

Impactos da urbanização no Índice da Qualidade da Água da Bacia do Rio Jucu, Vila Velha, ES.

Dário Reis¹, Maximillian Bremenkamp¹, Mylena Morais¹, Cecilia Montibeller Oliveira²

Submissão: 10/05/2024

Aprovação: 05/01/2025

Resumo - A água é um recurso vital, essencial para a vida e os ecossistemas. No Brasil, cerca de 30 milhões de pessoas não têm acesso a água potável, impactando diretamente a qualidade de vida e a saúde pública. Em 2019, no Espírito Santo, 20% da população carecia de água tratada. O objetivo deste trabalho é analisar a qualidade da água na Bacia do Rio Jucu, Vila Velha, ES, crucial para o abastecimento da Grande Vitória, utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA) e avaliando a influência da urbanização. A metodologia envolveu a coleta e análise de dados de 17 estações fluviométricas da Bacia do Rio Jucu, utilizando QGIS e Office para mapear e comparar os valores do IQA em 2010 e 2022. Os dados foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Agência Estadual de Recursos Hídricos (Agerh). O IQA avalia parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, resíduos sólidos, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez. Os resultados indicam que a urbanização impacta negativamente a qualidade da água. Estações em áreas urbanizadas apresentaram piora nos índices de qualidade entre 2010 e 2022. Postos fora das áreas urbanas, como os do Rio Formate e Rio Jucu Braço Norte, mantiveram ou melhoraram seus IQAs. Conclui-se que a urbanização desordenada, associada à falta de infraestrutura de saneamento básico, contribui significativamente para a degradação da qualidade da água. Implementar políticas públicas eficientes e investir em infraestrutura são essenciais para garantir a qualidade da água e a saúde pública.

Palavras-chave: Qualidade da água. Urbanização. Recursos hídricos. Índice de qualidade das águas (IQA).

Impacts of urbanization on the Water Quality Index of the Jucu River Basin, Vila Velha, ES

Abstract - Water is a vital resource essential for life and ecosystems. In Brazil, about 30 million people lack access to potable water, directly affecting quality of life and public health. In 2019, in Espírito Santo, 20% of the population lacked treated water. This study analyzes water quality in the Jucu River basin, Vila Velha, ES, crucial for supplying Greater Vitória, using the Water Quality Index (WQI) and evaluating the influence of urbanization. The methodology involved collecting and analyzing data from 17 gauging stations in the Jucu River basin, using QGIS and Office software to map and compare WQI values in 2010 and 2022. Data were obtained from the National Water Agency (ANA) and the State Water Resources Agency (AGERH). The WQI evaluates parameters such as pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, solid residues, thermotolerant coliforms, total nitrogen, total phosphorus, and turbidity. The results indicate that urbanization negatively impacts water quality. Stations in urbanized areas showed a decline in quality indices between 2010 and 2022. Stations outside urban areas, such as those analyzing the Formate River and Jucu North Branch River, maintained or improved their WQIs. The study concludes that disordered urbanization, associated with a lack of basic sanitation infrastructure, significantly contributes to the degradation of water quality. Implementing efficient public policies and investing in infrastructure are essential to ensure water quality and public health.

Keywords: Water quality. Urbanization. Water resources. Water Quality Index (WQI).

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil da Faculdade Multivix de Cariacica, Cariacica, ES

² Mestre docente da Faculdade Multivix de Cariacica, Cariacica, ES

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a manutenção da vida e dos ecossistemas. O acesso à água potável está ligado diretamente à qualidade de vida da população. Em 2023, o Instituto Trata Brasil divulgou que no Brasil ainda existem mais de 30 milhões de brasileiros sem acesso a água potável. Sabemos que a potabilidade da água está diretamente relacionada à sua qualidade.

No estado do Espírito Santo, em 2019, cerca de 600 mil pessoas não possuíam acesso à água tratada, representando quase 20% da população do estado. Esses dados refletem diretamente na saúde e nas condições sociais da população local, pois o consumo direto e indireto de água não tratada contribui para a proliferação de doenças prejudiciais à saúde humana (690 MIL..., 2019).

Além do problema da falta de acesso à água potável, o esgotamento sanitário também é um fator de extrema importância, pois influencia diretamente os parâmetros de qualidade da água utilizada tanto para consumo próprio quanto para distribuição. A qualidade da água é medida através do Índice de Qualidade das Águas (IQA), que avalia parâmetros como nitrogênio, fósforo, DBO, resíduos sólidos e outros, e classifica a amostra de água como muito ruim a boa, variando entre 0 e 100 (Agerh, 2023).

São necessários estudos que analisem a qualidade da água dos corpos hídricos do estado do Espírito Santo, mais precisamente da região metropolitana de Vitória. Segundo o Índice de Segurança Hídrica (ISH), gerenciado pela Agência Nacional de Águas (ANA), até o ano de 2035, a região metropolitana da Grande Vitória registrará índices mínimos e baixos de ISH. Portanto, é importante identificar quais são os fatores que influenciam a qualidade das águas e quais os locais que sofrem com os piores índices.

Diversos autores relatam os impactos causados pela urbanização na qualidade das águas (Tucci, 1993; Hogan, 1993; Glória; Horn; Hilgemann, 2017). A bacia hidrográfica do Rio Jucu, de grande importância para a população, abastece cerca de 60% da região metropolitana da Grande Vitória (Diniz, 2013).

O trabalho visa responder se a urbanização possui algum impacto no IQA da bacia hidrográfica do Rio Jucu, pois ela é uma das bacias responsáveis pelo abastecimento da região da Grande Vitória, através do mapeamento por áreas do IQA disponibilizado pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (Agerh) nos anos de 2010 e 2022.

O objetivo deste trabalho é mostrar os impactos da urbanização no Índice da Qualidade da Água da Bacia do Rio Jucu, Vila Velha, ES.

REFERENCIAL TEÓRICO

FLUVIOMETRIA E RECURSOS HÍDRICOS

A hidrometria é responsável pelas medições de parâmetros hidrológicos, por meio de dados pluviométricos (precipitações) e fluviométricos, como níveis d'água, vazões e os parâmetros relacionados à qualidade da água. A fluviometria é um ramo da hidrometria responsável pela medição de vazões dos rios e, conseqüentemente, das bacias hidrográficas (Tucci, 1993; Santos, 2001).

Segundo Tucci (1993), uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação, que converte os escoamentos para um ponto de saída, sendo composta por um conjunto de superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos de água que resultam em um único leito. Para caracterizar uma bacia hidrográfica, são necessárias análises realizadas por meio de uma estação fluviométrica, ou estações hidrométricas, como são chamadas por alguns autores (Pinto et al., 1976), localizadas em diversos pontos de um rio ou um canal.

Durante a instalação de uma estação fluviométrica, dois parâmetros devem ser levados em consideração: a localização do trecho que serão realizadas as coletas e análises. Pinto et al. (1976) e Santos et al. (2001) afirmam que a localização deve ser feita em um trecho quase retilíneo do rio, preferencialmente no terço de jusante, com margens livres de possíveis perturbações do escoamento e de fácil acesso. Também devem ser consideradas as características naturais do local de implantação, como o regime de

escoamento e as características geométricas. Em suma, estabilidade e sensibilidade são os pontos chave das estações fluviométricas.

A Rede Hidrometeorológica Nacional (RNH), coordenada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), realiza o monitoramento e a disponibilização de diferentes informações sobre os parâmetros hidrológicos. Já o monitoramento dos recursos hídricos no estado do Espírito Santo é regulamentado pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (Agerh), que, assegurada pela Política Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo, Lei Estadual de nº10.179/2014, regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos.

O sistema de monitoramento de recursos hídricos nacional é composto por mais de duas mil estações fluviométricas, sendo que em grande parte delas é feita a medição de vazão d'água, assim como a medição da qualidade da água, e em algumas ainda é realizada a análise de sedimentos em suspensão (Brasil, 2023). Somente no estado do Espírito Santo, mais de 100 estações estão ativas e realizando análises trimestrais (Agerh, 2023; Brasil, 2009).

A vazão de um curso d'água, ou descarga líquida, é definida como o volume de água, ou a descarga líquida, que passa através de uma seção transversal por unidade de tempo, normalmente em segundos (Santos et al., 2001; Tucci, 1993). Ela pode ser expressa em litros por segundo ou metros cúbicos por segundo.

Tucci (1993) afirma que, dentre todos os métodos de medição de vazão, os mais utilizados no Brasil são: por capacidade, por medição das velocidades do fluxo da água e por diluição de um traçador. A vazão só é calculada quando se conhece a velocidade do fluxo em todos os pontos de uma seção. Já a ANA (2009) inclui o método acústico, além do convencional, como o mais empregado, porém o método convencional segue sendo o mais utilizado quando se trata de vazões de grandes rios.

Os valores de vazão medidos em uma seção transversal estão associados a uma cota limnimétrica (h),

que é a cota da superfície livre em relação a um plano de referência. Para quaisquer grandezas geométricas (área, raio hidráulico), ou grandezas do escoamento na seção (vazão unitária, velocidade média na seção), sua definição é realizada em função do nível de água na seção analisada (ANA, 2009).

Essa variável é muito importante para a determinação de uma curva-chave, pois, através dela, é possível obter informações que auxiliam nos processos de tomada de decisão em estudos hidrológicos. A ANA (2009) afirma que, para a determinação de uma curva-chave, é necessário conhecer certo número de pares da relação cota x vazão, medidos em condições reais. Ou seja, é necessária a coleta de dados que relacionem a descarga líquida com a sua respectiva cota, sendo a coleta a mais precisa possível.

ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) faz o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos e se estes estão propício aos diversos usos. Através do Índice de Qualidade das Águas (IQA), é possível avaliar a qualidade da água utilizada no abastecimento público, seja ela tratada ou não (Brasil, 2023). Os parâmetros de pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), resíduo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez são os parâmetros utilizados para a realização do cálculo do IQA.

O IQA foi desenvolvido a partir de um estudo realizado pela National Sanitation Foundation (NSF), tendo como base a criação de uma curva que relaciona o parâmetro analisado com a sua concentração presente na amostra. Através dessa relação, é dada uma nota entre 0 (pior) e 100 (melhor). Com isso, classifica-se o nível de qualidade da água com a sua porcentagem correspondente (Agerh, 2023). Segundo a Agência Estadual de Recursos Hídricos (Agerh) do estado do Espírito Santo, responsável pelo monitoramento da qualidade da água dos rios, a qualidade da água é classificada seguindo os parâmetros da Tabela 01.

Tabela 1. Faixas de IQA Avaliação da Qualidade da Água (National Sanitation Foundation).

Porcentagem	Qualidade da água
90-100	Excelente
70-89	Bom
50-69	Médio
25-49	Ruim
0-24	Muito Ruim

Fonte: Adaptado de Agerh (2023).

O cálculo do IQA, tanto no Brasil quanto em diversos outros países, é feito através da equação 1. Várias entidades já realizam o cálculo do IQA de forma auto-

matizada, por meio de softwares, como é o caso das agências ANA e Agerh.

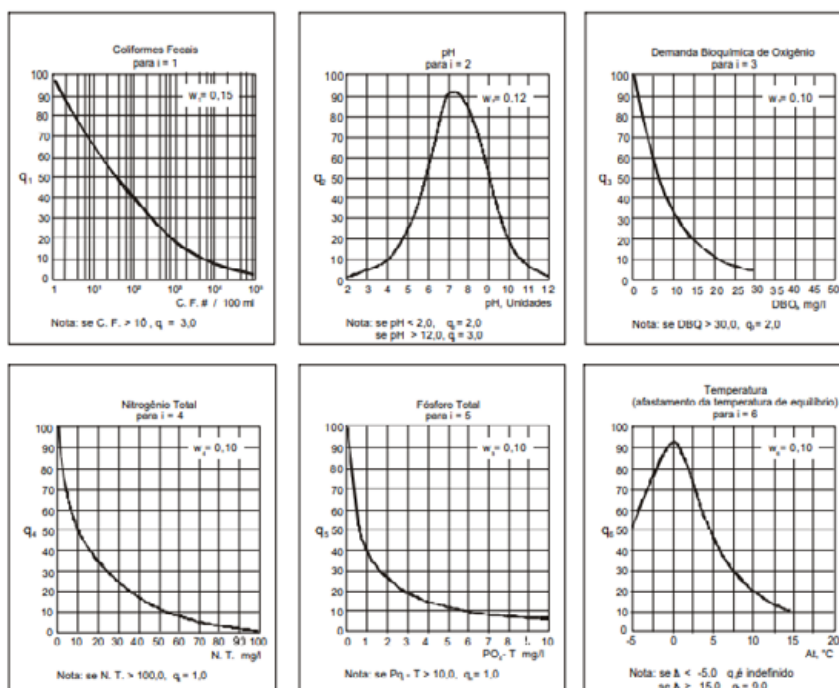
$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_j} \quad (1)$$

IQA: Índice de Qualidade das Águas;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_j : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1.

Para a variável q_i e w_j , é necessário analisar os diagramas de concentração de cada um dos parâmetros utilizados no cálculo do IQA (Figura 01).



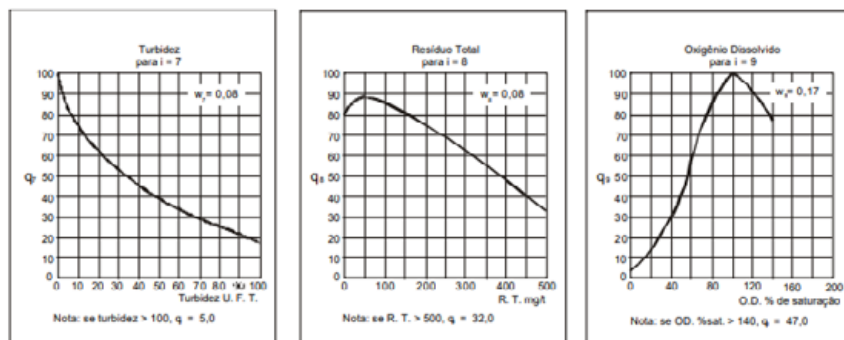


Figura 1. Curva de concentração de parâmetros do IQA.

Fonte: Cetesb (2013).

É necessário compreender quais são os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos utilizados no cálculo do IQA e quais são suas propriedades e definições, pois, através desse conhecimento, é possível entender os resultados obtidos. Como já citado, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), resíduos totais, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez são os parâmetros mais importantes quando se fala sobre a qualidade da água.

Segundo Feitosa et al. (2008), o pH é a medida da concentração hidrogeniônica da água, sendo essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. O pH pode variar de 1 a 14, sendo igual a 7 neutro, menor que 7 ácido e maior que 7 alcalino ou base. O pH deve estar entre 6,0 e 9,5, e está ligado à alcalinidade da água e ao gás carbônico dissolvido (Brasil, 2011).

Do mesmo modo que o gás carbônico dissolvido, o oxigênio, por ser um gás que não se dissolve facilmente, quando dissolvido e consumido, indica a atividade realizada pelas bactérias presentes no local, pois é consumido durante a degradação da matéria orgânica (Feitosa et al., 2008).

Já a demanda de oxigênio dissolvido é um parâmetro que indica a degradação da matéria orgânica, podendo ser analisado pela Demanda Química de Oxigênio (DQO) e pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Além disso, a resolução Conama nº 357/2005 orienta que o nível de OD em qualquer amostra não deve ser inferior a 4mg/L O₂.

Para o DBO, Feitosa et al. (2008) o define como a medida da quantidade de oxigênio necessária para consumir a matéria orgânica contida na água através

de processos biológicos aeróbicos. Para as análises da qualidade de água, é utilizado o DBO 5 dias, a uma temperatura de 20° C que tenha até 3mg/L O₂ (Brasil, 2005).

Vale ressaltar que, assim como o DBO, a presença do nitrogênio total, proveniente de matéria orgânica, indica poluição. A presença de compostos nitrogenados oxidados (nitratos) indica uma poluição antiga, enquanto a presença de nitrogênio não oxidado representa uma poluição recente (Brasil, 2004).

Bem como os fosforo totais, que também estão envolvidos no processo de deterioração da matéria orgânica. Em águas naturais, devem apresentar concentrações menores que 1,0mg/L. (Feitosa et al., 2008).

Da mesma forma que os parâmetros citados anteriormente, os coliformes tolerantes são indicadores de poluição. Ou seja, através destes, entende-se se o local de análise possui ou não poluentes. O subgrupo das bactérias denominado por coliformes tolerantes são bactérias pertencentes ao grupo coliforme, eliminadas normalmente com a matéria fecal. Amostras que apresentarem estas bactérias não são consideradas potáveis e sua presença pode indicar diversos problemas relacionados ao saneamento básico (Feitosa et al., 2008).

Sabe-se que os parâmetros químicos e microbiológicos são de extrema importância na análise da qualidade da água, devido às suas propriedades. No entanto, também vale ressaltar a relevância dos parâmetros físicos, pois, embora estejam relacionados à estética da água, quando presentes em elevadas concentrações, podem gerar repulsa nos consumidores, principalmente devido a aspectos como sabor

e odor (Feitosa et al., 2008). Quando se fala em IQA, os parâmetros mais importantes são os resíduos totais e a turbidez.

Feitosa et al. (2008) definem turbidez como a dificuldade da água em transmitir a luz, provocada por sólidos em suspensão, dentre os quais se incluem argila, silte, matéria orgânica, microrganismos e partículas inorgânicas. Além disso, como consta na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, o valor padrão máximo para turbidez deve ser de 1,0 uT para 95% das amostras analisadas.

Os resíduos totais são compostos principalmente por sólidos dissolvidos em suspensão. A presença desses sólidos impacta a vida aquática e marinha, pois pode gerar diversos danos aos leitos de rios, afetando diretamente o ecossistema do local. Além disso, esses resíduos podem influenciar as propriedades organolépticas da água, devido à sua composição por sulfatos e cloretos, que, além de dar sabor à água, são os principais causadores de corrosão nos sistemas de abastecimento e distribuição (Cetesb, 2009).

URBANIZAÇÃO E OS IMPACTOS DA QUALIDADE DA ÁGUA

Segundo Castiglioni (2019), ao contrário dos demais estados da região Sudeste, o Espírito Santo apresenta singularidades quanto ao seu crescimento demográfico, devido a fatos históricos, políticos e econômicos que permitiram seu desenvolvimento. Para tornar-se foco de imigrantes, o estado utilizou programas nacionais e locais de incentivo à vinda de europeus a partir do século XIX, ocupação que, até aquele momento, ocorria lentamente. Porém, os anos de 1960 e 1970 foram determinantes para a transição de um estado rural para um urbano-industrializado (Castiglioni, 2009).

Constituído por um território densamente habitado, o Espírito Santo demonstra claras diferenças entre a região metropolitana da Grande Vitória e as demais regiões do estado. Sendo a principal concentração urbana, a Grande Vitória permanece como epicentro das mudanças observadas nas tendências demográficas, refletindo as disparidades nos elementos socioeconômicos decorrentes das variações regionais, assim como das alterações nos estilos de vida das pessoas (Castiglioni, 2019).

Para uma análise correta do impacto causado pela urbanização nos cursos hídricos, é necessário comparar dados anteriores com dados atuais. Rangel (2005) ressalta que, com o aumento do desemprego e a diminuição do capital financeiro da população, é comum a migração das pessoas para regiões periféricas, com baixa ou nenhuma infraestrutura. O regime de segregação regional e social, em paralelo à ineficiência da política habitacional voltada para a população carente, cria um grande fermentador para o crescimento da região periférica da Grande Vitória, que passa a abrigar boa parcela da população sem condições mínimas de habitação (Rodrigues; Cruz, 2011).

Batista et al. (2020) ressaltam que o crescimento urbano desordenado é um dos principais vetores para a aceleração da degradação dos corpos d'água. O estudo aponta que, especialmente em países em desenvolvimento, a expansão das cidades ocorre de maneira caótica e sem estratégias para o uso e ocupação do solo urbano, promovendo impactos ambientais e comprometendo a qualidade da água.

No Brasil, o volume de água necessário para a execução das atividades humanas cresce de maneira significativa ao longo dos anos (Soares; Ferreira, 2017). Por outro lado, o abastecimento de água para consumo ou outras finalidades não segue o mesmo caminho. Uma alternativa para a manutenção dessas águas seria o investimento no saneamento básico, abrangendo desde a recuperação do esgoto por meio de tratamento, até a utilização da água para reuso, principalmente na indústria (Prosab, 2006; Soares; Ferreira, 2017).

Por ser um bem natural imprescindível para pessoas, a garantia de sua qualidade é muito importante para o consumo livre de riscos à saúde. Perone et al. (2021) ressaltam que a preservação das nascentes e dos cursos d'água são determinantes para a manutenção de sua qualidade. Sendo o saneamento um direito assegurado pela legislação, ele é responsável pela mitigação de doenças de veiculação hídrica e pela promoção de bem-estar (Araujo et al., 2020).

A disposição final dos resíduos sólidos é grave, se avaliarmos os seus possíveis resultados. O descarte irregular de lixo favorece a infiltração e a contaminação do lençol freático pelo chorume, líquido com elevada presença de matéria orgânica e metais pesados (Farias et al., 2008). A maior parte da conta-

minação dos cursos d'água vem dos resíduos descartados e não triados corretamente pelo sistema de coleta pública, capazes de provocar variações desfavoráveis nas concentrações dos indicadores de poluição (Castro, 2007).

Ayach (2011) evidencia a ligação entre a transmissão de doenças e a precariedade do saneamento básico, bem como o manejo irregular do uso e ocupação do solo, o que contribui para o retorno de epidemias antes controladas, devido ao retrocesso no âmbito do saneamento. Outrossim, devido à necessidade de promover maior qualidade ambiental e de vida, as distinções entre quantidade e qualidade foram negligenciadas e confundidas, levando o ser humano a seguir caminhos que conduzem ao conceito ilusório de progresso e desenvolvimento impulsionados pelo ritmo de produção (Guimarães, 2005).

Em conjunto com esses contratempos, a falta de transparência, o acesso dificultado à informação e a educação inadequada da população para combater as condições precárias em que muitos vivem impossibilitam a adoção de ações e hábitos sanitários e ambientais adequados (Ribeiro; Gunther, 2002).

Para Araujo et al. (2020), a participação da população nos debates direcionados ao saneamento é fundamental para a melhora do quadro atual.

Sendo a bacia hidrográfica do Rio Jucu de grande importância para a população, pois abastece cerca de 60% da região metropolitana da Grande Vitória (Diniz, 2013), o objetivo geral deste trabalho é analisar os efeitos da urbanização no Índice da Qualidade da Água da Bacia do Rio Jucu, Vila Velha, ES.

MATERIAIS E MÉTODO

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Através do Manual Operativo dos Planos de Recursos Hídricos Capixabas (MOp) (Agerh, 2022), sabe-se que a bacia hidrográfica do Rio Jucu está situada na região Centro-Sul do estado do Espírito Santo (ES). Ela é banhada pelos rios Jucu Braço Sul e Norte, Ponte, Melgaço, Chapéu, Galo, Fundo, Jacarandá, Aribiri, Formate, Marinho e Ribeirão Santo Agostinho (Figura 02).

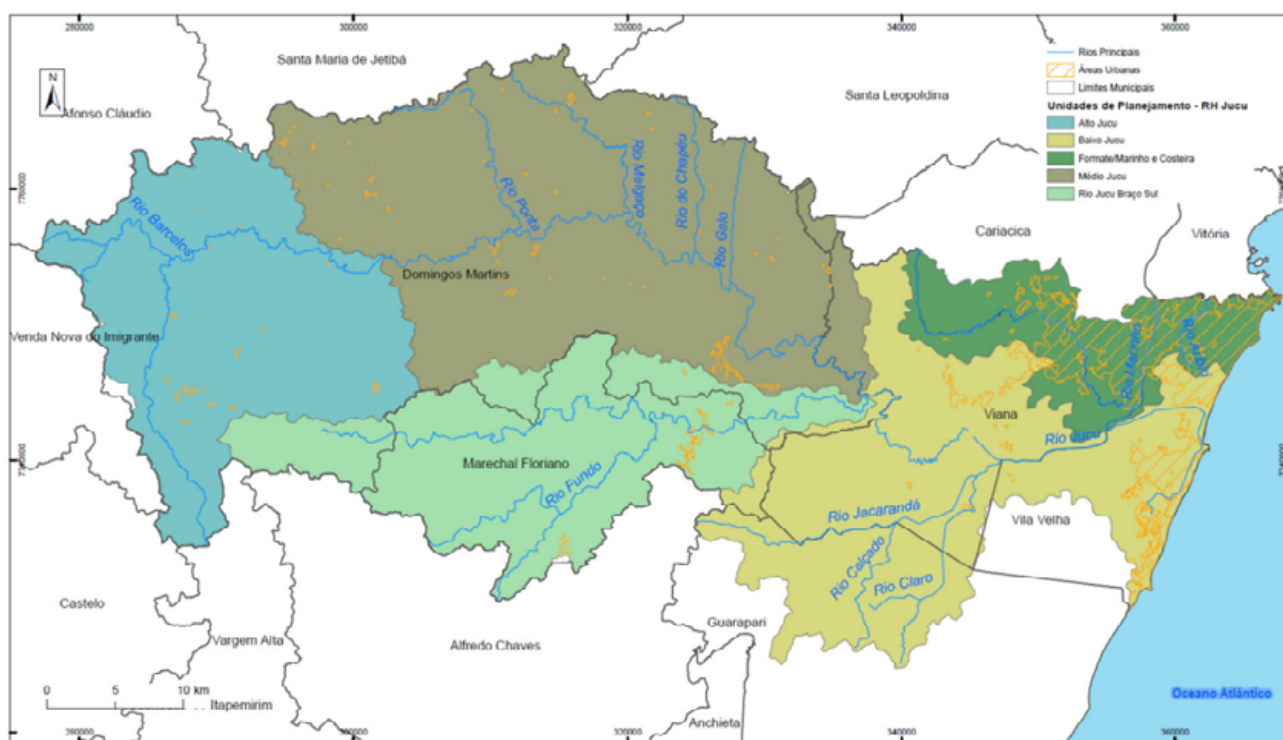


Figura 2. Delimitação geográfica da Bacia do Rio Jucu, Vila Velha, ES.

Fonte: Agerh (2022).

Com uma área de drenagem totalizando 2032 km², a bacia do Rio Jucu é uma das mais importantes do estado, pois é responsável pelo abastecimento da região da Grande Vitória e de alguns municípios localizados na parte serrana do estado.

Para realização deste estudo, foram utilizadas 17 estações fluviométricas situadas ao longo de toda a extensão da Bacia do Rio Jucu. As exatas localizações dessas estações podem ser observadas na Figura 03.

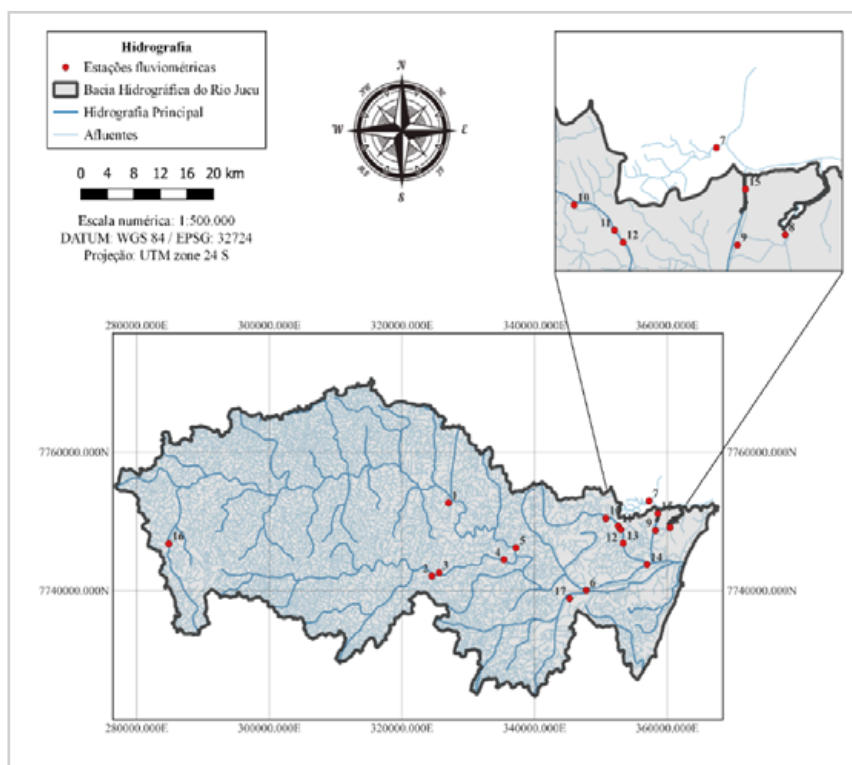


Figura 3. Mapa da localização das estações fluviométricas.

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para a realização desta pesquisa, utilizou-se a metodologia de pesquisa descritiva explicativa, visto que esse método é utilizado quando se deseja identificar um problema. A pesquisa descritiva é utilizada para realizar um levantamento de dados (Pereira, 2019).

Fazendo uso dos softwares Qgis e Office, realizou-se o mapeamento das estações fluviométricas que constituem a Bacia do Rio Jucu. A partir de dados gráficos, identificou-se a variação do IQA com o avanço da urbanização nos anos de 2010 e 2022, a fim de identificar se essa variação possui alguma relação com o desenvolvimento das cidades ao redor dos postos analisados.

Os dados referentes ao IQA e aos parâmetros relacionados foram coletados diretamente dos arquivos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pela Agência Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (Agerh). Para o georreferenciamento, foram coletados arquivos do tipo shapefile, kmz e kml, disponibilizados pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (Inde), pelo Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Espírito Santo (Geobases) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando se fala sobre qualidade da água, é importante entender quais fatores impactam os resultados. É de conhecimento geral que o saneamento básico e seus serviços - abastecimento de água, drenagem de águas pluviais, esgotamento sanitário e gerenciamento de resíduos - contribuem diretamente para os índices encontrados ao longo dos anos (Lopes et al., 2008; Gloria; Horn; Hilgemann, 2017).

Para este estudo, foram analisados os valores encontrados para o IQA dos 17 postos fluviométricos distribuídos ao longo da bacia hidrográfica do Rio

Jucu, nos anos de 2010 e 2022. A identificação da localização dos postos fluviométricos ativos foi possível através do mapeamento representado pela Figura 4 e Tabela 2.

Conforme pode ser observado, o ponto 07 encontra-se fora da delimitação da Bacia do Rio Jucu. Entretanto, ao analisar os cursos d'água ao entorno da estação, foi possível perceber que ela analisa tanto a água que chega de um dos afluentes do Rio Jucu quanto do Rio Santa Maria, e por isso, esse ponto foi utilizado no estudo (Figura 3).

Tabela 1. Nomenclatura das estações fluviométricas analisadas e seus respectivos IQA.

Ponto	Código da estação fluviométrica	Corpo Hídrico	IQA médio (2010)	IQA médio (2022)
1	JUC2C001	Rio Jucu Braço Norte	60,53	70,24
2	JUC2C005	Rio Jucu Braço Sul	61,81	70,68
3	JUC2C008	Rio Jucu Braço Sul	51,04	68,75
4	JUC2C009	Rio Jucu Braço Sul	65,51	72,45
5	JUC2E010	Rio Jucu Braço Norte	62,13	77,83
6	JUC1E025	Rio Jucu	66,18	71,72
7	ITG1C002	Córrego Piranema	14,73	39,13
8	ARI1C001	Rio Aribiri	16,25	27,96
9	MAR1C010	Rio Marinho	19,70	-
10	FOR1C001	Rio Formate	66,04	65,56
11	FOR1E008	Rio Formate	38,38	52,17
12	FOR1C010	Rio Formate	36,68	46,87
13	FOR1C012	Rio Formate	29,09	39,24
14	FOR1C015	Rio Formate	40,42	42,19
15	MAR1C020	Rio Marinho	17,14	37,56
16	JUC2C015	Rio Jucu Braço Norte	-	70,96
17	JUC2C030	Rio Aribiri	-	67,80

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

Os resultados encontrados a partir da Tabela 02 para o IQA dos pontos estudados permitiram identificar a qualidade da água que abastece a região metropolitana de Vitória e a região serrana do estado nos anos de 2010 e 2022. Através da média aritmética, encontrou-se que o IQA variou de 14 a 66 no ano de 2010, sendo classificado como muito ruim a médio, e de 27 a 78 no ano de 2022, com classificação de ruim a bom. Os resultados obtidos estão apresentados de forma gráfica na Figura 04.

Os pontos 16 e 17 possuem uma média de IQA entre 71 e 67, respectivamente, e se enquadram na transição entre a qualidade média e boa. Entretanto, é importante destacar que esses postos foram ativados recentemente e, por isso, não apresentaram variação entre os anos estudados. Acredita-se que há a necessidade de mais estudos futuros que incluam os resultados apresentados por essas estações.

Já as estações 3, 10, 12, 13 e 14, ativas nos anos 2010 e 2022, não apresentaram mudanças significativas nas classificações dos padrões de qualidade. Os dois primeiros mantiveram seu IQA médio, enquanto os demais continuaram com qualidade ruim ao longo dos 12 anos. Além disso, entre todas as estações fluviométricas estudadas em 2010 e 2022, o ponto 10 apresentou a menor variação no IQA médio calculado, reduzindo de 66,04 para 65,56.

Para os postos fluviométricos 1, 2, 4, 5 e 6, observou-se uma mudança significativa ao longo dos anos estudados, com os valores de IQA passando de uma média variando de 50 a 69 para 70 a 89, se encaixando no padrão de qualidade bom. Entretanto, observa-se que, mesmo com essa melhoria, com exceção do ponto 5, os resultados encontrados ficaram no limite mínimo do intervalo do padrão atual de qualidade.

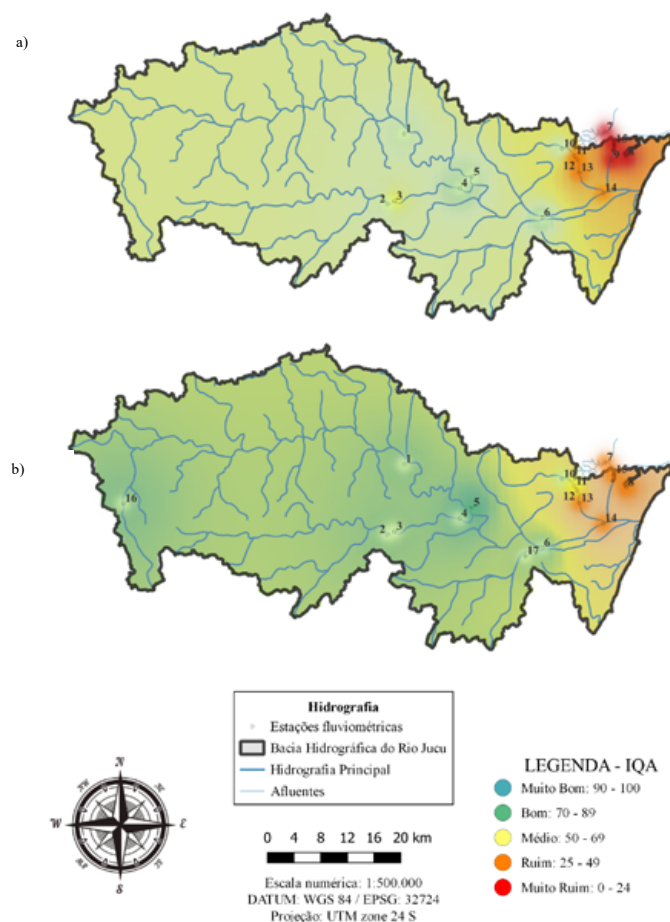


Figura 4. Mapas do IQA encontrado em cada estação fluviométrica; a) Mapa IQA 2010; b) Mapa IQA 2022.

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

Houve uma melhora significativa no ponto 11, que em 2010 estava entre os intervalos 25 a 49 (padrão ruim), e em 2022 se enquadrava nos intervalos 50 a 69 (padrão médio) de qualidade de água. Embora tenha ocorrido uma melhora no padrão de potabilidade da água dessa região, é necessário que novos estudos sejam realizados, pois essa estação fluviométrica está situada em uma área onde todos os outros pontos de coleta possuem classificação de qualidade da água que varia entre muito ruim a ruim.

Os resultados encontrados nos postos fluviométricos 7, 8, 9 e 15 são os que chamam mais atenção. Em 2010, esses pontos apresentavam IQA entre 0 e 24, com padrão de qualidade da água considerado muito ruim. Em 2022, com exceção do ponto 9, que foi desativado, todas as outras estações fluviométricas apresentaram amostras de água com o IQA variando de 25 a 49, classificado como padrão de potabilidade ruim. Esses resultados são preocupantes, pois todas essas estações estão situadas na região de Cariacica e Vila Velha, que podem ser visualizadas nas Figura 01 e 02.

Quando se fala sobre a gestão de mobilidade urbana de uma cidade, é sabido que grande parte dos municípios brasileiros não o possui um plano eficaz, e mesmo quando existe, a gestão não é eficiente. Estima-se que, entre 2010 e 2022, a cidade de Cariacica teve um crescimento populacional de 1,36%, o que está diretamente relacionado aos impactos ambientais de diversas naturezas, como a poluição dos recursos hídricos devido ao esgotamento sanitário e à falta de coleta de lixo. Esse cenário pode ser um dos motivos que explicam os baixos índices de IQA encontrados no município (Sidra, 2023; Hogan, 1993).

O IQA baixo encontrado nos postos citados pode ser justificado, principalmente, pela presença dos esgotos domésticos não tratados, que são lançados diretamente nos cursos d'água dos rios Marinho e Aribiri e seus afluentes. Segundo o Instituto Trata Brasil, em 2010, 79,1% da população urbana de Cariacica não possuía esgotamento sanitário adequado; esse índice, em 2021, foi reduzido para 60,4%. Em comparação, no município de Vila Velha, o acesso adequado ao esgoto aumentou de 20,7% para 62,4% da população urbana. Embora esses índices pareçam favoráveis, os municípios de Cariacica e Vila Velha, que estão entre os mais populosos do estado do Espírito Santo, continuam a apresentar a menor média de IQA nos anos de 2010 e 2022 na bacia hidrográfica

do Rio Jucu. Nesses locais, cerca de 40% da população despeja esgoto de maneira incorreta, o que contribui para o impacto negativo na qualidade da água da região.

O despejo de esgoto sanitário não tratado na baía de Vitória, ocorrido em 2022, verificado por uma ligação clandestina à rede de drenagem (Silva, 2022), impactou diretamente a qualidade da amostra de água analisada nos períodos posteriores à contaminação. Nesse mesmo ano, casos de despejo de esgoto não tratado e resíduos sólidos foram identificados pelos moradores situados nas imediações do Rio Marinho (Ribeiro, 2022), local onde o ponto 15 de coleta está situado. Considerando que, tanto em 2010 quanto em 2022, o IQA deste ponto não saiu da qualidade ruim, é possível fazer uma conexão entre esses parâmetros e o caso noticiado. A contaminação por esgoto não tratado explica os altos índices encontrados no local dos parâmetros que medem o IQA, como, por exemplo, o DBO e os coliformes termotolerantes, que, em ambos os anos, extrapolaram o limite do aceitável para uma amostra.

É interessante observar que os municípios próximos obtiveram uma variação muito discrepante. Em Vila Velha, houve uma melhora significativa no acesso à coleta de esgoto sanitário. Já em Cariacica, a melhoria foi muito pequena ao longo dos anos analisados, o que pode sinalizar que as ações tomadas pelo município para o saneamento básico não foram eficientes, quando comparadas com os resultados da cidade vizinha.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o percentual de esgoto tratado na zona urbana tenha acompanhado o crescimento populacional em quase todos os postos nos períodos analisados neste estudo, esses valores ainda não são ideais. Ao analisar somente as estações ativas em ambos os anos, notou-se que mais de 60% dos postos fluviométricos apresentaram com índice médio de IQA entre ruim e regular. Os que estão com qualidade boa, em sua maioria, estão com valores que se aproximam mais do regular do que do ótimo.

Vale ressaltar sobre a escolha do ano de 2022 para este estudo, que se deu com base no Censo do IBGE 2022. No entanto, alguns valores, como o percentual

de acesso a esgoto adequado e a densidade demográfica por setores censitários, ainda não puderam ser analisados, pois esses dados não foram totalmente computados pelo IBGE na data de realização do estudo. Por isso, foi necessário utilizar os dados fornecidos pelo Instituto Trata Brasil.

O IBGE considerou como percentual de esgotamento sanitário adequado para o ano de 2010 o seguinte cálculo: [população total residente nos domicílios particulares permanentes com esgotamento sanitário do tipo rede geral e fossa séptica / população total residente nos domicílios particulares permanentes] x 100. No entanto, para o presente trabalho, foi analisado a coleta de esgoto de forma adequada por parte da rede coletora. Isso resultou em uma disparidade entre os dados obtidos pelo IBGE e os fornecidos pelo Instituto Trata Brasil, que foram baseados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Nesse sentido, cabe ressaltar que para o IBGE, no ano de 2010, o município de Vila Velha, por exemplo, possuía um índice de 85,6% de esgoto sanitário adequado, enquanto no Instituto Trata Brasil esse índice era de 20,7% de acesso à coleta de esgoto de forma adequada.

Foi observada uma dificuldade na obtenção de dados gráficos, particularmente os mais atualizados, devido a um ataque cibernético ao site da ANA no decorrer da pesquisa. Além disso, uma disparidade notável nos dados relativos ao tratamento de esgoto sanitário entre as fontes do IBGE e o SNIS foi identificada, o que representou um fator desafiador no processo de escolha dos dados analisados.

Em suma, dentre todos os pontos de coletas analisados em 2010 e 2022, identificou-se que os postos 7 e 15 apresentaram uma melhora de mais de 100% do IQA médio. Isso pode ser explicado pela melhoria de investimento em infraestrutura e no acesso à rede de coleta de esgoto sanitário. No entanto, ainda há muito o que melhorar, porque essas duas estações enquadram-se em uma qualidade de água ruim.

A bacia hidrográfica do Rio Jucu é de grande importância para a população, pois abastece cerca de 60% da região metropolitana da Grande Vitória. Com base em todas as análises feitas sobre o IQA disponibilizado pela Agerh, a análise do IQA de 2023 é de grande importância, mas não foi possível realizá-la, pois ainda há dados a serem levantados.

De acordo com os três IQAs que foram calculados ao longo do ano, houve uma redução na qualidade da água de quase 70% das 16 estações fluviométricas presentes em 2022 e 2023. Desse percentual, seis postos regrediram no IQA, sendo que um deles foi de ruim para muito ruim, enquanto os demais passaram de bom para médio.

Com base nos resultados obtidos, é fundamental a elaboração de estudos futuros para entender as causas da drástica redução nos índices de qualidade da água analisada nos postos fluviométricos entre 2022 e 2023.

REFERENCIAS

AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos. **Manual operativo dos planos de recursos hídricos capixabas (MOP)**. 2022. Disponível em: <<https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/Jucu/De%20Oho%20no%20Rio%20-%20Jucu.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2023.

AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos. **Informações sobre a qualidade das águas do Estado do Espírito Santo**. 2023. Disponível em: <<https://servicos.agerh.es.gov.br/iqa/>>. Acesso em: 19 out. 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas (ANA). **Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico**. 2009. p. 35-37.

ARAUJO, B. M et al. **Instrumentos informativos de educação ambiental e sanitária aplicados na sociedade**. Humanas Sociais & Aplicadas, v. 10, n. 27, p. 33-45, 2020.

AYACH, L. R. **As condições socioeconômicas, o saneamento básico e a qualidade da água subterrânea em Anastácio (MS): aspectos relacionados à percepção ambiental**. 2011.

BATISTA, A. M. M et al. Diagnóstico da qualidade da água do Rio Piracicaba e sua correlação com a urbanização. **Revista Ibero americana de ciências ambientais**, v.11, n.7, p.305-320, 2020.

BRASIL. **Manual de saneamento**. Brasília. Fundação Nacional de Saúde (Funasa), 2004. p. 44-46.

BRASIL. **Resolução Conama 357, de 17 de março de 2005 Conselho Nacional de Meio Ambiente**.

2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2023.

BRASIL. **Inventário das estações fluviométricas**. 2. ed. Brasil. Agência Nacional de Águas (ANA), 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. 2011. Disponível em <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>.

BRASIL. **Rede hidrometeorologia nacional**. 2023. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/f85dbf06-a869-414c-afc5-bb01869e9156>>. Acesso em: 19 out. 2023.

CASTIGLIONI, A. H. Mudanças na estrutura demográfica do Espírito Santo ocorridas durante a segunda metade do século XX. **Revista geógrafas**, v. 7, p. 93-110, 2009.

CASTIGLIONI, A. H. Transição migratória e urbana no estado do Espírito Santo-1950 a 2010. **Caminhos da geografia**: revista online. Uberlândia, v. 20, n. 72, p. 33-53, 2019.

CASTRO, L. M. A. **Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água**. 2007.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas no interiores do Estado de São Paulo**. 2009. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2022/04/variaveis.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2023.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de qualidade das águas (IQA)**, 2013. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/02.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2023.

CRUZ, D. S.; RODRIGUES, M. B. F. Políticas públicas e gestão urbana: o caso da região metropolitana da Grande Vitória no estado do Espírito Santo. **Dimensões**, n. 27, 2011

DINIZ, S. **Criação da Agência das Águas é tema da descida do Rio Jucu**. Prefeitura de Vila Velha, 2013. Disponível em: <<https://www.vilavelha.es.gov.br/noticias/criacao-da-agencia-das-aguas-e-tema-da-descida-do-rio-jucu-3536#:~:text=Dentre%20os%20principais%20benef%C3%ADcios%20trazidos,Cariacica%2C%20Guarapari%20e%20>

Vila%20Velha.>. Acesso em: 04 nov. 2023.

FARIAS, M et al. Impactos ambientais em uma bacia urbana e as consequências na qualidade da água superficial. **Enciclopédia biosfera**, v. 4, n. 5, 2008.

FEITOSA, F. A. C et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio De Janeiro: CRPM, 2008. p. 330–340.

GUIMARÃES, S. T. L. Nas trilhas da qualidade: algumas ideias, visões e conceitos sobre qualidade ambiental e de vida. **Revista GeoSul**, Florianópolis: v. 20, n. 40, p. 7-26, jul-dez, 2005.

GLORIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água - IQA. **Revista caderno pedagógico**, v. 14, n. 1, 8 jun. 2017.

HOGAN, D. J. Crescimento populacional e desenvolvimento sustentável. **Lua nova: revista de cultura e política**, p. 57–78, 1 dez. 1993.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Esgotamento sanitário adequado**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/cariacica/panorama>>. Acesso em: 23 out. 2023.

690 MIL pessoas no ES não têm acesso a água tratada. **Jornal a gazeta**, Vitória, ES, 24 de setembro de 2019. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/es/gv/690-mil-pessoas-no-es-nao-tem-acesso-a-agua-tratada-0919>>. Acesso em: 2 nov. 2023.

LOPES, F. B et al. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista ciência agrônômica**, v. 39, n. 3, p. 392–402, 2008.

PEREIRA, J. M. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019. p. 80–90.

PERONI, J. B et al. Aspectos de qualidade da água e saneamento básico em um assentamento rural no interior de São Paulo: diagnóstico e perspectivas para a melhoria da qualidade socioambiental. **Research, society and development**, v. 10, n. 2, p. e1010212293-e1010212293, 2021.

PINTO, N et al. **Hidrologia básica**. Blucher, 1976. p. 201–223.

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento

Básico **Reuso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologia de tratamento para esse fim.** Rio de Janeiro: Abes, 2006, p. 427.

RANGEL, M. L. A influência da urbanização na qualidade da água: Barragem Mãe D'água–Porto Alegre–RS. **Anais.... X Encontro de Geógrafos da América Latina.** Universidade de São Paulo, 2005.

RIBEIRO, H.; GUNTHER, W. M. R. **A integração entre a educação ambiental e o saneamento ambiental como estratégia para a promoção da saúde e do meio ambiente sustentado.** Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde, 2002.

RIBEIRO, I. **Belezas de Vila Velha perdem espaço para o mau cheiro dos canais.** 2022. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/belezas-de-vila-velha-perdem-espaco-para-o-mau-cheiro-dos-canais-1122>>. Acesso em: 20 out. 2023.

SANTOS, I et al. **Hidrometria aplicada.** Instituto de tecnologia para o desenvolvimento: Curitiba - PR, 2001. p. 61–70.

SILVA, D. **Desentupimento de rede faz esgoto ser jogado no mar em Cariacica, ES.** 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2022/09/24/desentupimento-de-rede-faz-esgoto-ser-jogado-no-mar-em-cariacica-es.ghml>>. Acesso em: 20 out. 2023.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Censo demográfico 2022.** População por idade e sexo – Resultados do universo. 2023. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/universo-populacao-por-idade-e-sexo>>. Acesso em: 27 out. 2023.

SOARES, E.; FERREIRA, R. L. Avaliação da qualidade da água e a importância do saneamento básico no Brasil. **Revista meio ambiente e sustentabilidade**, v. 13, n. 6, 2017.

TRATA BRASIL. Instituto Trata Brasil. **Painel saneamento Brasil.** Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/>>. Acesso em: 27 out. 2023.

TUCCI, C. **Hidrologia ciência e aplicação.** 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1993.