



THAÍS CAROLINE DA CRUZ

**QUALIDADE DA ÁGUA E VALORAÇÃO DA POLUIÇÃO
NO RIBEIRÃO OURO FINO**

**LAVRAS-MG
2022**

THAÍS CAROLINE DA CRUZ

**QUALIDADE DA ÁGUA E VALORAÇÃO DA POLUIÇÃO NO RIBEIRÃO
OURO FINO**

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

Prof. Dr. Ronaldo Fia

Orientador

Mestranda Mariana Aparecida de Freitas Abreu

Coorientadora

LAVRAS-MG

2022

THAÍS CAROLINE DA CRUZ

**QUALIDADE DA ÁGUA E VALORAÇÃO DA POLUIÇÃO NO RIBEIRÃO
OURO FINO**

**WATER QUALITY AND POLLUTION ASSESSMENT IN RIBEIRÃO OURO
FINO**

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

APROVADA em 15 de setembro de 2022.

Dr. Ronaldo Fia	UFLA
Dr. Mateus Pimentel de Matos	UFLA
Mest. Mariana Aparecida de Freitas Abreu	UFLA
Dr ^a . Josina Aparecida de Carvalho	ARPA Rio Grande

Prof. Dr. Ronaldo Fia

Orientador

Mestranda Mariana Aparecida de Freitas Abreu

Coorientadora

LAVRAS-MG

2022

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me ajudado a chegar até aqui, por ter me dado saúde, paz e discernimento e forças nos momentos difíceis.

Também agradeço a Deus pelos meus pais, Rodovaldo e Viviane, pois se não fosse eles eu não teria chegado até aqui, serei eternamente grata por todo carinho, suporte, apoio, motivação e orações, vocês são de fato o motivo pelo qual eu consegui chegar até aqui. Agradeço ao meu avô, José Maurício e a minha irmã Raiane pelas orações. Agradeço também ao meu noivo, Washington pelo apoio, cumplicidade e motivação. Obrigada por terem me ajudado a fazer desse sonho de ser Engenheira Ambiental e Sanitária uma realidade.

Agradeço aos meus tios José Eugênio e Vilma pelo carinho, acolhimento e suporte durante esse período tão importante da minha vida.

Agradeço aos meus amigos, Vanessa, Jaqueline e Pedro pelo companheirismo e amizade, durante essa jornada tão importante da minha vida.

Agradeço ao meu Orientador Dr. Ronaldo Fia, pela orientação e pela oportunidade de poder participar da Iniciação Científica e trabalhar com Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, área à qual tenho muito carinho.

Agradeço também a minha coorientadora Mariana Freitas, pela orientação, carinho, amizade e motivação.

Agradeço a toda equipe da ARPA Rio Grande pela oportunidade de aprendizado e pela disponibilização de dados, e em especial minha supervisora Dra. Josina Carvalho, por todo aprendizado, carinho e motivação nesses últimos meses.

Agradeço ao NEMASA e todos os membros que já fizeram parte do núcleo.

Agradeço ao Programa de Iniciação Científica – PIBIC UFLA.

Obrigada!

“If you can dream it, you can do it!” (Walt Disney)

RESUMO

O lançamento de esgoto *in natura* em cursos d'água pode resultar na alteração das variáveis de qualidade do corpo receptor, ocasionando a poluição hídrica. A microbacia de Ouro Fino-MG é formada por corpos hídricos e pelo curso d'água principal, o Ribeirão Ouro Fino, que passa por toda área urbana do município e recebe o lançamento do efluente sanitário sem tratamento de cerca de 30 mil habitantes. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi analisar a qualidade da água do Ribeirão Ouro Fino, e avaliar em termos monetários os danos causados pelo lançamento de efluente sanitário *in natura*, gerado pela população do município. O presente trabalho foi realizado com base na legislação vigente, os documentos referentes ao sistema de saneamento município de Ouro Fino-MG, disponibilizados pela Agência Regional de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Grande (ARPA Rio Grande), e por uma amostragem de qualidade de água realizada em 27 de maio de 2022, em seis pontos amostrais; dois à montante da área urbana (P1 e P2), três na área urbana (P3, P4 e P5), e um à jusante da cidade (P6). A valoração dos danos causados aos serviços ecossistêmicos foi realizada por meio da metodologia da Emergia. Observou-se que em P1 as variáveis encontravam-se dentro do preconizado pela normativa vigente para águas classe 2 estabelecidos pela DN COPAM n° 01 de 2008. No P2, houve interferência na qualidade da água, em termos de nitrogênio devido às atividades agropecuárias na região. Em P3, P4, P5 houve aumento da concentração de nutrientes e matéria orgânica (DBO e DQO), proveniente do lançamento de esgoto doméstico sem tratamento do aglomerado urbano. Em P6, as características de degradação da qualidade da água foram mantidas, evidenciando que a distância de aproximadamente 1 km após o centro urbano, não foi suficiente para a autodepuração do manancial. Quanto a valoração dos serviços ecossistêmicos em termos monetários, a degradação resultou em R\$6.342.615,12 (seis milhões, trezentos e quarenta e dois mil, seiscentos e quinze reais e doze centavos). Conclui-se que o lançamento de efluente *in natura* no Ribeirão Ouro Fino vem acarretando a alteração da qualidade da água em relação aos padrões estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 para corpos hídricos classe 2.

Palavras-chave: Poluição da água, Emergia, tratamento de esgotos, parâmetros de qualidade, valoração monetária.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização do Ribeirão Ouro Fino, situado no município de Ouro Fino-MG.	17
Figura 2: Bacia Hidrográfica Rio Moji-Guaçu destino das águas do Ribeirão Ouro Fino.	18
Figura 3: Visualização dos pontos amostrais de água ao longo do Ribeirão Ouro Fino-MG.	20
Figura 4: Visualização dos diferentes pontos amostrais de água ao longo do Ribeirão Ouro Fino -MG: (a) ponto 1; (b) ponto 2, (c) ponto 3, (d) ponto 4, (e) ponto 5 e (f) ponto 6.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos pontos amostrais de água ao longo do Ribeirão Ouro Fino e suas respectivas coordenadas geográficas.....	20
Tabela 2: Resultados da caracterização da qualidade da água superficial em seis pontos amostrais no Ribeirão Ouro Fino, e valores de referência estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°1/2008 para águas superficiais classe 2.	24
Tabela 3: Resumo dos resultados dos cálculos para valoração econômica de danos ambientais resultantes do aporte de matéria orgânica aplicada ao Ribeirão Ouro Fino-MG.	29

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Poluição hídrica.....	12
2.2	Sistema de tratamento de esgoto doméstico.....	13
2.3	Valoração econômica de danos ambientais.....	15
3.	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Área de estudo.....	17
3.2	Sistema de abastecimento de água e esgoto	18
3.3	Pesquisa metodológica	19
3.4	Escolha dos pontos amostrais.....	19
3.5	Análises físicas, químicas e microbiológicas	21
3.6	Valoração dos Danos Ambientais	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Análise da qualidade da água do Ribeirão Ouro Fino-MG.....	24
4.2	Valoração econômica de danos ambientais aplicada ao Ribeirão Ouro Fino-MG.....	27
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para sobrevivência dos seres vivos, manutenção dos ciclos biológicos, conservação da biodiversidade e equilíbrio ambiental. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) define a água como um bem natural limitado dotado de valor econômico. Portanto, se destaca assim, a importância da preservação deste recurso natural (BRASIL, 1997).

O crescimento da população seguido do desenvolvimento socioeconômico tem contribuído para o aumento de atividades que requerem o uso e exploração de recursos naturais ocasionando em uma maior demanda hídrica, e, conseqüentemente, em grandes volumes de águas residuárias. A disposição destes efluentes sanitários *in natura* em corpos hídricos favorece o aumento de matéria orgânica presente no corpo receptor podendo influenciar nos parâmetros de qualidade do curso d'água, principalmente nas proximidades dos aglomerados urbanos, provocando conseqüências negativas no âmbito social, ambiental e econômico (VON SPERLING, 2014; ARMANI et. al., 2018).

Desta forma, o tratamento dos efluentes é uma exigência ambiental e legal, para isso em Minas Gerais, a Deliberação Normativa Copam nº 96, teve a finalidade de convocar os municípios para realizar o licenciamento ambiental do sistema de tratamento de esgoto, instituindo que municípios com população entre 20.000 e 30.000 habitantes teriam até março de 2017 para realizar a regularização do processo de autorização ambiental de funcionamento para os sistemas de tratamento de esgoto (MINAS GERAIS, 2006).

Embora a legislação estadual vigente estabeleça a regularização dos sistemas de esgotamento, de acordo com o Painel ICMS Ecológico de Esgotamento Sanitário, em 2020 cerca de 84,65% municípios possuíam rede coletora de esgoto e apenas 49,65% continham sistema de tratamento de esgoto (MINAS GERAIS, 2020). Na cidade de Ouro Fino-MG não é diferente, o curso d'água principal, Ribeirão Ouro Fino, que passa ao longo da zona urbana, recebe o efluente sanitário sem tratamento, proveniente de residências, indústrias e comércio, devido à ausência de rede coletora de esgoto.

O lançamento contínuo de efluente sem tratamento, pode influenciar na autodepuração, capacidade que um corpo hídrico tem de se reestabelecer de forma natural após a disposição *in natura* de águas residuárias com alta carga orgânica (CORRÊA; ARAÚJO, 2015). Dessa forma, a ausência de rede coletora de esgoto pode acarretar na poluição do curso d'água em função de pontos de lançamentos difusos,

influenciando na capacidade autodepurativa do rio devido ao lançamento constante de efluentes, comprometendo o ecossistema aquático, fauna e flora, alterando as condições naturais do curso d'água.

De acordo com Odum 1996, o trabalho da natureza deve ser reconhecido e corretamente e valorizado no mercado. Nesse sentido, os danos causados pelo lançamento de esgoto *in natura*, podem ser avaliados por meio da valoração dos serviços ecossistêmicos afetados. Por meio da quantificação e medição da energia requerida de forma direta ou indireta (NOVAIS et al., 2017). Bem como, os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos recursos hídricos do curso d'água em função do ecossistema aquático presente no meio.

A exploração e degradação dos recursos hídricos, bem como as intervenções humanas podem resultar no desequilíbrio ecológico devido a disposição de poluentes, comprometendo os serviços ecossistêmicos, que beneficiam a sociedade. Dessa maneira, avaliar os efeitos causados pelos poluentes, em termos monetários, por meio da valoração pecuniária dos danos causados aos serviços ecossistêmicos devido ao lançamento de efluente e de suma importância para a mitigação dos danos (SOARES; MICHALAROS, 2017).

Nesse contexto, tendo em vista a problemática causada pela ausência de sistema de coleta e tratamento de esgotos, torna-se necessário a avaliação da qualidade em cursos d'água assim como o Ribeirão Ouro Fino, localizado no município de Ouro Fino-MG, que recebe a disposição de efluente sanitário sem tratamento. Sendo alvo de poluição hídrica, devido ao lançamento de esgoto que pode influenciar nas características do corpo receptor causando a alteração os parâmetros de qualidade, ocasionado prejuízos ao ecossistema aquático (PINHEIRO; RIBEIRO, 2019).

Portanto torna-se importante monitorar a qualidade da água e estimar financeiramente os danos causados a fim de valorar a degradação ambiental. Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a poluição hídrica no Ribeirão Ouro Fino, bem como fazer uma estimativa monetária dos danos causados pela disposição pontual e difusa do efluente sanitário *in natura* ao longo do curso d'água a fim de sugerir uma compensação referente a degradação ambiental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Poluição hídrica

O ciclo hidrológico pode ser descrito como um fenômeno responsável pela entrada de água na bacia hidrográfica, por meio de sistemas de armazenagens de água subterrâneas e lagos. Embora seja considerado um sistema fechado, o ciclo hidrológico pode ser influenciado pelas ações antrópicas, em função de atividades que são desenvolvidas nas bacias hidrográficas, interferindo na qualidade da água, e resultando na mudança do equilíbrio e dinâmica dos recursos naturais (PINTO et al., 2008; DA SILVA et al., 2021; DE DEUS et al., 2011).

A falta de planejamento no desenvolvimento urbano, associada ao crescimento demográfico acarreta uma maior demanda por água. Dessa forma, a ausência de infraestrutura dos serviços de saneamento básico resulta na contaminação e poluição dos recursos hídricos (ANDRADE et al., 2019).

O movimento dinâmico dos rios e lagos auxiliam na diluição e dispersão de poluentes e contaminantes, contribuindo para que as águas superficiais, frequentemente se renovem por meio do ciclo hidrológico. No entanto, o lançamento contínuo de carga poluidora, de efluentes provenientes de atividades agropecuárias, humanas e industriais podem influenciar no processo de autodepuração, capacidade que um corpo hídrico tem de se reestabelecer após uma intervenção, causando prejuízos na qualidade da água (SILVA; SOUZA, 2013).

As características dos efluentes podem variar de acordo com a finalidade de uso ao qual a água foi submetida. Para Mendonça, Petreca e Souza (2020), o lançamento de esgoto sanitário não tratado em corpos hídricos é um dos principais causadores da poluição dos sistemas aquáticos. Nesse sentido, a caracterização do potencial poluidor do efluente será definida por meio de variáveis físicas, químicas e microbiológicas (VON SPERLING, 2014).

Assim, a disposição inadequada de efluentes por meio das fontes pontuais ou difusas poderão resultar em aumento da matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos nos cursos d'água. Nas fontes pontuais os poluentes atingem os corpos d'água de forma concentrada no espaço, são caracterizados por lançamentos individualizados. Enquanto nas fontes difusas a poluição ocorre ao longo de parte da extensão do corpo hídrico, em locais onde há ausência de rede coletora de esgoto (AMÉRICO PINHEIRO; BENINI, 2018).

O aumento da matéria orgânica e, conseqüentemente, da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) está associado ao consumo de oxigênio dissolvido (OD) pelos microrganismos durante os processos metabólicos, e além disso, é uma variável de qualidade importante para mensurar a eficiência das estações de tratamento de esgoto (PINHEIRO; RIBEIRO, 2019; JUNIOR; CAMPOS, 2022).

O nível de OD nos corpos hídricos é fundamental para o equilíbrio do sistema aquático e manutenção da vida aeróbia. Após o lançamento de esgoto no curso d'água, as bactérias utilizam o OD no processo de estabilização da matéria orgânica. As águas que apresentam um elevado teor de matéria orgânica tendem a apresentar um baixo teor de OD, acarretando condições anóxicas em rios e lagos. O fósforo (P) e o nitrogênio (N) quando dispostos em excesso nos cursos d'água têm a capacidade de causar o fenômeno da eutrofização, devido ao enriquecimento das águas por estes nutrientes. Tal fato, pode acarretar no crescimento excessivo de algas e causar o desequilíbrio ambiental, impactando a economia e a saúde pública (VON SPERLING, 2018; JORDÃO; PESSOA, 2018).

Outra problemática do lançamento de efluente *in natura* em corpos d'água é a possibilidade da presença de organismos patogênicos, evidenciada pela quantificação de coliformes termotolerantes (CTerm) ou *Escherichia coli*, bactérias indicadoras de contaminação fecal. Os CTerm fazem parte do grupo de bactérias normalmente encontradas no intestino dos seres humanos e animais homeotérmicos. Desta maneira, os CTerm se diferenciam dos coliformes totais por serem tolerantes a temperaturas mais elevadas (PINHEIRO; RIBEIRO, 2019; JORDÃO; PESSOA, 2018).

Logo, torna-se importante realizar o monitoramento tanto das águas residuárias buscando investigar as características do esgoto, para que sejam propostas medidas de tratamento de esgoto que atendam a legislação vigente e minimizem os impactos e danos causados pelo lançamento de efluente *in natura*, quanto das águas superficiais para avaliar o impacto do lançamento de efluentes em termos de saúde pública e qualidade ambiental, bem como fomentar a implantação das unidades de tratamento de efluentes.

2.2 Sistema de tratamento de esgoto doméstico

O esgoto sanitário doméstico pode ser caracterizado pela presença de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos. Os sistemas convencionais de tratamento de esgoto consistem no direcionamento de todo o esgoto coletado para a estação de

tratamento de esgoto (ETE), que poderá englobar até quatro níveis de tratamento, preliminar, primário, secundário e terciário (TONETTI et al., 2018).

No processo de tratamento preliminar e primário predominam os mecanismos físicos, ocorrendo a remoção dos sólidos grosseiros e sedimentáveis e parte da matéria orgânica na forma particulada. Enquanto o tratamento secundário visa principalmente a remoção da matéria orgânica dissolvida e pequena parte dos nutrientes, no qual predominam os mecanismos biológicos. O tratamento terciário é pouco utilizado no Brasil, que visa a remoção dos organismos patogênicos, matéria orgânica remanescente, nutrientes e compostos não biodegradáveis (VON SPERLING, 2018). No Brasil, quando inserido nas ETES, o tratamento terciário tem como objetivo principal a remoção de organismos patogênicos.

De acordo com Atlas Esgoto, em 2013, cerca de 31% dos sistemas de tratamento de esgoto utilizados no Brasil são compostos por reatores anaeróbicos (BRASIL, 2017). A escolha da tecnologia de tratamento a ser implementada varia de acordo com aspectos como, as características do efluente, a localização, área necessária, custo operacional, consumo de energia, clima da região, eficiência de remoção, entre outros (SALGADO; ARAÚJO, 2017).

Para Silva e Von Sperling, (2005), sistemas de tratamento como, fossa séptica seguido de filtro anaeróbio, lagoas anaeróbicas seguidas por lagoas facultativas, lodos ativados, reatores anaeróbicos de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) seguidos de pós-tratamento estão entre as tecnologias de tratamento mais utilizadas no Brasil que apresentam melhores desempenho de remoção de DBO, DQO, SST, NTK, PT e CTerm.

Embora o levantamento feito por Silva e Von Sperling, (2005), tenha sido divulgado em 2005, acredita-se que o cenário não tenha mudado significativamente, tendo em vista o avanço lento da implantação desta vertente do saneamento básico no Brasil. Como exemplo, em 2014, cerca de 72 % dos municípios brasileiros possuíam sistema de coleta de esgoto e apenas 41% do esgoto gerado recebia tratamento. No entanto, em 2020 esses valores apresentaram uma pequena evolução, na qual cerca de 85,2% dos municípios possuíam sistema de coleta de esgoto. E 50,8% do esgoto gerado recebia tratamento (SNIS, 2020).

Assim, pelo uso consolidado, os reatores UASB representam uma alternativa eficaz e sustentável no tratamento de efluentes, devido à simplicidade de instalação e operação, bem como a baixa produção de lodo. Esses reatores quando operados de forma isolada apresentam desempenhos razoáveis, no entanto quando seguidos de pós-

tratamento apresentam bons níveis de remoção de DBO, SST e coliformes (SILVA et al., 2021; SILVA; VON SPERLING, 2005).

Os sistemas conjugados de reatores de UASB com unidades de pós-tratamento como filtro biológicos, lagoas de polimento ou lodos ativados são sistemas bastante utilizados. No estado de Minas Gerais, dentre as opções tecnológicas aplicadas, o uso dos reatores UASB predominam nas ETEs e representam aproximadamente 78% do total das estações construídas (CHERNICHARO et al., 2017).

Dentre processos de tratamento de esgoto utilizados, o sistema conjugado de reatores UASB seguido de biofiltro aerado submerso como unidade de pós-tratamento, tem sido considerado uma boa alternativa de tratamento. O processo é feito por meio do tratamento anaeróbio-aeróbico de tratamento. O sistema ocorre por meio digestão anaeróbia do lodo aeróbio, proveniente do biofiltro e vai para o reator UASB, ocorrendo a recirculação do lodo, que colabora para que haja uma boa eficiência de tratamento de esgoto (VON SPERLING, 2016; GONÇALVES, 2002).

2.3 Valoração econômica de danos ambientais

A ausência de sistemas de esgotamento sanitário, pode implicar na degradação dos recursos naturais. Em contrapartida, a valoração monetária de danos ao meio ambiente visa avaliar os serviços ecossistêmicos afetados, entre eles, o lançamento de efluentes *in natura*, que resultam em prejuízos para a sociedade e para o serviço ecossistêmico (SOARES; MICHALAROS, 2017).

Para Ansolin et al. (2018), a valoração ambiental está interligada com o uso de sistemas de informações geográficas, por ser uma importante ferramenta metodológica para auxiliar na tomada de decisão no uso dos recursos naturais. Ademais, o conhecimento do valor dos serviços ecossistêmicos é de suma importância para incluir incentivos econômicos à preservação dos recursos naturais.

Assim, a avaliação da degradação causada pelo efeito do lançamento dos poluentes corresponde a uma avaliação do desequilíbrio ecológico que pode ser expressa em termos monetários. Nesse sentido, a valoração pode ser atribuída como uma compensação ou até mesmo uma indenização que independente da metodologia adota será uma estimativa e não o valor monetário que foi realmente gasto devido à degradação (FREITAS, 2011).

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº1/2008 estabelece padrões de enquadramento para águas superficiais classe 2.

Consequentemente a alteração desses limites se caracterizam como dano ambiental, algo que pode ser valorado (MINAS GERAIS, 2008). Assim, a valoração pode ser preventiva ao dano, quando o objetivo é prevenir ou evitar o dano de maneira que antecipe o prejuízo, ou pode ser reparadora ao dano, quando a finalidade é reparar os danos causados por meio da indenização monetária ou compensação dos recursos naturais que foram degradados (MOTA, 2011).

Embora a degradação causada pelo mau uso dos bens e serviços ambientais não tenham preço reconhecido no mercado, é possível valorar os danos causados por meio de métodos e técnicas de valoração econômica, que podem servir como uma ferramenta para o gerenciamento dos recursos naturais. Neste contexto, a valoração ambiental consisti em um conjunto de métodos que visam atribuir valores aos serviços ambientais, bem como os impactos provenientes das ações antrópicas (CONSTANTINO et al., 2017).

Barbisan et al. (2009), a fim de valorarem os danos causados por possíveis intervenções urbanísticas e ambientais na cidade de Passo Fundo-RS utilizaram a metodologia de Valoração Contingente. Os resultados obtidos pelos autores estiveram relacionados com as condições socioeconômicas, fatores culturais e o grau de importância associado aos impactos ambientais, resultantes das ocupações irregulares. Logo, por meio da metodologia aplica, Barbisan et al. (2009) utilizaram a valoração econômica como um importante instrumento no auxílio de tomada de decisões para a definição de políticas públicas ambientais e de desenvolvimento econômico.

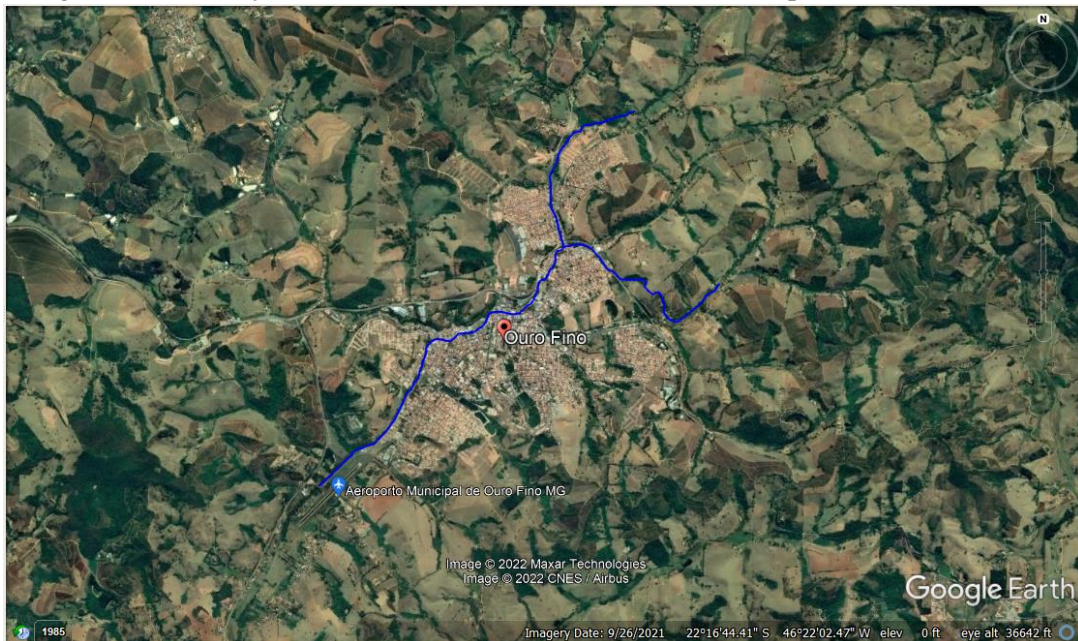
Soares e Micharlos (2017), com intuito de valorar os danos referentes ao lançamento de esgoto *in natura* no Córrego Canabrava em Unaí, utilizaram a metodologia da emergética apresentada por Odum (1996). Dessa forma, a presente metodologia teve como finalidade expressar os valores dos recursos naturais em emergia, índice que pode ser utilizado para conversão monetária dos danos causados ao corpo hídrico devido ao lançamento de efluente *in natura*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O objeto de estudo do presente trabalho foi o Ribeirão Ouro Fino, localizado no município de Ouro Fino-MG, mesorregião Sul e Sudoeste de Minas, sobre as coordenadas UTM 358627.87 m E e 753556.55 m S, zona 23 (DATUM SIRGAS 2000), Figura 1.

Figura 1: Localização do Ribeirão Ouro Fino, situado no município de Ouro Fino-MG.



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2021).

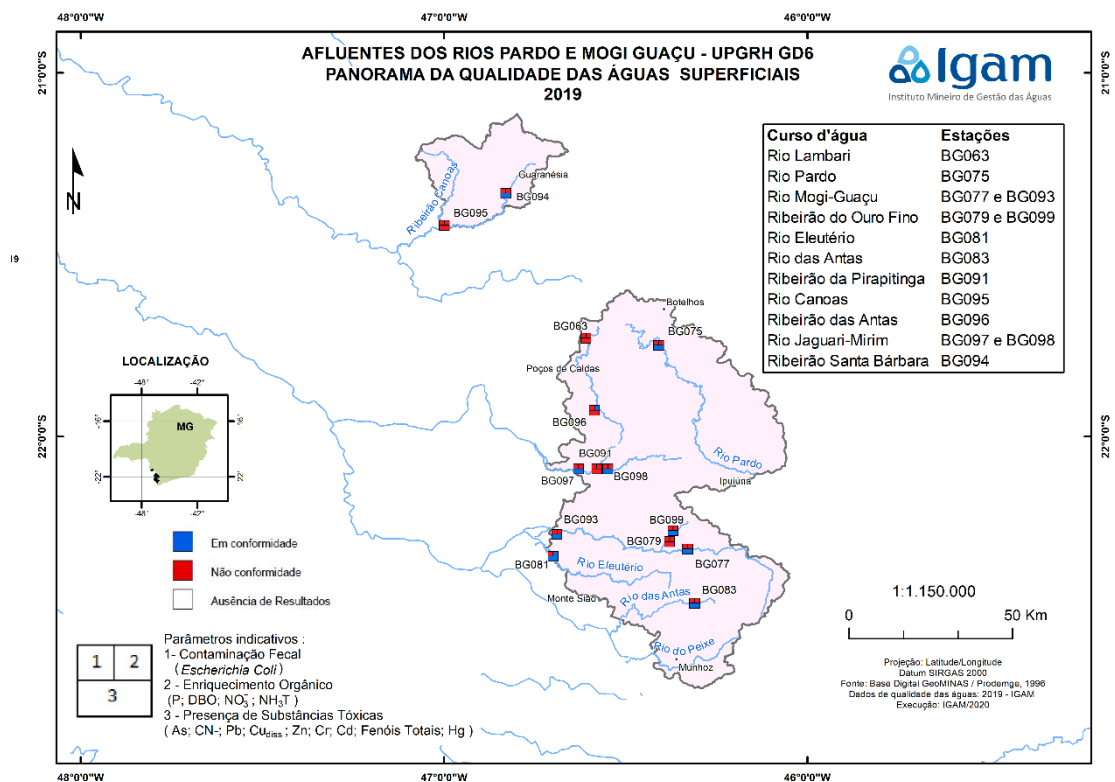
O município de Ouro Fino-MG está localizado na área de abrangência do bioma da Mata Atlântica, com área territorial de 533,714 km² (IBGE, 2021). As principais atividades econômicas desenvolvidas no município são pequenos empreendimentos comerciais, industriais, de serviço e agricultura familiar (OURO FINO, 2006).

Na microbacia da região, estão inseridos os córregos de Santo Antônio, Tabatinga e da Vaca e o curso d'água principal é o Ribeirão Ouro Fino (ANA, 2018). O Ribeirão Ouro Fino, tem sua nascente à montante da cidade de Ouro Fino e deságua no Rio Moji-Guaçu.

O Rio Moji-Guaçu está inserido no grupo GD6 da Bacia do Rio Grande, e compreende uma área de drenagem de 35.742 km², sendo 17% em Minas Gerais na mesorregião geográfica Sul-sudoeste de Minas Gerais. As principais atividades

econômicas desenvolvidas na bacia são de indústria e mineração, os principais problemas ambientais e de degradação dos recursos hídricos ocorrem devido ao lançamento de efluentes domésticos sem tratamento e uso e ocupação do solo.

Figura 2: Bacia Hidrográfica Rio Moji-Guaçu destino das águas do Ribeirão Ouro Fino.



Fonte: IGAM (2019).

O Ribeirão percorre cerca de 9 km ao longo da área urbana, e recebe contribuição de pequenos corpos hídricos. Estima-se que esgoto sanitário, sem tratamento, de cerca de 33.983 habitantes é lançado *in natura* diretamente no ribeirão.

3.2 Sistema de abastecimento de água e esgoto

Conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Ouro Fino (PMSB), em 2014, a captação de água para abastecimento era realizada por meio de uma adutora em ferro fundido, com bombas de recalque com motor diesel. A Estação de Tratamento de Água do município estava inserida em uma das partes de maior cota da cidade, para facilitar a distribuição de água tratada por gravidade e é projetada para tratar 35 litros por segundo. O Departamento Municipal Autônomo de Água e Esgoto –

DMAAE era responsável pelos de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário na cidade desde o ano de 1977 (OURO FINO, 2014).

Embora Ouro Fino possua companhia responsável pelos de serviços de saneamento básico, todo o esgoto sanitário gerado pela população do município é lançado sem tratamento nos corpos hídricos, e em alguns pontos esse lançamento ocorre de maneira difusa devido à ausência de rede coletora. De acordo com o Atlas Esgotos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em 2013 o município possuía um índice de atendimento com rede coletora de esgoto de 89% correspondendo a uma vazão de $28,8 \text{ L s}^{-1}$ de esgoto (BRASIL, 2017) no entanto, o município não tem implantado nenhum tipo de sistema de tratamento de efluentes.

3.3 Pesquisa metodológica

O estudo em questão, foi elaborado com base os critérios estabelecidos pela legislação ambiental vigente, bem como documentos referentes ao sistema de esgoto do município de Ouro Fino-MG, disponibilizados pela Agência Regional de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Grande (ARPA Rio Grande), incluindo os dados oriundos de vistorias *in loco*, e coleta e análise laboratorial da qualidade da água do Ribeirão Ouro Fino e imagens de satélite da região.

3.4 Escolha dos pontos amostrais

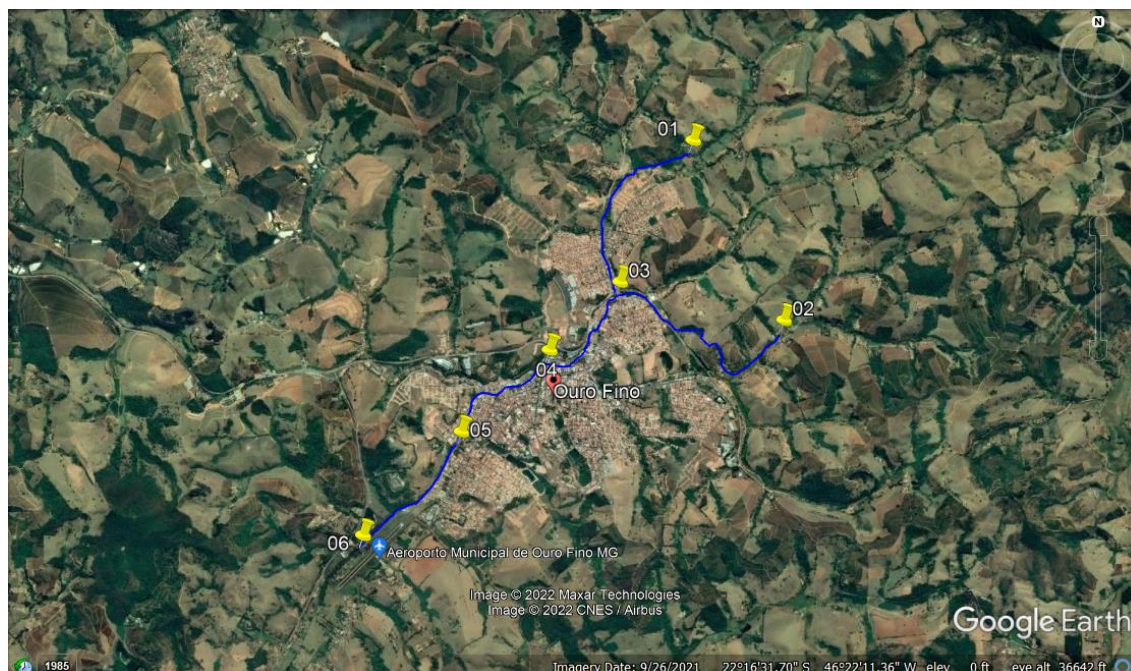
Com o intuito de identificar os pontos amostrais para a coleta de água para as análises laboratoriais foi realizada a primeira visita à cidade de Ouro Fino-MG, no dia 07 de abril de 2022. Além disso, foi feito o reconhecimento da área urbana do município, a fim de averiguar e obter informações sobre a disposição final do lançamento do efluente no ribeirão.

Com o auxílio de um GPS foram demarcados vários pontos ao longo do curso d'água, tendo como finalidade referenciar e obter uma melhor visualização dos pontos pelo *Google Earth*.

Após realizada a demarcação geográfica do Ribeirão Ouro Fino, foram selecionados seis pontos de coleta de amostras de água para análise da qualidade após o lançamento de efluente sanitário sem tratamento ao longo do Ribeirão. Conforme a Figura 2, foram definidos os pontos 01 e 02, à montante da área urbana; 03, 04 e 05, ao longo da área urbana; e 06, à jusante da cidade, localizados nas coordenadas geográficas

presentes na Tabela 1. Na Figura 3 podem ser observadas as características dos diferentes pontos amostrais.

Figura 3: Visualização dos pontos amostrais de água ao longo do Ribeirão Ouro Fino-MG.



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2022).

Tabela 1: Descrição dos pontos amostrais de água ao longo do Ribeirão Ouro Fino e suas respectivas coordenadas geográficas.

Pontos amostrais	Coordenadas geográficas	Descrição
01	22°15'22"S 46°21'26"O	Montante da área urbana
02	22°16'28"S 46°20'50"O	Montante da área urbana
03	22°16'14"S 46°21'55"O	Área urbana
04	22°16'39"S 46°22'23"O	Área urbana
05	22°17'09"S 46°22'58"O	Área urbana
06	22°17'47"S 46°23'37"O	Jusante da área urbana

Figura 4: Visualização dos diferentes pontos amostrais de água ao longo do Ribeirão Ouro Fino -MG: (a) ponto 1; (b) ponto 2, (c) ponto 3, (d) ponto 4, (e) ponto 5 e (f) ponto 6.



Fonte: ARPA Rio Grande (2022).

3.5 Análises físicas, químicas e microbiológicas

Com o intuito de averiguar a qualidade da água do Ribeirão Ouro Fino, foi realizada uma coleta simples, a aproximadamente 0,20 cm de profundidade, em cada ponto amostral (Tabela 1), em 26 de maio de 2022.

A coleta das amostras foi realizada por técnicos laboratório Bioética Ambiental, acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025.

As análises laboratoriais consistiram em potencial hidrogeniônico (pH), sólidos totais (ST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio

(DQO), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio (N), fósforo (P) e coliformes termotolerantes (CTerm). As análises foram realizadas seguindo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017).

3.6 Valoração dos Danos Ambientais

Por meio da metodologia Emergética ou Ecoenergética de Odum (1996) e Pillet (1997), descrita por Steigleder (2011) e Miranda e Novais (2011), por meio do índice de transformidade foi possível realizar a valoração dos danos ambientais causados pela disposição de esgoto sanitário no Ribeirão Ouro Fino-MG.

Para a aplicação da metodologia, foi necessário quantificar a vazão média de esgoto sanitário gerado (Equação 1) e a carga de DBO lançada no Ribeirão Ouro Fino (Equação 2), conforme Von Sperling (2014), e com base em Soares e Michalaros (2017), foram obtidos os valores de massa de água necessária para a diluição das emissões de efluente (Equação 3), e a energia potencial da massa de água para a diluição (Equação 4).

$$Q_{d \text{ méd}} = \text{Pop} \times \text{QPC} \times R \quad (1)$$

em que: $Q_{d \text{ méd}}$ – Vazão média diária de esgoto; Pop - população contribuinte de esgoto; QPC - consumo per capita; R - coeficiente de retorno.

$$\text{CO} = \text{Conc} \times Q_{d \text{ méd}} \quad (2)$$

em que: CO – carga orgânica; Conc – concentração de DBO; $Q_{d \text{ méd}}$ – Vazão média diária de esgoto.

$$m = d \times \frac{W_{\text{DBO}}}{c} \quad (3)$$

em que: m – massa de água para diluir; d – massa específica da água; W_{DBO} – massa de matéria orgânica; c – concentração máxima de DBO permitida para a classe de água.

$$E_p = m \times g \times h \quad (4)$$

em que: E_p – energia potencial da massa de água para a diluição; m – massa de água para diluir; g - aceleração da gravidade; h - diferença de altitude entre o início e o fim do trecho em estudo.

A definição da carga orgânica máxima foi realizada conforme a Equação 5, proposta por Brown e Bardi (2001), para posterior estimativa da carga orgânica que excedeu o limite estabelecido pela normativa ambiental para a classe 2 (Equação 6).

$$C_{MP} = Q_{d\text{ méd}} \times N_d \times c \quad (5)$$

em que: C_{MP} - carga orgânica máxima permitida para a classe de água; N_d – número de dias para realização do estudo; c – concentração máxima de DBO permitida para a classe de água.

$$C_{MP-MO} = (W_{DBO} \times N_d) - C_{MP} \quad (6)$$

em que: C_{MP-MO} - carga orgânica máxima superior a carga permitida para a classe; W_{DBO} – massa de matéria orgânica; N_d – número de dias para realização do estudo; C_{MP} - carga orgânica máxima permitida para a classe de água.

Com base a metodologia Emergética ou Ecoenergética de ODUM (1996) e PILLET (1997) (Equações 7 e 8) foram obtidas a energia estimada para realizar a diluição da carga orgânica total e para diluição da carga orgânica que excede a condição classe 2 do curso d'água, para que fossem estimados os valores dos recursos naturais que foram danificados.

$$\text{Energia}_{DBO} = E_p \cdot T_1 \quad (7)$$

$$\text{Energia}_{MO} = W_{MO} \cdot T_2 \quad (8)$$

em que: Energia_{DBO} – energia estimada para realizar a diluição da carga orgânica total; Energia_{MO} – energia estimada para realizar a diluição da carga orgânica que excede o limite estabelecido pela legislação; T_1 – índice de transformidade para a carga orgânica total; T_2 – índice de transformidade para a carga orgânica que excede o limite estabelecido pela legislação.

Posteriormente, para valoração dos danos ambientais, os valores obtidos nas Equações 7 e 8 foram convertidos em dólar, conforme Ortega (2002), dividindo-se o valor obtido por 3×10^{12} sej $U\$^{-1}$. E posteriormente a conversão para reais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da qualidade da água do Ribeirão Ouro Fino-MG

Com base na realidade local, fez-se necessária a interpretação dos dados das variáveis físicas, químicas e microbiológicas. Na Tabela 2 estão apresentados os valores obtidos para cada variável de qualidade da água nos seis pontos amostrais distribuídos ao longo do Ribeirão Ouro Fino.

Tabela 2: Resultados da caracterização da qualidade da água superficial em seis pontos amostrais no Ribeirão Ouro Fino, e valores de referência estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°1/2008 para águas superficiais classe 2.

Variáveis	Pontos amostrais						DN
	1	2	3	4	5	6	n°1/2008
pH	7,0	7,9	7,3	6,7	7,4	7,5	6-9
ST (mg L ⁻¹)	124	44	290	318	376	162	-
DBO (mg L ⁻¹)	2,6	2,0	29,7	17,8	17,2	19,7	≤ 5
DQO (mg L ⁻¹)	< 20	20	75,6	51,6	49,8	51,5	-
OD (mg L ⁻¹)	5,6	4,0	2,5	1,5	2,0	2,0	≥ 5
P (mg L ⁻¹)	<0,01	0,02	0,47	0,46	0,51	0,44	≤0,05*
N (mg L ⁻¹)	1,5	3,9	1,4	< 0,2	1,1	1,1	2,0**
Cterm (NMP 100 mL ⁻¹)	1,8x10 ²	1	1,2x10 ³	6,7x10 ³	2,2x10 ³	4,1x10 ³	< 1x10 ³

* Fósforo total em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lânticos. ** Nitrogênio amoniacal total para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$.

Fonte: Do autor (2022).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 2, nota-se que antes do lançamento de efluente (ponto 1), a condição de qualidade da água do ribeirão estava de acordo com o estabelecido pela legislação para corpos d'água de classe 2. Nesta área a bacia hidrográfica é parcialmente coberta por pastagens, culturas anuais, e o ribeirão apresenta mata ciliar. A região é habitada por residentes estabelecidos em pequenos sítios e chácaras.

No ponto 2, uma região rural à montante da área urbana de Ouro Fino, foram visualizadas poucas residências no local, e reduzido valor de matéria orgânica na forma de DBO. Entretanto, houve redução no OD. Neste ponto é realizada atividade pecuária

com criação extensiva de gado. Além disso, o curso d'água passa por duas barragens utilizadas para o armazenamento de água, o que pode ter colaborado com a diminuição do nível de OD devido à redução da velocidade de escoamento e a menor incorporação de oxigênio na massa líquida. Os menores valores de matéria orgânica podem estar relacionados à retenção dos sólidos por sedimentação no barramento, confirmado pelos menores valores de ST verificados no local. A sedimentação de sólidos é característica de cursos d'água represados, como verificado por França et al. (2022) ao analisarem a qualidade da água em um sistema de reservatórios em cascata no Ceará.

Essa discussão ainda pode ser corroborada pelos reduzidos valores de P observados no ponto 2. Foi observada concentração de fósforo de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$, inferior ao limite de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ para ambientes lênticos de classe 2 conforme estabelecido na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº1/2008. Assim, a concentração não é suficiente para o desenvolvimento excessivo de algas e plantas aquáticas no represamento da água, e que poderiam vir a contribuir mais significativamente com o aumento do OD nesse ambiente lêntico.

No ponto 3 foi registrado maior valor de matéria orgânica na forma de DBO e DQO. No entanto, conforme a Figura 1, este ponto é intermediário, ou seja, localiza-se no centro urbano de Outro Fino, onde há maior quantidade de residências, indústrias e demais atividades comerciais em sua proximidade, e maior concentração do lançamento de efluente sanitário acarretando aumento da matéria orgânica.

Assim, tanto no ponto 3 como nos pontos 4 e 5, localizados na zona urbana do município, além do aumento da quantidade de matéria orgânica (DBO e DQO), ST e P, provenientes do lançamento de esgoto doméstico sem tratamento, houve redução nas concentrações de OD, deixando o ambiente impróprio para a vida aquática aeróbia. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, concentrações de OD entre 0 a 2 mg L^{-1} são insuficientes para manter a vida aquática, de 2 a 4 mg L^{-1} de OD somente poucas espécies de peixes podem sobreviver, de 4 a 7 mg L^{-1} de OD é aceitável para peixes em regiões de clima quente (USEPA, 1986).

O aumento do aporte de matéria orgânica no corpo receptor acarretou a redução de OD, devido ao consumo durante o processo respiratório das bactérias que estabilizam a matéria orgânica (VON SPERLING, 2014).

No presente trabalho, os valores de pH se mantiveram próximos à neutralidade e dentro da faixa adequada à manutenção da vida aquática (MAINAS GERAIS, 2008) e a desenvolvimento microbiano (METCALF; EDDY; TCHOBROUTSKY, 2016). Em

cursos d'água, os valores de pH são influenciados pela geologia local e pelo lançamento de efluentes. Dependendo das características dos efluentes, se forem observados elevados valores de matéria orgânica, a sua degradação pode reduzir o pH do meio pela liberação de ácidos orgânicos; ou ainda, dependendo da composição do efluente, a degradação pode elevar o pH pela liberação de alcalinidade no meio (FRANÇA et al., 2022). Assim, no presente trabalho a disposição de efluentes sem tratamento não influenciou nos valores de pH.

Observando a degradação da qualidade da água verificada pela presença da área urbana que não coleta e nem trata os esgotos, verificou-se, nos pontos 3, 4 e 5, aumento nos valores de CTerm, comparada à região de montante (ponto 1). O valor mínimo de CTerm observado no ponto 2 pode estar relacionado à maior exposição da água represada à radiação solar ultravioleta, que promove a inativação dos microrganismos por danificar componentes celulares vitais das bactérias, e consequentemente, a redução a quantidade destes organismos (HERNÁNDEZ-CRESPO et al., 2022). Ainda nos pontos 3, 4 e 5, apesar de os valores de CTerm suplantarem o que estabelece a normativa legal para as águas doces Classe 2 (1×10^3 NMP 100 mL⁻¹), estes não foram tão elevados quanto observado por outros autores. Fia et al. (2015) verificaram na nascente do Ribeirão Vermelho em Lavras-MG valores de CTerm da ordem de 10^3 NMP 100 mL⁻¹, e ao drenar a cidade e receber contribuições pontuais de esgoto doméstico sem tratamento, valores de CTerm entre 10^8 e 10^9 NMP 100 mL⁻¹, o que pode estar relacionado ao potencial de diluição dos cursos d'água.

As concentrações de nitrogênio nos pontos intermediários, avaliados no perímetro urbano, foram similares ao observado no ponto 1, mas inferiores ao observado no ponto 2. Assim, acredita-se que a contribuição do nitrogênio para o ponto 2 seja proveniente do uso de fertilizantes nitrogenados, haja vista que se esta contribuição fosse pelo despejo de dejetos animais, por exemplo, haveria o aumento da concentração de P neste ponto, o que não foi observado.

Com exceção do ponto 2, os valores de nitrogênio observados foram inferiores ao estabelecido pela legislação para as águas classe 2. Cabe aqui destacar que a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº1/2008 pressupõem concentração de nitrogênio amoniacal, e o nitrogênio avaliado no presente trabalho foi o nitrogênio total. Entretanto, partindo do princípio de que o nitrogênio amoniacal é uma fração do nitrogênio total, se os valores de nitrogênio total não suplantaram o limite estabelecido, então não superaram também os valores de nitrogênio amoniacal da normativa vigente.

Ao avaliar os resultados observado no ponto 6, localizado a cerca de 1,7 km do ponto 5, e a aproximadamente 1 km após a zona urbana da cidade, verifica-se que os valores de todas as variáveis de qualidade de água monitoradas, com exceção dos ST, foram próximos aos valores verificados no ponto 5. Assim, mesmo com a evidente deposição de sólidos ocorrida no trecho, nota-se que este não foi suficiente para promover a autodepuração do curso d'água. Assim como Menezes et al. (2015), que ao avaliarem a capacidade de autodepuração do Ribeirão Vermelho em Lavras-MG, verificaram que mesmo ao percorrer cerca de 9 km, após receber contribuições pontuais de esgoto doméstico e industriais não foi capaz de se autodepurar, mantendo elevados valores de DBO e reduzidos valores de OD ao desaguar no Rio Grande.

Nota-se que o lançamento de efluente *in natura* no Ribeirão Ouro Fino vem acarretando a poluição do curso d'água, devido à alteração dos parâmetros de qualidade comprovados após análises dos efluentes, sendo notória a necessidade de valoração do dano causado aos serviços ecossistêmicos e a comunidade local, atualmente diretamente prejudicadas pela falta do sistema de tratamento dos efluentes da cidade de Ouro Fino-MG.

4.2 Valoração econômica de danos ambientais aplicada ao Ribeirão Ouro Fino-MG

No cálculo da vazão média de esgoto ($Q_{d\text{ méd}}$) para a população urbana de Ouro Fino, conforme Von Sperling (2014), foi considerado 33.938 habitantes (IBGE, 2021); consumo per capita de água (QPC) de 156,08 L hab⁻¹ d⁻¹ (SNIS, 2020), e coeficiente de retorno (R) igual a 0,8, resultando em 4.237,7 m³ d⁻¹ de esgoto doméstico.

Considerando a concentração média de DBO do esgoto doméstico igual a 300 mg L⁻¹ (VON SPERLING, 2014), e a vazão calculada anteriormente, estimou-se a carga orgânica de DBO gerada em 1.271,3 kg d⁻¹.

Ainda, a fim de estimar a carga de DBO lançada no ribeirão em desacordo com a Deliberação Normativa Copam n° 96/2006, foi considerado o período instituído pela norma para a regularização até a data da coleta das amostras do Ribeirão Ouro Fino-MG para as análises, considerando um período de 31 de março de 2017 até dia 27 de maio de 2022, totalizando 1.883 (um mil, cento e oitenta e três) dias. Nesse período estima-se que a carga de matéria orgânica na forma de DBO lançada no curso d'água foi de 2.393.855 kg de DBO.

A carga de matéria orgânica lançada diariamente no ribeirão pode impactar em maior ou menor grau a qualidade da água dependendo da vazão do curso d'água

(JORDÃO; PESSÔA, 2014). Soares e Michalaros (2017) observaram que a massa de água necessária para a diluição das emissões de efluente levam em consideração a massa específica da água, a massa de matéria orgânica e a concentração máxima permitida de DBO no curso d'água, que para o presente trabalho foram, respectivamente, iguais a 1 g cm^{-3} , 1.271,3 kg de DBO e 5 mg L^{-1} .

Assim, utilizando a Equação 3, calculou-se em 254.260.000 kg a massa de água necessária à diluição dos despejos da cidade de Ouro Fino.

Ainda, segundo Soares e Michalaros (2017), para a adequada diluição dos despejos, além da massa de água, deve-se considerar a energia potencial da massa de água, levando em consideração a aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m s}^{-2}$) e a diferença de altitude entre os pontos inicial e final do trecho considerado no estudo, que neste caso foi de 33 m, diferença de nível entre o ponto 1 e o ponto 6 (MAPA TOPOGRÁFICO OURO FINO, 2022). A partir da Equação 4, estimou-se a energia potencial em 82.228 MJ.

Com base aos valores encontrados, seguindo a metodologia de Brown e Bardi (2001), foi possível definir a carga de matéria orgânica máxima permitida (Equação 5) igual a 39.897,6 kg, e assim estimar carga máxima orgânica superior ao limite de DBO lançada acima dos limites estabelecidos pela legislação (Equação 6), igual a 2.353.957,4 kg.

Para a valoração dos danos causados pela carga total de DBO no período considerado, foi utilizado o índice de transformidade (T_1) de $2,68 \times 10^4$ (sej/J). Para a carga de DBO acima do limite definido pela DN COPAM CERH n° 01/2008 para corpos hídricos de Classe 2, foi utilizado o índice de transformidade (T_2) de $1,53 \times 10^{12}$ (sej/J) (ODUM 1996). Dessa forma, obteve-se o valor da Emergia, para estimar os valores dos recursos naturais que foram danificados, por meio do valor da Emergia.

O valor da energia estimada para realizar a diluição da carga orgânica total (Emergia-DBO) foi de $1,81 \times 10^{15}$ sej; enquanto o valor da energia estimada para realizar a diluição da carga orgânica que excede o limite estabelecido pela legislação (Emergia-MO) foi de $3,05 \times 10^{18}$ sej. Os valores observados foram convertidos para dólar, conforme índice de Ortega (2002) e posteriormente para reais, utilizando o valor de R\$5,28 (cinco reais e vinte e quatro centavos) por dólar, valor estabelecido para o dia 08 de agosto de 2022. Na Tabela 3 é apresentado um resumo dos resultados dos cálculos para valoração econômica de danos ambientais resultantes do aporte de matéria orgânica aplicada ao Ribeirão Ouro Fino-MG.

Tabela 3: Resumo dos resultados dos cálculos para valoração econômica de danos ambientais resultantes do aporte de matéria orgânica aplicada ao Ribeirão Ouro Fino-MG.

Serviços Ambientais afetados	Carga orgânica (kg)	m (kg)	Ep (J)	T (sej/J)	Energia (sej)	Valoração (U\$)	Valoração (R\$)
Diluição DBO	$2,39 \times 10^6$	$2,54 \times 10^8$	$8,22 \times 10^{10}$	$2,68 \times 10^4$	$1,81 \times 10^{15}$	U\$ 734,57	R\$ 3.878,51
Carga de Matéria Orgânica superior ao limite	$2,35 \cdot 10^6$	-	-	$1,53 \times 10^{12}$	$3,6 \times 10^{18}$	U\$ 1.200.518,30	R\$ 6.338.736,61
Total							R\$ 6.342.615,12

Fonte: Do autor (2022).

A valoração monetária do lançamento de efluente sanitário *in natura* no corpo receptor, com base ao período de instauração para regulamentação de sistema de tratamento de esgoto até a coleta das amostras para análise laboratorial foi de R\$ 6.342.615,12 (seis milhões, trezentos e quarenta e dois mil, seiscentos e quinze reais e doze centavos).

A valoração monetária dos danos causados aos recursos hídricos devido a disposição direta dos efluentes sanitários pode variar de acordo com a carga total de DBO e/ou matéria orgânica lançada no curso d'água e principalmente com o valor da massa de água que será necessária para a diluição da disposição de efluente. Para o Ribeirão Ouro Fino a valoração monetária diária foi de R\$ 3.368,36, para uma carga de DBO de 1.271,3 kg d⁻¹. Soares et al. (2021) estimaram a valoração pelos danos causados aos recursos hídricos devido à disposição de esgoto sanitário com tratamento inadequado, e observaram que a valoração diária em termos monetários foi de R\$204,21, para uma carga de DBO de 38 kg d⁻¹.

Para a cidade de Ouro Fino, torna-se urgente a implantação de uma estação de tratamento de esgotos de forma a minimizar os impactos ambientais negativos e os custos ambientais associados. Por se tratar de uma cidade de pequeno porte, com menor quantitativo de recursos financeiros e de mão de obra, a utilização de uma ETE composta por reator UASB seria uma alternativa viável. Em levantamento realizado por Chernicharo et al. (2018), nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, foram observados que para municípios com atendimento populacional entre 10.000 e 100.000 habitantes, entre os sistemas mais usuais de tratamento de esgoto estavam os reatores UASB, presentes em 51% das ETEs implantadas. Considerando na categoria de reatores UASB unidades que empregam em conjunto unidades de pós-tratamento como, lodos ativados, filtros biológicos percoladores, lagoas de polimento dentre outras.

Tendo em vista a eficiência de remoção de DBO em reatores UASB seguido de biofiltro aerado submerso 83 a 93% (VON SPERLING, 2014), e levando em conta o estudo de Chernicharo et al. (2018), foi realizada uma avaliação do custo de instalação, operação e manutenção do sistema em questão, para o município de Ouro Fino-MG.

Considerando a população urbana (33.938 habitantes), o custo de implantação do sistema – 120 a 250 reais por habitante (média de R\$185,00), e o custo de operação e manutenção de 15 a 30 reais por habitante anualmente (média de R\$22,50), foi obtido um custo de implantação de R\$6,28 milhões e R\$763.605,00 anuais para manutenção do

sistema, resultando em R\$0,49 por metro cúbico de esgoto tratado. Valor próximo ao observado por Sousa, Duarte e Tinôco (2021), que ao avaliarem a ETE do Baldo (Natal, RN) com UASB seguido de lodos ativados, um sistema aerado com gasto energético, obtiveram, em média, durante três anos de avaliação entre R\$0,30 e R\$0,38 por metro cúbico de esgoto tratado. Os menores valores observados por Sousa, Duarte e Tinôco (2021) em relação aos estimados no presente trabalho podem estar relacionados à questão de escala, e diluição dos custos, tendo em vista que os maiores custos estão relacionados à mão de obra, e a ETE do Baldo opera com vazão média de 406 L s^{-1} , enquanto no presente trabalho esta foi estimada em 49 L s^{-1} .

Por meio da valoração, foi possível estimar que os danos causados aos serviços ecossistêmicos foram da ordem de R\$6,34 milhões. A estimativa dos custos de operação e manutenção de uma ETE com reator UASB e biofiltro aerado submerso nestes pouco mais de 5 anos entre o prazo final de adequação ambiental definido pela Deliberação Normativa Copam nº 96/2006 (31/03/2017) e a data da avaliação das condições de qualidade da água do Ribeirão Ouro Fino (27/05/2022) é da ordem de R\$3,99 milhões.

Nesse contexto, considerando um período de dez anos para a valoração dos danos causados aos serviços ecossistêmicos devido ao lançamento de efluente *in natura* no município de Ouro Fino, o valor total seria de R\$ 12.201.293,00, enquanto o valor de custo de operação e manutenção, considerando também um períodos de dez anos para uma ETE com reator UASB seguida de biofiltro aerado submerso seria de R\$ 7.635.238,95.

Assim, entende-se que se o poder público municipal tivesse buscado apoio para a implantação da ETE (SANTOS; KUWAJIMA; SANTANA, 2020) os custos seriam menores em termos de operação e manutenção, comparados àqueles causados em termos de perdas ambientais considerando apenas a matéria orgânica. Os custos ambientais são provavelmente superiores levando-se em consideração o estado de trofia, e a perda de qualidade para diferentes usos (GOUREVITCH et al., 2021), bem como a presença de organismos patogênicos que podem impactar principalmente em termos de saúde pública. Um estudo da Organização Mundial de Saúde calculou que para cada dólar investido em saneamento, havia um retorno de 5,5 dólares em menores custos com saúde, mais produtividade e menos mortes prematuras (WHO, 2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o lançamento de efluente *in natura* no Ribeirão Ouro Fino vem acarretando a alteração da qualidade da água em relação aos padrões estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 para corpos hídricos Classe 2.

A estimativa de valoração econômica dos custos de diluição da matéria orgânica lançada no Ribeirão Ouro Fino, bem como dos impactos causados pelo excesso de matéria orgânica que estão acima dos limites estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 para corpos hídricos Classe 2 foi de cerca de 6,34 milhões de reais.

Nesse sentido, de acordo com o cálculo da valoração, dos danos causados aos serviços ecossistêmicos, considerando um período de dez anos, serão maiores que o somatório dos custos de implementação e operação de uma ETE. Sugere-se a implementação de rede coletora seguida da implementação de sistema de tratamento de esgoto no município Ouro Fino-MG, para que dessa forma sejam minimizados os danos causados aos recursos hídricos e preservada a comunidade ecossistêmica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA REGIONAL DE PROTEÇÃO A BACIA DO RIO GRANDE – ARPA Rio Grande. **Banco de dados:** Ouro Fino/MG. Lavras-MG. 2022.

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. Monitoramento de recursos hídricos e parâmetros de qualidade de água em bacias hidrográficas. In: AMÉRICO-PINHEIRO, J.H.P.; BENINI, S.M. (orgs). **Bacias hidrográficas:** fundamentos e aplicações. Tupã: Editora ANAP, 2018. p.89-109.

ANDRADE, L. C. et al. Lago Guaíba: uma análise histórico-cultural da poluição hídrica em Porto Alegre, RS, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 229-237, 2019.

ANSOLIN, R. D. et al. Valoração ambiental em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Passaúna, Estado do Paraná. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 1, p. 118-127, 2018.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd Ed.: American Public Health Association,

American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC. 2017.

ARMANI, F. A. S. et al. Qualidade das Águas dos Rios Urbanos das Cidades de Matinhos-PR e Pontal do Paraná-PR. **Revista Técnico-Científica**, Edição especial, p.1-10, 2018.

BARBISAN, A. O. et al. Técnica de valoração econômica de ações de requalificação do meio ambiente: aplicação em área degradada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 119-128, 2009.

BRASIL. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, 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**. Minas Gerais, 2008.

BRASIL. Deliberação Normativa Conjunta nº 96, de 12 de abril de 2006. **Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos e dá outras providências**. Minas gerais, 2006.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS: diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2019**. Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, 2009. **Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasil, 1997.

CHERNICHARO, C. A. L. et al. Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**, v. 66, n.213, p.5-19, 2018.

CONSTANTINO, M. A. et al. Valoração Atribuída aos Serviços Ambientais de Acordo com os Diferentes Métodos: um Estudo no Período de 2005 a 2015. **Desenvolvimento em Questão**, v. 16, n. 44, p. 168-191, 2018.

CORRÊA, T. S; de ARAÚJO, R. R. Estudo de autodepuração: o caso do córrego do Limoeiro, Presidente Prudente-SP. **Colloquium Exactarum**, v.7, n.5, p. 48-55, 2015.

DA SILVA, S. R.; TORRES, M. S. T.; ROCHA, N. S. Reator UASB: Uma Alternativa Sustentável para o Tratamento de Esgoto no Município de Codó–MA. **Acta Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 25-36, 2021.

DE DEUS, F. P. et al. Caracterização morfológica e climática da sub-bacia do córrego Cana-Brava do município de Guaraciama–MG. **Scientia Plena**, v. 7, n. 8, 085401, 2011.

DE OLIVEIRA, A. B. et al. Pesquisa e Extensão como base para Construção de Saberes Ambientais: oficina colaborativa sobre área de preservação permanente na bacia do ribeirão do taquaruçu grande. **Humanidades & Inovação**, v. 7, n. 8, p. 415-433, 2020.

DOS SANTOS, G. R; KUWAJIMA, J. I.; DE SANTANA, A. S. **Regulação e investimento no setor de saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020. 63p. (Texto para Discussão).

FRANÇA, J. M. B. de et al. Qualidade da água em um sistema de reservatórios em cascata–um estudo de caso no semiárido brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 113-123, 2022.

FRANÇA, J. M. B. et al. Qualidade da água em um sistema de reservatórios em cascata–um estudo de caso no semiárido brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 113-123, 2022.

FRANCI GONÇALVES, R. et al. Using a UASB reactor for thickening and digestion of discharged sludge from submerged aerated biofilters. **Water science and technology**, v. 45, n. 10, p. 299-304, 2002.

FREITAS, C.G.A. Valoração do dano ambiental: algumas premissas. **Revista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais**. Edição especial. 2011. p.10-17.

GONÇALVES, R. F. et al. Using a UASB reactor for thickening and digestion of discharged sludge from submerged aerated biofilters. **Water science and technology**, v. 45, n. 10, p. 299-304, 2002.

GOUREVITCH, J. D. et al. Quantifying the social benefits and costs of reducing phosphorus pollution under climate change. **Journal of Environmental Management**, v. 293, 112838, 2021.

HERNÁNDEZ-CRESPO, C. et al. Escherichia coli removal in a treatment wetland-pond system: A mathematical modelling experience. **Science of The Total Environment**, 156237, 2022.

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

JUNIOR, K O. V; CAMPOS, V. Avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Joanes (Bahia), ao longo de 10 anos e identificação de fontes poluidoras. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 4, n. 1, p.45-66, 2022.

MAPA TOPOGRÁFICO. Ouro Fino, altitude, relevo. 2022. Disponível em: <<https://pt-br.topographic-map.com/maps/gwsz/Ouro-Fino/>> Data de acesso 03/08/2022.

MENEZES, J. P. C. de et al. Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 748-757, 2015.

METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBROUTSKY, G. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2016. 1980 p.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, 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**. Minas Gerais, 2008.

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Água. **Comitês e Unidades de Planejamento**. 2020. Disponível em <<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/>>. Acesso em 23 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria do Estado e Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. 2020. Disponível em <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/saneamento/abastecimento-de-agua-e-esgotamento-sanitario>>. Acesso em 07 set. 2022.

MIRANDA, M.P.S.; NOVAIS, A.L.M. Metodologias de valoração econômica de danos a bens culturais materiais utilizadas pela promotoria estadual de defesa do patrimônio cultural e turístico de Minas Gerais. **Revista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais**. Edição especial. 2011. p.38-49.

MOTA, J.A. Métodos econômicos para a valoração de danos ambientais. In: A Valoração de Serviços e Danos Ambientais. **Revista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais**. Edição especial. 2011. p.18-23.

ODUM, H.T. **Environmental Accounting, Emergy and Decision Making**. New York: J. Wiley, 1996. 370 p.

OLIVEIRA, S; CORRÊA, M. A.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 2: Influência de fatores de projeto e operação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 358-368, 2005.

OLIVEIRA, S.; CORRÊA, M. A.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 347-357, 2005.

ORTEGA, E. Tabela de Transformidades - (emergia / Joule, emergia / kg, emergia / US\$) de recursos naturais, insumos industriais e produtos de 321 ecossistemas. 2000. Disponível em: <<https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm> > acesso em 04/08/2022.

OURO FINO. Prefeitura Municipal de Ouro Fino. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. 2014.

OURO FINO. Lei Complementar nº 001/2006. **Institui o Plano Diretor Municipal Participativo de Ouro Fino. Básico**. 2016.

PINHEIRO, J. H. P. A; RIBEIRO, L. G. R. Monitoramento de recursos hídricos e parâmetros de qualidade de água em bacias hidrográficas. In: PINHEIRO, J. H. P. A; BENINI, S. M. (orgs). **Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**. 2 ed. Tupã: ANAP, 2019. P.89-109.

PINTO, D B. F. et al. Qualidade da água do ribeirão Lavrinha na região Alto Rio Grande-MG, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1145-1152, 2009.

SALGADO, S. R. T.; ARAUJO, A. L. C. Survey of the type of sewage treatment plants from the Growth Acceleration Program and the forecast impact on the rate of sewage treatment in the state of Espírito Santo, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 293-301, 2017.

SILVA, A. G.; SOUZA, L. D. Efeitos antrópicos e sazonais na qualidade da água do rio do Carmo. **HOLOS**, v. 5, p. 122-136, 2013.

SOARES, A. F. S; MICHARLAROS, C. L. Valoração de dano ambiental aos recursos hídricos. In: CONGRESSO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA, INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO CENTRO UNIVERSITÁRIO METODISTA IZABELA HENDRIX, 2. Belo Horizonte, 2017. **Anais....** Belo Horizonte: CENTRO UNIVERSITÁRIO METODISTA IZABELA HENDRIX, p.313-322.

SOUZA, B. de M.; DUARTE, M. A. C.; TINÔCO, J. D. Custos de operação e manutenção de estação de tratamento de esgotos por reator anaeróbio e lodos ativados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 505-515, 2021.

United State Environmental Protection Agency -USEPA. **Ambient water quality criteria for dissolved oxygen** – EPA 440586003, Washington, DC, 1986.

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

World Health Organization - WHO. **Water, sanitation and hygiene in health care facilities: practical steps to achieve universal access.** Geneva: World Health Organization, 2019. Disponível em <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/311618/9789241515511-eng.pdf>.

Acesso em 02 set 2022.