UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
UNIDADE FRUTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

IMPACTOS AMBIENTAIS DA URBANIZAÇÃO EM CURSO D'ÁGUA: DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO CÓRREGO VERTENTE GRANDE, FRUTAL-MG

Hyago Souza Teixeira
Licenciado em Geografia

FRUTAL-MG
2024

HYAGO SOUZA TEIXEIRA

IMPACTOS AMBIENTAIS DA URBANIZAÇÃO EM CURSO D'ÁGUA: DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO CÓRREGO VERTENTE GRANDE, FRUTAL-MG

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Rodrigo Ney Millan

FRUTAL-MG
2024

Teixeira, Hyago Souza.

Impactos ambientais da urbanização em curso d'água: diagnóstico da qualidade de água do Córrego Vertente Grande, Frutal-MG. / Hyago Souza Teixeira. - Frutal, MG, 2024.

58 f.: il.

Orientador: Rodrigo Ney Millan, Dr.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, MG, 2024.

1. Impacto ambiental. 2. Urbanização. 3. Curso d'água. 4. Qualidade de água. 5. Córrego Vertente Grande - Frutal/MG. I. Millan, Rodrigo Ney, orient. II. Título.

CDU 631.4

Catalogação na fonte

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Ata

HYAGO SOUZA TEIXEIRA

IMPACTOS AMBIENTAIS DA URBANIZAÇÃO EM CURSO D'ÁGUA: DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO CÓRREGO VERTENTE GRANDE, FRUTAL-MG

Dissertação apresentada a Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, na área de concentração Ciências Ambientais, Linha de Pesquisa Diagnóstico e Ecologia Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 22 de março de 2024

Prof. Dr. João Alberto Fischer Filho - UEMG - Frutal -MG

Profª. Drª. Eliana Aparecida Panarelli - UEMG - Frutal-MG

PROF. DR. RODRIGO NEY MILLAN

ORIENTADOR

Referência: Processo nº 2350.01.0009326/2023-18 SEI nº 84557099

Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Ney Millan**, **Professor de Educação Superior**, em 22/03/2024, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017.

Documento assinado eletronicamente por **Eliana Aparecida Panarelli**, **Professora de Educação Superior**, em 22/03/2024, às 15:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017.

Documento assinado eletronicamente por **João Alberto Fischer Filho**, **Professor de Educação Superior**, em 25/03/2024, às 08:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **84650296** e o código CRC **E66048D0**.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta dissertação contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais eu agradeço:

Aos Professores do curso de Mestrado em Ciências Ambientais, especialmente ao meu orientador Dr. Rodrigo Ney Millan.

Aos colaboradores do laboratório e colegas de curso pelo apoio.

Aos meus familiares pelo incentivo e apoio.

Aos meus colegas de trabalho que me apoiaram e incentivaram durante todo o curso.

RESUMO

Os rios urbanos têm sofrido com a degradação ambiental, apesar da sua importância para a sociedade e para a natureza. Durante os últimos séculos, a degradação vem aumentando consideravelmente, em especial com o incremento de áreas urbanizadas e áreas agricultáveis, causando preocupação sobre a sustentabilidade e o limite para o uso de seus recursos. O presente estudo teve como objetivo verificar a qualidade da água do Córrego Vertente Grande, localizado no município de Frutal-MG, que possui uma grande importância para a cidade, especialmente nas épocas mais secas do ano, quando é utilizado em situações emergenciais para captação de água para abastecimento público, após tratamento convencional. Este córrego vem sendo negligenciado com o descarte de resíduos, sólidos e líquidos, à medida que atravessa a zona urbana de Frutal. Coletas mensais de água foram realizadas durante os meses de outubro de 2022 a março de 2023, em três pontos do córrego, cada um com um grau de antropização (zona rural, início do trecho urbano e trecho urbanizado). Utilizou-se um Protocolo de Avaliação Rápida de Rios para verificar aspectos ecológicos e impactos antropogênicos no curso de água. Análises físico-químicas e quantificação de coliformes termotolerantes foram realizadas nos pontos amostrais, comprovando que, ao passo que o curso d'água adentra a zona urbana, a qualidade da água se deteriora. As variáveis condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, nitrato, nitrogênio amoniacal total e fósforo total apresentaram maiores concentrações no ponto que corresponde ao local mais urbanizado, assim como os coliformes termotolerantes. As variáveis condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrogênio amoniacal total, fósforo total e coliformes termotolerantes apresentaram diferença estatística significativa entre os pontos, com menores valores no ponto relacionado a zona rural e maiores valores no ponto relacionado ao trecho urbanizado. A análise de componentes principais identificou um aumento do grau de eutrofização a medida que a água percorre o trecho urbano. O Protocolo de Avaliação Rápida de Rios demonstrou que a urbanização impacta negativamente o sistema hídrico, causando degradação nas margens e acúmulo de resíduos, fazendo com que a água perca as funcionalidades mais exigentes para o consumo humano, segundo as legislações nacionais vigentes. O monitoramento aponta a contaminação das águas que vêm sendo utilizadas como fonte secundária para o tratamento e distribuição aos munícipes.

Palavras-chave: Ambiente urbanizado. Eutrofização. Sistema lótico.

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF URBANIZATION ON WATERCOURSE: WATER QUALITY DIAGNOSIS OF VERTENTE GRANDE STREAM, FRUTAL-MG

ABSTRACT

Urban rivers have been suffering from environmental degradation, despite their importance to society and nature. Over the past centuries, degradation has increased considerably, especially with the expansion of urban and agricultural areas, raising concerns about sustainability and the limit for the use of their resources. The present study aimed to assess the water quality of the Vertente Grande Stream, located in the municipality of Frutal-MG, which is of great importance to the city, especially during the driest times of the year when it is used in emergency situations for public water supply after conventional treatment. This stream has been neglected with the disposal of waste, both solid and liquid, as it passes through the urban area of Frutal. Monthly water samples were collected for six months at three points along the stream, each with a different degree of anthropization (rural area, beginning of the urban stretch, and urbanized stretch). A Rapid River Assessment Protocol was used to assess ecological aspects and anthropogenic impacts on the watercourse. Physicochemical analyses and quantification of thermotolerant coliforms were carried out at the sampling points, confirming that as the watercourse enters the urban area, water quality deteriorates. The variables electrical conductivity, total dissolved solids, nitrate, total ammonia nitrogen and total phosphorus showed higher concentrations at the point corresponding to the most urbanized location, as well as thermotolerant coliforms. The variables electrical conductivity, total dissolved solids, dissolved oxygen, nitrate, total ammonia nitrogen, total phosphorus and thermotolerant coliforms showed a statistically significant difference between the points, with lower values at the point related to the rural area and higher values at the point related to the urbanized section. The main components analysis identified an increase in the degree of eutrophication as water passes through the urban area. The Rapid River Assessment Protocol demonstrated that urbanization negatively impacts the water system, causing degradation on the banks and accumulation of waste, causing water to lose the most demanding functionalities for human consumption, according to current national legislation. Monitoring indicates the contamination of water that has been used as a secondary source for treatment and distribution to residents.

Keywords: Eutrophication. Lotic system. Urbanized environment.

SUMÁRIO

Páginas
1. INTRODUÇÃO 11
2. OBJETIVOS 13
2.1. Objetivo Geral 13
2.1.1. Objetivos Específicos 13
3. REFERENCIAL TEÓRICO 14
3.1. Rios urbanos no Brasil e no mundo 14
3.2. Principais normativas envolvendo qualidade da água em sistemas lóticos 16
3.3. Monitoramento da qualidade da água de sistemas lóticos 20
4. MATERIAIS E MÉTODOS 24
4.1. Área de estudo e pontos de coleta 24
4.2. Período de coleta 29
4.3. Variáveis limnológicas e procedimentos analíticos 29
4.4. Análise estatística dos dados 32
4.5. Aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) 32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 33
6. CONCLUSÃO 45
ANEXO 1 – PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA 53
ANEXO 2 – TABELA – COLIFORMES TERMOTOLERANTES 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites para enquadramento de rios urbanos - COPAM-CERH.....20
Tabela 2 – Valores médios de Sólidos Totais Dissolvidos, Condutividade Elétrica e Turbidez 36
Tabela 3 – Resultados do Protocolo de Avaliação Rápida para Rios (CALLISTO et al., 2002) aplicado a três pontos no Córrego Vertente Grande (Frutal/MG), onde: ZR = zona rural; IU = início do trecho urbano; TU = trecho urbanizado. 43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Localização da área de estudo com identificação dos pontos de coleta, onde: ZR = zona rural, IU = início do trecho urbano; TU = trecho urbanizado. 24
Figura 2 – Ponto de Coleta ZR. 26
Figura 3 – Roda d'água localizada na propriedade no curso de água da propriedade, a jusante do ponto ZR. 26
Figura 4 – Ponto de coleta IU. 27
Figura 5 – Entrada do ponto IU. 27
Figura 6 –Ponto de Coleta TU. 28
Figura 7 – Resíduos encontrados no ponto de coleta TU. 29
Figura 8 – Coleta dos dados físicos in loco usando a sonda Horiba U-50. 30
Figura 9 – A - Preparação das amostras; B - amostras com reagentes calorimétricos. 30
Figura 10 – Análise de nutrientes por espectrofotometria 31
Figura 11 – A - incubação de amostras no método de tubos múltiplos; B - leitura do resultado. 31
Figura 12 – Gráfico boxplot das variáveis físico-químicas Córrego Vertente Grande, Frutal, MG, onde: Temp = temperatura, pH, Cond = condutividade elétrica, STD = sólidos totais dissolvidos (STD), OD = oxigênio dissolvido, POR = potencial de oxi-redução, Turb = Turbidez, quadrados = média; retângulos = erro da média; barras verticais = desvio padrão. Linha pontilhada verde representa o limite inferior para pH (todas as classes) e Oxigênio Dissolvido (OD) (Classe II) de águas doces. Linha pontilhada vermelha representa o limite superior para pH (todas as classes) e Oxigênio Dissolvido (OD) (Classe II) de águas doces. Letras iguais indicam que os valores estão estatisticamente iguais e letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de significância de 0,05. 35
Figura 13 – Gráfico de tendência exponencial de aumento dos sólidos totais dissolvidos (STD - mg L^{-1}), Condutividade Elétrica (Cond. - µS cm^{-1}) e Turbidez (Turb. - UNT) nos pontos ZR, IU e TU. 36
Figura 14 – Gráfico boxplot dos nutrientes do Córrego Vertente Grande, Frutal, MG onde: NO2 = nitrito; NO3 = nitrato; NAT = nitrogênio amoniacal total; PT = fósforo total; quadrados = média; retângulos = erro da média; barras verticais = desvio padrão. Letras iguais indicam que os valores estão estatisticamente iguais e letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de significância de 0,05. 38
Figura 15 – Gráfico boxplot da variável coliformes termotolerantes (CT) do Córrego Vertente Grande, Frutal, MG onde: quadrados = média; retângulos = erro da média; barras verticais = desvio padrão. Linha pontilhada verde representa o limite superior para coliformes termotolerantes de águas doces classe I e inferior para classe II no CONAMA 357/2005. Linha pontilhada vermelha representa o limite superior para coliformes termotolerantes de águas doces de classe II no CONAMA 357/2005. Letras iguais indicam que os valores estão estatisticamente iguais e letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de significância de 0,05. 40
Figura 16 – Gráfico biplot da análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis limnológicas e pontos de coleta do córrego Vertente Grande, Frutal, MG. Triângulos verdes representam os parâmetros físico-químicos: OD = oxigênio dissolvido (mg L^{-1}); Temp =

Temperatura (ºC); Cond = Condutividade Elétrica (µS cm^{-1}); STD = Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); POR = Potencial de Oxi-Redução (mV); Turb = Turbidez (NTU); CT = Coliformes Termotolerantes (NPM 100 mL^{-1}). Losangos vermelhos = pontos de coleta (ZR = zona rural; IU = início do trecho urbano; TU = trecho urbanizado). A seta verde abaixo do gráfico sinaliza o aumento do grau de trofia do sistema. 41
Figura 17 – Gráfico de resultado e classificação baseados no Protocolo de Avaliação Rápida para Rios (Callisto et al., 2002) dos pontos de coleta. *= Exponencial. 43

1. INTRODUÇÃO

Os rios urbanos são extremamente importantes para o desenvolvimento da sociedade contemporânea. Na maioria dos países desenvolvidos e boa parte dos subdesenvolvidos grande parte da população vive em áreas urbanas e os rios que atravessam essas áreas servem tanto para recreação quanto para abastecer as residências, os comércios e as indústrias.

Desde a revolução industrial nos séculos XVIII e XIX, os rios urbanos sofrem sérios danos ambientais, especialmente em cidades que cresceram de modo desordenado como Londres e Paris, que tiveram seus principais rios o Tâmisa e Sena respectivamente degradados, e que durante o século XX passaram por processos de despoluição e hoje são exemplos mundiais de saneamento ambiental e ainda são utilizados pela população como opção de lazer (David; Hirosue, 2022). No Brasil, país com maior quantidade de água doce disponível para consumo do mundo, os rios urbanos vêm sofrendo grande degradação devido ao planejamento urbano ineficiente e falta de investimento do poder público (Santos, 2004), provocando crises de abastecimento, especialmente em períodos de seca.

Para monitorar a qualidade da água são observadas diversas variáveis físicas, químicas e biológicas, que após mensuração são comparadas aos valores de referência de legislações, que tem diversas origens, como leis e decretos federais, estaduais e municipais, assim como as resoluções e deliberações de órgãos fiscais e consultivos como Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Conselho Estadual de Meio Ambiente (COPAM) e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), além de estudos científicos.

As normas implantadas por estes órgãos organizam padrões e limites para determinados parâmetros nos corpos d'água que são analisados para determinar sua qualidade e classificá-los como os utilizados no presente estudo, que são: temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos, quantidade de coliformes termotolerantes, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e fósforo total.

Esses indicadores são extremamente importantes e eficazes para se determinar diversas condições e enquadramentos para cursos d'água, inclusive os urbanos, que muitas vezes recebem efluentes sem tratamento adequado e até mesmo resíduos sólidos (ANA, 2023; CONAMA, 2000; COPAM-CERH, 2022).

A cidade de Frutal, no interior do estado de Minas Gerais apresenta 60.508 habitantes (IBGE, 2021) e possui o Córrego Vertente Grande que nasce fora da sua zona urbana, mas a

percorre cortando de nordeste a sudoeste até encontrar outro córrego, o Ribeirão Frutal. O Ribeirão Frutal é a principal fonte de água para a população, possuindo sistema de captação, tratamento e distribuição, mas nas épocas de seca, entre maio e agosto, a demanda é maior do que a oferta de água e a água de um de seus afluentes precisa ser utilizada, no caso o Córrego Vertente Grande, fazendo-se necessário o monitoramento da qualidade da água desse afluente que percorre a área urbana.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), menos da metade dos municípios brasileiros possuem esgotamento sanitário adequado, e em Minas Gerais esse número supera 80%. Frutal, por sua vez, tem 87,7% de seu esgoto coletado e tratado, ou seja, o esgoto de 7442 pessoas é descartado inadequadamente nos rios que percorrem a cidade e as áreas rurais.

O presente estudo busca monitorar a qualidade da água do Córrego Vertente Grande, importante fonte de água para a cidade de Frutal, em locais fora e dentro da área urbana, avaliando se a qualidade da água sofre deterioração a medida que o sistema hídrico atravessa a zona urbana.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo Geral

- Avaliar a qualidade da água no trecho do córrego Vertente Grande e comparar os diferentes pontos com o grau de antropização.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os aspectos físicos e químicos da água;
- Quantificar os coliformes termotolerantes da água;
- Verificar se há alterações na qualidade da água desde sua nascente até a área urbanizada.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Rios urbanos no Brasil e no mundo

O Brasil passou por grandes transformações em seu espaço urbano nas últimas décadas, onde a população, que antes era majoritariamente rural, passou para as áreas urbanas rapidamente e, que sem a devida gestão, cresceram com muitos problemas de planejamento, saneamento básico e gestão ambiental dos rios urbanos (Garcias; Afonso, 2013).

O descarte inadequado de lixo, esgoto urbano e industrial é agravado pela instalação da população pobre em locais de risco, onde a inexistência de serviços públicos essenciais como saúde básica, coleta de lixo e educação ambiental disseminam esses problemas até as margens dos rios que circundam essas áreas (Almeida, 2010). A população carente constrói moradias em locais sem planejamento urbano, próximo a rios, e com negligência do poder público, o que pode gerar consequências graves para o ambiente e para as pessoas que ali se instalam, como as que decorrem de fortes tempestades, os deslizamentos e alagamentos além de direcionar os efluentes domésticos diretamente nos cursos d´água mais próximos (Garcia *et al.*, 2020). Situações análogas são encontradas em outros países subdesenvolvidos como Índia, Bangladesh, Indonésia e, especialmente na China continental, que mesmo tendo uma das economias que mais crescem no mundo, passa por um processo de urbanização sem precedente, que ocorreu após a reforma e abertura de 1978, que causou um enorme êxodo rural, com o objetivo de aumentar as terras disponíveis para a agricultura e pecuária. Esse processo foi acompanhado da redução da biodiversidade, deterioração de ambientes ecológicos além da urbanização em um ritmo que não foi capaz de gerir recursos ambientais, especialmente os hídricos, causando a deterioração dos mesmos (Liao *et al.*, 2022).

Essa realidade também já se repetiu em países que hoje são considerados desenvolvidos, como Taiwan (República da China), que a partir da década de 70 do século XX, possuía em suas áreas urbanas uma realidade de intensa degradação dos rios urbanos. Tal cenário se modificou com a criação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), com investimento massivo na gestão ambiental dos recursos hídricos e no planejamento urbano, como o caso da bacia do Rio Danshui, localizado na região mais densamente urbanizada da ilha Formosa, a região metropolitana de Taipei (Chen; Jang; Chou, 2019).

Em outros casos, mesmo com algum planejamento urbano existente, encontram-se situações em que o poder público opta por canalizar os cursos d'água, o que além de suprimir quase que totalmente os serviços ambientais, nas situações de grande pluviosidade, promovem incidentes graves como alagamentos e erosões, que causam prejuízos econômicos, sociais, ambientais e muitas vezes até fatalidades (Fagundes, 2022).

Os rios urbanos, devido a seu trecho atravessar áreas densamente ocupadas e sem o planejamento ambiental adequado, recebem efluentes domésticos, industriais e resíduos sólidos oriundos do escoamento superficial de origem pluviométrica ou criminosa, fazendo com que esses rios possuam grande quantidade de nutrientes e material sólido, orgânico e inorgânico em suspensão (Garcia *et al.*, 2020).

Os rios que atravessam áreas urbanas também sofrem impactos ocasionados por efluentes industriais que contém metais pesados que "estão entre os poluentes mais comuns e a sua ocorrência em ambientes aquáticos tem levado a sérios problemas na vida vegetal e animal" (Tamim *et al.*, 2016). As atividades portuárias e industriais associadas a áreas urbanas, também são responsáveis pela poluição dos rios urbanos, como Rio Mucuri, na cidade de Barcarena, localizada na região metropolitana de Belém, e o Rio Arapiranga, na cidade de Abaetetuba, ambos no estado do Pará que fazem parte da bacia Amazônica. Tais rios que além de ter seus recursos hídricos comprometidos, tiveram grande parte da vegetação nativa de seu entorno removida para a instalação de portos e infraestrutura de apoio, o que ocasionou sanções administrativas por parte dos órgãos federais de fiscalização, tendo os responsáveis que financiar pesquisas e o monitoramento durante vários anos visando indenizar a sociedade (Medeiros *et al.*, 2017).

Os rios que atravessam áreas rurais também recebem detritos oriundos das atividades agropecuárias, em especial da atividade agrícola, onde segundo Esteves (1998, p. 206) ela "pode ser considerada como uma das principais fontes de fosfato e nitrogênio para ecossistemas", que contrapõem a atividade pecuária uma vez que "tem efeitos mais reduzidos sobre a eutrofização artificial de corpos d'água" (Esteves, p. 206). Isto deve-se ao fato de que os excrementos de bois, carneiros, etc., não têm concentrações altas de fosfato e nitrogênio (Vollenweider, 1968, apud, Esteves, 1998, p. 206). Esteves (1998) pondera que as grandes populações de animais concentradas ainda podem alterar consideravelmente as características dos sistemas lóticos, algo muito comum hoje em grandes empreendimentos e confinamentos.

Mesmo a água sendo um recurso indispensável para as cidades, todos esses fatos acabam por deixar os rios urbanos com grandes quantidades de poluentes, nutrientes, e até produtos tóxicos, que dificultam a utilização como fonte de recurso hídrico para abastecimento e lazer, pois encontram-se degradados e poluídos (Pessoa-Neto *et al.*, 2019).

A cidade de Frutal, encontra-se dentro da Bacia do Ribeirão Frutal, principal responsável pelo abastecimento público. A região tem passado por crises hídricas e escassez, resultantes baixos níveis pluviométricos, como o que ocorreu no ano de 2014, que impôs aos munícipes um sistema de racionamento do uso da água (Silva; Gonçalves, 2016). Em ocasiões como essa, o município adota a prática de captar água em outros sistemas hídricos, como o que será estudado neste trabalho.

3.2. Principais normativas envolvendo qualidade da água em sistemas lóticos

A utilização dos recursos hídricos está condicionada a sua disponibilidade e qualidade, que refletem diretamente na viabilidade e custos econômicos que incidem sobre a captação, tratamento e distribuição, seja para o consumo urbano (Carvalho; Siqueira, 2011), industrial (Teixeira *et al.*, 2016) e rural (Mousinho; Andrade-Júnior; Frizzone, 2008), e ainda os custos para o tratamento dos efluentes gerados por essas atividades (Ortiz *et al.*, 2019).

Viabilizar a utilização desses recursos e a mitigação dos danos ambientais como a escassez depende da análise das características das fontes dos recursos hídricos, e em se tratando de rios, sua vazão e premência humana e ecológica (Christofidis, 2013).

A Constituição Federal do Brasil, em seu artº 225 impõe "ao poder público e a coletividade o dever de defender" o meio ambiente (Brasil, 1988), e a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (Brasil, 1997) tem como um de seus objetivos "a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais", respeitando os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA (Brasil, 1981) que estabelece a racionalização dos recursos hídricos, seu planejamento e fiscalização, bem como a proteção dos ecossistemas, controle da implantação de atividades com potencial poluidor e o monitoramento da qualidade dos recursos ambientais, o qual os recursos hídricos fazem parte.

Mais recentemente houve a aprovação do novo Código Florestal (Brasil, 2012), que alterou as medidas das áreas de preservação permanentes, as APPs, bem como nas

características para diferentes tipos de enquadramento das APPs, que influenciam significativamente na qualidade dos recursos hídricos, bem como nas constituições de sua fauna e flora.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Brasil, 1981) criado pela PNMA, o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM (Minas Gerais, 1977) e Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH (Minas Gerais, 1987) são órgãos consultivos e deliberativos das esferas federais e estaduais respectivamente, que tem como objetivos propor a União e ao governo do Estado de Minas Gerais diretrizes ambientais para a utilização dos recursos naturais, incluindo os recursos hídricos que estão sobre a sua tutela, como rios, águas subterrâneas e represadas.

As diretrizes estabelecidas pelo CONAMA e pelo COPAM em conjunto com CERH, além de respeitar os objetivos e princípios estabelecidos pelas legislações, utilizam estudos científicos que, por sua vez, levam em consideração, variáveis biológicas, físicas e químicas, criando assim, normas, classificações e parâmetros para a utilização dos recursos hídricos e dos efluentes que são gerados em decorrência de sua utilização.

A Resolução do CONAMA 357, de 17 de março de 2005, classifica os corpos d'água e estabelece diretrizes para seu enquadramento, além de "estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes", trazendo as definições necessárias para os estudos ambientais sobre recursos hídricos (Brasil, 2005). Ela estabelece o limite quantitativo que deve conter cada variável para sua classificação, que é acompanhado pela Deliberação Normativa Conjunta do COPAM-CERH/MG nº 8 (Minas Gerais, 2022).

Ao estabelecer limites e condições para as águas doces, foram divididos em 5 classes esses recursos hídricos, sendo Classe Especial, Classe I, II, III e IV, onde segundo Machado, Knapik e Bitencourt (2009, p. 261):

> Classe Especial representa os usos mais exigentes, ou seja, aqueles que requerem melhor qualidade da água, como a proteção e a preservação da vida aquática; o outro extremo, a Classe 4, expressa os usos menos exigentes, como a navegação e a harmonia paisagística.

Para Machado, Knapik e Bitencourt (2009, p. 261):

> São muitos os mecanismos por trás da elaboração do diagnóstico e prognóstico do enquadramento, fazendo-se necessário entender a relação das variáveis existentes dentro dessas etapas, como a vazão de referência, os parâmetros de qualidade, os meios de estimativa de cargas poluidoras, a construção dos cenários e os modelos representativos dos processos de absorção de cargas pelos corpos hídricos.

Para obtenção desses dados, os estudos de bacias hidrográficas tem se tornado referência para o enquadramento dos corpos de água lóticos, a fim de gerir e administrar os recursos hídricos indispensáveis para o saneamento urbano, pois eles levam em consideração o tipo e quantidade de rejeitos descarregados nos corpos d'água (Calmon *et al.*, 2014), a qualidade das águas subterrâneas, que consequentemente são as fontes das nascente dos rios (Descovi-Filho *et al.*, 2008) e também o planejamento adequado ou não do uso da terra, ou seja, o monitoramento da paisagem, das áreas de preservação e de interesse ecológico, juntamente com o manejo do solo, o cumprimento ou não da legislações (BWF *et al.*, 2016) como o uso indevido e excessivo de agrotóxicos, que podem contaminar o solo, e em consequência da lixiviação, os recursos hídricos como nas águas subterrâneas, rios e lagos (Steffe *et al.*, 2011).

Tais levantamentos devem levar em consideração os parâmetros estabelecidos pelo COPAM-CERH/MG (Minas Gerais, 2022, p. 8) "para cada substância em cada classe", observando também "indicadores biológicos, utilizando-se comunidades aquáticas, com critérios e metodologias reconhecidas, por órgãos e instituições ambientais nacionais e/ou internacionais competentes" (Minas Gerais, 2022, p. 8), além de indicadores físicos e químicos (Brasil, 2001; Brasil, 2005; Minas Gerais, 2022).

Sendo assim, as águas doces estaduais do estado de Mina Gerais, são classificadas e recebem a destinação conforme informações do Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação e Destinação de Recursos Hídricos pelo COPAM-CERH

Classe	Destinação
Especial	a) ao abastecimento para consumo humano, com filtração e desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
I	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas, inclusive em Terras Indígenas; c) à recreação de contato primário, conforme Resolução Conama n° 274, de 29 de novembro de 2000, ou norma que a substitua; e, d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.
II	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000, ou norma que a substitua; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e, e) à aquicultura e à atividade de pesca.
III	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e, e) à dessedentação de animais.
IV	a) à navegação; b) à harmonia paisagística; e, c) aos usos menos exigentes.

Fonte: COPAM-CERH/MG nº8 (Minas Gerais, 2022).
Organização: Autor.

Além da destinação, as águas doces estadutais possuem algumas características que distinguem umas das outras, como a variação do oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes (Tabela 1).

Tabela 1 – Limites para enquadramento de rios urbanos - COPAM-CERH

ÍNDICE	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV
OD (mg L^{-1})	6 ≥	5-6	4-5	2-4
CT (NMP 100 mL^{-1})	≤ 200	201-1000	≤ 4000*	4000 >
STD (mg L^{-1})	até 500	até 500	até 500	até 500
Turb (UNT)	40	100	100	100 >
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
Nitrito (µg L^{-1})	1000	1000	1000	1000
Nitrato (µg L^{-1})	10000	10000	10000	10000
Nitrogênio Amoniacal Total (µg L^{-1})	3700, para pH 7,5; 2000 para pH entre 7,5 e 8,0; 1000 pH entre 8,0 e 8,5; 500 para pH maior que 8,5	3700, para pH 7,5; 2000 para pH entre 7,5 e 8,0; 1000 pH entre 8,0 e 8,5; 500 para pH maior que 8,5	5600 para pH entre 7,5 e 8,0; 2200 para pH entre 8,0 e 8,5; 1000 para pH maior que 8,5	5600 para pH entre 7,5 e 8,0; 2200 para pH entre 8,0 e 8,5; 1000 para pH maior que 8,5
Fósforo (µg L^{-1})	≤ 100	≤ 100	≤ 150	150>

Legenda: OD = Oxigênio Dissolvido; CT = Coliformes Termotolerantes; STD = Sólidos Totais Dissolvidos. Turb= Turbidez. *= limite de 4000 (NMP 100 mL^{-1}) para letras "a", "b" e "c"; 2500 para letra "d"; e de 1000 para letra "e" do art.4, item IV, DNC nº 8/2022 – COPAM-CERH/MG).
Fonte: COPAM-CERH/MG nº 8 (Minas Gerais, 2022).
Organização: Autor.

Os 9 parâmetros descritos na tabela 1 foram estabelecidos e destacados da Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 8 (Minas Gerais, 2022) obedecendo fielmente os mesmos contidos na Resolução nº 357 do CONAMA (Brasil, 2005).

3.3. Monitoramento da qualidade da água de sistemas lóticos

O crescimento urbano próximo a áreas de rios sem o devido planejamento ambiental pode causar diversos problemas como descarte inadequado de resíduos e efluente, eutrofização, erosão e assoreamento, fazendo com que o monitoramento desses cursos d'água seja necessário para identificar os impactos antropogênicos (Andrade; Freitas; Eleutério, 2020).

Os níveis de oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes e os nutrientes estão entre os principais indicadores de contaminação antrópica, podendo ser analisados individualmente ou em conjunto. Níveis altos de oxigênio dissolvido podem indicar a presença de cianobactérias e níveis baixos a decomposição de matéria orgânica. Já a presença de coliformes termotolerantes mostra a presença de fezes de animais homeotérmicos. Altos níveis de

nutrientes podem indicar descarte direto e inadequado de efluentes sanitários no recurso hídrico (ANA, 2017).

Mesmo não estando relacionados nas normativas da CONAMA 357 (Brasil, 2005) e COPAM-CERH/MG nº 8 (Minas Gerais, 2022), a temperatura, a condutividade elétrica e o potencial de oxi-redução são parâmetros importantes para se determinar a qualidade da água pois podem interferir na viscosidade, variedade de organismo aquáticos, meios e modos utilização e custos de tratamento, além de influenciar nas demais variáveis (ANA, 2017; Lucas; Folegatti; Duarte, 2010; Hypolito; Ferrer; Nascimento, 2005).

Toledo e Nicolella (2002) explicam que além da utilização de indicadores que avaliam as diferentes características, sejam de origem natural ou antrópica, é necessário levar em consideração que "cada sistema lótico possui características próprias, o que torna difícil estabelecer uma única variável como um indicador padrão para qualquer sistema hídrico", pois:

> As interações entre as diversas variáveis mensuradas numa amostra de água constituem no ponto de partida para avaliação da qualidade da água, desde que estas interações sejam obtidas de uma distribuição amostral no espaço e no tempo das variáveis do sistema a ser estudado (Harmancioglu *et al.*, 1998, apud Toledo; Nicolella, 2002, p. 181).

Para Pereira *et al.* (2021, p. 577):

> Em centros urbanos, o aporte de poluentes nos rios é frequentemente constituído das cargas pontuais, cujas origem, constituição e quantidade são conhecidas ou podem ser estimadas, e das chamadas cargas de origem difusa, ou simplesmente poluição difusa, compostas do material lavado pelo escoamento superficial durante as chuvas que chegará aos corpos hídricos.

O aporte desses materiais muda consideravelmente as características dos rios, que passam a conter na sua composição elementos que alteram sua qualidade, e consequentemente a viabilidade de sua utilização para o saneamento humano bem como a eficiência dos serviços naturais ao qual se destinaria, podendo ser mensurados por meio de estudos que consideram um agrupamento de variáveis (Pereira *et al.*, 2021).

Índices de Qualidade de Água (IQA), consideram variáveis que podem ser analisadas individualmente ou em grupo, dependendo do tipo de análise que se espera obter em determinadas classificações de recursos hídricos. Para a Agência Nacional de Águas – ANA, as principais variáveis utilizadas são: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica (ANA, 2023). O IQA não apenas agrupa as variáveis físicas, químicas e biológicas citadas, mas também atribui a cada uma delas um peso, que após a análise das variáveis como

um todo constitui um índice confiável e muito importante para determinar as condições de determinado recurso hídrico bem como a forma como deve proceder o estudo e monitoramento deste (Buzelli; Cunha-Santino, 2013).

Outro instrumento que pode ser utilizado de forma complementar para monitoramento da qualidade da água em sistemas lóticos é o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), que tem, segundo Bizzo, Menezes e Andrade (2014, p.6), o "objetivo de auxiliar o monitoramento ambiental de sistemas hídricos, levantando informações qualitativas através de um sistema de pontuações" para que "seja realizado o diagnóstico ambiental do meio que se encontra o rio". Esse protocolo que foi inicialmente descrito por Calisto *et al.* (2002) leva em consideração diversas condições e características ecológicas do corpo d'água e de seu entorno como: transparência, odores, presença ou não de substâncias na água, além de características de ocupação e situação de vegetação do entorno. O PAR possui 22 parâmetros divididos em 2 tabelas, onde a primeira tabela possui 10 itens que buscam "avaliar as características de trechos de drenagem e nível de impacto ambiental decorrente de atividades antrópicas, dando maior ênfase à qualidade da água e do substrato, atribuindo menor peso a erosão e a cobertura vegetal" (Bizzo; Menezes; Andrade, 2014, p.6) com o objetivo de adequar o PAR "de regiões temperadas a características dos biomas brasileiros" (Vargas; Ferreira-Júnior, 2012, p.162).

Já a segunda tabela, possui 12 itens que:

> Avaliam a complexidade do habitat e o seu nível de conservação, atribuindo maior importância às características do fluxo d'água e o tipo de substrato para o estabelecimento de comunidades aquáticas, e menor pontuação à estabilidade das margens e à presença da mata ciliar e plantas aquáticas (Bizzo; Menezes; Andrade, 2014, p. 6 *apud* Vargas; Ferreira-Júnior, 2012, p. 163).

A pontuação pode variar de 0 a 100, onde "de 0 a 40 representa áreas consideradas impactadas, 41 a 60 áreas alteradas, e de 61 a 100 áreas naturais" (Bizzo; Menezes; Andrade, 2014, p. 6).

Os índices de qualidade de água (IQA) e protocolos de avaliação rápida (PAR) são mecanismos que podem auxiliar o poder público a organizar um dos principais instrumentos do Estatuto das Cidades (Brasil, 2001), o plano diretor, que visa "garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infra-estrutura urbana" que incluem os recursos hídricos, ao se referirem ao saneamento quanto ao transporte quando tratando-se de hidrovias, pois o mesmo deve "englobar o território do

município como um todo" (Brasil, 2001).

Também norteia a "integração e complementaridade entre as atividades urbanas e rurais, tendo em vista o desenvolvimento socioeconômico do Município e do território sob sua área de influência" (Brasil, 2001), uma vez que os rios urbanos muitas vezes nascem em áreas rurais, e as condições que os mesmos ultrapassam os limites rural/urbanos, devem respeitar os mesmos princípios.

Todas as pesquisas, legislações, mecanismos e índices voltados para a qualidade da água tem como objetivo manter os recursos hídricos em condições de uso, humano ou não, evitando a degradação e indisponibilidade deste item indispensável para vida.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo e pontos de coleta

A presente pesquisa foi conduzida no Córrego Vertente Grande pertencente ao município de Frutal-MG, localizado em altitude média de 531 m (Figura 1), nas coordenadas geográficas 20º1'11" S e 48º55'10" O. O clima da região é definido como Aw segundo a classificação Köppen-Geiger, tropical sazonal com inverno seco e verão chuvoso (Alvares *et al.*, 2013), apresentando temperatura e precipitação média anual de 23,8ºC e 1626,9 mm, respectivamente (Ferreira, 2002), inserido dentro do domínio morfoclimático do Cerrado (Ab'Saber, 1977).

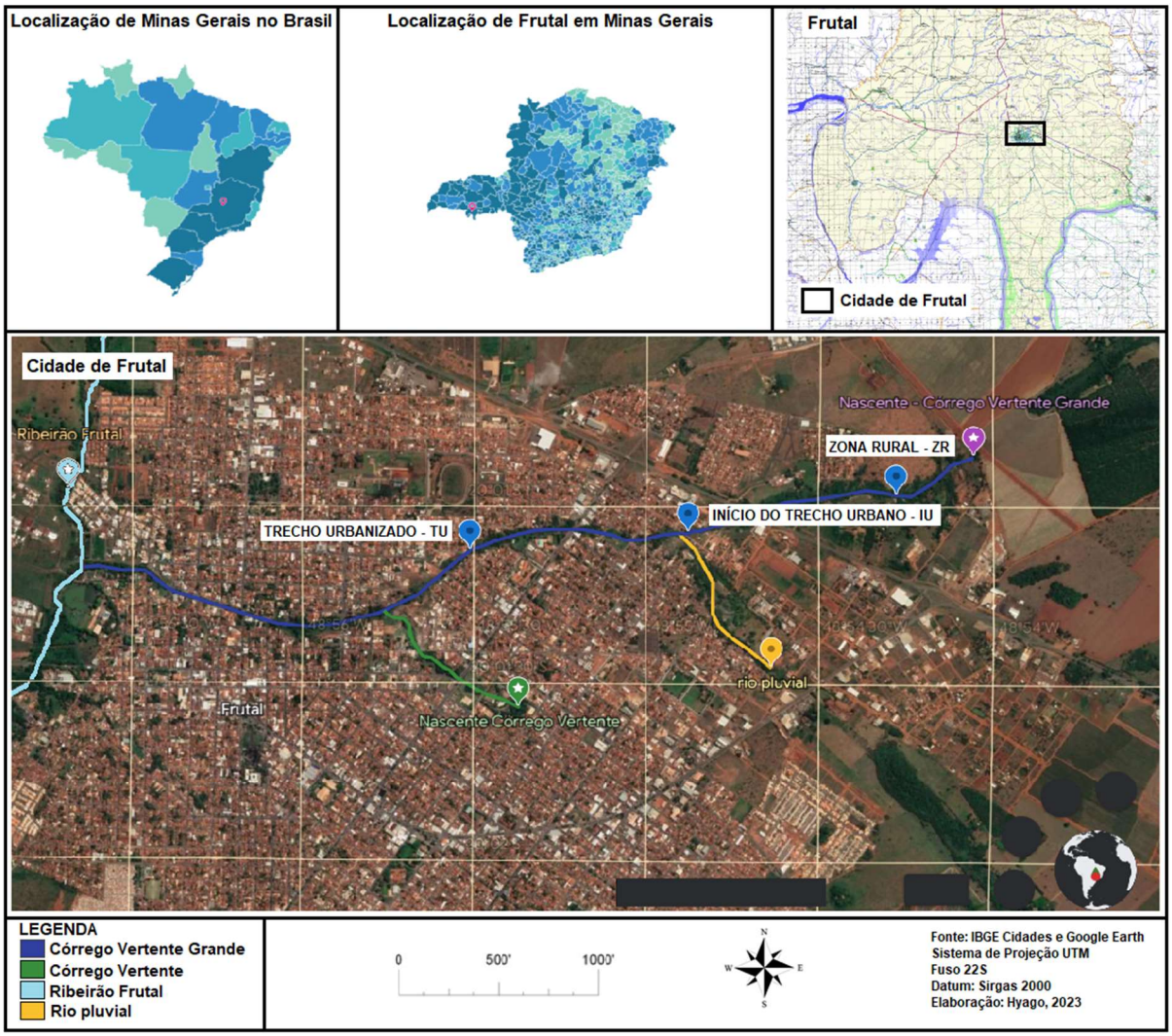

Figura 1 – Localização da área de estudo com identificação dos pontos de coleta, onde: ZR = zona rural, IU = início do trecho urbano; TU = trecho urbanizado.

A área objeto de estudo compreende uma parte do curso do Córrego Vertente Grande que se inicia a nordeste do perímetro urbano, em uma área já antropizada, mas não urbanizada, onde se desloca sentido sudoeste, adentrando o perímetro urbano em áreas com bairros residenciais como Caju e Vila Esperança e plantas industriais, até a divisa dos bairros Novo Horizonte, Jardim das Laranjeiras e Alto Boa Vista, próximo da confluência do córrego Vertente com o Vertente Grande (Figura 1), percorrendo da nascente até a foz com o Ribeirão Frutal, aproximadamente 4960 metros, sendo 1200 metros em zona rural e 3760 metros dentro da zona urbana da cidade de Frutal. Sendo assim, foram definidos três pontos de coleta: ZR = zona rural, IU = início do trecho urbano e TU = trecho urbanizado.

O ponto ZR está localizado na zona rural, coordenadas 20°00’57” S, 48°54’17” W, a 555 m de altitude (Figura 1 e 2). Posiciona-se a 450 m da primeira nascente contínua, dentro da Área de Preservação Permanente de uma propriedade particular de pequeno porte, constituída por pastagens e plantação de seringueiras, cuja principal atividade econômica é a criação de gado de corte. O curso de água encontra-se protegido por uma faixa de mata ciliar, que varia de 15 a 30 m, tendo a lâmina d’água uma aparência transparente sem a presença de odor (Figura 2). Alguns metros abaixo deste ponto existe uma roda d’água que utiliza a energia cinética do próprio curso d’água para levar uma pequena quantidade vertente acima até um reservatório utilizado para dessedentação animal (Figura 3).

O ponto de coleta no início do trecho urbano, IU (Figuras 1 e 4), localiza-se no início do perímetro urbano, no cruzamento das Ruas Sebastião Batista de Queiroz (Bairro Caju) e Rua Luiz Vieira de Queiroz (Bairro Santa Luzia), coordenadas 20°01’04” S, 48°54’52” W, a 531 m de altitude. Cerca de 100 metros abaixo do cruzamento do Córrego Vertente Grande com a Rodovia Federal BR-364, e a 1515 m da primeira nascente regular, em um local já com algumas construções residenciais, industriais e áreas públicas, não possuindo nenhuma infraestrutura aparente de coleta de águas pluviais. Diferentemente do ponto de coleta ZR, o ponto IU apresenta no leito do rio e seu entorno presença de resíduos residenciais, de construção civil, com depósitos de sedimentos e processos erosivos ativos (Figura 5). Á água possui uma cor esbranquiçada e com vestígios oleosos e odor de esgoto (Figura 4).

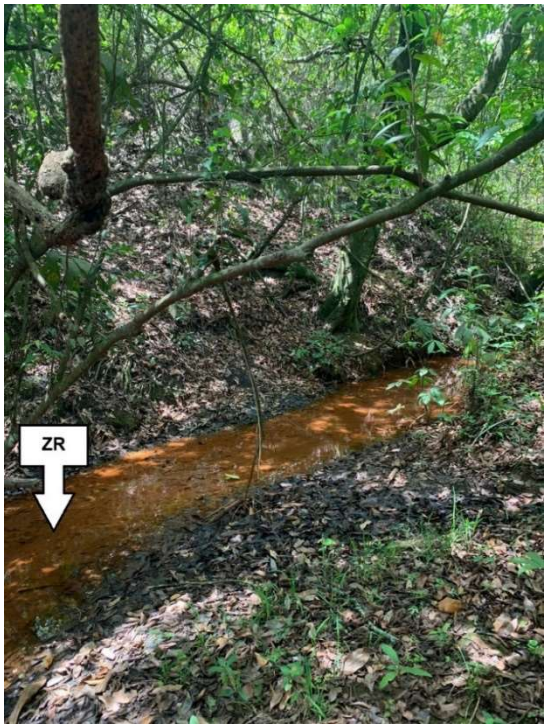

Figura 2 – Ponto de Coleta Zona Rural - ZR.
Fonte: autor; Data: 20/10/2022

Figura 3 – Roda d'água localizada na propriedade no curso de água da propriedade, a jusante do ponto Zona rural - ZR.
Fonte: autor; Data: 20/10/2022.

Figura 4 – Ponto de coleta Início do trecho urbano - IU.
Fonte: autor; Data: 20/10/2022.

Figura 5 – Entrada do ponto Início do trecho urbano - IU.
Fonte: autor; Data: 20/10/2022.

Logo após o ponto de coleta IU, o Córrego Vertente Grande encontra um rio pluvial que tem origem a sudeste, a aproximadamente 1 km (Figura 1).

Já o ponto de coleta trecho urbanizado - TU, localiza-se próximo a área central do núcleo urbano da Cidade de Frutal, no cruzamento do curso d'água com a Rua Orides de Paula Sales (Bairro Novo Horizonte), coordenadas 20°01'07" S, 48°55'30" W, a 515 m de altitude (Figuras 1 e 6). Após percorrer 2615 m da primeira nascente regular, em uma área já densamente urbanizada, à aproximadamente 500 m da confluência com o Córrego Vertente, seu único afluente, e com uma infraestrutura de coleta de esgoto e de águas pluviais, ainda recebe resíduos e efluentes de forma irregular (Figura 6).

O entorno do curso d'água apresenta diversos tipos de resíduos como galhadas, entulhos, construção civil, eletrônicos, residenciais, industriais e ainda animais mortos. Muitos desses resíduos já se encontram em fase de decomposição, conforme Figura 7.

Figura 6 –Ponto de Coleta Trecho urbanizado - TU.
Fonte: autor; Data: 20/10/2022.

Figura 7 – Resíduos encontrados no ponto de coleta Trecho urbanizado - TU.
Fonte: autor; Data: 20/10/2022.

4.2. Período de coleta

As coletas de água ocorreram com amostragens mensais durante um período de 6 meses, entre outubro/2022 e março/2023 (período chuvoso), sempre em dias úteis, no início da manhã (entre as 6:30h e 7:30h), sem precipitação nas 24 horas anteriores.

4.3. Variáveis limnológicas e procedimentos analíticos

As variáveis temperatura (Temp - ºC), pH, turbidez (Turb - NTU), condutividade elétrica (Cond - µS cm^{-1}), oxigênio dissolvido (OD – mg L^{-1}), sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) e potencial de redução/oxidação (POR - mV), foram mensuradas com sonda multiparâmetros HORIBA U-50, *in loco* (Figura 8).

Figura 8 – *Coleta dos dados físicos in loco usando a sonda Horiba U-50.*
Fonte: autor; Data: 20/10/2022.

A amostragem de água para determinação de nutrientes ocorreu em frascos de polietileno previamente limpos com água destilada e sabão, com capacidade de armazenamento de 500 mL. Fósforo total (PT), nitrato (NO_3), nitrito (NO_2) e nitrogênio amoniacal total (NAT) foram determinados espectrofotometricamente de acordo com Golteman; Clymo; Ohnstad (1978) e Koroleff (1976) (Figuras 9 e 10).

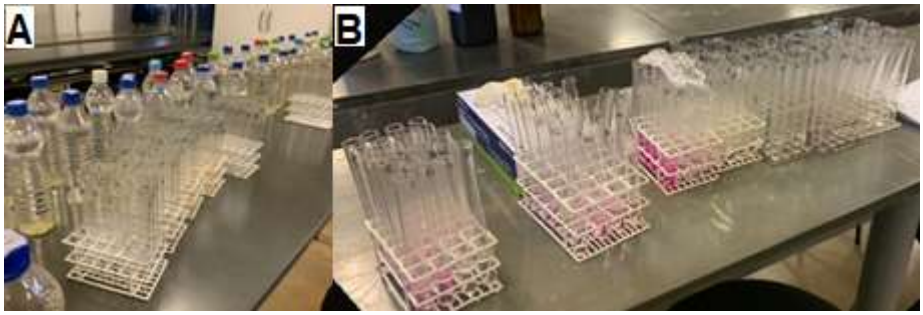

Figura 9 – A - Preparação das amostras; B - amostras com reagentes calorimétricos.
Fonte: autor.

Figura 10 – Análise de nutrientes por espectrofotometria.
Fonte: autor.

Frascos de vidro previamente esterilizados foram utilizados para amostragem de água para determinação dos coliformes termotolerantes, cuja quantificação acorreu via técnica dos tubos múltiplos, onde diluições decimais das amostras foram inoculadas em 5 tubos de ensaio contendo meio de cultura A1, que foram incubados por 3 horas em estufa a 35ºC e posteriormente em banho maria a 44,5ºC por 21 horas (Figura 11). Os resultados foram quantificados por meio da leitura dos tubos positivos na tabela de NMP 100 ml^{-1} (APHA, 2017).

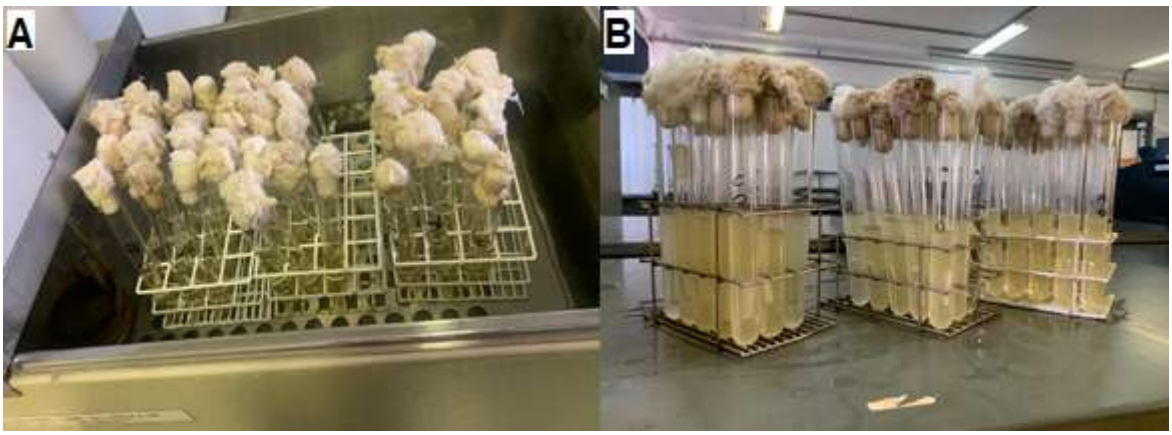

Figura 11 – A - incubação de amostras no método de tubos múltiplos; B - leitura do resultado.
Fonte: autor.

4.4. Análise estatística dos dados

A análise estatística descritiva dos dados limnológicos foi realizada por meio de gráficos de 5 pontos (*boxplot*), envolvendo média, erro da média e desvio padrão. Os testes de Lilliefors e Bartlett e análise de resíduos foram utilizados para verificação da normalidade e homogeneidade das variâncias, ao nível de significância p=0,05 dos dados. Para o teste de normalidade positivo, foi aplicado uma análise de variância, onde os valores encontrados foram considerados estatisticamente diferentes ($p<0,05$), foi aplicado o teste de Tukey, para verificar onde a diferença se encontra. Com a não ocorrência de normalidade dos dados, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskall-Wallis e, com resultados considerados estatisticamente diferentes ($p<0,05$), foi aplicado um teste de comparação múltipla (SIEGEL, 1975).

Os dados limnológicos foram submetidos a uma análise de componentes principais (ACP), a fim de identificar os principais componentes e fontes de contaminação que afetam o Córrego Vertente Grande. Os dados serão padronizados para homogeneizar as variâncias (Legendre; Legendre, 1998). Todas as análises serão realizadas no Programa Statistica 8 (Statsoft, 2007).

Os valores das variáveis foram confrontados com os valores estabelecidos para águas doces de classe 2 da CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

4.5. Aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR)

O Protocolo de Avaliação Rápida para rios (Callisto *et al.*, 2002) foi aplicado nos três pontos de coleta. Esse protocolo permite classificar os rios em: impactados (0 a 40 pontos), alterados (41 a 60 pontos) ou naturais (61 a 100 pontos), utilizando o formulário constante do anexo I.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura da água variou entre 22,31°C e 24,64°C, durante os seis meses de coleta e em todas as dezoito amostragens (Figura 12), tendo as médias de 23,6°C, 23,4°C e 24,1°C nos pontos ZR, IU e TU, respectivamente, não apresentando diferença estatística significativa entre os pontos (ANOVA; $p>0,05$). A temperatura média atmosférica anual da cidade de Frutal é de 23,8°C, o que indica que ações antrópicas como uso da terra e ocupação, descargas de efluentes e resíduos não estão exercendo influência na variação na temperatura do Córrego Vertente Grande.

O pH variou de 3,4 (nov-2022) a 7,1 (jan-2023) no ponto ZR, de 3,6 (nov-2022) a 6,8 (jan-2023) no ponto IU e de 3,9 (nov-2022) a 7,1 (mar-2023) no ponto TU. Os valores médios foram 6,1, 5,9 e 6,1, respectivamente, ficando apenas o ponto IU com média geral ligeiramente abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) COPAM-CERH/MG (Minas Gerais, 2022) que deve permanecer entre 6 e 9 (Figura 12), não apresentando diferença estatística significativa entre os pontos (Kruskal Wallys; $p>0,05$). Os valores médios foram diretamente influenciados pelas aferições do mês de novembro de 2022, que apresentou valores de pH muito baixos, ou seja, níveis altos de acidez. Segundo Esteves (2011) diversos fatores podem afetar diretamente o pH, como por exemplo a produção de CO_2 por microrganismos autotróficos, que pode resultar em uma variação considerável do pH em um curto espaço de tempo, assim como influenciar diretamente em outras variáveis como oxigênio dissolvido (OD) e o potencial de oxi-redução (POR).

O Oxigênio Dissolvido (OD) variou de 3,49 mg L^{-1} (TU-nov/2022) a 10,55 mg L^{-1} (ZR-dez/2022), com diferença estatisticamente significativa entre os pontos IU e TU. O ponto ZR apresentou uma variação de 5,39 a 10,55 mg L^{-1} (96%), com média de 7,26 mg L^{-1}, o ponto IU presentou variação de 6,57 a 10,01 mg L^{-1} (52%) com média de 7,74 mg L^{-1}, e o ponto TU apresentou variação de 3,49 a 6,7 mg L^{-1} (92%), com média de 5,28 mg $L^{-1,}$ apresentando diferença estatística significativa (ANOVA + Tukey; $p<0,05$). Apesar de apresentar menor variação nas concentrações de oxigênio dissolvido, o ponto IU mostra aferições fora dos padrões estabelecidos pelos órgãos reguladores, entre 5 e 6 mg L^{-1} para águas doces de Classe II (Figura 12), assim como o ponto ZR, que apresentou duas aferições (5,95 - fev/2023 e 5,39 - mar/2023) dentro do preconizado pela CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). O ponto TU, mesmo tendo apresentado a menor concentração de oxigênio dissolvido de todas as dezoito amostras (3,49 mg L^{-1}), ainda apresentou média geral entre 5 e 6 mg L^{-1}, dentro dos parâmetros

estabelecidos para a Classe II da CONAMA 357/2005 (Figura 12). Esteves (2011) explica que os dois principais fatores que influenciam nas concentrações de oxigênio dissolvido são o oxigênio atmosférico e atividade fotossintetizante, no entanto, as aferições foram realizadas no período do início da manhã, com pouca incidência de luz solar disponível para fotossíntese e a temperatura média variando entre 5 e 10% nos três pontos, que não influenciaria na sua solubilidade. Guerreiro *et al.* (2020) explicam que, em rios urbanos, a variação do volume nos períodos de seca e chuva influenciam a turbidez e a degradação biológica da matéria orgânica, alterando a concentração de oxigênio dissolvido.

Já o Potencial de Oxi-redução (POR) apresentou variação de -19 mV (ZR-mar/2023) a 298 mV (TU-nov/2022), porém não apresentou diferença estatística significativa entre os pontos amostrais (Kruskal Wallys – $p<0,05$). O ponto ZR obteve leitura de valores entre -19 e 209 mV com média de 79,67; o ponto IU variou entre 78 e 253 mV com média de 144,5; e o ponto TU variou entre 78 e 298 mV com média 154,3 (Figura 12). Apesar de o POR não estar previsto na legislação de enquadramento de corpos hídricos, essa variável é muito observada em trabalhos e estudos sobre corpos hídricos, pois seus níveis interferem diretamente na biodegradação de matéria orgânica e enzimas utilizadas por diferentes organismos aquáticos (MATIAS *et al.*, 2021), afetando os demais indicadores como oxigênio dissolvido, pH, e níveis de nutrientes.

Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Condutividade Elétrica (Cond) e Turbidez (Turb) são indicadores de qualidade que possuem uma estreita relação, pois a turbidez indica o quanto de luz é retida por elementos em suspensão (ANA, 2023), que podem por sua vez estar dissolvidos, o que pode consequentemente aumentar a condutividade elétrica do corpo d'água que refletem nos valores dos Sólidos Totais Dissolvidos (Paula-Filho *et al.*, 2020) conforme Tabela 2.

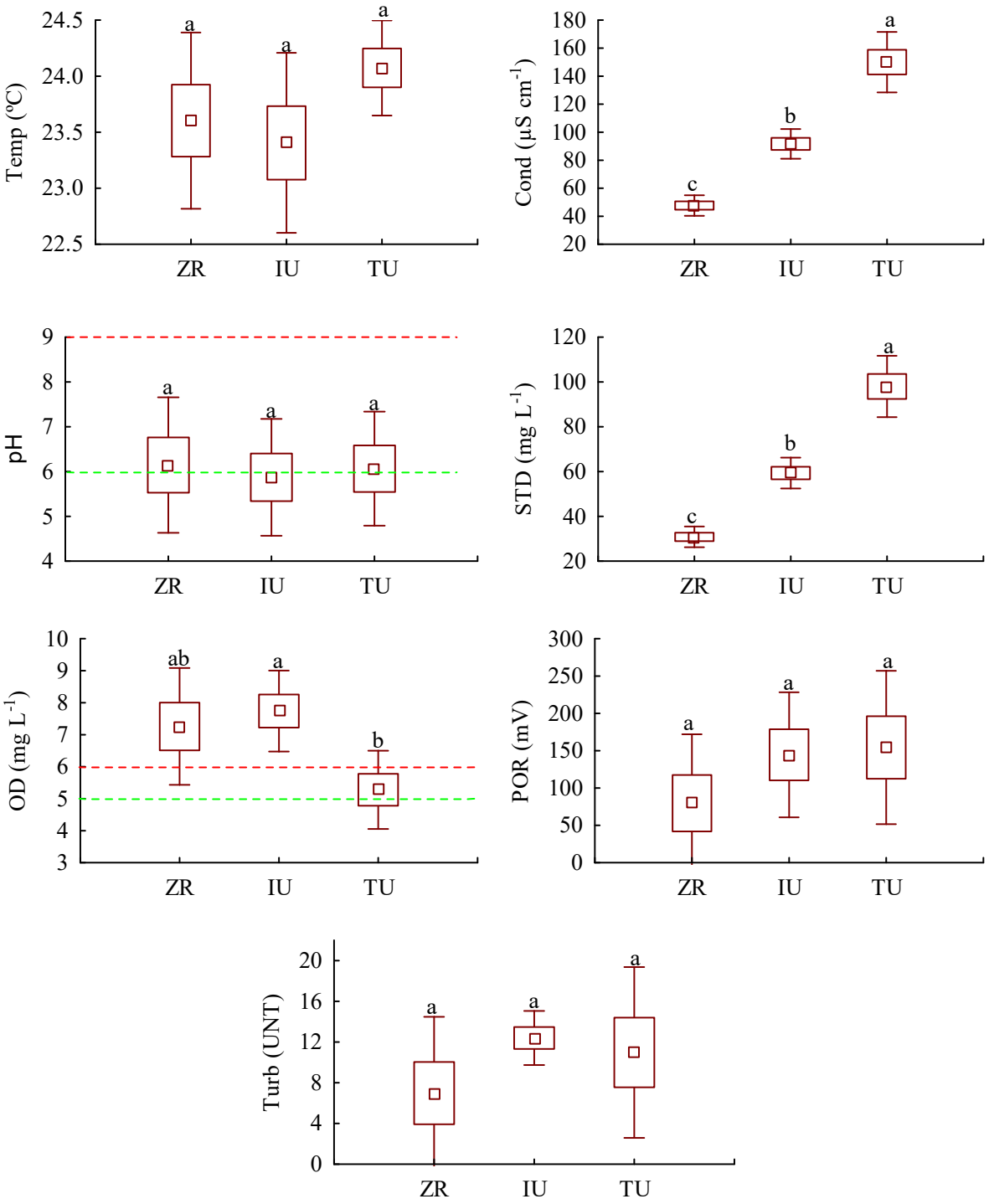

Figura 12 – Gráfico boxplot das variáveis físico-químicas Córrego Vertente Grande, Frutal, MG, onde: Temp = temperatura, pH, Cond = condutividade elétrica, STD = sólidos totais dissolvidos (STD), OD = oxigênio dissolvido, POR = potencial de oxi-redução, Turb = Turbidez, quadrados = média; retângulos = erro da média; barras verticais = desvio padrão. Linha pontilhada verde representa o limite inferior para pH (todas as classes) e Oxigênio Dissolvido (OD) (Classe II) de águas doces. Linha pontilhada vermelha representa o limite superior para pH (todas as classes) e Oxigênio Dissolvido (OD) (Classe II) de águas doces. Letras

iguais indicam que os valores estão estatisticamente iguais e letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de significância de 0,05.

Analisando o Tabela 2 e a Figura 12 (STD, Turb. e Cond), observou-se aumento dos valores de duas variáveis (STD e Cond) partindo do ponto ZR (mais próximo a nascente) em sentido ao ponto TU (ponto mais distante da nascente) passando pelo ponto IU (ponto intermediário), com exceção da Turbidez no ponto TU, que ficou 8,8% menor que no ponto IU, o que consequentemente, não interferiu na tendência de aumento conforme Figura 13. As variáveis STD e Cond apresentaram diferença estatística significativa entre os pontos (ANOVA + Tukey; $p<0,05$), e Turb não apresentou diferença estatística significativa entre os pontos (ANOVA; $p>0,05$) com menores valores no ponto ZR e maiores valores no ponto TU, corroborando o que foi analisado graficamente.

Tabela 2 – Valores médios de Sólidos Totais Dissolvidos, Condutividade Elétrica e Turbidez

PONTO	STD	Cond.	Turb.
ZR	30,8	47,7	7,0
IU	59,3	91,7	12,0
TU	98,0	150,0	11,0

Legenda: STD= Sólidos totais dissolvidos em mg L^{-1}; Cond= Condutividade Elétrica em µS cm^{-1}; Turb= Turbidez em UNT.

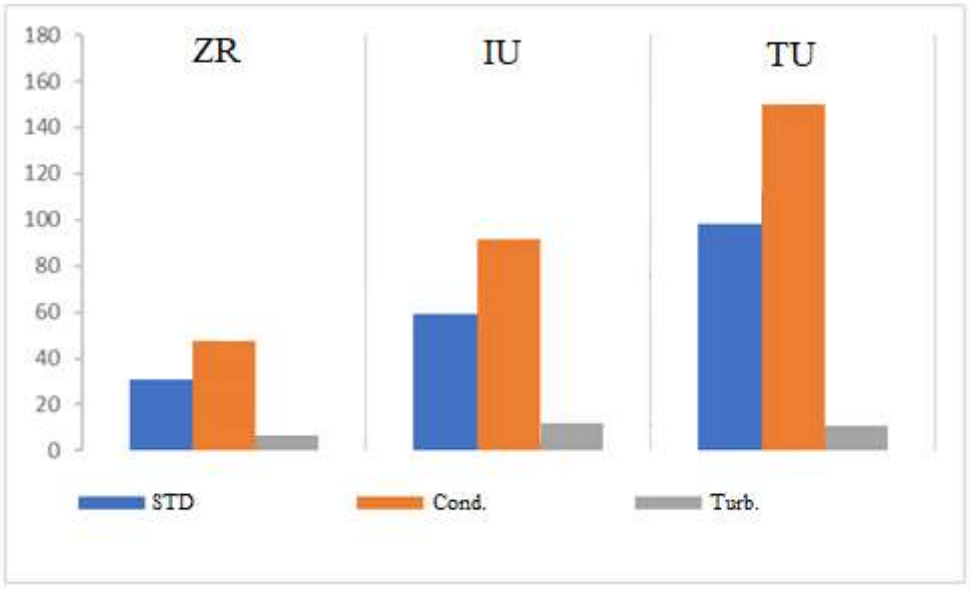

Figura 13 – Gráfico sólidos totais dissolvidos (STD - mg L^{-1}), Condutividade Elétrica (Cond. - µS cm^{-1}) e Turbidez (Turb. - UNT) nos pontos ZR, IU e TU.

Mesmo a Cond não estando prevista nos parâmetros legais já listados, verifica-se que esta variável pode ajudar a indicar as condições de outras variáveis como observado na Figura 18, e mesmo com a tendência de aumento dos níveis descritos na Figura 12 e 13, o STD e a Turb, no presente estudo, encontram se dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente, podendo ser enquadrados nas Classes I e II (Tabela 1), que são as mais exigentes.

Com relação aos nutrientes o nitrito (NO_2) não apresentou diferença estatística significativa entre os pontos (Kruskal-Wallys; $p>0,05$). Já Nitrato (NO_3) e Nitrogênio Amoniacal Total (NAT) (Kruskal-Wallys + Comparação Múltipla) e Fósforo Total (PT) (ANOVA + Tukey) apresentaram diferença estatística significativa ($p<0,05$), e tiveram suas concentrações confrontadas, observando-se aumento da concentração à medida que os pontos se afastam da nascente e atravessam a zona urbanizada (Figura 14).

O NO_2 apresentou uma variação de 0,3 μg L^{-1} (ZR-fev/2023) a 55,1 μg L^{-1} (ZR-out/2022). O ponto ZR teve uma variação de 0,3 μg L^{-1} a 55,1 μg L^{-1}, o ponto IU apresentou uma variação de 2,4 μg L^{-1} a 4,1 μg L^{-1} e o ponto TU variou de 0,4 μg L^{-1} a 20,7 μg L^{-1} (Figura 14).

O NO_3 apresentou uma variação de 2,1 μg L^{-1} (ZR-jan/2023) a 6542,2 μg L^{-1} (TU-fev/2023). O ponto ZR teve uma variação de 2,1 μg L^{-1} a 14,6 μg L^{-1}, o ponto IU apresentou uma variação de 690,2 μg L^{-1} a 2222,6 μg L^{-1} e o ponto TU variou de 460,2 μg L^{-1} a 6542,2 μg L^{-1} (Figura 14).

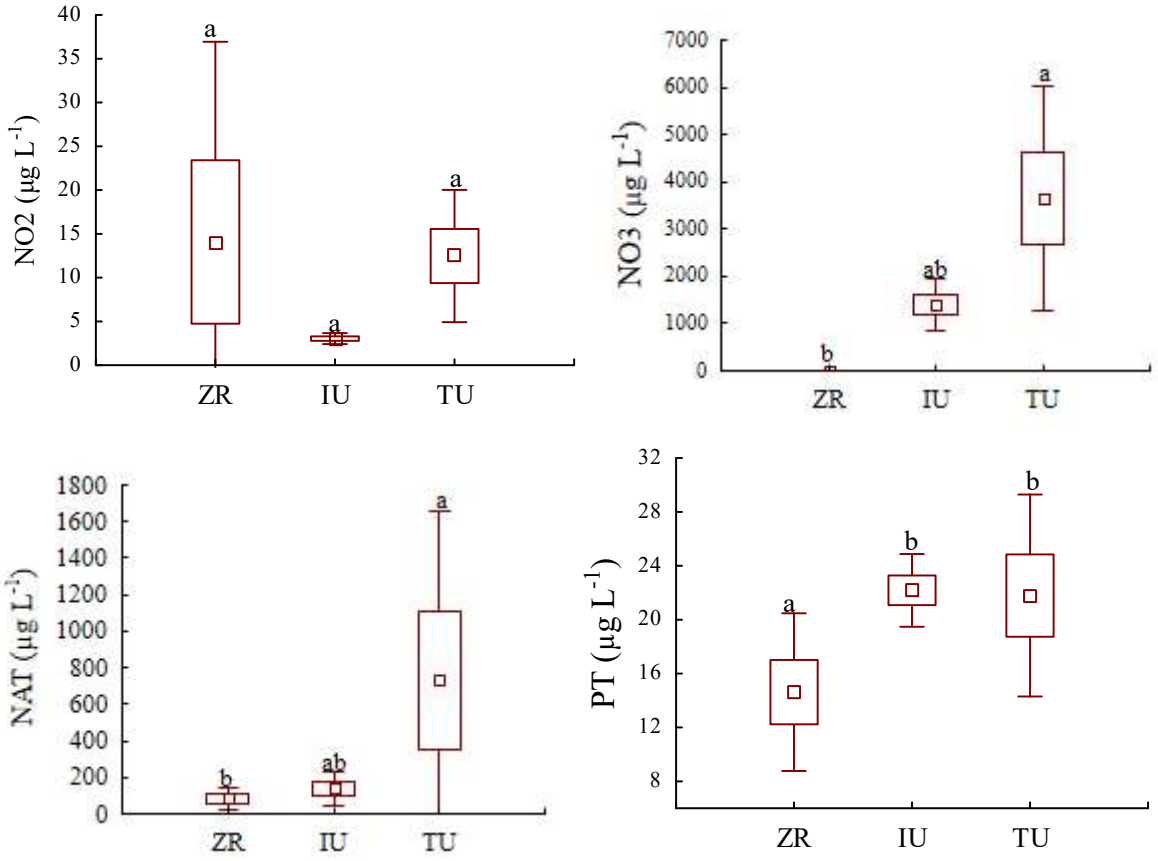

Figura 14 – Gráfico boxplot dos nutrientes do Córrego Vertente Grande, Frutal, MG onde: NO2 = nitrito; NO3 = nitrato; NAT = nitrogênio amoniacal total; PT = fósforo total; quadrados = média; retângulos = erro da média; barras verticais = desvio padrão. Letras iguais indicam que os valores estão estatisticamente iguais e letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de significância de 0,05.

O NAT apresentou uma variação de 65 µg L^{-1} (IU-dez/2022) a 3919,7 µg L^{-1} (TU-nov/2022). O ponto ZR teve uma variação de 77 µg L^{-1} a 310,3 µg L^{-1}, o ponto IU apresentou uma variação de 65 µg L^{-1} a 469,7 µg L^{-1}, e o ponto TU variou de 286,3 µg L^{-1} a 3919,7 µg L^{-1} (Figura 14).

Jesus *et al.* (2019) mostraram em estudo realizado com duas bacias hidrográficas urbanas da Ilha do Upaon Açu, do estado do Maranhão, onde o esgotamento sanitário tem sido uma das principais fontes de nutrientes em áreas densamente ocupadas, especialmente no período das chuvas, pois além das descargas diretas, o escoamento promovido pelas chuvas potencializa suas concentrações.

O PT apresentou uma variação de 8,8 µg L^{-1} (ZR-jan/2023) a 34,1 µg L^{-1} (TU-nov/2022). O ponto ZR teve uma variação de 8,8 µg L^{-1} a 24,7 µg L^{-1}, o ponto IU variou de

19,7 μg L^{-1} a 26,6 μg L^{-1} (35%), e o ponto TU apresentou variação de 13,1 μg L^{-1} a 34,1 μg L^{-1} (Figura 14).

Assim como os compostos nitrogenados, o fósforo pode ter origem natural, proveniente da decomposição da matéria orgânica, mas geralmente suas altas concentrações são provenientes de origem antrópica, seja pela existência de descargas diretas de efluentes sanitários e resíduos sólidos sendo acomodados inadequadamente, mas também do tratamento de efluentes realizado de maneira ineficiente ou inexistente (Fonseca; Tibiriça, 2021).

Estudo realizado no Rio São Domingos, no município de Catanduva, interior do estado de São Paulo, a menos de 200 quilômetros de Frutal-MG, indicou que no trecho urbanizado, ocorreu elevação dos nutrientes, sólidos totais dissolvidos, turbidez e baixa concentração de oxigênio dissolvido, diferente do ponto localizado antes do trecho urbano (Fonseca; Tibiriça, 2021).

Os nutrientes são importantes indicadores de qualidade de água, pois baixas concentrações podem indicar obstáculos para o desenvolvimento da vida aquática, ao passo que os altos níveis podem indicar a ciclagem de matéria orgânica de origem natural ou antrópica, que são associados a lançamentos diretos ou indiretos de efluentes com consequente eutrofização, e ainda a proliferação de cianobactérias, que produzem elementos que causam efeitos tóxicos agudos e ou crônicos, na comunidade aquática e nos sistemas endócrinos dos animais e seres humanos, perdendo sua utilidade para o consumo humano primário e secundário, assim como a balneabilidade, mesmo após passar por tratamento avançado (ANA, 2017; CONAMA, 2000; COPAM-CERH/MG, 2022; Esteves, 1998; Daltro-Filho *et al.*, 2014; 2011; Pereira *et al.*, 2021).

Nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e fósforo total apresentaram concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela legislação (Tabela 1) em todos os pontos em todas as amostras para águas doces de classe II.

A variável Coliformes Termotolerantes (CT) apresentou diferença estatística significativa entre os pontos (Kruskal-Wallis + comparação múltipla; $p<0,05$), com menores valores no ZR e maiores no IR, aumentando conforme o rio flui pelo trecho urbanizado. Este parâmetro variou entre 20 e 700 NMP 100 mL^{-1} no ponto ZR, entre 330 e 16000 NMP 100 mL^{-1} no ponto IU e entre 9200 e 16000 NMP 100 mL^{-1} no ponto TU. O ponto ZR apresentou média de 271 NMP 100 mL^{-1}, podendo ser enquadrado tanto na Classe I pela CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) se considerarmos as 4 menores aferições isoladamente (out/2022 = 120,

nov/2022 = 68, jan/2023 = 20 e mar/2023= 20 NMP 100 mL^{-1}, respectivamente), quanto na Classe II se considerarmos a sua média (Figura 15). No entanto os pontos IU e TU apresentaram índices muito elevados, acima de 4000 NMP 100 mL^{-1}, ficando encaixados nos corpos d'água doce de Classe IV, que podem ser utilizados apenas para "paisagismo, navegação e usos menos exigentes" (COPAM-CERH/MG, 2022).

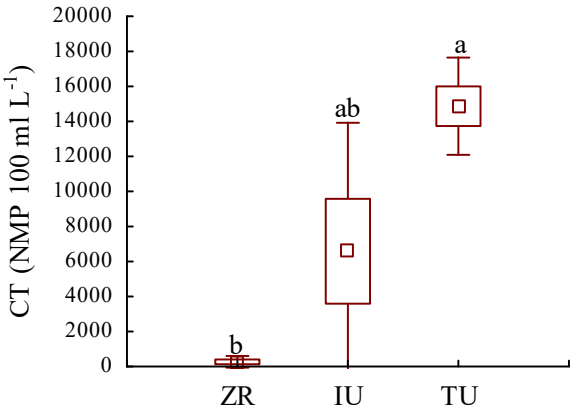

Figura 15 – Gráfico boxplot da variável coliformes termotolerantes (CT) do Córrego Vertente Grande, Frutal, MG onde: quadrados = média; retângulos = erro da média; barras verticais = desvio padrão. Linha pontilhada vermelha representa o limite para coliformes termotolerantes de águas doces classe I e inferior para classe II no CONAMA 357/2005. Linha pontilhada vermelha representa o limite superior para coliformes termotolerantes de águas doces de classe II no CONAMA 357/2005. Letras iguais indicam que os valores estão estatisticamente iguais e letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de significância de 0,05.

Os dados apontam contaminação do sistema hídrico por esgoto sanitário no Córrego Vertente Grande a partir do início do trecho urbano, que pode estar relacionado a lançamentos diretos de efluentes sem tratamento prévio. Esses lançamentos ocorrem em áreas urbanas carentes, tanto economicamente quanto de infraestrutura adequada de coleta de esgoto doméstico, pois Frutal possui 12,3% de seu esgotamento sanitário descartado de forma incorreta (IBGE, 2010). Coliformes Termotolerantes são bactérias que "ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente" (ANA, 2023), que mesmo não causando doenças em seres humanos podem indicar a presença de outros organismos que causam patogenias humanas como infecções, e contaminar a flora e a fauna, que são utilizadas ou não na dieta humana como os peixes (Aragão; Trajano, 2022).

A fim de estabelecer uma interpretação multivariada do cenário limnológicos do córrego Vertente Grande, realizou-se uma análise de componentes principais. O primeiro plano fatorial

da análise de componentes principais resumiu 63,90% da variabilidade original dos dados. O primeiro componente principal (CP1) explicou 34,88% e o segundo explicou 29,02% da variabilidade original dos dados. O ponto ZR associou-se à variável OD, posicionando-se do lado positivo do CP1. Contrastando a essa situação, o ponto TU posicionou-se do lado negativo do CP1 e associou-se às variáveis PT, NAT, NO3, Cond, Turb, STD e CT (Figura 16).

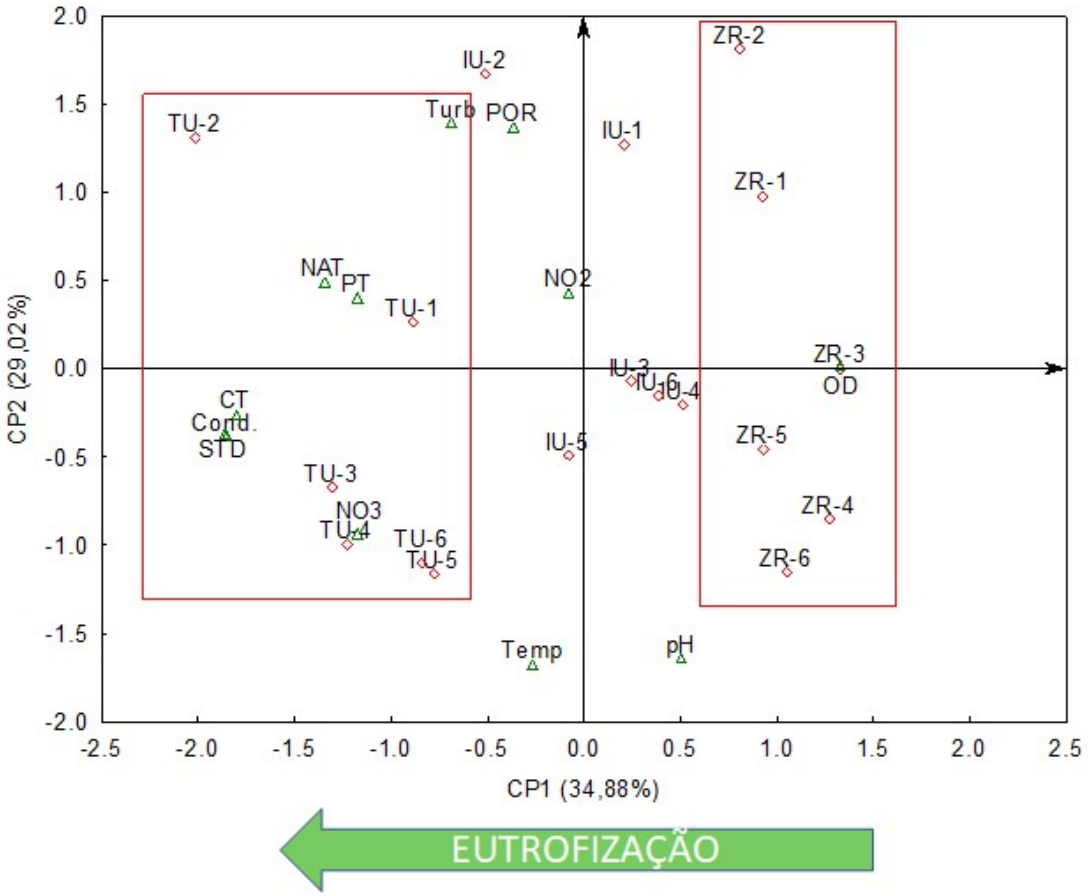

Figura 16 – Gráfico biplot da análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis limnológicas e pontos de coleta do córrego Vertente Grande, Frutal, MG. Triângulos verdes representam os parâmetros físico-químicos: OD = oxigênio dissolvido (mg L^{-1}); Temp = Temperatura (ºC); Cond = Condutividade Elétrica (µS cm^{-1}); STD = Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); POR = Potencial de Oxi-Redução (mV); Turb = Turbidez (NTU); CT = Coliformes Termotolerantes (NPM 100 mL^{-1}). Losangos vermelhos = pontos de coleta (ZR = zona rural; IU = início do trecho urbano; TU = trecho urbanizado). A seta verde abaixo do gráfico sinaliza o aumento do grau de trofia do sistema.

A figura 16 mostra que conforme o Córrego Vertente Grande flui de seu ponto mais próximo a nascente, ponto ZR, em direção a sua foz passando pelo ponto IU até chegar ao ponto TU, há um aumento do grau de trofia do sistema, com diminuição do oxigênio dissolvido e

aumento dos nutrientes, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais dissolvidos e coliformes termotolerantes.

Um estudo realizado na cidade de Sobral, estado do Ceará, entre 2015 e 2016, e outro realizado na capital do estado do Pará, a cidade de Belém, entre 2018 e 2019, indicam que a eutrofização aumenta à medida em que rios urbanos percorrem o seu caminho, devido as fontes de nutrientes antrópicas (principalmente fósforo) como as provenientes de esgoto sanitário (Gomes; Paula, 2019; Varela *et al*., 2020). O mesmo ocorre no Córrego Vertente Grande, onde nitrato, nitrogênio amoniacal total e fósforo total ficaram associados ao ponto de coleta TU, ou seja, ao trecho mais urbanizado e antropizado.

A aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida proposto por Callisto *et al.* (2002) mostrou que os pontos de ZR, IU e TU possuem características distintas. Todos os pontos de coleta apresentam diferentes graus de antropização e degradação. Analisando a paisagem dos três pontos de coleta, foi atribuída uma pontuação para cada parâmetros que compõem o Protocolo de Avaliação Rápida para Rios (PAR), onde pontos de coleta ZR, IU e TU receberam as notas e foram classificados conforme Tabela 3.

O ponto ZR, localizado fora do perímetro urbano, foi único ponto que recebeu a classificação natural. O ponto está próximo da nascente e afastado de indústrias e bairros residenciais, estando sujeito apenas a resíduos agrosilvopastoris. Já os pontos localizados no perímetro urbano (IU e TU) foram classificados como impactados, evidenciando que a urbanização impactou significativamente na qualidade tanto da água, quando do meio ambiente do seu entorno, não estando nenhum deles classificação intermediária, ou seja, alterado (Tabela 3 e Figura 17).

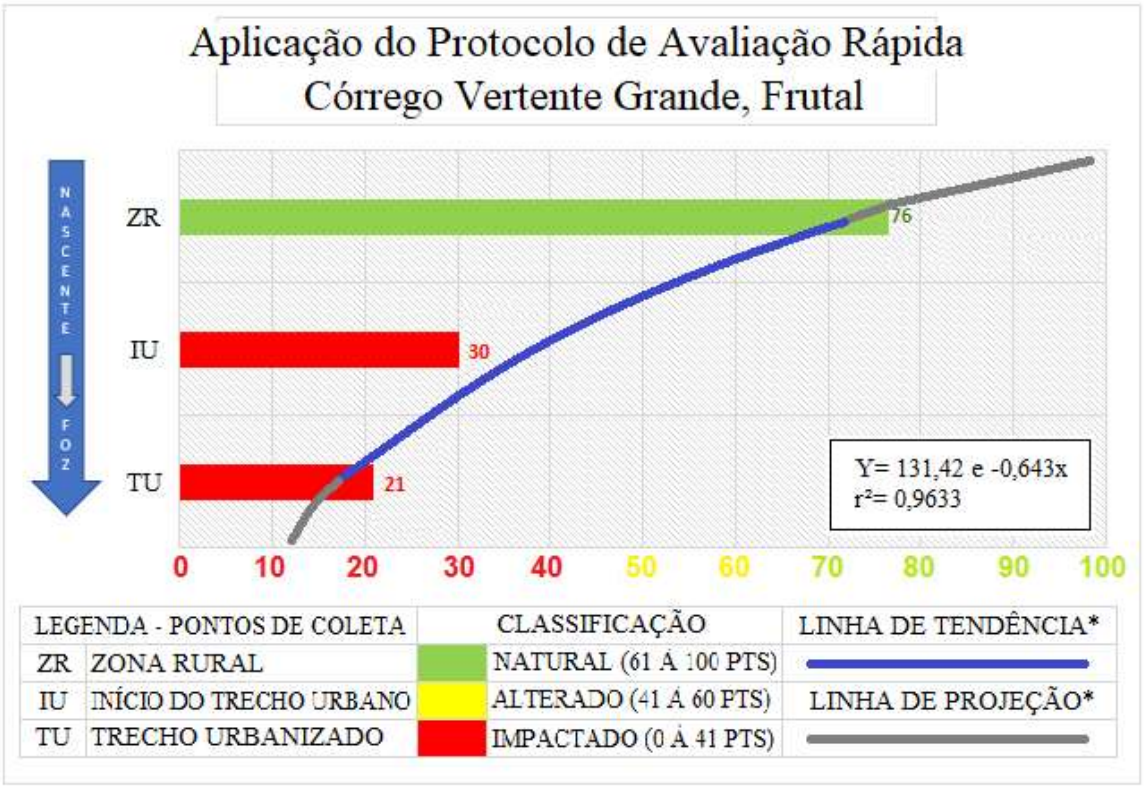

Figura 17 – Gráfico de resultado e classificação baseados no Protocolo de Avaliação Rápida para Rios (Callisto *et al.*, 2002) dos pontos de coleta. *= Exponencial.

Tabela 3 – Resultados do Protocolo de Avaliação Rápida para Rios (Callisto et al., 2002) aplicado a três pontos no Córrego Vertente Grande (Frutal/MG), onde: ZR = zona rural; IU = início do trecho urbano; TU = trecho urbanizado

FASES DE AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO		
	ZR	IU	TU
1. Itens de 1 a 10: Avaliação das características de trechos da drenagem e nível de impacto ambiental decorrentes de atividades antrópicas, dando maior ênfase à qualidade da água e do substrato, e atribuindo menor peso a erosão e à cobertura vegetal das margens (Vargas; Ferreira-Júnior, 2012, p.162-163).	36	14	8
2. Itens de 11 a 22: Avaliação da complexidade do habitat e o seu nível de conservação, atribuindo maior importância às características do fluxo d'água e do tipo de substrato para o estabelecimento de comunidades aquáticas e menor pontuação para estabilidade das margens e à presença da mata ciliar e plantas aquáticas (Vargas; Ferreira-Júnior, 2012, p.163).	40	16	13
TOTAL	76	30	21
CLASSIFICAÇÃO FINAL	NATURAL	IMPACTADO	IMPACTADO

Pontuação aplicada = 4, 2 ou 0 que varia de 0 a 40 pontos; Fase 2: Pontuação aplicada = 5, 3, 2 ou 0 com pontuação que varia de 60 pontos; totalizando uma pontuação máxima de 100 pontos.
Pontuação abaixo de 40 = impactado; Pontuação entre 41 e 60 = alterado; Pontuação acima de 61 = natural.
Fonte: Vargas e Ferreira-Júnior (2012) apud Callisto *et al.* 2002.
Organização: Autor.

A mata ciliar assim como o canal do rio apresenta características distintas em cada ponto amostral. O ponto na zona rural (ZR) apresenta uma faixa de vegetação nativa de APP, devidamente cercada com pouca presença de atividades antrópicas inclusive sem resíduos detectados durante as coletas. Já os pontos no início do trecho urbano (IU) e no trecho urbanizado (TU) apresentam uma vegetação não nativa, com a presença de resíduos sólidos, líquidos e ainda entulhos, caracterizando a intensa atividade antrópica.

O Córrego Vertente Grande apresenta aumento do impacto na qualidade da água e do meio ambiente em seu entorno, à medida que os pontos de coleta se afastam da nascente. O gráfico ainda mostra na linha de projeção sentido foz, a pontuação tende a diminuir desacelerando seu ritmo, ao contrário do sentido nascente cuja pontuação aumenta mais rápido.

6. CONCLUSÃO

A passagem da água do córrego Vertente Grande por trecho urbano da cidade de Frutal/MG proporcionou aumento do grau de trofia, com elevação das variáveis condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, nitrato, nitrogênio amoniacal total e fósforo total. Ocorreu elevação acentuada também da variável coliformes termotolerantes. Associado a essas variáveis, observou-se diminuição do oxigênio dissolvido quando se compara ao início do trecho urbanizado.

O protocolo de avaliação rápida para rios, que visa avaliar os principais aspectos ecológicos da biodiversidade bem como os impactos antropogênicos visíveis, demonstrou que ocorreram prejuízos ao sistema hídrico no trecho urbanizado.

Ao comparar os valores das variáveis físicas, químicas e biológicas com o preconizado na legislação (CONAMA 357/2005 e COPAM-CERH/MG nº 8/2022) nota-se que ocorre inconformidade da variável coliformes termotolerantes no trecho urbanizado e que as demais variáveis, apesar aumentarem no sentido da foz, encontram-se em conformidade. Esses resultados indicam que o sistema recebe descarga de efluentes em seu curso organizado, o que deve ser mitigado pelo poder público, com a finalidade de preservar a qualidade das águas superficiais.

A qualidade da água do Córrego Vertente Grande no ponto ZR é considerada adequada para os usos humanos mais exigentes, após passar por tratamento simples, na contramão das águas dos pontos IU e TU, que estão contaminadas por efluentes e resíduos sólidos, favorecendo sua eutrofização, impedindo seu uso para recreação, irrigação, aquicultura e pesca, e a dessedentação animal, comprometendo também a comunidade aquática.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul**. Geomorfologia, n. 52, p. 1-22, 1977. Disponível em: biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1348615_OsDominiosMorfoclimaticos.pdf. Acesso em: 22 mai. 2023.

ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos**: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho. 2010, Tese (Doutorado de Geografia), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro. 2010.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares_etal_Koppen_climate_classBrazil_MeteoZei_2014.pdf. Acesso em: 22 mai. 2023.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, Agência Nacional de águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2017. Disponível em: http://atlasesgotos.ana.gov.br. Acesso em: 22 mai. 2023.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Indicadores de qualidade** - Índice de qualidade das águas (IQA). 2023. Disponível em: http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx. Acesso em: 23 mai. 2023.

ANA. **Agência Nacional das Águas**. Disponível em: http://ana.gov.br/. Acesso: 11 mai. 2023.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Indicadores de qualidade** - Índice de Estado Trófico (IET). 2023. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx. Acesso em: 21 mai. 2023.

ANDRADE, M. H. S.; FREITAS, S. C.; ELEUTÉRIO, A. S. Qualidade ecológica da água: monitoramento com bioindicadores e análise do uso e ocupação da terra em uma Bacia Hidrográfica Urbana**. Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 88187-88200, 2020. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19882. Acesso em: 22 mai. 2023.

ANDRADE, M. H. S.; FREITAS, S. C.; ELEUTÉRIO, A. S. Qualidade ecológica da água: monitoramento com bioindicadores e análise do uso e ocupação da terra em uma Bacia Hidrográfica Urbana. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 88187-88200, 2020.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23 ed. Washington: APHA, 2017.

ARAGÃO, B. B.; TRAJANO, S. C. Principais bactérias patogênicas veiculadas por pescado e derivados. *In:* CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, E. M.; EVANGELISTA-BARRETO, M. S.

(org.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos:** pesquisa e práticas contemporâneas. Guarujá-SP: Editora Científica Digital, v. 3, cap. 16, 2022, p. 208-225.

BIZZO, M. R. O.; MENEZES, J.; ANDRADE, S. F. Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR). **Caderno de Estudos Geoambientais-CADEGEO**, v. 4, n. 1, p. 5-13, 2014. Disponível em: http://www.cadegeo.uff.br/index.php/cadegeo/article/view/20/19. Acesso em: 22 mai. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2001. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileira.** Brasília: CONAMA, 2001. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema. Acesso: 01 fev. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 15 de março de 2005**.: Dispõe sobre uma nova classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do território nacional. Brasília: CONAMA, 2005. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema. Acesso: 01 fev. 2022.

BRASIL. **Constituição Federal do Brasil de 1988**: Promulgada em 5 de outubro de 1988: atualizada até Emenda Constitucional nº 115, de 10 de fevereiro de 2022. Brasília: SENADO, 2022. Disponível em: http://www4.planalto.gov.br/legislacao/. Acesso: 01. fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os art. 182 e 183 da Constituição Federal e Estabelece diretrizes gerais da Política Urbana e dá outras providências. Brasília: 2001. Disponível em: http://www4.planalto.gov.br/legislacao/. Acesso: 01 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional de do Meio Ambiente. Brasília: 1981. Disponível em: http://www4.planalto.gov.br/legislacao/. Acesso: 01 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Dispõe sobre a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília: 1997. Disponível em: http://www4.planalto.gov.br/legislacao/. Acesso: 01 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.251, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (Código Florestal). Brasília: 2012. Disponível em: http://www4.planalto.gov.br/legislacao/. Acesso: 31 mar. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). **Águas para o futuro**: cenários para 2020. Brasília, MMA, Volume 2, 94p. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1. Acesso: 01 fev. 2022.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 186-205, 2013. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/v4Prj7Z4Hz4Ks5VXqwDZ3tR/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

CALLISTO, M., FERREIRA, W. R., MORENO, P., GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de hábitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2022. Acesso em: https://jbb.ibict.br/bitstream/1/708/1/Callisto%20et%20al..pdf. Acesso em: 22 mai. 2023.

CALMON, A. P. S.; SOUZA, J. C.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Subsídios para o enquadramento dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Itapemirim considerando aportes de esgotos sanitários". **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 255-270, 2014.

CARVALHO, G. L.; SIQUEIRA, E. Q. Qualidade da água do Rio Meia Ponte no perímetro urbano do município de Goiânia-Goiás. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2011. Disponível em: https://repositorio.bc.ufg.br/bitstream/ri/17329/5/Artigo%20-%20Glaucia%20Lemes%20de%20Carvalho%20-%202011.pdf. Acesso em: 22 mai. 2023.

CHEN, S. K.; JANG, C. S.; CHOU, C. Y. Assessment of spatiotemporal variations in river water quality for sustainable environmental and recreational management in the highly urbanized Danshui River basin. **Environmental Monitoring and Assessment,** v. 191, 2019. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7246-1. Acesso em: 22 mai. 2023.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 115-127, 2013. Disponível em: https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/286. Acesso em: 22 mai. 2023.

DALTRO-FILHO, J. FONSECA, L. M.; NOU, G. C. G.; NOBRE, F. S. M. Aspectos gerais sobre a qualidade ambiental e sanitária de um rio urbano: o caso do trecho urbano do rio Poxim, situado no bairro Jabotiana, Aracaju-SE. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2014, Belo Horizonte, 2014, **Anais [...]**. Belo Horizonte: IBEAS, 2014. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VIII-016.pdf. Acesso em: 22 mai. 2023.

DAVID, F. L.; HIROSUE, F, H. Despoluição de rios urbanos para fins de transporte: os Rios Tietê e Pinheiros como alternativa ao transporte rodoviário de cargas. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 12, n. 1, p. e23297-e23297, 2023.

DESCOVI-FILHO, L. L. V.; SILVA, J. L. S., FORGIARINI, F. R.; SILVEIRA, G. L. E. Subsídios ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Santa Maria–Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, 2008. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23837. Acesso em: 22 mai. 2023

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 1998.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2011.

FAGUNDES, B. Rios urbanos e a política de canalização. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 396-406, 2022. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sn/a/SJBMHgLmPHwJw4YzH4mGq5m/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

FONSECA, W. C.; TIBIRIÇÁ, C. E. J. A. Avaliação da influência da estação de tratamento de efluente de Catanduva (SP) na qualidade da água do rio São Domingos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 181-191, 2021 Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/DjQBqMSVMzrmx3qWwHxrLDP/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

GARCIA, J. M.; MANTOVANI, P.; GOMES, R. C.; LONGO, R. M.; DEMANBORO, A. C.; BETTINE, S. do C. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia-MG, v. 30, p. 228-254, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sn/a/DvNMBqxxQbSvQ4xhtQv36Ts/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

GARCIAS, C. M.; AFONSO, J. A. C. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 131–144, 2013.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analisys of freshwater**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 213 p. 1978.

GOMES, F. B. M.; PAULA, D. P. Determinação e avaliação do índice de estado trófico (IET) em rio urbano localizado no estado do Ceará, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral** (RCGS), v. 21, n. 2, p. 730-744, 2019. Disponível em: https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/487. Acesso em: 22 mai. 2023.

GOOGLE EARTH. Disponível em: https://earth.google.com/web/. Acesso: 18 abr. 2023.

GUERREIRO, M. S.; ABREU, I. M; MONTEIRO, A; JESUS, T; FONSECA, A. Considerations on the monitoring of water quality in urban streams: a case study in Portugal. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, 347, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-020-8245-y. Acesso em: 22 mai. 2023.

HYPOLITO, R.; FERRER, L. M.; NASCIMENTO, S. C. Comportamento de espécies de mercúrio no sistema sedimento-água do mangue no município de Cubatão, São Paulo. **Águas subterrâneas**, v. 19, n. 1, p. 15-24, 2005. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/1348. Acesso em: 22 mai. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE - Cidades**: Frutal, 2021. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/frutal/panorama. Acesso em: 18 abr. 2023.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. *In:* Grashof, E.; Kremling E. (eds). **Methods of seawater analysis**. New York: Verlag Chemie Wenhein, p. 117-181, 1976.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 853 p., 1998.

LIAO, K.; HUANG, W.; WANG, C.; WU, R.; HU, Y. Spatio-temporal evolution features and impact factors of urban expansion in underdeveloped cities: a case study of Nanchang, China. **Land**, v. 11, n. 10, 1799, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-445X/11/10/1799. Acesso em: 23 mai. 2023.

LUCAS, A. A. T.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.9, p. 937-943, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/pvZw8rgSgsJ7FBdc9P4rdRm/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G.; BITENCOURT, C. C. A. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 261-269, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/jTQf3g6bdXr99vH3svTxQWv/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

MATIAS, T. P.; BRAGA, J. K.; DAMASCENO, L. H. S.; BRUCHA, G. Aspectos envolvidos na biodegradação da atrazina sob diferentes condições de oxirredução. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e59910817689, 2021. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17689. Acesso em: 22 mai. 2023.

MEDEIROS, A. C.; FAIAL, K. R. F.; FAIAL, K. C. F.; LOPES, I. D. S. L.; LIMA, M. O.; GUIMARÃES, R. M.; MENDONÇA, N. M. Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 12, p. 156-164, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X17307373. Acesso em: 22 mai. 2023.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos – COPAM e CERH. **Deliberação Normativa-Conjunta nº 8**, de 21 de novembro de 2022. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521#:~:text=1%C2%B0%20%E2%80%93%20Esta%20delibera%C3%A7%C3%A3o%20normativa,em%20corpos%20de%20%C3%A1gua%20receptores.. Acesso em: 22 mai. 2023.

MINAS GERAIS. Institui o Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM. **Decreto 18.466**, de 29 de abril de 1977. Disponível em: https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1041#:~:text=Decreto%20n%C2%BA%2018,29%20de%20abril%20de%201977.&text=Par%C3%A1grafo%20%C3%BAnico%20%2D%20A%20Comiss%C3%A3o%20de,4%20de%20mar%C3%A7o%20de%201977. Acesso em: 20 fev. 2024.

MINAS GERAIS. Instituí o Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH. Decreto nº 48.209, de 16 de junho de 2021. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/cerh. Acesso em: 20 fev. 2024.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 139-145, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asagr/a/hb4SmjJyHbTxFXVMk5HhbRJ/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

ORTIZ, I. A. S. Coleta, transporte, tratamento e disposição final de esgoto urbano. March 2019. *In*: BENINI, S. M.; DIAS, L.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. **Saneamento e o Ambiente**. 2. ed. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341805052_Capitulo_2_COLETA_TRANSPORTE_TRATAMENTO_E_DISPOSICAO_FINAL_DE_ESGOTO_URBANO. Acesso em: 22 mai. 2023.

PAULA-FILHO, F. J.; BRITO, S. S.; BACURAU, V. P.; GOMES, B. T. S.; GONÇALVES, A. M. L.; ALMEIDA, F. D. P.; LOPES, W. A.; SOUZA, R. B. Análise das variáveis hidroquímicas do Rio Salgado/CE: Contribuições para o enquadramento de rios no Semiárido Cearense. *In:* ANDRADE, D. F (org.). **Semiárido Brasileiro:** volume 4. Belo Horizonte-MG: Editora Poisson, p. 34-39, 2020. Disponível em: https://www.poisson.com.br/livros/semiarido/volume4/Semiarido_vol4.pdf#page=34. Acesso em: 22 mai. 2023.

PEREIRA, M. C. S.; MARTINS, J. R. S. M.; NOGUEIRA, F. F.; MAGALHÃES, A. A. B.; SILVA, F. P. Melhoria da qualidade da água de rios urbanos: novos paradigmas a explorar– Bacia hidrográfica do rio Pinheiros em São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n.; p. 577-590, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/CHMtZtbxjrPmLhrDGpxjtnh/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

PESSOA-NETO, A. R.; FONTANA, A. C. D.; OLIVEIRA, D. F.; PEREIRA, I. A.; SANTOS, A. G.; NASCIMENTO, M. M. Investigação ambiental de indicativos de qualidade da água em trechos dos rios urbanos Lucaia e Jaguaribe em Salvador, Bahia, Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, e8, p. 1-13, 2019. Disponível em: https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/169/23. Acesso em: 20 abr. 2023.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SIEGEL, S. **Estatística Não-paramétrica Para as Ciências do Comportamento**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

SILVA, Ana Carolina de Araújo; GONÇALVES, Elizabeth Moraes. O discurso ambiental local na crise hídrica de 2014: estudo de caso em Frutal-MG**. El Análisis del Discurso en Latinoamérica**, p. 361, 2016.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA** (data analysis software system), version 8, 2007. www.statsoft.com.

STEFFEN, W.; PERSSON, Å.; DEUTSCH, L.; ZALASIEWICZ, J.; WILLIAMS, M.; RICHARDSON, K.; CRUMLEY, C.; CRUTZEN, P.; FOLKE, C.; GORDON, L.; MOLINA, M.; RAMANATHAN, V.; ROCKSTROM, J.; SCHEFFER, M.; SCHELLNHUBER, H. J.; SVEDIN, U. The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. Ambio, v. 40, n. 7, p. 739-761, 2011. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3357752/. Acesso em: 20 fev. 2024.

TAMIM, U.; KHAN, R.; JOLLY, Y. N.; FATEMA, K.; DAS, S.; NAHER, K.; ISLAM, M. A.; ISLAM S. M. A.; HOSSAIN, S. M. Elemental distribution of metals in urban river sediments near an industrial effluent source. **Chemosphere**, v. 155, p. 509-518, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653516305896. Acesso em: 22 mai. 2023.

TEIXEIRA, C. A.; ZATTONI, G. T.; NAGALLI, A.; FREITAS, F. B.; TEIXEIRA, S. H. C. Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de água de chuva em uma indústria metalmecânica na região metropolitana de Curitiba PR. **Gestão & Produção**, v. 23, p. 638-648, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/j/gp/a/nYnW6kWV7sFzgWdzYMfSkRK/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 181-186, 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sa/a/kpzVhzFFCk3zxFZfVFXPvZG/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 mai. 2023.

VARELA, A. W. P.; SOUZA, A. J. N.; AVIS, M. D.; PINFILDI, G. V.; SANTOS, R. M.; SOUSA, P. H. C.; SANTOS, M. L. S. Qualidade da água e índice de estado trófico no rio Guamá, município de Belém (Pará, Brasil). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 695-715, 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8395. Acesso em: 22 mai. 2023.

VARGAS, J. R. A.; FERREIRA-JÚNIOR, P. D. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida na caracterização da qualidade ambiental de duas microbacias do Rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 1, p. 161-168, 2012. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/61/31d851aa4da4111f969bf68470a6d98e_7ad57fb899246cf287a98e6c75f045f1.pdf. Acesso em: 22 mai. 2023.

ANEXO 1 – PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA

Anexo 1- Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em Trechos de Bacias Hidrográficas, modificado do protocolo proposto por Callisto et al. (2002).

Protocolo de avaliação Rápida de Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas. Modificado do Protocolo da Agência proteção ambiental de Ohiao (EUA), (EPA, 1987).

Obs: 4punto -Situación Natural / 2- Situaciones Leves / 0-Severamente Alteradas.

Localização Geográfica:

Hora da colecta:

Data de Colecta: ___/____/____

Tempo (Situação do día):

Modo de Colecta (Colector):

Tipo de ambiente: Córrego ( ) Rio ( )

Largura: Profundidade: Temperatura da Agua

Tabela 1: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas. Fonte: Callisto et al. (2002) modificado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EUA) (EPA,1987).

Parámetros	Pontuação		
	4 pontos	2 pontos	0 pontos
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	Vegetação Natural	Campo de pastagem / Agricultura / Monocultura / Reflorestamento	Residencia / Comercial / Industrial
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assessoramento em seu leito	Ausente	Moderada	Acentuada
3. Alteraciones Antrópicas	Ausente	Alterações de origem doméstico (esgoto, lixo)	Alterações de origem industrial/ urbana (fabricas, siderúrgicas, canalização, reutilização do curso do rio)
4. Cobertura vegetal no leito	Parcial	Total	Ausente
5. Odor da água	nenhum	Esgoto (Ovo podre)	Óleo/ Industrial
6. Oleosidade da água	Ausente	Moderada	Abundante
7. Transparência da água	Transparente	turva/ cor de chá forte	Opaca ou colorida
8. Odor do sedimento (fundo)	nenhum	Esgoto (Ovo podre)	Óleo/ industrial
9. Oleosidade do fundo	Ausente	Moderada	Abundante
10. Tipo do fundo	Pedra/ Cascalho	Lama/ Areia	Cimento / Canalizado

Tabela2: Protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo de Hannaford et al., (1997).

Obs. 5 pontos (Situação natural), 3 e 2 (situações leves) 0 pontos (severamente alteradas).

Parâmetros	Pontuações			
	5 pontos	**3 pontos**	**2 pontos**	**0 pontos**
11. Tipos de fundos	Mais de 50% de com hábitos diversificados, pedações de troncos submersos, cascalho ou outros habitats estáveis	30 a 50% de habitats diversificados; habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos	10 a 30% de hábitats diversificados, disponibilidade de hábitats insuficiente: substratos, frequentemente modificados.	Menos que 10% dos habitats diversificados; ausência de habitats obvias; substrato rochoso instável para fixação dos organismos
12. Extensão de rápidos	Rápidos e corredeiras bom desenvolvidas rápidos tão largos quanto o rio e com o comprimento igual ao dobro da largura do rio	Rápidos com a largura igual a do rio, mas com comprimento menor que o dobro da largura do rio	Trechos rápidos podem estar ausentes; rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menor que o dobro da largura do rio	Rápidos ou corredeiras inexistente
13. Frequência de rápidos	Rápidos relativamente frequentes, distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 5 y 7	Rápidos não frequentes, distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 7 e 15	Rápidos ou corredeiras ocasionais, habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 15 e 25	Geralmente com lâmina da água "lisa", ou com rápidos rasos, pobreza de habitats, distância entre rápidos, dividida pela largura do rio maior que 25
14. Tipo de substratos	Seixos abundantes, prevalecendo em nascentes	Seixos abundantes, cascalho comum	Fundo predominantemente por cascalho; alguns seixos presentes	Fundo pedregoso, seixos ou lamosos
15. Deposição de lama	Entre 0 y 25% do fundo coberto por lama	Entre 25 y 50% do fundo coberto por lama	Entre 50 y 75% do fundo coberto por lama	Mais de 75% do fundo coberto por lama
16. Depósitos sedimentos	Menos do 5% do fundo com deposição de lama, ausência de deposição nos remansos	Alguma evidencia da modificação do fundo, principalmente como aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30% do fundo afetado; suave deposição nos remansos	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens, entre 30 y 50% do fundo afeitado, deposição moderada nos remansos	Grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens; mais de 50% do fundo modificado; remansos ausentes devido a significativa deposição de sedimento.
17. Alterações no canal do rio	Canalização (Retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal	Alguma canalização presente, normalmente próximo a construção das pontes evidencia das modificações a mais de 20 anhos	Alguma modificação presente nas duas margens: 40-80% do rio modificado	Margens modificados; acima de 80% do rio modificado
18. Característica do uso da água	Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio; mínima quantidade de substrato exposta	Lâmina d'agua acima de 75% do canal do rio, ou menos de 25% do substrato exposto	Lâmina d'agua entre 25 e 75% do canal do rio, e/ou maior parte do substrato nos rápidos exposto	Lâmina d'agua escassa e presente apenas nos remansos
19. Presença de Mata Ciliar	Acima do 90% com vegetação riparia nativa, incluindo arvores, arbusto ou macrófitas, mínima evidencia de reflorestamento; todas as plantas atingidas a altura “normal”	Entre 70 e 90% com vegetação riparia nativa; desflorestamento evidente, mas não afotando o desenvolvimento da vegetação, maioria das plantas atingindo a altura "normal"	Entre 50 e 70% com vegetação riparia nativa; desflorestamento obvio, trechos com solo expostos ou vegetação eliminada; menos de metade das plantas atingidos a altura "normal"	Menos de 50% da mata ciliar nativa, desflorestamento muito acentuado
20. Estabilidade das margens	Margens estáveis, evidencia da erosão mínima ou ausente, pequeno potencial para problemas futuros. Menos da 5% da margem afetada	Moderadamente estáveis, pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.	Moderadamente instável, entre 30 e 60% da margem com erosão, risco elevado da erosão durante enchentes	Instável, multas áreas com erosão, frequentes áreas descobertas nas curvas do rio, erosão obvia entre 60 e 100% da margem
21. Extensão de Mata ciliar	Largura da vegetação riparia maior que 18m, sem influência de atividades antrópicas (agropecuárias, estradas, etc)	Largura de vegetação riparia entre 12 e 18 m, mínima influencia antrópica	Largura da vegetação riparia entre 8 e 12. Influencia antrópica intensa	Largura da vegetação riparia menor que 6 m. Vegetação restrita ou ausente devido às atividades antrópicas
22. Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos pelo leito	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídos no rio, substrato com perifiton	Algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras, ou alguns remansos, perifiton abundante e biofilme	Ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos macrófitas (p. ex. Aguapé)

ANEXO 2 – TABELA – COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Índice de NMP e limites de confiança de 95%, quando são utilizados inóculos de 10 mL, 1mL e 0,1mL em séries de 5 tubos. Número de tubos com reação positiva quando utilizados, em séries de 5 (conclusão) Limite de confiança de 95% tubos, inóculos de: Índice de NMP/100 mL.

10mL	1 mL	0,1mL	NMP 100 mL^{-1}	10mL	1 mL	0,1mL	NMP 100 mL^{-1}
0	0	0	<1,8	4	0	3	25
0	0	1	1,8	4	1	0	17
0	1	0	1,8	4	1	1	21
0	1	1	3,6	4	1	2	26
0	2	0	3,7	4	1	3	31
0	2	1	5,5	4	2	0	22
0	3	0	5,6	4	2	1	26
1	0	0	2	4	2	2	32
1	0	1	4	4	2	3	38
1	0	2	6	4	3	0	27
1	1	0	4	4	3	1	33
1	1	1	6,1	4	3	2	39
1	1	2	8,1	4	4	0	34
1	2	0	6,1	4	4	1	40
1	2	1	8,2	4	4	2	47
1	3	0	8,3	4	5	0	41
1	3	1	10	4	5	1	48
1	4	0	11	5	0	0	23
2	0	0	4,5	5	0	1	31
2	0	1	6,8	5	0	2	43
2	0	2	9,1	5	0	3	58
2	1	0	6,8	5	1	0	33
2	1	1	9,2	5	1	1	46
2	1	2	12	5	1	2	63
2	2	0	9,3	5	1	3	84
2	2	1	12	5	2	0	49
2	2	2	14	5	2	1	70
2	3	0	12	5	2	2	94
2	3	1	14	5	2	3	120
2	4	0	15	5	2	4	150
3	0	0	7,8	5	3	0	79
3	0	1	11	5	3	1	110
3	0	2	13	5	3	2	140
3	1	0	11	5	3	3	170
3	1	1	14	5	3	4	210
3	1	2	17	5	4	0	130
3	2	0	14	5	4	1	170
3	2	1	17	5	4	2	220
3	2	2	20	5	4	3	280
3	3	0	17	5	4	4	350
3	3	1	21	5	4	5	430
3	3	2	24	5	5	0	240

3	4	0	21	5	5	1	350
3	4	1	24	5	5	2	540
3	5	0	25	5	5	3	920
4	0	0	13	5	5	4	1600
4	0	1	17	5	5	5	>1600
4	0	2	21				

Fonte: APHA, AWWA e WEF (c2017, 6 p.).
Organização: Autor.