de ajudar no planejamento de novos investimentos. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo levantar e avaliar os custos operacionais da ETE da Universidade Federal de Lavras (UFLA), e determinar o custo total de tratamento por metro cúbico de esgoto tratado. Para tanto, foi realizado um levantamento das atividades desenvolvidas no tratamento do esgoto que conferem custos para a estação, sendo estes: energia elétrica, consumo de água, remuneração de funcionários, monitoramento ambiental e combustível veicular. Os custos com energia elétrica da estação foram obtidos por meio do medidor de consumo desta, e o consumo energético das elevatórias foi estimado por meio da corrente elétrica dos motores. O consumo de água foi estimado considerando o consumo médio dos funcionários durante os turnos de trabalho. Os custos com remuneração dos funcionários foram obtidos no Portal da Transparência da Controladoria Geral da União. As despesas com o monitoramento ambiental do esgoto foram orçadas em laboratório especializado. Os custos com combustível foram calculados por meio do consumo médio mensal e o valor tarifário deste. Os maiores custos da ETE-UFLA foram referentes a remuneração dos funcionários, monitoramento ambiental e energia elétrica, respectivamente, no qual as despesas com a remuneração apresentaram maior destaque, representando cerca de 85% do total. Além disso, as despesas referentes ao combustível e ao consumo de água apresentaram uma porcentagem de custos insignificantes, quando comparado ao custo total da estação. O custo unitário por metro cúbico de esgoto tratado na ETE-UFLA foi equivalente a R\$ 6,46, valor consideravelmente superior à média nacional, o que é atribuído ao alto custo com remuneração dos funcionários frente ao pequeno porte da estação e à pequena vazão de tratamento.

Palavras-chave: Estimativa de custos. Avaliação econômica. Tratamento de efluentes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Índice de atendimento de esgotamento sanitário no Brasil.....	11
Figura 2 – Investimentos no setor de saneamento no Brasil (em bilhões de reais) e variação do PIB investido no setor, de 2003 a 2018.....	14
Figura 3 – Fluxograma dos processos de tratamento de esgotos.....	17
Figura 4 – Fluxograma do processo de tratamento de esgoto por diferentes níveis.....	17
Figura 5 – Composição média dos custos de operação e manutenção dos prestadores de serviços de água e esgoto.....	21
Figura 6 – Variação do consumo de energia elétrica da ETE-UFLA no decorrer do ano de 2019.....	29
Figura 7 – Consumo de energia elétrica (kWh) da estação ETE-UFLA nos meses de agosto, setembro e outubro de 2019 e de 2020 (após adoção de medidas de isolamento social).....	30
Figura 8 – Composição média dos custos de tratamento de esgoto sanitário da ETE-UFLA em 2019.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Investimentos necessários para universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nas áreas urbanas e rurais das regiões do Brasil entre 2013 e 2033 (em bilhões de reais).	13
Tabela 2 – Custos de implantação de ETEs com diferentes processos de tratamento no Brasil (valores atualizados para data base de janeiro/2020 de acordo com IPCA).....	20
Tabela 3 – Custos totais mensais e anual de operação da ETE-UFLA no ano de 2019.....	35
Tabela 4 – Custo unitário das despesas do processo de operação da ETE-UFLA em 2019. ...	37
Tabela 5 – Custos de operação e manutenção de diferentes ETEs no Brasil de acordo com tipo de tratamento (valores atualizados para data base de janeiro/2020 de acordo com IPCA).....	38
Tabela 6 – Vazão média e custo unitário de tratamento de diferentes estações de tratamento de esgoto (valores de custo atualizados para data base de janeiro/2020 de acordo com IPCA). ..	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Panorama do saneamento básico no Brasil	10
2.2	Recursos financeiros para o setor de saneamento no Brasil.....	12
2.3	Tecnologias de tratamento de esgoto	16
2.4	Custos de implantação, operação e manutenção de ETEs.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Área de estudo.....	21
3.2	Composição dos custos operacionais.....	23
3.2.1	Energia Elétrica	23
3.2.1.1	Energia elétrica da estação	23
3.2.1.2	Energia elétrica das elevatórias	25
3.2.2	Consumo de água na ETE.....	26
3.2.3	Remuneração de funcionários	27
3.2.4	Monitoramento ambiental	27
3.2.5	Combustível veicular	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	Variação dos elementos que compõem o custo de tratamento de esgoto na ETE-UFLA	29
4.1.1	Energia elétrica	29
4.1.2	Remuneração dos funcionários	31
4.1.3	Consumo de água.....	31
4.1.4	Monitoramento ambiental	32
4.1.5	Combustível veicular	33
4.1.6	Outros custos não considerados	33
4.2	Estimativa do custo de tratamento de esgoto na ETE-UFLA	34
5	CONCLUSÃO.....	41
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento demográfico aliado ao desenvolvimento socioeconômico expôs as mazelas da falta de saneamento básico, e intensificou a demanda deste no Brasil. Neste novo cenário, diversos municípios ainda não possuem a infraestrutura adequada para atender tal demanda, gerando uma grande deficiência no atendimento aos serviços de saneamento, principalmente referente ao esgotamento sanitário, que comprometem a qualidade e a viabilidade de uso da água de forma segura.

O esgotamento sanitário é constituído por atividades, infraestruturas e instalações necessárias à coleta, transporte, tratamento e disposição final de esgotos. No Brasil, a Lei nº 11.445, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, apresentou como um dos princípios fundamentais a universalização da prestação dos serviços de saneamento básico, incluindo o tratamento e a disposição final adequada dos esgotos sanitários (BRASIL, 2007).

A universalização do acesso aos serviços de saneamento proporciona diversos benefícios para a sociedade, com impactos na saúde pública e no meio ambiente. No entanto, ainda há um grande déficit destes serviços no Brasil, especialmente no que se refere ao esgotamento sanitário. Dados da Agência Nacional de Águas apontam que cerca de metade da população do país não tem acesso ao tratamento de esgotos, o que corresponde a aproximadamente 100 milhões de brasileiros (ANA, 2017).

Uma das principais dificuldades para alcançar a universalização do acesso é a insuficiência de recursos financeiros investidos no setor de saneamento. Além disso, a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgoto podem não resultar em uma ampliação dos serviços, caso o aporte financeiro seja realizado sem a devida competência, ou seja, sem considerar a sustentabilidade dos processos de operação e manutenção dos sistemas implementados (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011; ANA, 2017; SOUZA; GOMES, 2019).

Assim, uma estação de tratamento de esgoto (ETE), destinada a reduzir as cargas poluidoras do esgoto sanitário para lançamento em corpos d'água, possui diversos custos, com a construção, operação e manutenção do sistema. O entendimento da estrutura desses custos é necessário para determinar a viabilidade de instalação de uma tecnologia de tratamento e ajudar no planejamento de novos investimentos, a fim de garantir a expansão dos serviços de saneamento (SANCHO; SENANTE; GARRIDO, 2011).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo levantar e avaliar os custos operacionais da estação de tratamento de esgoto da Universidade Federal de Lavras, e determinar o custo total de tratamento por metro cúbico de esgoto tratado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Panorama do saneamento básico no Brasil

A promulgação da Constituição Federal Brasileira, em 1988, estabeleceu novas perspectivas sobre a implantação de políticas públicas sobre o saneamento básico no Brasil, ao assegurá-lo como um direito fundamental dos cidadãos (BRASIL, 1988; SOUSA; SOUSA; ALVARES, 2015). As Constituições precedentes à de 1988 não retratavam diretamente sobre o assunto, mas ainda assim, havia políticas públicas que compreendiam tal questão.

Um dos primeiros marcos regulatórios sobre saneamento básico no país foi o Decreto-Lei nº 248, de 28 de fevereiro de 1967, que instituiu a Política Nacional de Saneamento Básico (PLANASA). Segundo o art. 1º do referido Decreto-Lei, a PLANASA compreendia um “conjunto de diretrizes destinadas à fixação do programa governamental a aplicar-se nos setores de abastecimento de água e esgotos sanitários”. Além disso, o Decreto-Lei também criou o Conselho Nacional de Saneamento Básico (CNSB), cuja finalidade era de “exercer as atividades de planejamento, coordenação e controle da Política Nacional de Saneamento Básico, estabelecendo as condições de sua execução, para todo o território nacional” (BRASIL, 1967).

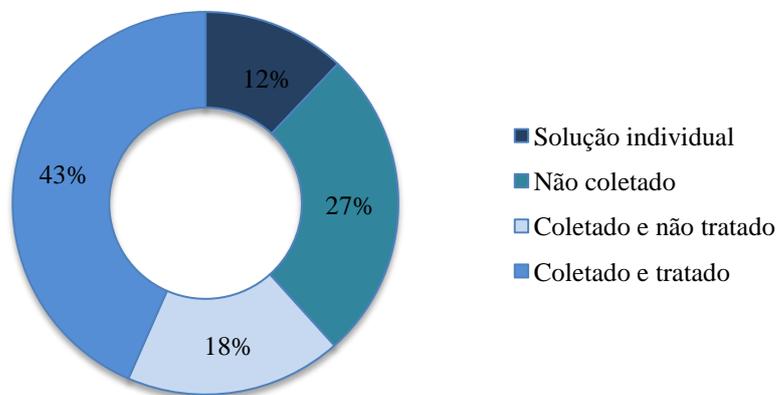
A instituição da PLANASA foi responsável por proporcionar uma rápida expansão na cobertura dos serviços de saneamento básico no país, incentivando a criação de muitas companhias de saneamento. No entanto, o modelo priorizava a construção dos sistemas, mas não fomentava a operação adequada destes, sendo a PLANASA caracterizada por uma ineficiência operacional (TUROLA, 1999; DUARTE, 2019). Isto, pois a ausência de uma gestão adequada em ETEs proporcionam sistemas deficitários, que resultam em um processo precoce de sucateamento das unidades de tratamento. Assim, é necessário que haja processos visando a sustentabilidade destas, visto que a durabilidade de ETEs se relacionam diretamente com as medidas preventivas adotadas em fase de projeto e aos cuidados tomados durante a execução das estruturas (ROCHA; GUIMARÃES, 2007; DIAS, 2018).

Após o encerramento da PLANASA, em 1986, somente duas décadas depois foi instituído um novo marco legal para regulação do setor de saneamento no Brasil. A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, apresentou inovações para o setor ao integrar as políticas

públicas de saúde e de proteção ambiental. Esta é a principal normatização nacional sobre saneamento básico, estabelecendo conceitos e princípios legais para o setor no país (BRASIL, 2007; SOUSA; SOUSA; ALVARES, 2015). De acordo com a referida Lei, o saneamento básico corresponde ao “conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; drenagem e manejo de águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas” (BRASIL, 2007).

Ainda que o saneamento básico seja um direito assegurado pela Constituição Federal Brasileira e a universalização ao acesso seja reivindicada por Lei, uma grande parcela da população ainda não possui acesso adequado a estes serviços. No que se refere ao esgotamento sanitário, cerca de 45% da população brasileira não possui tratamento de esgoto, no qual 18% possui coleta, mas não tratamento, e 27% não possui coleta ou tratamento. Assim, somente 55% da população possui destinação adequada de esgoto, onde 43% possui esgoto coletado e tratado, e 12% possui fossa séptica, ou seja, uma solução individual (ANA, 2017) (Figura 1).

Figura 1 – Índice de atendimento de esgotamento sanitário no Brasil.



Fonte: Adaptado do Atlas do Esgoto da ANA (2017).

A fim de se alcançar o princípio da universalização do acesso ao saneamento básico, assim como apresentado na Lei nº 11.445, é fundamental o investimento financeiro no setor, que permitiria uma expansão dos serviços de atendimento. Entretanto, Souza e Gomes (2019) relatam que o financiamento sempre foi um ponto crítico. As crises financeiras e a falta de recursos públicos sempre foram justificativas para os mínimos investimentos públicos no setor. Isso tem servido de base para iniciativas que propõem a sua abertura para o mercado,

como proposto pelo novo marco legal do saneamento, delimitado pela Lei n° 14.026 (BRASIL, 2020).

2.2 Recursos financeiros para o setor de saneamento no Brasil

O investimento no setor de saneamento no Brasil ocorreu, historicamente, de forma pontual, com destaque às décadas de 1970 e 1980, quando a PLANASA incentivava o incremento dos índices de saneamento no país. No entanto, neste período, o abastecimento de água era uma prioridade, não havendo uma mudança significativa no déficit de coleta e tratamento de esgoto (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

Para Galvão Junior et al. (2009), os setores de abastecimento de água e esgotamento sanitário apresentam dificuldades econômicas e institucionais, no qual os principais problemas são insuficiência de investimentos e déficit de atendimento, principalmente referente a coleta e tratamento de esgotos. Ainda que nas últimas décadas tenha ocorrido um aumento do investimento no setor, estes são voltados especialmente para universalização do abastecimento de água. Entretanto, a valorização da água também tem conferido um maior valor ao tratamento de esgotos, visto que a ausência de tratamento deste aumenta os custos com a água, fazendo com que o investimento em coleta e tratamento de esgoto seja uma das alternativas para reduzir os efeitos da crise hídrica (DANTAS; LEONETI; OLIVEIRA, 2012; ARAÚJO; BERTUSSI, 2018).

Quando considerado o déficit de atendimento dos serviços de saneamento no Brasil, os princípios fundamentais mais importantes da Lei n° 11.445 são a universalização do acesso e a integralidade. O primeiro representa a expansão dos serviços ofertados para a toda a população que ainda não possui acesso a estes, e o segundo compreende a oferta do conjunto de todos os serviços de saneamento básico para atender às necessidades da população (BRASIL, 2007; SOUSA; SOUSA; ALVARES, 2015). Portanto, a referida Lei também apresenta algumas exigências a fim de garantir a sustentabilidade dos investimentos públicos e privados no setor, com vistas à universalização dos serviços (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

Assim como previsto pela Lei n° 11.445, em 2013 ocorreu a aprovação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que estabeleceu os objetivos, diretrizes e metas nacionais para a universalização dos serviços de saneamento. Para o esgotamento sanitário, o PLANSAB apresentou como meta aumentar a cobertura do atendimento para 81% até 2023 e para 93% até 2033 (BRASIL, 2013). No entanto, atualmente, somente cerca de 55% da população é atendida por sistemas de esgotamento sanitário, ou seja, ainda há

aproximadamente 116 milhões de pessoas sem tratamento de esgoto sanitário no Brasil. A fim de atingir a universalização do saneamento até 2033, serão necessários investimentos de aproximadamente R\$304 bilhões, no qual R\$181,9 bilhões são para o serviço de esgotamento sanitário (Tabela 1).

Tabela 1 – Investimentos necessários para universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nas áreas urbanas e rurais das regiões do Brasil entre 2013 e 2033 (em bilhões de reais).

Macrorregiões	Abastecimento de água		Esgotamento Sanitário		Total	
Norte	8.635	12.083	12.032	18.435	20.667	30.518
Nordeste	17.154	28.409	30.002	45.84	47.156	73.693
Sudeste	27.279	46.935	47.352	72.982	74.631	119.917
Sul	13.328	23.077	16.385	26.925	29.713	50.002
Centro Oeste	7.211	11.645	11.856	18.266	19.067	29.911
Total	73.608	122.149	117.626	181.893	191.234	304.042

Fonte: Adaptado do PLANSAB (2013).

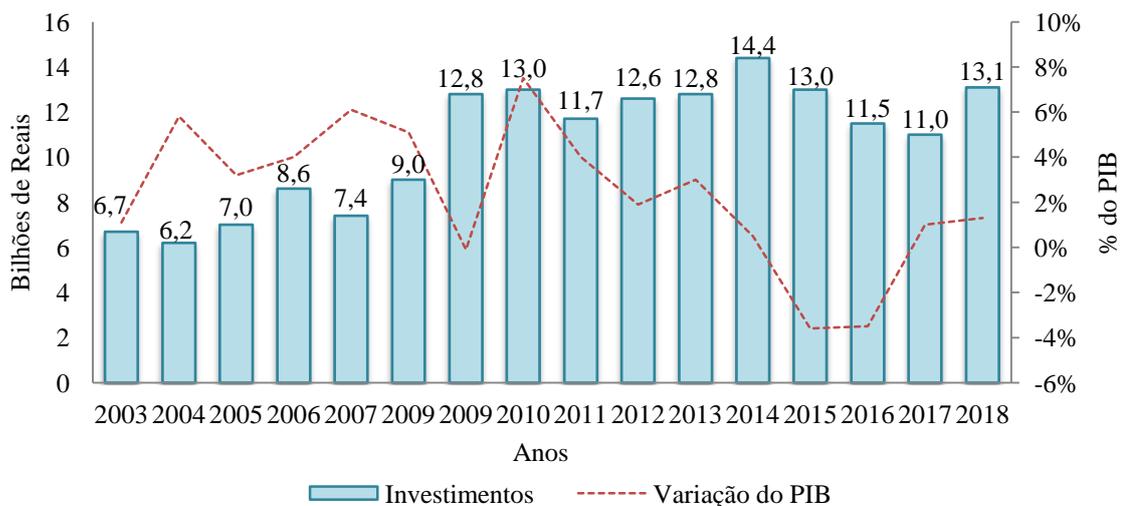
Em diferente estimativa realizada pela ANA (2017), seriam necessários investimentos de aproximadamente R\$ 149,5 bilhões para universalizar os serviços de esgotamento sanitário até 2035, no qual 68,2 % (R\$ 101,9 bilhões) precisam ser empregados em coleta de esgotos e 31,8% (R\$47,6 bilhões) no tratamento. Além disso, para uma implementação efetiva os municípios devem ser separados de acordo com a capacidade institucional da prestação de serviços de esgotamento sanitário, apresentando diferentes abordagens: os municípios com situação institucional consolidada deverão investir R\$42,0 bilhões até 2035 (36% em tratamento e 64% em coleta); os municípios com situação institucional intermediária deverão investir R\$54,2 bilhões (37% em tratamento e 63% em coleta); os municípios com situação institucional básica deverão investir R\$53,3 bilhões (24% em tratamento e 76% de investimento em coleta).

Apesar da estimativa otimista apresentada pela ANA, a escassez de recursos financeiros para o setor impossibilitam o cumprimento da meta. De acordo com Araújo e Bertussi (2018), a falta de recursos para investimentos no setor é um dos principais motivos que interferem na universalização do acesso, visto que a ausência de recursos impede uma expansão dos serviços. Na década de 1970, com o PLANASA, cerca de 0,46% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro foi investido em saneamento, o que não foi mantido nas décadas seguintes (SAIANI, TONETO JÚNIOR, 2010).

Segundo dados do Banco Mundial (2018), os investimentos realizados no setor encontram-se estagnados e insuficientes para expandir o atendimento aos serviços de saneamento, o que apresentou a necessidade de revisão do PLANSAB, que ocorreu em 2019. Nesta nova versão, no período de 2019 até 2033, serão necessários investimentos na ordem de R\$ 357 bilhões, do qual R\$ 215 bilhões são referentes aos serviços de coleta e tratamento de esgoto. No entanto, ainda que para atender as metas estabelecidas pelo PLANSAB seja necessário um investimento de cerca de 0,4% do PIB ao ano, nos últimos vinte anos os investimentos realizados têm sido de aproximadamente 0,21% do PIB. Além disso, a média de investimento no setor na última década foi de R\$ 12,6 bilhões, correspondendo a somente 49% da meta do PLANSAB, que corresponde a 25,5 bilhões anuais (KPMG/ABCON, 2020).

Na Figura 2 são apresentados os recursos financeiros investidos nas últimas décadas, assim como a variação no Produto Interno Bruto investido no setor.

Figura 2 – Investimentos no setor de saneamento no Brasil (em bilhões de reais) e variação do PIB investido no setor, de 2003 a 2018.



Fonte: Adaptado de KPMG/ABCON (2020).

De acordo com estudo realizado pela Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON) e a KPMG (2020), se mantido o ritmo de investimentos e os índices de atendimento, a universalização do acesso aos serviços de saneamento no Brasil se daria apenas em 2055. Segundo estes, para a expansão da infraestrutura de saneamento seriam necessários investimentos na ordem de R\$498 bilhões até 2033, sendo R\$144 bilhões aplicados no abastecimento de água e R\$354 bilhões em coleta e tratamento de esgoto. Além disso, o estudo também considerou o investimento para a recomposição da infraestrutura já existente dos sistemas, que seria em torno de R\$255

bilhões. Assim, o investimento total necessário para universalização do saneamento no país até 2033 é de R\$753 bilhões (KPMG/ABCON, 2020).

Para Madeira (2010), a eficiência, qualidade e universalidade dos serviços de saneamento são de grande importância para melhoria e manutenção da qualidade de vida da população, possuindo impactos diretos sobre a saúde pública, meio ambiente e no desenvolvimento econômico de um país. A UNESCO (2015) estima que o retorno para cada dólar investido em saneamento básico é de U\$5,00 a U\$28,00. De acordo com dados divulgados pelo Ministério da Saúde, para cada R\$1,00 investido em saneamento, tem-se uma economia de R\$4,00 na área de saúde. Assim, o aumento de investimentos no setor pode fazer parte de uma estratégia para um grande desenvolvimento econômico e social.

Segundo o Instituto Trata Brasil (2018), os investimentos em saneamento apresentam ganhos econômicos e sociais concretos, principalmente nos setores da saúde, educação, produtividade, turismo e valorização imobiliária. De acordo com o estudo, a universalização dos serviços reduziriam os custos com saúde em até R\$1,45 bilhão ao ano e agregaria até 20% de valor aos imóveis devido à melhoria na qualidade de vida. Além disso, o instituto também estima que, caso a meta do PLANSAB seja atingida, serão gerados benefícios econômicos e sociais superiores a R\$ 500 bilhões.

Em um estudo sobre internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado na rede pública de saúde da região metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, Siqueira et al. (2017) verificaram que das 13.929 internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, 93,7% relacionaram-se às doenças de transmissão feco-oral e 20,4% foram de crianças de 1 a 4 anos de idade; a letalidade hospitalar foi de 2,2%, tendo as doenças de transmissão feco-oral como principais causas de óbito. Observaram ainda que o gasto total com as internações foi de cerca de R\$ 6,1 milhões. Concluíram que as doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado permanecem como um importante problema na região estudada, embora esta apresente bons indicadores de desenvolvimento.

Apesar da insuficiência de recursos financeiros investidos em saneamento no Brasil ser uma grande dificuldade, esta não é a única razão para o atraso no desenvolvimento do setor. De acordo com Leoneti, Prado e Oliveira (2011), o déficit nos índices de atendimento à população também é resultado de problemas relacionados à falta de avaliação dos custos ambientais, econômicos e sociais que se relacionam com a implantação, operação e manutenção dos investimentos.

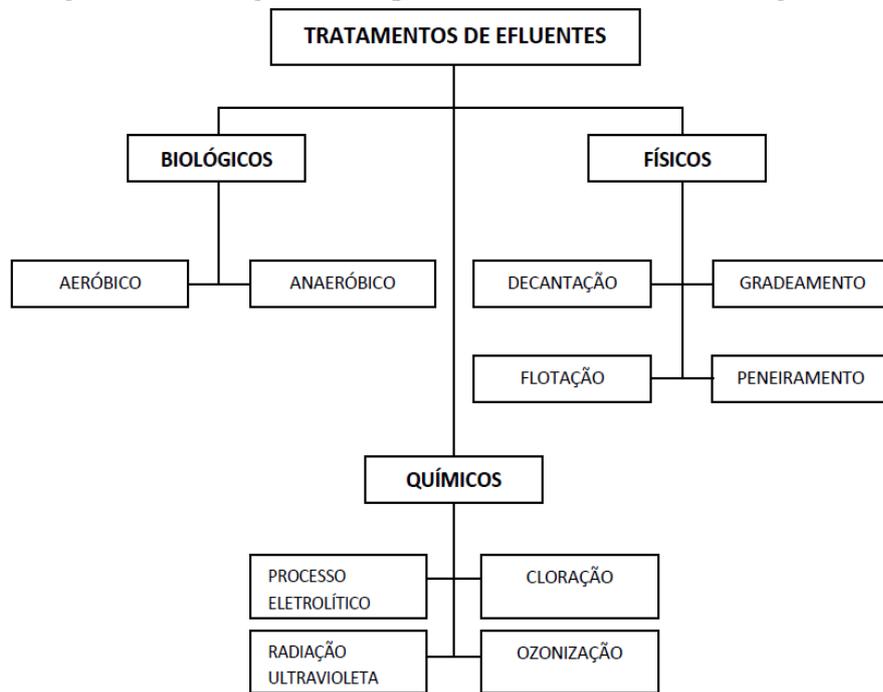
2.3 Tecnologias de tratamento de esgoto

O crescimento acelerado da população aliado ao aumento crescente do volume de esgotos produzidos e destinados a corpos hídricos tem contribuído significativamente com a degradação ambiental, por meio da poluição de recursos naturais, desestabilização de ecossistemas, além de problemas sociais (SCOTTÁ, 2015). De acordo com Buonocore et al. (2018), a gestão de esgotos desempenha um papel fundamental para alcançar a segurança hídrica. Os sistemas de tratamento são de vital importância para os sistemas urbanos, que além de proteger a saúde pública também devem focar em estratégias para reduzir os impactos sobre os recursos naturais, sendo necessário uma constante procura por diferentes abordagens para o tratamento de esgotos.

As tecnologias de tratamento de esgotos têm como objetivo remover os principais poluentes destes, a fim de reduzir os impactos causados pelo descarte desses efluentes no meio ambiente. Para tanto, há diferentes métodos de tratamento, no qual a escolha da tecnologia deve ser pautada sob os pontos de vista técnico, econômico, social e ambiental (GARCIA; FERREIRA, 2017).

Os sistemas de tratamento de esgotos são constituídos por diferentes processos, que podem ser físicos, biológicos ou químicos para a remoção de poluentes. Os processos físicos são caracterizados pela predominância de aplicação de força física, nos processos químicos ocorre a adição de produtos químicos ou reações químicas, e os processos biológicos ocorrem por meio de atividade biológica (MARCONDES, 2012). Na Figura 3 são apresentados alguns dos diferentes processos existentes em um sistema de tratamento de esgoto.

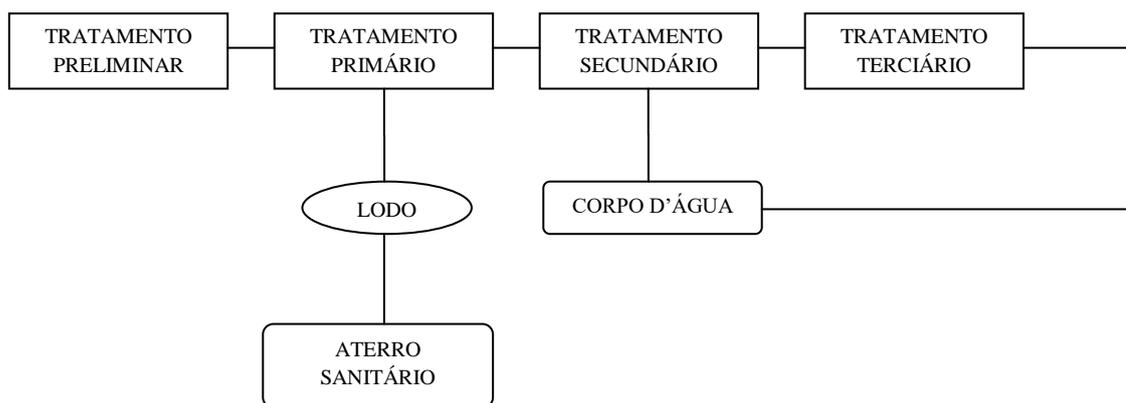
Figura 3 – Fluxograma dos processos de tratamento de esgotos.



Fonte: Marcondes (2012).

A estratificação das etapas de tratamento dos esgotos também pode ser feita por níveis de tratamento, estabelecidos de acordo com o grau de remoção de poluentes que se tem o objetivo de alcançar (VON SPERLING, 2014). Os processos de tratamento de esgoto podem possuir até quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário (Figura 4).

Figura 4 – Fluxograma do processo de tratamento de esgoto por diferentes níveis.



Fonte: Adaptado de Garcia e Ferreira (2017).

Os tratamentos preliminar e primário utilizam processos estritamente físicos. O primeiro tem como objetivo a remoção de sólidos grosseiros e areia, possuindo grades, peneiras, desarenador e caixa de gordura como seus principais componentes. O segundo tem

como objetivo a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis, no qual a principal unidade utilizada é o decantador (LINS, 2010; VON SPERLING, 2014).

De acordo com Von Sperling (2014), o tratamento secundário tem como objetivo a remoção de matéria orgânica e, eventualmente, de alguns nutrientes. Neste nível de tratamento predominam os mecanismos biológicos, no qual os principais processos utilizados são:

- a. **Lagoas de estabilização:** lagoa facultativa, lagoa anaeróbia - lagoa facultativa, lagoa aerada facultativa, lagoa aerada de mistura completa - lagoa de decantação, lagoas de alta taxa, lagoas de maturação;
- b. **Lodos ativados:** lodos ativados convencional, lodos ativados por aeração prolongada, lodos ativados de fluxo intermitente, lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio, lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio e fósforo;
- c. **Sistemas aeróbios com biofilmes:** filtros de baixa carga, filtros de alta carga, biodisco, filtros biológicos percoladores, biofiltro aerado submerso;
- d. **Sistemas anaeróbios:** reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), filtro anaeróbio;
- e. **Disposição no solo:** infiltração lenta, infiltração rápida, infiltração sub superficial, escoamento superficial, terras úmidas construídas.

O tratamento terciário visa a remoção de nutrientes, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes. Os processos mais utilizados são a radiação ultravioleta, para remoção de patógenos, e processos oxidativos avançados, para remoção de compostos orgânicos (LINS, 2010, VON SPERLING, 2014).

O resultado final do tratamento está condicionado à escolha adequada das etapas do processo, considerando que estes possuem diferentes características e eficiências. Portanto, os níveis e processos de tratamento de esgotos a serem utilizados devem ser determinados a partir do objetivo do tratamento, características do esgoto e impactos no corpo receptor, de forma a adequar o lançamento ao padrão de qualidade vigente. No entanto, também é de grande relevância que os custos associados sejam conhecidos e estudados, a fim de determinar de forma adequada a utilização de uma tecnologia para tratamento (SANCHO; SENANTE; GARRIDO, 2011).

2.4 Custos de implantação, operação e manutenção de ETEs

Os custos associados aos diferentes processos e tecnologias de tratamento não são de fácil obtenção. No entanto, a análise destes é essencial para compreender a necessidade e viabilidade de instalação de novos sistemas a partir da tecnologia de tratamento escolhida (SANCHO; SENANTE; GARRIDO, 2011). Jordão e Pessoa (2014) afirmam que os custos de implantação de ETEs estão diretamente associados aos níveis e tecnologias de tratamento adotadas, sendo este o fator mais relevante. As tecnologias que requerem elevado nível de mecanização e operação necessitam de maior investimento, quando comparado a outras tecnologias com menor índice de sofisticação (MAESTRI et al., 2011).

A definição dos custos do tratamento torna-se importante, pois, o que normalmente ocorre nas concessionárias de água e esgoto é que estas cobram do usuário/consumidor um valor para a coleta e o tratamento dos esgotos que é um percentual do valor cobrado pelo abastecimento de água potável. Em Minas Gerais, para o esgotamento dinâmico com coleta e tratamento, pode-se cobrar até 100% do valor do abastecimento de água (ARSAE, 2020), o que já ocorre em Lavras, por exemplo.

Além disso, a regulamentação dos serviços de água e esgoto tem, entre outros objetivos, a definição de tarifas que assegurem tanto o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos quanto a modicidade tarifária, por mecanismos que gerem eficiência e eficácia dos serviços e que permitam o compartilhamento dos ganhos de produtividade com os usuários (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020). Então, os serviços de saneamento devem estar disponíveis a preços razoáveis (modicidade tarifária), para todos, mesmo os mais pobres (ONU, 2010).

Há uma grande disparidade nos valores de custos de ETEs encontrados no Brasil, devido a fatores extrínsecos ao processo de tratamento e de natureza econômica, como inflação, moeda nacional e custos financeiros. Segundo Jordão e Pessoa (2014), o custo médio de implantação de ETEs para os principais processos de tratamento, por habitante, são: R\$ 157 para sistemas de lodos ativados, R\$ 65 para sistemas de lagoas e R\$ 51 para sistemas com reatores UASB e pós-tratamento.

Em estudo realizado em 84 ETEs do Brasil, Von Sperling (2016) levantou os custos médios de implantação de diferentes sistemas de tratamento de esgoto. Na Tabela 2 estão apresentados os valores de custos encontrados no trabalho convertidos para a data base de janeiro de 2020, de acordo com Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).

Tabela 2 – Custos de implantação de ETEs com diferentes processos de tratamento no Brasil (valores atualizados para data base de janeiro/2020 de acordo com IPCA).

Processo de tratamento	Número de dados	População (mín. – max.)	Custos (R\$ hab ⁻¹)
Lagoas facultativas e anaeróbias + lagoas facultativas	15	2.089 – 61.000	174 – 296
Lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas + lagoas de maturação	10	1.000 – 14.485	386 – 701
Reatores UASB	5	4.320 – 15.146	77 – 231
Reatores UASB + uma ou duas lagoas de maturação em série	10	5.135 – 138.000	366 – 559
Reatores UASB + três ou mais lagoas de maturação em série	4	7.292 – 41.330	501 – 835
Reatores UASB + filtros anaeróbios	9	1.381 – 199.041	276 – 411
Reatores UASB + filtros biológicos percolados	22	4.584 – 300.000	276 – 469
Lodo ativado	9	40.000 – 1.500.000	463 – 566

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2016).

A utilização das lagoas de maturação para remoção de patógenos, correspondente ao tratamento terciário, aumenta consideravelmente o custo da construção. O sistema de tratamento com menor custo unitário corresponde aos reatores UASB, que podem ser associados a diferentes pós-tratamento, desde sistemas naturais a compactos, no qual o segundo possui menores valores de custo (VON SPERLING, 2016).

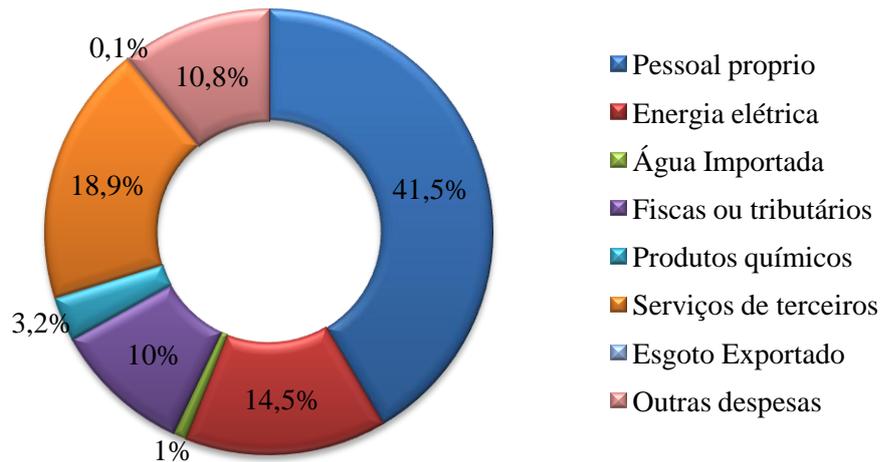
Apesar de alguns custos de implantação, sabe-se que há uma precariedade de informações sobre os custos de operação e manutenção das ETEs no Brasil, fazendo com que se tenha como referência valores da experiência internacional (SAMPAIO; GONÇALVES, 1999). No entanto, deve haver cautela na utilização destes, pois há disparidades com a realidade nacional, principalmente referente à mão de obra, com produtividade e salários diferentes; e materiais e equipamentos, devido à variedade de preços e necessidade de importação (JORDÃO; PESSOA, 2014).

Rodriguez-Garcia et al. (2011) verificaram em Valência na Espanha, que os valores médios, mínimo e máximo encontrados para os custos por metro cúbico, respectivamente, foram: €0,24; €0,07; e €0,45, o que para os dias atuais, em conversão direta, seria de R\$1,51; R\$0,44 R\$2,84. Outro destaque é para os gastos com pessoal, que, em média, representaram 35% do total. Os autores destacam também alto percentual de gastos com energia elétrica, de onde vem a importância de estudos de eficiência energética.

O diagnóstico anual de água e esgotos do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) apresenta as despesas dos serviços de saneamento nas seguintes categorias: pessoal próprio, energia elétrica, água importada, fiscais ou tributários, produtos

químicos, serviços de terceiros, esgoto exportado e outras despesas. O último diagnóstico do SNIS, em 2018, apontou que os maiores custos dos serviços de saneamento são com pessoal próprio e serviços de terceiros, com percentual de 41,5% e 18,9%, respectivamente (Figura 5).

Figura 5 – Composição média dos custos de operação e manutenção dos prestadores de serviços de água e esgoto.



Fonte: Adaptado do Diagnóstico do SNIS (2018).

Sampaio e Gonçalves (1999) apresentaram os custos de operação e manutenção de uma ETE com processo de tratamento por lodos ativados. Na composição dos custos, foram considerados as seguintes categorias: pessoal, encargos sociais e benefícios, energia elétrica, serviços, materiais de tratamento, água, rateio de custo de pessoal e materiais. Para estes, assim como apresentado pelo diagnóstico do SNIS, os principais custos operacionais foram: pessoal próprio (incluindo encargos e benefícios), com percentual de 41% do custo operacional total; energia elétrica, correspondente a cerca de 20% dos custos; e serviços, com percentual equivalente a 12% dos custos totais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), localizada no município de Lavras, região sul do estado de Minas Gerais.

A ETE-UFLA foi projetada com um sistema totalmente automatizado a fim de realizar

o tratamento do esgoto proveniente da própria universidade. A vazão de projeto é de $900 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Atualmente, a ETE opera com vazão média de $160 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (FARIAS et al., 2019, CAMPOS et al., 2020). O sistema de tratamento da estação combina o tratamento anaeróbio e aeróbio, sendo constituído por três níveis: tratamento preliminar, tratamento secundário e tratamento terciário.

No tratamento preliminar, o sistema é composto pelos seguintes processos: gradeamento grosso, gradeamento fino e caixa separadora de gordura. Os dois primeiros têm como objetivo a retenção de materiais sólidos de maior e menor diâmetro, no qual o gradeamento grosseiro possui diâmetro de abertura de 2,5 cm e o gradeamento fino possui diâmetros de 0,5 a 1,0 cm. A caixa separadora de gordura é utilizada para reter a gordura presente no esgoto antes de iniciar o processo de tratamento, a fim de impedir que esta provoque danos às unidades posteriores.

O tratamento secundário é composto por seis reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) e, sequencialmente, seis filtros biológicos aerados submersos (FBAS). Cada reator UASB possui um volume útil de $62,37 \text{ m}^3$ e cada FBAS possui volume do meio filtrante de $31,75 \text{ m}^3$ (FARIAS et al., 2019; SILVA, 2019; CAMPOS et al., 2020).

O nível de tratamento terciário é composto por quatro filtros rápidos de areia descendentes (FRD) que tem a função de reter o lodo aeróbio proveniente dos FBAS, além de sistema de desinfecção por cloração seguido por sistema de desinfecção radiação ultravioleta, utilizado para remoção de microrganismos patogênicos.

A ETE-UFLA também possui três estações elevatórias de esgoto (EEE) com volume útil de $4,95 \text{ m}^3$ cada: EEE-Goiaba, EEE-Veterinária e EEE-ETE. A EEE-Goiaba e EEE-Veterinária estão instaladas em locais estratégicos do câmpus, a fim de receber o esgoto e armazená-lo temporariamente até alcançar um volume pré-estabelecido para recalá-lo à estação. Ao chegar à ETE e passar pelo tratamento preliminar, o esgoto alcança a EEE-ETE para ser recalcado para os reatores UASB.

Após todos os processos de tratamento e o devido monitoramento, o efluente da ETE-UFLA é destinado para o Ribeirão Vermelho, corpo d'água que passa pelo câmpus da universidade.

3.2 Composição dos custos operacionais

Um levantamento das atividades desenvolvidas no tratamento do esgoto foi realizado a fim de obter os principais itens que geram custos para a ETE. Após o levantamento, foram determinados cinco itens para compor os custos de operação da ETE-UFLA: energia elétrica, consumo de água, remuneração de funcionários, monitoramento ambiental e combustível veicular (SAMPAIO; GONÇALVES, 1999; MAESTRI et. al, 2011; RODRIGUES; CARVALHO, 2016).

A fim de estimar o custo de operação da ETE por metro cúbico de tratamento, foi necessário também estimar o volume de esgoto tratado, devido à ausência temporária de um medidor de vazão em funcionamento na estação. Para tanto, foi considerado que a ETE-UFLA recebe cerca de $160 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de esgoto para tratamento, sendo considerados somente os dias úteis do ano (FARIAS et al., 2019).

Ressalta-se aqui que os dados utilizados foram aqueles obtidos para o ano de 2019, tendo em vista que, com a suspensão das atividades de ensino presenciais e a suspensão parcial das atividades de pesquisa no câmpus, os dados referentes a 2020 não representariam, de forma adequada, o custo do tratamento de esgoto na instituição.

Após a obtenção de todos os dados, foi utilizado o *software Microsoft Excel* para a realização dos cálculos e elaboração de gráficos e tabelas.

3.2.1 Energia Elétrica

A ETE-UFLA possui duas fontes de consumo de energia, a proveniente da própria estação e a energia consumida pelas duas elevatórias no câmpus, sendo necessária a aplicação de diferentes métodos para a obtenção deste.

3.2.1.1 Energia elétrica da estação

O consumo de energia elétrica da estação foi obtido por meio do medidor de consumo presente na mesma. A leitura deste foi realizada três vezes por semana nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 2020. Após as leituras, o consumo médio mensal da estação foi determinado por meio da diferença entre as leituras de dois meses subsequentes, assim como apresentado na equação 1.

$$C_m = LM_2 - LM_1 \quad (1)$$

em que,

C_m – Consumo médio mensal (kWh);

LM_2 – Leituras do medidor de energia elétrica no mês subsequente (kWh);

LM_1 – Leituras do medidor de energia elétrica no mês anterior (kWh).

Após a obtenção do consumo médio mensal da estação e com conhecimento do tempo de funcionamento, foi necessário calcular o consumo de energia por hora trabalhada, para obter uma estimativa do consumo energético para o ano de 2019 (Equação 2).

$$C_e = \frac{C_m}{T_f} \quad (2)$$

em que,

C_e – consumo energético (kW);

C_m – Consumo médio mensal (kWh);

T_f – Tempo de funcionamento da estação (h).

Com a obtenção do consumo de energia elétrica da estação e por meio do tempo de funcionamento da ETE-UFLA em todos os meses de 2019, foi possível calcular o consumo médio da estação para todos os meses do ano, conforme apresentado na equação 3.

$$C_{EE} = C_e \times T_f \quad (3)$$

em que,

C_{EE} – Consumo mensal de energia elétrica na estação (kWh).

Para determinar o custo da energia elétrica, foi necessário conhecer o valor tarifário aplicado pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). A UFLA utiliza a tarifa horosazonal verde, que possui diferentes valores tarifários para os horários de ponta, aplicados de 17:00 às 20:00 horas, e dos horários fora de ponta.

Devido à ausência de informações sobre os horários de funcionamento da estação, foi necessário realizar uma estimativa do consumo durante os horários de ponta e fora de ponta. Para tanto, por meio das contas de energia elétrica da instituição em 2019, foi calculado o percentual médio do consumo energético durante os horários de ponta e fora de ponta, a fim de aplicá-los também ao consumo da ETE.

A partir da obtenção do consumo para os dois horários, o custo com energia elétrica na estação foi obtido por meio da equação 4.

$$EE = (C_{FP} \times 0,35542) + (C_P \times 1,67061) \quad (4)$$

em que,

EE – Custo de energia elétrica na estação (R\$);

C_{FP} – Consumo mensal em horário fora de ponta (kWh);

C_P – Consumo mensal em horário de ponta (kWh);

0,35542 – Valor da tarifa horosazonal verde para horário fora de ponta estabelecido pela CEMIG (R\$);

1,67061 – Valor da tarifa horosazonal verde para horário de ponta estabelecido pela CEMIG (R\$).

3.2.1.2 Energia elétrica das elevatórias

Para obtenção do consumo de energia elétrica da EEE-Goiaba e EEE-Veterinária foi necessário conhecer a potência ativa consumida pelos equipamentos, conforme apresentado na equação 5.

$$P = \sqrt{3} \times V_l(t) \times I_l(t) \times FP(t) \quad (5)$$

em que,

P – Potência ativa consumida (W);

$V_l(t)$ – Tensão de linha (fase-fase) em função do tempo (V);

$I_l(t)$ – Corrente de linha em função do tempo (A);

FP(t) – Fator de potência em função do tempo.

Para resolução da equação 5, foram coletados dados de corrente e velocidade do motor do sistema supervisor das elevatórias, de minuto a minuto, a fim de obter a tensão aplicada no motor do equipamento (ORTENZI; SILVA, 2018). Após obtenção dos dados e conhecimento da frequência nominal e de saída, a velocidade foi convertida em tensão aplicada ao motor, sendo calculada conforme a equação 6.

$$\frac{V_1}{F_1} = \frac{V_2}{F_2} \quad (6)$$

em que,

V_1 – Tensão nominal do motor (V);

- F1 – Frequência nominal do motor (Hz);
 V2 – Tensão de saída do inversor (V);
 F2 – Frequência de saída do inversor (Hz).

O fator potência (FP) foi determinado em função da corrente, utilizando-se, para tanto, as curvas características fornecidas pelo fabricante do motor (ORTENZI; SILVA, 2018). Assim, foram obtidas as três incógnitas da equação 5, permitindo o cálculo da potência ativa consumida pelo motor das elevatórias.

Por fim, tendo conhecimento da potência, a energia consumida foi calculada conforme a equação 7.

$$E = \int_0^t P(t)dt \quad (7)$$

Os dados obtidos das duas elevatórias foram referentes ao final de 2019 e ao ano de 2020, antes e depois da adoção de medidas para garantir o isolamento social. Pois, o sistema supervisorio armazena dados continuamente por apenas um ano. Portanto, para estimar o consumo energético no ano de 2019, foi realizada a média de consumo das elevatórias para os meses precedentes ao início do isolamento social. Por fim, o custo com energia elétrica consumida pelas elevatórias foi calculado conforme equação 4.

Após a estimativa do consumo de energia das duas elevatórias, o custo total de energia elétrica foi obtido a partir do somatório do consumo da estação e das elevatórias.

3.2.2 Consumo de água na ETE

O consumo de água na estação é proveniente do uso pelos funcionários durante os turnos de trabalho. Para cálculo da água consumida, considerou-se o consumo per capita de 50 L por operador, a partir de estimativa de consumo para funcionários de edifícios públicos ou comerciais apresentada na NBR 7.229/1993.

O custo do consumo de água foi calculado considerando o valor de tarifa de água para estabelecimentos públicos (Equação 8). Foi utilizado o valor tarifário estabelecido pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG) referente ao ano de 2019.

$$CAF = Vol \times N_f \times 3,18 \quad (8)$$

em que,

CAF – Custo do consumo de água na estação (R\$);

Vol – Volume de água consumido por funcionário (m³);

N_f – Número de funcionários;

3,18 – Valor tarifário de água estabelecido pela ARSAE-MG no ano de 2019 (R\$ m⁻³).

3.2.3 Remuneração de funcionários

Os custos referentes a remuneração dos funcionários incluem a remuneração bruta, remuneração eventual e as verbas indenizatórias. Os salários brutos podem incluir adicional de certificação, adicional de insalubridade, adicional de periculosidade, adicional noturno e adicional por tempo de serviço. As verbas indenizatórias podem incluir auxílio alimentação, auxílio bolsas de estudos, auxílio acidente de trabalho, auxílio transporte, auxílio creche, entre outros.

A ETE-UFLA possui quatro servidores técnico-administrativos com a ocupação de operador de estação de tratamento de água e efluentes, segundo a Classificação Brasileira de Ocupações do Ministério do Trabalho. Os valores de remuneração dos mesmos foram obtidos no Portal da Transparência da Controladoria Geral da União, onde consta o valor de remuneração de todos os servidores públicos.

A fim de estabelecer os custos anuais com remuneração de funcionários, considerou-se também a gratificação do décimo terceiro e das férias, conforme apresentado na equação 9.

$$CRF = (Rem \times 13) + (VI \times 12) + \frac{Rem}{3} \quad (9)$$

em que,

CRF – Custo com remuneração de funcionários (R\$);

Rem – Remuneração básica bruta mensal (R\$);

VI – Verbas indenizatórias (R\$).

3.2.4 Monitoramento ambiental

O monitoramento ambiental do esgoto da ETE-UFLA é realizado para acompanhar o desempenho do sistema de tratamento quanto à eficiência de remoção de poluentes e patógenos, a fim de garantir um lançamento final adequado conforme o padrão exigido pela

Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 1, de 05 de maio de 2008. Para tanto, são realizados semanalmente análises laboratoriais das seguintes variáveis: cor, pH, turbidez, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD), fósforo total, nitrogênio Kjeldhal, detergentes tensoativos, óleos e graxas, coliformes totais, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e sólidos sedimentáveis.

Os custos de monitoramento relativos às análises laboratoriais foram orçados de acordo com as tarifas do Laboratório de Análises de Água do Departamento de Engenharia da UFLA (LAADEG/UFLA).

3.2.5 Combustível veicular

A fim de quantificar os custos com combustível do automóvel da ETE, por meio de dados fornecidos pelo Setor de Transportes e Manutenção da UFLA, foi obtido o volume médio de combustível abastecido por mês. Para o cálculo, foi considerado o preço médio da gasolina comum no município de Lavras para todos os meses de 2019, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (Equação 10).

$$CC = \text{Vol} \times PG_{\text{mês}} \quad (10)$$

em que,

CC – Custo com combustível (R\$);

Vol – Volume médio de abastecimento mensal (L);

$PG_{\text{mês}}$ – Preço médio da gasolina no mês de referência (R\$ L⁻¹).

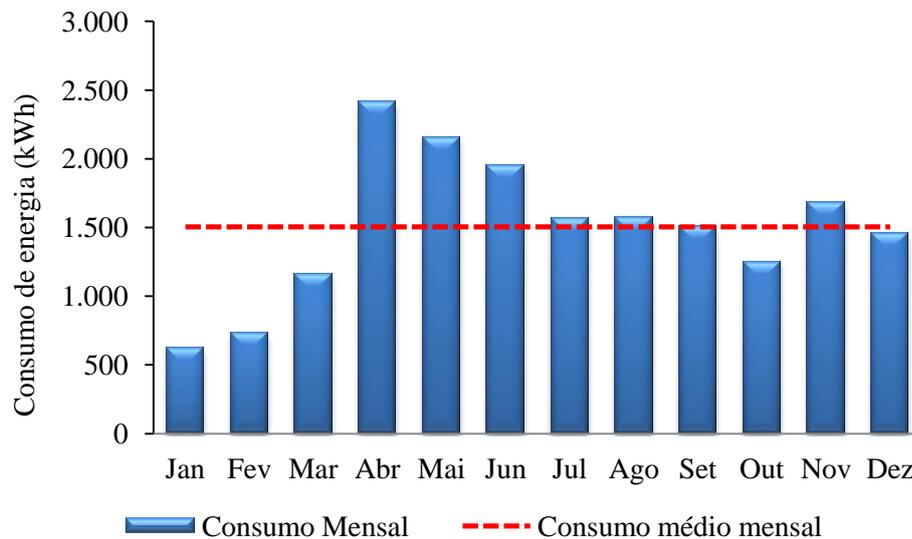
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variação dos elementos que compõem o custo de tratamento de esgoto na ETE-UFLA

4.1.1 Energia elétrica

O consumo médio mensal de energia elétrica apurado na ETE-UFLA foi de 1.505,10 kWh. Ao decorrer do ano, há uma considerável variação do consumo da estação (Figura 6), justificado pelo maior ou menor volume de esgoto a ser tratado.

Figura 6 – Variação do consumo de energia elétrica da ETE-UFLA no decorrer do ano de 2019.



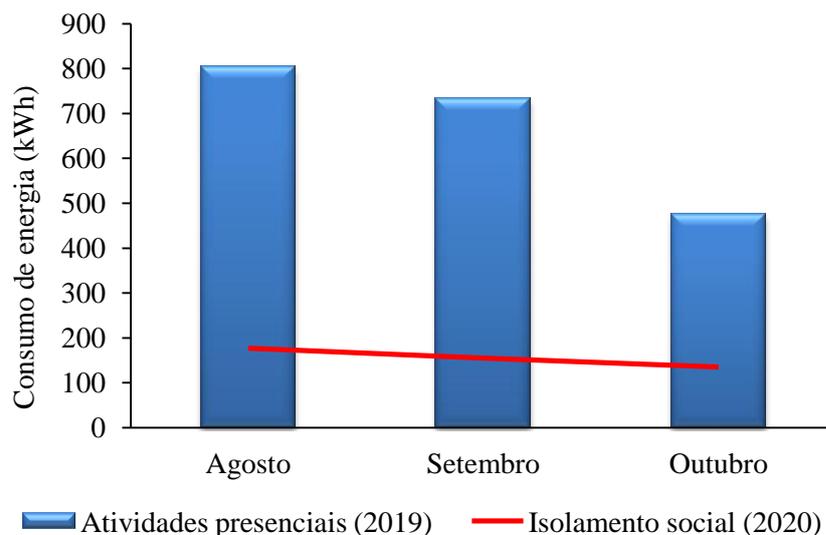
Fonte: Do autor (2021).

Na Figura 6 é possível observar que os meses de janeiro e fevereiro apresentaram o menor consumo energético. Tal característica é explicada devido às férias escolares, que reduzem consideravelmente a população diária da universidade. Assim, com um menor número de pessoas no câmpus, reduz-se também o volume de esgoto a ser destinado para a estação. Como consequência, tem-se uma diminuição na vazão de esgoto tratada, responsável pela diminuição do consumo energético. Em contrapartida, nos meses de abril, maio e junho ocorreu uma elevação do consumo energético na estação, indicando que, comparado aos outros meses do ano, houve um maior acionamento das elevatórias e maior tempo de funcionamento da estação, que resultaram no aumento do consumo energético.

Nesse sentido, observou-se que o consumo de energia elétrica da ETE-UFLA está diretamente relacionado ao volume de esgoto gerado no câmpus universitário. Além disso, há influência do porte da estação, dos parâmetros de qualidade do afluente e do efluente, do tipo de tecnologia utilizada e da idade do equipamento (BROSTEL, 2002; VICIANO; CHOVER; SANCHO, 2018).

A título de comparação foi avaliado o consumo médio de energia elétrica da estação, sem incluir as duas elevatórias do câmpus, durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2019 e de 2020. O objetivo foi apresentar como a redução do volume de esgoto da estação, ocasionado pelas medidas de isolamento social necessárias para enfrentamento do Covid-19 no ano de 2020, influenciaram no consumo energético da estação (Figura 7).

Figura 7 – Consumo de energia elétrica (kWh) da estação ETE-UFLA nos meses de agosto, setembro e outubro de 2019 e de 2020 (após adoção de medidas de isolamento social).



Fonte: Do autor (2021).

Durante os três meses apresentados em 2020, a população da universidade foi reduzida consideravelmente devido à suspensão de atividades presenciais e, assim, reduziu-se consequentemente o volume de esgoto gerado. Assim, comprova-se que o consumo de energia elétrica na ETE-UFLA está diretamente relacionado à vazão de tratamento, no qual quanto maior o volume a ser tratado, maior será o consumo energético.

Nas estações de tratamento de esgoto que utilizam reatores UASB com pós-tratamento, que possuem menor consumo energético por ser um processo anaeróbico, os custos de energia recaem sobre as elevatórias do sistema (JORDÃO, 2008). De acordo com Sampaio e Gonçalves (1999), o consumo de energia elétrica representou cerca de 20% da composição

de custos operacionais da ETE/Barueri, no qual a elevatória foi responsável por 35% do consumo total de energia. No caso da ETE-UFLA, o consumo das duas elevatórias do câmpus foi responsável por 48% do consumo energético total da estação, sendo a principal parcela da composição deste custo.

Em estações que possuem sistemas aerados, em geral, a aeração pode ser responsável por mais da metade do consumo energético das unidades de tratamento (JORDÃO, 2008). Na ETE-UFLA, o sistema de aeração FBAS é responsável por consumir, com o soprador ligado, cerca de 12 kWh (SILVA, 2019). Considerando que o consumo médio diário da ETE-UFLA foi de 50,2 kWh, observa-se que somente o sistema de aeração é responsável por 24% do consumo energético da unidade. No entanto, se avaliado somente a energia elétrica da estação, não se considerando o consumo das elevatórias, o sistema FBAS consome cerca de 46% da energia da estação. Tais valores vão ao encontro do apresentado por Souza (2019), que determina que, dos custos da ETE Natal com energia elétrica, 49,02% são de responsabilidade dos sopradores.

4.1.2 Remuneração dos funcionários

O quadro de funcionários da ETE-UFLA é composto por quatro servidores operadores, responsáveis pela coordenação do processo de tratamento, com regime de trabalho de 40 horas semanais. A remuneração destes é uma constante que independe do volume de esgoto tratado, sendo responsável por gerar um custo anual de R\$ 221.678,47 para a ETE.

Em quase todos os meses do ano, o custo mensal da ETE-UFLA com remuneração dos funcionários é constante. No entanto, nos meses de junho e dezembro há um aumento destes, devido ao pagamento das parcelas da remuneração eventual, referente ao décimo terceiro salário. Além disso, também há um pequeno aumento destes custos nos meses em que ocorre o pagamento das férias dos funcionários.

4.1.3 Consumo de água

O consumo de água mensal estimado para a ETE-UFLA foi de 4,4 m³. Este foi o responsável pelo menor custo da estação, representando 0,1% da composição de custos da ETE. Em geral, o consumo de água nas estações não costuma ser elevado. Para a ETE/Barueri, Sampaio e Gonçalves (1999) determinaram que este fator representou 8% dos custos totais da estação. Em encontro a estes, Rodrigues e Carvalho (2016) apresentaram que o consumo de água representava 8% do total de despesas da ETE Hélio Seixo de Britto. O

baixo custo com água da ETE-UFLA pode ser justificado pelo fato de se ter considerado somente a água consumida pelos funcionários, enquanto nos estudos apresentados por Sampaio e Gonçalves (1999) e Rodrigues e Carvalho (2016), considerou-se também o consumo da lavagem dos equipamentos e paisagismo, por exemplo.

O consumo de água não é um fator comumente abordado no que diz respeito à operação das estações de tratamento de esgoto, visto que, na maioria das vezes, a produção e distribuição desta água é realizada pela mesma companhia responsável pelo tratamento de esgoto, o que transmite a ideia de que tal item não deve ser considerado na composição de custos operacionais das estações (SAMPAIO; GONÇALVES, 1999). Tal característica também pode ser exemplificada na ETE-UFLA, no qual, devido a existência de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) no câmpus universitário, o consumo de água pode ser percebido, erroneamente, como um fator que não geraria verdadeiramente um custo para instituição.

4.1.4 Monitoramento ambiental

Na ETE-UFLA, as análises de monitoramento do efluente para avaliar a eficiência da estação são realizadas semanalmente e, além disso, também são avaliados parâmetros além dos exigidos pela legislação, pois são utilizados para divulgação científica. Portanto, os custos envolvidos no monitoramento ambiental da ETE-UFLA possuem um valor superior ao encontrado em outras unidades de tratamento, correspondendo a 11,1% das despesas totais da estação e possuindo um custo unitário de R\$ 0,72 por metro cúbico de esgoto tratado.

O monitoramento das estações de tratamento de esgoto é necessário para determinar a eficiência do tratamento, avaliando os parâmetros de qualidade e garantindo que os resultados obtidos estão em acordo com os padrões de qualidade necessários para o descarte dos efluentes. O monitoramento da estação pode ser implementado para diferentes funções: cumprimento dos padrões exigidos na legislação e para obtenção de dados para controle. Os órgãos ambientais exigem monitoramento mensal do esgoto afluente e efluente das estações e, em alguns casos, também do corpo d'água receptor. No entanto, para fins de controle, muitas vezes esses dados são insuficientes, sendo necessário a avaliação de outras variáveis de qualidade da água além daqueles exigidos pelo órgão ambiental responsável (VON SPERLING, 2014).

A realização do monitoramento não é um processo barato, principalmente para pequenas estações de tratamento, sendo uma despesa constante que independe do volume de esgoto tratado e do tipo de tratamento (VON SPERLING, 2016; SANTOS, 2018). Os custos

com análises laboratoriais para o monitoramento ambiental dos efluentes em diferentes ETEs são variáveis de acordo com a frequência de monitoramento e das variáveis a serem analisadas, de acordo com necessidade dos órgãos ambientais (SANTOS, 2018). Em estudo realizado por Oliveira (2006), que avaliava o desempenho de 166 estações de tratamento de esgoto, foi possível observar que as variáveis de qualidade monitoradas possuem grande variação entre as estações de tratamento, no qual algumas ETEs estudadas possuíam mais de 30 indicadores e outras apenas quatro.

4.1.5 Combustível veicular

O custo com combustível do automóvel foi equivalente a somente 0,80% da composição total das despesas da ETE-UFLA, possuindo um custo médio mensal equivalente a R\$ 172,35.

Para a ETE Barueri, Sampaio e Gonçalves (1999) obtiveram um custo mensal com combustível de R\$ 962,00, equivalente a uma parcela de 0,11% do total de despesas da estação. Já na ETE Hélio Seixo de Britto, o custo médio mensal com veículos foi de R\$ 1.587,93, representando 0,12% das despesas totais (RODRIGUES; CARVALHO, 2016). Assim, observa-se que, no geral, os custos com combustível nas ETEs são mínimos quando comparados a outras despesas estação.

O custo mensal com combustível da ETE-UFLA foi significativamente inferior ao apresentado na ETE Barueri e na ETE Hélio Seixo de Britto, o que pode ser justificado pela quantidade de veículos disponíveis e pela menor necessidade de percorrer grandes distâncias. Além disso, no caso da UFLA, os custos com combustível se restringiram somente aos automóveis, o que difere da ETE/Barueri, onde também se consideravam os combustíveis e lubrificantes de equipamentos, e da ETE Hélio Seixo de Britto, em que foram incluídos os custos com seguro e imposto do automóvel.

4.1.6 Outros custos não considerados

É sabido que nas estações de tratamento de esgotos são gerados resíduos sólidos com diferentes características. Na ETE-UFLA são gerados resíduos sólidos no tratamento preliminar (gradeamento) e, futuramente, lodos provenientes das unidades biológicas de tratamento anaeróbio (reatores UASB), tendo em vista que o lodo aeróbio proveniente dos FBAS é estabilizado nos reatores UASB.

Estes custos não foram considerados, pois, o material retido no gradeamento é destinado atualmente à empresa especializada, mas sem custo específico para a ETE-UFLA,

pois, ele tem sido considerado como material biológico e é destinado juntamente com os resíduos do hospital veterinário da UFLA.

A ETE-UFLA possui dois filtros-prensa para desidratação do lodo dos reatores UASB. Entretanto, ainda não houve descarga do lodo dos reatores UASB. O funcionamento dos filtros-prensa implicará em aumento dos custos com energia elétrica e manutenção das membranas filtrantes. A disposição do lodo poderá gerar custos de aterramento a ser realizado por empresa especializada, ou ainda, em custos de adequação do lodo (higienização e, ou, compostagem e transporte) para produzir biossólido a ser destinado nas próprias fazendas da Instituição.

Para Bringhenti et al. (2018), a codisposição de lodo de ETE em aterro sanitário tem menor custo quando comparado à aplicação no solo. Entretanto, há perdas de nutrientes e melhorias ambientais do solo. Para Abreu et al. (2019) o lodo de ETE é um material rico em nutrientes e matéria orgânica, em quantidade e com baixo custo, o que o torna propício para o aproveitamento agrícola. Diante deste cenário, quando da remoção do lodo dos reatores UASB, há necessidade de uma avaliação ambiental e econômica do material para se obter a melhor alternativa para disposição no ambiente.

A fim de garantir a durabilidade e eficiência dos sistemas de tratamento é necessário que as ETEs possuam uma operação adequada e manutenção periódica. A ausência destes processos pode comprometer a sustentabilidade dos sistemas implantados, ou seja, a capacidade de assegurar a prestação contínua dos serviços de forma adequada (KUEHN, 2015). Segundo Von Sperling (2016), a ausência de manutenção de ETEs pode implicar até mesmo na falha completa do sistema, caso peças essenciais não funcionem de forma adequada. No entanto, para a ETE-UFLA, estes custos não foram considerados, visto que, por ser uma unidade de tratamento com pouco tempo de funcionamento, ainda não houve necessidade de ocorrência de uma manutenção periódica que gere custos para a instituição, mas ainda assim, estes custos deverão ser considerados no futuro.

4.2 Estimativa do custo de tratamento de esgoto na ETE-UFLA

A estimativa de custos da UFLA com as despesas de energia elétrica, remuneração dos funcionários, consumo de água, monitoramento ambiental e combustível veicular é apresentada na Tabela 3.

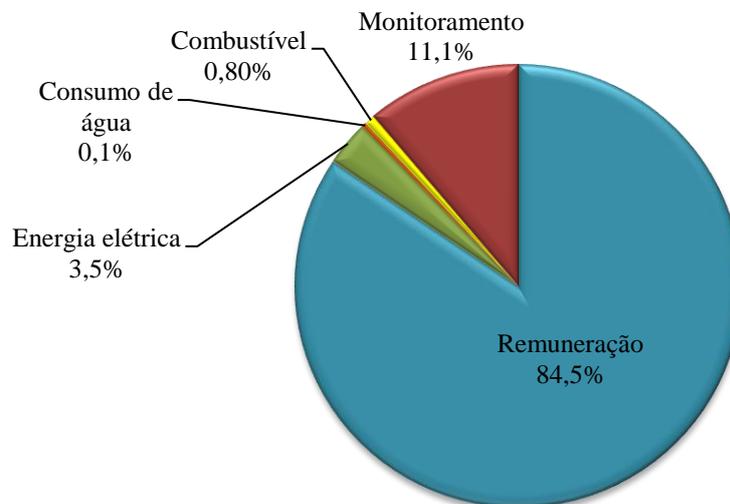
Tabela 3 – Custos totais mensais e anual de operação da ETE-UFLA no ano de 2019.

Despesas	Custo médio mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
Energia elétrica	766,88	9.202,51
Remuneração dos funcionários	18.473,21	221.678,47
Consumo de água	13,99	159,64
Monitoramento ambiental	2.429,20	29.150,40
Combustível veicular	172,35	2.068,17
Total	21.855,63	262.259,19

Fonte: Do autor (2021).

Os valores obtidos representam o investimento total mensal e anual da Universidade para operação da ETE do câmpus universitário. A partir destes, pode-se apresentar a composição média das despesas da estação de tratamento de esgoto da UFLA, conforme Figura 8.

Figura 8 – Composição média dos custos de tratamento de esgoto sanitário da ETE-UFLA em 2019.



Fonte: Do autor (2021).

A partir da avaliação dos dados apresentados na Tabela 3 e na Figura 8, observou-se que os maiores custos da ETE-UFLA são referentes a remuneração dos funcionários, monitoramento ambiental e energia elétrica, respectivamente. No entanto, as despesas com remuneração dos funcionários apresentam maior destaque na composição de custos da estação, representando cerca de 85% do total. Além disso, devido a este elevado custo, as

despesas referentes ao combustível e ao consumo de água apresentaram uma porcentagem de custos insignificantes, quando comparado ao custo total da estação.

Segundo o último diagnóstico dos serviços de água e esgotos, as despesas com pessoal próprio dos prestadores de serviço de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto representam 41,5% do total de despesas, constituindo o principal custo das estações (SNIS, 2018). No caso da ETE-UFLA, em conformidade com o apresentado pelos dados do SNIS e de acordo com a maioria da literatura utilizada, as despesas com remuneração dos funcionários representaram o maior custo da estação.

Em estudo realizado sobre os custos de operação e manutenção de uma ETE operada por reator anaeróbico e lodos ativados, Souza (2019) obteve que o custo referente ao pessoal representou 58,25% do custo total, sendo o maior influenciador na composição do custo de operação e manutenção da estação. Segundo Sampaio e Gonçalves (1999), para a ETE Barueri, os custos com pessoal foram equivalentes a 41%, porcentagem similar ao apresentado pelo SNIS. Para Rodrigues e Carvalho (2016), em estudo de custos da ETE Hélio Seixo de Britto, localizada em Goiânia, os custos com remuneração de funcionários corresponderam a somente 25,26% do total, devido ao elevado número de variáveis que conferiram custos à ETE, mas ainda assim foram os responsáveis pelas maiores despesas da estação.

De acordo com Jordão e Pessoa (2014), os custos com pessoal e energia elétrica representam aproximadamente 50% e 20% dos custos de operação de uma ETE no Brasil. No caso da ETE-UFLA, os valores se apresentaram consideravelmente superiores para o primeiro e inferiores para o segundo. Tal característica pode ser justificada pois, por ser uma estação de pequeno porte que trata cerca de $160 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de esgoto, as despesas com pessoal próprio tendem a ser maiores, visto que tal custo é fixo, e não é influenciado pelo volume de tratamento. Entretanto, os custos com energia elétrica apresentam um quantitativo muito inferior, justificado pela baixa vazão de tratamento quando comparado às estações de médio e grande porte.

Pessoa (2019) analisou os custos de implantação e operação de sistemas de esgotamento sanitário de 182 ETEs e, segundo este, tanto para coleta como para tratamento de esgoto, os recursos humanos contratados representaram a maior porcentagem de custo na operação. De acordo com este, 53,7% dos gastos das estações de tratamento de esgoto são com remuneração e somente 1,8% com energia elétrica, valor próximo aos 3,5% encontrados na ETE-UFLA.

Em avaliação sobre os custos operacionais de 44 ETEs na região sudeste do Brasil, Santos (2018) apresentou que os custos com pessoal são responsáveis por cerca de 72% do custo total das estações de tratamento de esgoto. Assim, a remuneração dos funcionários é responsável por quase a totalidade dos custos com tratamento de esgoto de ETEs da região sudeste, assim como ocorre na ETE-UFLA.

A fim de avaliar a influência de cada despesa relacionada à operação da ETE-UFLA em função do volume tratado, também foi calculado o custo unitário de cada item responsável pela composição dos custos da estação, sendo estes apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Custo unitário das despesas do processo de operação da ETE-UFLA em 2019.

Despesas	Custo unitário (R\$ m ⁻³)
Energia elétrica	0,23
Remuneração dos funcionários	5,46
Consumo de água	0,004
Monitoramento ambiental	0,72
Combustível do veículo	0,05
Total	6,46

Fonte: Do autor (2021).

Von Sperling (2016) analisou dados de diferentes ETEs a fim de obter os custos de operação e manutenção por metro cúbico de esgoto tratado, que variaram entre R\$ 0,50 e R\$ 1,50 para a maioria das estações (Tabela 5).

Tabela 5 – Custos de operação e manutenção de diferentes ETEs no Brasil de acordo com tipo de tratamento (valores atualizados para data base de janeiro/2020 de acordo com IPCA).

ETE	Processo de tratamento	Pessoal (R\$ m ⁻³)	Energia (R\$ m ⁻³)	Produtos (R\$ m ⁻³)	Outros (R\$ m ⁻³)	Total (R\$ m ⁻³)
1		0,44	0,22	0,27	0,62	1,54
2	Lodos ativados + remoção de nitrogênio e fósforo	0,41	0,27	0,22	0,68	1,58
3		0,24	0,23	0,28	0,35	1,11
4		1,03	0,80	0,87	0,55	3,25
5		0,17	0,21	0,08	0,59	1,04
6		0,44	0,22	0,69	0,69	2,04
	Média	0,45	0,32	0,40	0,58	1,76
7	UASB + lagoa + flotação	0,75	0,06	0,73	0,90	2,44
8		0,44	0,04	0,23	0,69	1,40
9		0,55	0,04	0,08	1,59	2,26
	Média	0,58	0,05	0,35	1,06	2,04
10	UASB + lagoa	0,28	0,01	0,00	0,80	1,09
11		0,39	0,01	0,01	0,94	1,35
12		0,13	0,00	0,28	0,30	0,71
13		0,57	0,08	0,03	1,63	2,30
	Média	0,34	0,03	0,08	0,92	1,36

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2016).

As despesas com pessoal desempenharam importante papel na composição dos custos para todos os processos de tratamento. Além disso, entre os três sistemas apresentados, os reatores UASB com lagoas como pós-tratamento apresentaram os menores custos totais de operação e manutenção do sistema (VON SPERLING, 2016). Para Barros (2013), em estudo realizado nas ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião, os custos unitários por metro cúbico de esgoto tratado, considerando a mão de obra empregada foram de R\$ 0,37, R\$ 0,38 e R\$ 0,25 (valores atualizados), respectivamente. O custo unitário por metro cúbico de esgoto tratado na ETE-UFLA considerando a mão de obra foi equivalente a R\$ 5,46, valor muito superior ao encontrado pelas ETEs apresentadas. Fator este, justificado pelo pequeno volume de tratamento da UFLA quando comparado às estações de médio e grande porte, nas quais os custos fixos são diluídos.

Maestri et al. (2011), que estudaram os custos de duas estações de tratamento de esgoto em Florianópolis, obtiveram os custos unitários de energia por metro cúbico de esgoto tratado de R\$ 0,15 (valores atualizados) para a ETE Insular, que possui tratamento com lodos ativados e de R\$ 0,13 (valores atualizados) para a ETE Lagoa da Conceição, com tratamento por reator UASB e lodos ativados. Para Barros (2013), os custos unitários de energia elétrica nas ETEs Brasília Norte, Samambaia e São Sebastião foram R\$ 0,24, R\$ 0,03 e R\$ 0,01 (valores atualizados). No caso da ETE-UFLA, o custo unitário da estação com energia elétrica

foi compatível com os valores encontrados na literatura, correspondendo a R\$ 0,23 por metro cúbico de esgoto tratado. Ainda que o processo de tratamento da estação seja composto por reatores UASB (sistema anaeróbio), o que reduziria os custos com energia, o sistema da UFLA também é completamente automatizado e possui um sistema aeróbio constituído pelos filtros biológicos aerados submersos (FBAS), além de três elevatórias de esgoto. Assim, estes fatores são os principais responsáveis por um aumento nos custos com energia elétrica quando comparado a outras estações apenas com tratamento por reatores anaeróbios.

O custo unitário da ETE-UFLA com monitoramento ambiental foi equivalente a R\$ 0,72 por metro cúbico de esgoto tratado. Maestri et al. (2011) apresentaram que, para as ETEs Insular e Lagoa da Conceição, os custos unitários com análises laboratoriais foram de R\$ 0,005 e R\$ 0,02 (valores atualizados). A diferença de custos no monitoramento das estações pode ser associada ao uso de mais de uma tecnologia de tratamento e, ou, escolha dos pontos de amostragem, o que pode aumentar ou diminuir a quantidade de análises a serem realizadas, além da escolha da frequência de realização das análises. Além disso, independente da vazão tratada, o monitoramento deve ser realizado. Então, quanto menor a vazão tratada na ETE, maior será o custo unitário.

O custo unitário total da ETE-UFLA foi de R\$ 6,46 para cada metro cúbico de esgoto tratado, considerando que a estação trata em média 160 m³ de esgoto por dia. Segundo dados do SNIS (2018), o custo médio das prestadoras de serviço de água e esgoto no Brasil é de R\$ 3,57, possuindo uma variação média de R\$ 0,30 a R\$ 7,82. No caso de Minas Gerais, o custo médio é menor, correspondendo a uma média de R\$ 3,08 por metro cúbico de esgoto tratado.

Diferentes autores estudaram o custo de operação e manutenção de estações de tratamento de esgoto, que operam com diferentes tecnologias de tratamento e possuem diferentes portes, operando com pequena, média ou alta vazão. Na Tabela 6, a título de comparação, foram sintetizados os custos unitários de diferentes estações de tratamento de esgoto, assim como a vazão média destes.

Tabela 6 – Vazão média, custo unitário e tecnologia de tratamento de diferentes estações de tratamento de esgoto (valores de custo atualizados para data base de janeiro/2020 de acordo com IPCA).

ETE	Vazão média (L s ⁻¹)	Sistema de tratamento	Custo Unitário (R\$ m ⁻³)
Barueri/SP	3.910	Lodos ativados	0,33
Hélio Seixo de Britto	1.529	Tratamento primário quimicamente assistido	0,42
Brasília Norte	465	Lodos ativados	1,41
Natal	406	UASB + lodos ativados	0,46
Insular	270	Lodos ativados	0,39
Samambaia	207	UASB + lagoa	1,24
São Sebastião	76	UASB + lagoa	0,96
Lagoa da Conceição	40	UASB + lodos ativados	0,17
UFLA	1,85	UASB + FBAS	6,46

Fonte: Adaptado de Sampaio e Gonçalves (1999); Maestri et al. (2011); Barros (2013); Rodrigues e Carvalho (2016); Souza (2019).

O custo obtido na ETE-UFLA foi consideravelmente superior à média nacional, o que pode ser justificado devido ao elevado custo com remuneração de funcionários e a baixa vazão de tratamento, considerando que a estação é projetada para tratar o esgoto de uma única instituição.

Em geral, à medida que o volume de tratamento aumenta, os custos da estação tendem a diminuir devido ao maior rateio das despesas. No entanto, a tecnologia utilizada também possui grande influência no custeio da estação, visto que estabelece a maior ou menor utilização de energia, quantidade de logo gerado, necessidade de mão de obra especializada, entre outros. Na Tabela 6, as estações Insular e Lagoa da Conceição apresentaram comportamento oposto, possuindo pequenos volumes de tratamento e, ainda assim, custos inferiores às outras estações. Tal característica pode ser associada à escolha dos pesquisadores de não considerar as despesas com pessoal e consumo de água, por exemplo, o que reduz os custos da estação quando comparado às outras apresentadas na tabela em questão.

De acordo com Pessoa (2019), após estudo realizado em 182 ETEs, o custo per capita de operação de uma estação de tratamento de esgoto é em média R\$ 37,44 por habitante por ano. Souza (2019) apresentou que, para os anos de 2016, 2017 e 2018, os custos per capita

anuais da ETE Natal foram R\$ 14,89, R\$ 13,57 e R\$ 17,53, respectivamente, apresentando um valor médio de R\$ 15,33. Segundo Von Sperling (2014), os valores de custos de sistemas de tratamento com reator UASB seguidos de biofiltro aerado submerso, assim como o sistema da UFLA, variam de R\$ 15,00 a R\$ 30,00 por habitante ano, com uma média de R\$ 22,50. No caso da UFLA, que possui uma população de 14.297 pessoas considerando estudantes, docentes e técnicos, o custo de tratamento anual per capita foi de R\$ 18,38. No entanto, tais valores não devem ser comparáveis ao custo de tratamento de esgoto de uma cidade, pois há diferenças entre o equivalente populacional de uma cidade e de somente uma instituição, como no caso da UFLA, em que a contribuição per capita de esgoto nesta é muito inferior à contribuição per capita de esgoto em uma cidade.

O reator UASB é o sistema que apresenta o menor custo anual de operação e manutenção, justificado pela simplicidade da tecnologia, não havendo necessidade de muita manutenção e de operação sofisticada (FLORES; BAVARESCO; COLASIO, 2017). No entanto, as estações de menor porte possuem seus custos aumentados devido às despesas com mão de obra (NOYOLA et al., 2012). Tal característica é também observada na ETE-UFLA, em que as despesas com remuneração dos funcionários foram responsáveis pela maior parcela da composição de custos da estação, aumentando consideravelmente o custo de operação por metro cúbico de esgoto tratado.

5 CONCLUSÃO

Durante o período avaliado, o custo médio mensal de operação da ETE-UFLA foi de R\$ 21.855,63 e o custo anual de R\$ 262.259,19. Considerando que, no período avaliado, a vazão média tratada foi de $160 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, o custo unitário de operação da estação por metro cúbico de esgoto tratado foi de R\$ 6,46. Levando em consideração que a estação operou com apenas 18% de sua capacidade nominal, correspondente a $900 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, é possível obter uma redução deste valor, visto que a plena capacidade não está condicionada ao aumento do número de funcionários, que contribui com a maior parcela dos custos da estação.

Os custos com remuneração dos funcionários foram responsáveis por quase a totalidade da composição de custos da estação, representando cerca de 85% das despesas totais. O monitoramento ambiental e energia elétrica representaram, respectivamente, cerca de 11% e 3,5% das despesas. Nos custos de energia elétrica, dá-se ainda um destaque para as elevatórias e para o sistema aerado, responsáveis por 48% e 24% do consumo energético da ETE-UFLA. O custo com consumo de água e combustível não apresentaram muita relevância, constituindo menos de 1% das despesas da estação.

A ETE-UFLA apresentou um elevado custo unitário de operação por metro cúbico de esgoto tratado, atribuído ao alto custo com remuneração dos funcionários frente ao pequeno porte da estação e à pequena vazão de tratamento. Quanto maior for o volume tratado, maior será a diluição dos custos e, portanto, o custo unitário de remuneração seria reduzido. Ao comparar a ETE-UFLA com outras estações de tratamento de esgoto, observou-se que esta possuiu um custo unitário muito superior a outras ETes. No entanto, devido a grande diferença do volume de esgoto tratado na ETE-UFLA e em outras estações, tal comparação não seria apropriada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A.H.M. et al. Caracterização de bio sólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 591-599, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas**. Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF, 2017.

ANP. Levantamento de preços. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: < <http://preco.anp.gov.br/>>. Acesso em: 15 out. 2020.

ARAÚJO, F.C. de. BERTUSSI, G.L. Saneamento básico no Brasil: estrutura tarifária e regulação. **Planejamento e políticas públicas**. Brasília, n. 51, p. 165-202, 2018.

ARSAE-MG. Tabelas tarifárias. **Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.arsae.mg.gov.br/component/gmg/page/229?view=page>> Acesso em: 05 set. 2020.

ARSAE-MG. Resolução ARSAE-MG 141, de 22 de junho de 2020. Aprova o reajuste tarifário da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA/MG e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

BANCO MUNDIAL. **Serviços urbanos de água e esgotamento sanitário (A+E): desafios da inclusão e da sustentabilidade rumo ao acesso universal**. Washington: World Bank Group, 2018. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/750841521485336025/Servi%C3%A7os-Urbanosde-%C3%81gua-e-Esgotamento-Sanit%C3%A1rio-A-E-Desafios-da-Inclus%C3%A3o-e-da-Sustentabilidade-Rumo-ao-Acesso-Universal>>. Acesso em: 15 set. de 2020.

BARROS, I.P.A.F. **Proposta de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal**. 2013, 228p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1988.

BRASIL. Decreto-Lei nº 248, de 28 de Fevereiro de 1967. Institui a Política Nacional de Saneamento Básico, cria o Conselho Nacional de Saneamento Básico e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 fev. de 1976. Seção 1, p.2442.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Seção 1, p.1.

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 jan. 2007. Seção 1, p.3.

BRASIL. Ministério das Cidades/ Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PLANSAB: Plano Nacional de Saneamento Básico. Brasília, DF, 2013, 173p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional/ Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PLANSAB: Plano Nacional de Saneamento Básico (documento atualizado). Brasília, DF, 2019, 240p.

BRINGHENTI, J.R. et al. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5. p. 891-899, 2018.

BROSTEL, R. C. **Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de estações de tratamento de esgotos sanitários (ETEs)**. 2002, 305p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental e recursos hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

BUONOCORE, E. et al. Life cycle assessment indicators of urban wastewater and sewage sludge treatment. **Ecological Indicators**. v.94, Part 3, p.13-23, nov.2018.

CAMPOS, L.B. et al. Estimativa da produção e perdas de metano em reator UASB na ETE-UFLA por meio de diferentes modelos matemáticos. In: SILVA, H.C. **Demandas essenciais para o avanço da engenharia sanitária e ambiental 2**. Ponta Grossa: Atena editora, 2020. p.185-195.

CEMIG. Valores de tarifas e serviços. **Companhia Energética de Minas Gerais**. Disponível em: <<https://novoportal.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

DANTAS, F.V.A. et al. Uma análise da situação do saneamento no Brasil. **FACEF Pesquisa**. Franca, v. 15, n. 3, p. 272-284, 2012.

DIAS, N. G. **Avaliação da deterioração das estruturas de concreto de estações de tratamento de esgoto**. 2018, 205p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

DUARTE, S.C. **Ambiente regulatório do setor de saneamento no brasil: limites e possibilidades de atuação da Agência Nacional de Águas junto aos entes federados subnacionais**. 2019, 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Políticas de Infraestrutura) – Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2019.

FARIAS, M. et al. Higienização de lodo anaeróbio de esgoto sanitário da estação de tratamento da Universidade Federal de Lavras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30, 2019, Natal. **Anais...**Rio de Janeiro: ABES, 2019, p. 1-5.

FLORES, M.B.; BAVARESCO, C.R.; COLASIO, B.M. Estudo locacional, técnico e econômico para implantação de uma ETE no município de Saudades – SC. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis, v.6, n. 3, p. 244-275, 2017.

GALVÃO JUNIOR, A.C. et al. Marcos regulatórios estaduais em saneamento básico no Brasil. **Revista Administração Pública**. Rio de Janeiro, v. 43, n. 1, p. 207-227, 2009.

GARCIA, G. R., et al. Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants. **Water Research**, v. 45, n. 18, p. 5997-6010, 2011.

GARCIA, M. S. D; FERREIRA, M. P. Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana. **Dignidade Re-Vista**, [S.l.], v. 2, n. 3, 12 p., 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento brasileiro**. São Paulo, 2018, 86 p.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

JORDÃO, E. P. Eficiência energética em tratamento de esgotos. **Revista DAE**. São Paulo, n. 177, p. 15-19, 2008.

KPMG. Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON). **Quanto custa universalizar o saneamento no Brasil?** Rio de Janeiro, 2020, 21 p.

KUEHN, G. **Programa de operação e manutenção de estações de tratamento de esgotos sanitários**. 2015, 34 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em gestão ambiental em municípios) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

LEONETI, A.B.; PRADO, E.L.do; OLIVEIRA, S.V.W.B.de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de administração pública (RAP)**, Rio de Janeiro, v.45, n. 2, p. 331-348, 2011.

LINS, G. A. **Impactos Ambientais em estações de tratamento de esgoto (ETEs)**. 2010, 286 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MADEIRA, R. F. O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do marco regulatório para a universalização do acesso. **Revista do BNDES**. Rio de Janeiro, n.33, p. 123-154, 2010.

MAESTRI, R.S. et al. Avaliação de custos operacionais das ETEs Insular e Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2011, p. 1-5.

MARCONDES, J. G. **Tratamento de efluentes**. 2012, 49 p. Trabalho de conclusão de curso de Curso (Bacharelado em Química Industrial) – Fundação Educacional do Município de Assis, Assis, 2012.

NOYOLA, A. et al. Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. **Clean - Soil, Air, Water**, Weinheim, v. 40, n. 9, p. 926–932, 2012.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 1, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 2008.

OLIVEIRA, S.M.A.C. **Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos**. 2006, 232p. Tese (Doutorado em Saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolução A/RES/64/292**. 28 jul. 2010. Disponível em: <https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292>. Acesso em: 19 nov. 2020.

ORTENZI, G.P.; SILVA, P.J.G.S. **Controle em malha fechada do sistema de oxigenação da ETE/UFLA**. 2018, 30 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

PESSOA, L.M. **Análise de custos de implantação e operação de sistemas de esgotamento sanitário, considerando a modicidade tarifária**. 2019, 141 p. Dissertação (Mestrado em

Saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PORTAL DA TRANSPARÊNCIA. Detalhamento dos servidores públicos. **Controladoria Geral da União**. Disponível em: <<http://www.portaltransparencia.gov.br/servidores/consulta?ordenarPor=nome&direcao=asc>> Acesso em: 05 ago. 2020.

ROCHA, S. T. C.; GUIMARÃES, M. L. M. Avaliação da pós-implantação do sistema de esgotamento sanitário (SES) da Ilha do Mosqueiro. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, 12, Belém. **Anais...Belém: ENANPUR, 2007.**

RODRIGUES, F.D.C.; CARVALHO, E. H. **Análise dos custos de operação e manutenção da estação de tratamento de esgoto Hélio Seixo de Britto**. 2016, 23 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

SAIANI, C. C. S.; TONETO JÚNIOR, R. Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004). **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 79-106, 2010.

SAMPAIO, A. de O.; GONÇALVES, M. C. Custos operacionais de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados: estudo de caso ETE – Barueri. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...Rio de Janeiro: ABES, 1999**, p. 676-686.

SANCHO, F.H.; SENANTE, M. M., GARRIDO, R.S. Cost modelling for wastewater treatment processes. **Desalination**, v.268, n.1-3, p.1-5, mar. 2011.

SANTOS, F.N.B. **Análise comparativa dos custos operacionais de 44 estações de tratamento de esgoto na região sudeste do Brasil**. 2018, 122p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SCOTTÁ, J. **Avaliação e otimização de uma estação de tratamento de esgoto com sistema fossa e filtro de um município da serra gaúcha**. 2015, 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2015.

SILVA, C.T. **Avaliação do efeito de diferentes tempos de aeração em filtro biológico aerado submerso na remoção de matéria orgânica e nitrogenada**. 2019, 79p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

SIQUEIRA, M. S. et al. Interações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado na rede pública de saúde da região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010-2014. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**. Brasília, v. 26, n. 4, p. 795-806, 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** - 2018. Brasília, 2019, 180 p.

SOUSA, A.C.A de; GOMES, J.P. Desafios para o investimento público em saneamento no Brasil. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, v.43, n. 7, p.36-49, 2019.

SOUSA, C.D.S.S; SOUSA, S.C.S; ALVARES, A.M. Diretrizes normativas para o saneamento básico no Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v.25, n.43, p. 102-115, 2015.

SOUZA, B. M. **Custos de operação e manutenção de ETE por reator anaeróbio e lodos ativados com desnitrificação**. 2019, 26 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

TUROLLA, F. A. **Provisão e operação de infraestrutura no Brasil: o setor de saneamento**. 1999, 99 p. Dissertação (Mestrado em Economia de Empresas) –Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 1999.

UNESCO. **Água para um mundo sustentável**. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2015.

VICIANO, L.C.; CHOVER, V.H.; SANCHO, F.H. Modelling the energy costs of the wastewater treatment process: the influence of the aging factor. **Science of the Total Environment**. v.625, p.363-372, jun.2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

VON SPERLING, M. **Urban wastewater treatment in Brazil**. Inter American Development Bank – IDB Technical Note, 2016.