

HISTÓRICO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA CALHA PRINCIPAL DA BACIA DO RIO POMBA, MG ATRAVÉS DO ÍNDICE IQA-CCME

Water quality history in the main channel of the Pomba River basin, MG, using the IQA-CCME index

Hernane Teixeira da Silva¹

Friedrich Wilhelm Herms²

RESUMO

O Brasil é rico em água doce, cerca de 12% da água do planeta, entretanto muitas das cidades brasileiras sofrem constantemente com problemas relacionados a quantidade e qualidade adequada desse recurso. O problema é mais evidente nos grandes centros urbanos, o que gerou a necessidade de um processo de gestão dos recursos hídricos brasileiros. Este trabalho apresenta o histórico da qualidade da água na calha principal da bacia do rio Pomba no estado de Minas Gerais, após a aplicação da metodologia de macrolocação em estações de monitoramento, utilizando como ferramenta de investigação o IQA-CCME, no período de 1998 a 2019, utilizando dados do Instituto de gestão das águas (Igam). No modelo de cálculo do IQA-CCME, agregou-se os dados de monitoramento disponíveis de todos os parâmetros e estações selecionados para cada ano de medição, de modo que a análise fosse feita, não para a estação e datas específicas, mas para o rio todo e ano de referência. O formato de dados agregados por ano de monitoramento se comportou como um modelo de fácil maleabilidade por permitir calcular o IQA juntando todos os dados de um mesmo ano. Um número menor de estações baseada no modelo de macrolocação adotado permite uma boa avaliação da qualidade da água em termos de IQA. De modo geral a qualidade da água da bacia se manteve estável na série temporal, oscilando entre ruim e péssima, e o modelo de investigação proposto não demonstrou tendência significativa de piora ou melhora da qualidade da água ao longo do tempo estudado, do ponto de vista de IQA.

Palavras-chave: Qualidade de água; IQA-CCME; Rio Pomba.

¹ Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Graduação em Ciências Biológicas pela Fundação Universidade de Itaúna (UIT). Técnico em química pela CECON. Gerente Técnico do Laboratório Regional de Leopoldina (Copasa MG) – e-mail: hernanebiologo@hotmail.com *Autor correspondente

² Doutorado em Química Analítica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ). Mestrado em Química Analítica Inorgânica pela PUC/RJ. Graduação em Engenharia Química Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Professor Associado da UERJ – e-mail: fredwh@uerj.br

ABSTRACT

Brazil is rich in freshwater, accounting for about 12% of the planet's water, although many Brazilian cities constantly face problems related to the quantity and adequate quality of this resource. The issue is more evident in large urban centers, which has led to the need for a process of managing Brazilian water resources. This work presents the history of water quality in the main channel of the Pomba River basin in the state of Minas Gerais after the application of the macrolocation methodology at monitoring stations, using the WQI-CCME (water quality index - WQI) as an investigation instrument, as well as data from Minas Gerais Water Management Institute (IGAM) considering the timespan from 1998 to 2019. In the WQI-CCME calculation model, the analysis considers the entire river and reference year instead of specific stream gauging stations and dates. Therefore, monitoring data from all selected parameters and stations for each measurement year are aggregated. The format of data aggregated by monitoring year behaved like a model of easy maneuverability by allowing the calculation of the WQI by joining all the data from the same year. A smaller number of stations based on the adopted macrolocation model allows a good evaluation of water quality in terms of WQI. Overall, the water quality in the basin remained stable in the time series, oscillating between poor and very poor, and the proposed investigation model did not show a significant trend of worsening or improvement of water quality over the studied period from the WQI point of view.

Keywords: *Water quality; WQI-CCME; River Pomba.*

Data de submissão: 07/10/2023

Data de aprovação: 26/03/2024

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem importância central em recursos hídricos superficiais, com 50% dos recursos totais na América do Sul, sendo um volume considerável, muito embora essa distribuição seja totalmente disforme entre as regiões do país (Garcia; Moreno; Fernandes, 2015). Possui em torno de 12% da água doce do planeta, porém as cidades brasileiras vêm sofrendo constantemente com problemas de abastecimento de água, tanto em relação à quantidade, como em relação à qualidade adequada, principalmente nos grandes centros urbanos, o que gerou uma necessidade do estabelecimento de um processo de gestão dos recursos hídricos brasileiros.

No sentido de um melhor gerenciamento dos recursos hídricos, o monitoramento da qualidade da água é uma excelente ferramenta de gestão, pois tem a capacidade de, a partir

do acompanhamento dos dados medidos, determinar de forma investigativa a realidade da qualidade da água de cada corpo hídrico (Cunha; Calijuri, 2010). Ainda segundo Cunha e Calijuri (2010), fazer monitoramento é ter a percepção de sensibilidade do sistema aquático, permitindo conhecer o comportamento das águas ao longo do tempo, de modo a propor um minucioso diagnóstico da bacia hidrográfica, reconhecendo e propondo melhorias para os diversos impactos sofridos, sejam de origem natural ou antrópica.

Para o diagnóstico da qualidade da água são utilizados indicadores físicos, químicos e biológicos, pretendendo-se a partir do conhecimento e da divulgação desses dados, sensibilizar a população em geral, e as autoridades, fomentando políticas públicas de recuperação e preservação dos recursos hídricos (CETESB, 2019).

A aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA) tem como principal finalidade descrever esse conjunto de indicadores oriundos dos monitoramentos, transcrevendo essa visão sistemática em um modelo de fácil entendimento pelos gestores do recurso e, também, pela população em geral (Weinberg, 2013).

A base de dados utilizada nesse trabalho é do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), que monitora a qualidade de água superficial no estado desde 1997, fazendo uso também de um IQA, como ferramenta de avaliação da qualidade da água em pontos de monitoramento distribuídos pelo estado. Que tem como contribuição a visualização espacial da qualidade da água em nível de bacia hidrográfica.

Nesse sentido, a fim de consolidar os resultados do monitoramento da qualidade das águas e ficar independente das falhas de análises e coletas, este trabalho utilizou o IQA desenvolvido pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2001). Esse índice compara os indicadores de qualidade da água com um padrão preestabelecido, que, neste estudo, será o da Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005).

O IQA-CCME tem a capacidade de incorporar em seu cálculo a totalidade dos resultados de cada parâmetro analisado, mesmo com ausências de resultados na série, possibilitando o trabalho com vários pontos de coleta agregados em diferentes escalas temporais e, também, tem maior flexibilidade por não exigir um conjunto rígido de parâmetros para serem analisados além de ser sempre comparado a um padrão de qualidade preestabelecido (CCME, 2001).

Sendo assim este trabalho apresenta os resultados da qualidade da água na calha principal da bacia hidrográfica do rio Pomba no Estado de Minas Gerais, informando a condição

da qualidade da água na série histórica estudada, utilizando como ferramenta de investigação o IQA-CCME entre o período de 1998 a 2019.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Legislações Aplicáveis na Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Pomba é uma sub-bacia do rio Paraíba do Sul, 92,1% de sua área de drenagem no estado de Minas Gerais e uma pequena parte (7,9%) em território fluminense (ANA, 2011). A bacia tem no rio Pomba seu trecho de maior extensão, e por essa razão nomeia a bacia hidrográfica, sendo seus maiores contribuintes as sub-bacias Xopotó e Rio Novo no estado de Minas Gerais, já no estado do Rio de Janeiro os rios contribuintes têm pouca relevância em volume de água.

Desta forma o rio Pomba é um rio de domínio da união e assim subordinado a legislação federal de gestão de recursos hídricos, pois sua calha transpõe a fronteira estadual, já nas suas sub-bacias e os pequenos tributários são aplicadas as legislações do estado de Minas Gerais, e ainda que pouco relevantes em volumes de água nos afluentes fluminenses são aplicadas as legislações do estado do Rio de Janeiro.

2.1.1 Leis Federais

Uma das primeiras leis que tiveram destaque no Brasil sobre recursos hídricos foi o Código das Águas de 1934, sendo um dos primeiros instrumentos a trazer definições de uso das águas no Brasil (Brasil, 1934).

Em 1981 foi instituída a Lei Federal nº 6.938 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), onde o objetivo era a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, com contribuição para a preservação dos recursos hídricos (Brasil, 1981).

A Constituição Federal de 1988 tratou no seu art. 20º e inciso III as questões de dominialidade das águas e definiu como bens da União; os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com

outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham. Também no seu art. 26º inciso I; complementa que são bens dos Estados as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, na forma da lei, as decorrentes de obras da União (Brasil, 1988).

A Lei Federal nº 9.433 de 1997 (Lei das Águas) instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), e ainda estabeleceu medidas que visam colaborar com a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente, contribuindo assim para garantir, para esta e para as futuras gerações, água em quantidade e qualidade, de acordo com os padrões dos seus respectivos usos (Brasil, 1997).

Para a implantação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH), criado pela PNRH, foi criada, através da Lei nº 9.984, em 2000, a Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 2000).

2.1.2 Leis Estaduais

No estado de Minas Gerais a primeira versão da Política Estadual de Recursos Hídricos, foi a Lei Estadual de nº11504, de 20 de junho de 1994 que teve como objetivo assegurar o controle do uso da água e de sua utilização, em quantidade, qualidade e regime satisfatório, por seus usuários atuais e futuros (Minas Gerais, 2011).

Buscando um alinhamento com a lei federal da PNRH de 1997, a Lei de nº 11.504/1994 foi substituída pela Lei Estadual de nº13.199 de 29 de janeiro de 1999. Esta lei apresenta algumas especificidades, sendo uma delas o fato de estabelecer a criação de um conjunto mais amplo de instrumentos (o rateio de custos das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo, e as penalidades decorrentes do descumprimento da lei), também são maiores as competências dos comitês de bacia, vez que à estas instâncias restou incumbida, também, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos para empreendimentos de grande porte e com potencial poluidor, competência esta exercida mediante a superintendência do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) (Brasil, 1997; Minas Gerais, 1999).

A Lei de nº12.584 de 17 de julho de 1997, altera a denominação do Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (DRH-MG) para Instituto Mineiro de Gestão

das Águas (Igam), dispõe sobre sua reorganização e dá outras providências. A partir desse momento cria-se o Igam que é o principal órgão gestor de águas do estado.

O decreto de nº 44.290, de 03 de maio de 2006, instituiu o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé (Compé), e ainda no ano de 2006 foi divulgado a criação do Plano Diretor de Recursos Hídricos para a bacia hidrográfica do rio Pomba, que teve como objetivo definir a agenda de recursos hídricos para a bacia.

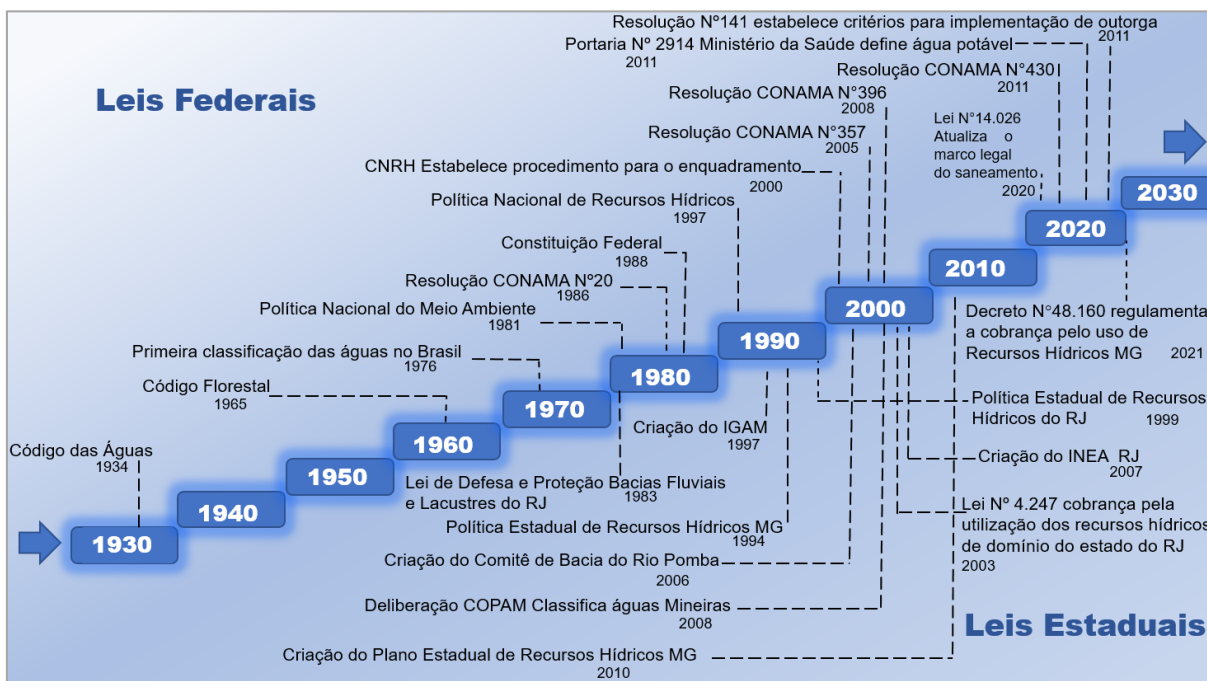
No Estado do Rio de Janeiro a Lei estadual de nº 650 de 11 de janeiro de 1983, dispõe sobre a política estadual de defesa e proteção das bacias fluviais e lacustres do Rio de Janeiro, bem como a preservação dos mananciais hídricos, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (Rio de Janeiro, 1983).

Lei estadual de nº 3.239, de 02 de agosto de 1999 que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e criou o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; regulamentando o artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII da Constituição Estadual, além de outras providências (Rio de Janeiro, 1999, Brasil, 1988).

Lei estadual de nº 5.101 de 04 de outubro de 2007 dispôs sobre a criação do Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Posteriormente foi modificada pela Lei de nº 7.511 de 10 de janeiro de 2017 (Rio de Janeiro, 2007, 2017).

A Figura 1 representa de modo sintético as principais leis Federais e Estaduais Mineiras e Fluminenses de acordo a cronologia ao longo do tempo.

Figura 1 – Linha do tempo sobre as principais legislações referente a água



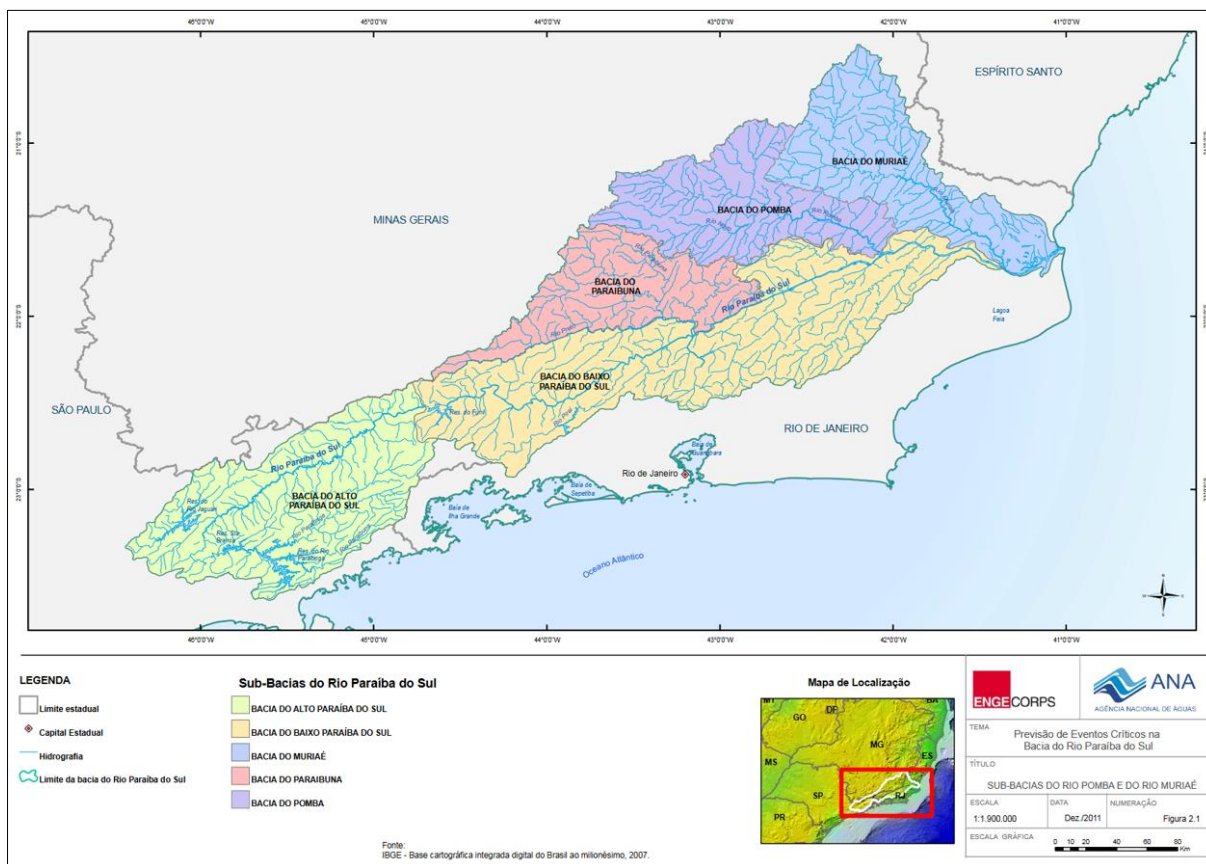
Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Pomba é uma sub-bacia do rio Paraíba do Sul e faz parte da área de atuação do Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé (COMPÉ), junto com a contígua bacia do rio Muriaé (MAPA 1).

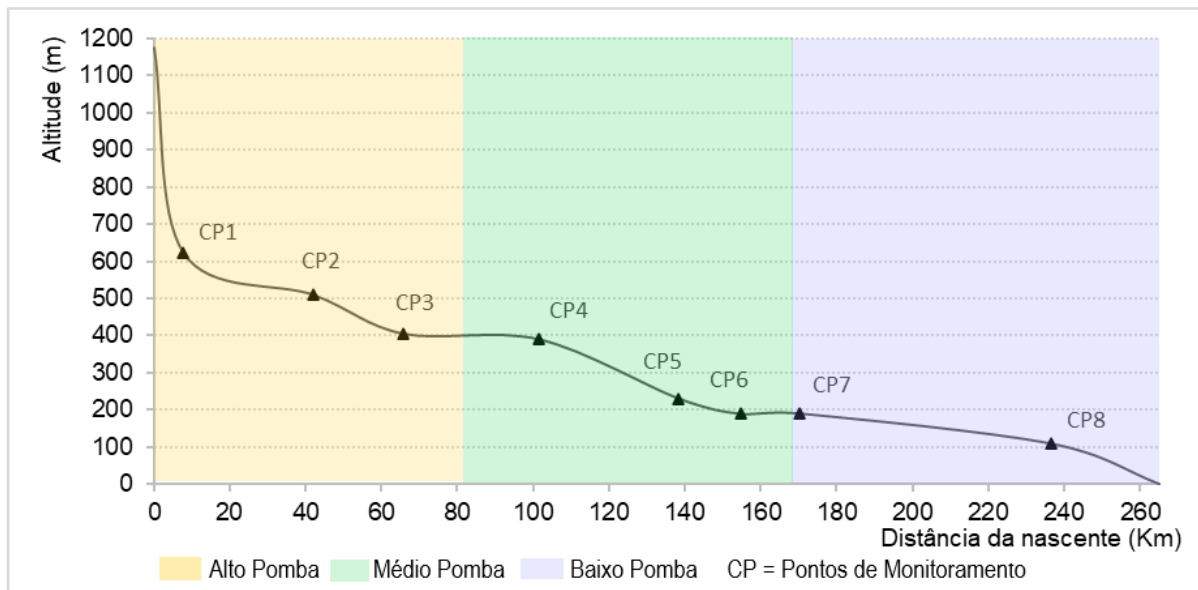
Mapa 1 – Sub-bacia do Rio Pomba



Fonte: ANA (2011)

O rio Pomba nasce na Serra Conceição pertencente à cadeia da Mantiqueira, em Barbacena, a 1.177m de altitude e 265 km de extensão. Seu trecho superior denominado alto Pomba apresenta declividade considerável de aproximadamente 11,9 m/km, uma vez que após 65 km do seu curso a partir da nascente já atinge a altitude de 400 m. Ao chegar à cidade de Cataguases na região do médio Pomba, após percorrer 165 km desde sua nascente, sua declividade é de 5,9 m/km, atingindo a altitude de 190 m. Por fim depois de percorrer uma distância total de 265 Km, em Santo Antônio de Pádua, atinge a altitude de 109 m na região próxima à sua foz no rio Paraíba do Sul, de forma que apresenta uma declividade média de 4,0 m/km (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – Perfil topográfico da calha principal e pontos de monitoramento



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do Google (2020)

A calha principal do rio Pomba e seus afluentes apresentam talvegue retilíneo, com vales encaixados. De modo geral os rios apresentam padrões de drenagem retangular, que se relacionam com a adaptação da rede de drenagem à organização estrutural da região (Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - AGEVAP, 2013).

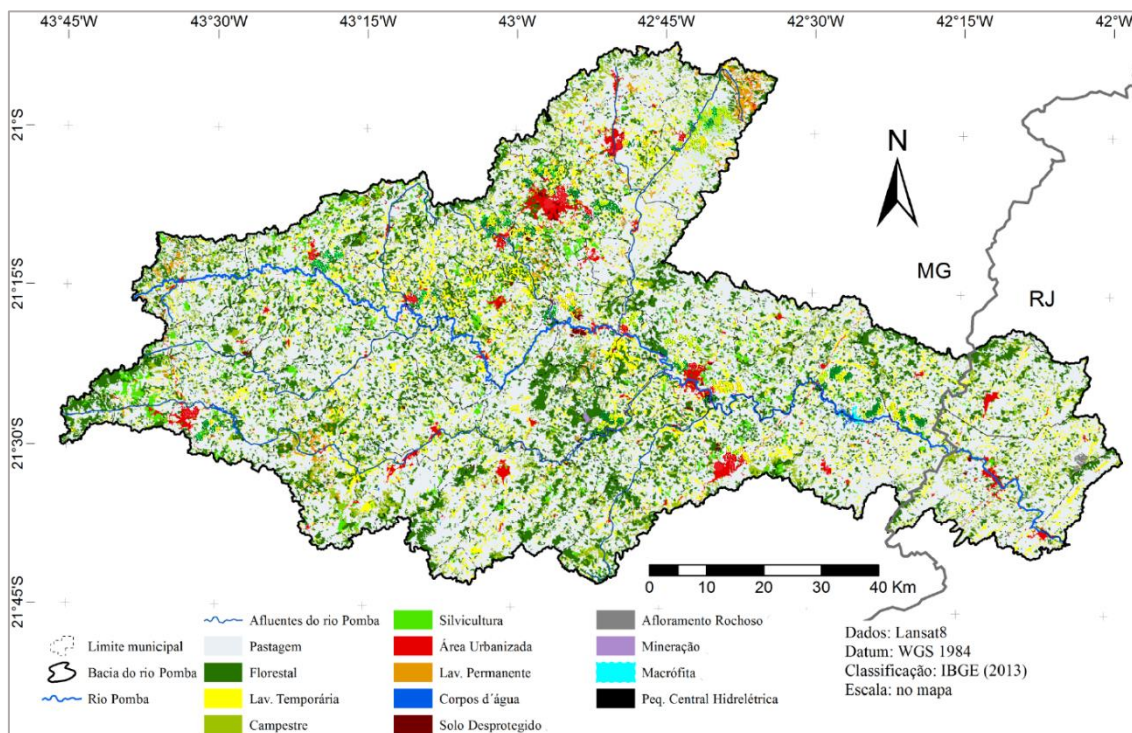
3.2 Uso e Ocupação do Solo

Ao longo do tempo a bacia do rio Pomba passou por vários processos de ocupação, na sua maioria sem organização, com sucessivos ciclos econômicos. Conforme Mapa 2, primeiro com a retirada de madeira, logo em seguida o ciclo da cana de açúcar, ciclo do ouro, ciclo do café e atualmente a criação de gado leiteiro e de corte, tendo como consequência ambientais negativas a descaracterização das paisagens nas áreas rurais, e o sufocamento das áreas verdes pelas áreas urbanizadas (AGEVAP, 2013).

A bacia hidrográfica do rio Pomba apresenta como fatos relevantes o desmatamento, principalmente nas cabeceiras das suas sub-bacias, com poucas florestas, sendo na sua maioria vegetação do tipo secundária. Chama a atenção, também, as erosões do solo, fruto do desmatamento iniciado no ciclo do café em Minas Gerais. Outros dois fatores

relevantes são as cheias recorrentes e os lançamentos de efluentes domésticos in natura nos cursos dos rios (Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - CEIVAP, 2006). A topografia encontrada na região é acidentada, com vales estreitos e úmidos, e relevo variando de fortemente ondulado a montanhoso.

Mapa 2 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: SILVA (2014)

Se por um lado o abastecimento de água dentro da bacia do rio Pomba tem bons índices de atendimento, especialmente nas áreas urbanas, com sistemas completos, incluindo captação, tratamento, preservação e distribuição e com consumos médios per capita de 200 L hab⁻¹ dia⁻¹, quando se considera o esgotamento sanitário, os índices são de países com os piores níveis de desenvolvimento humano, chegando apenas a 8,3% do efluente doméstico total tratado (ANA, 2017).

O rio Xopotó, de acordo com a AGEVAP (2020) é um dos afluentes do rio Pomba com pior índice de qualidade da água, pois nele são lançadas elevadas taxas de esgoto doméstico, sendo a capacidade de autodepuração do rio, insignificante frente a demanda dos efluentes lançados.

Outros dois afluentes do rio Pomba importantes, o Ribeirão Feijão Cru e o Ribeirão Jacareacanga na cidade de Leopoldina, MG, recebe o efluente doméstico de 51.145 habitantes, também sem nenhuma forma de tratamento preliminar (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2022). O ribeirão Feijão Cru tem vazão de $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o que é incompatível com o volume de esgoto despejado, o que proporciona baixa diluição e contribui para redução do oxigênio dissolvido que posteriormente interfere em todo sistema de vida aquática do rio (Guedes *et al.*, 2012).

As fontes de poluição da bacia se caracterizam de forma difusa, pelas suas origens de contaminação, apesar de estarem concentradas principalmente nas grandes cidades, com a presença de esgoto doméstico sem o devido tratamento. Outras alterações da bacia, tais como mineração, erosão e atividades industriais, também devem ser consideradas como fontes de poluição, além dos efluentes domésticos (Silva, 2021).

Conforme salientado por AGEVAP (2013), as atividades industriais têm pouca relevância na região, devido à pouca influência em relação à área total da bacia. A cidade de Cataguases se destaca pelo seu polo industrial, entretanto a maioria das cidades têm populações inferiores a 10.000 hab. sem indústrias de grande porte com potencial de impacto negativo na qualidade da água ao ponto de afetar uma área considerável da bacia ou de um trecho do rio Pomba.

3.3 IQA-CCME

O IQA-CCME foi desenvolvido pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME). Para compor esse índice foram combinados os valores das três medidas de variância criando um vetor no espaço tridimensional. Isto é, cada medida de variância corresponde a uma das componentes axiais do vetor, Escopo (F1); Frequência (F2) e Amplitude (F3), são escalonadas de forma que o comprimento do vetor varie entre 0 e 100, onde 100 é a qualidade 100% conforme ao padrão escolhido (CCME, 2001).

O Escopo (F1) representa a porcentagem de parâmetros que estiverem em não conformidade com os seus padrões preestabelecidos, pelo menos uma vez durante o período de tempo considerado, em relação ao número total de parâmetros no monitoramento (CCME, 2001).

Assim o cálculo do Fator F1 do Índice de Qualidade de Água CCME pode ser realizado pela equação 1 a seguir.

$$F1 = \left[\frac{\text{número de parâmetros não conformes}}{\text{número de parâmetros monitorados}} \right] \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

A Frequência (F2) representa a porcentagem de análises individuais que não atendem aos padrões, e pode ser calculado de acordo com a equação 2, a seguir.

$$F2 = \left[\frac{\text{número de análises não conformes}}{\text{número de análises realizadas}} \right] \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

A Amplitude (F3) dá informação sobre a magnitude com que cada parâmetro não cumpre os critérios estabelecidos. O cálculo é realizado em três etapas. Calcula-se a excursão de cada valor, ou seja, o percentual em que a concentração individual do parâmetro é maior ou menor que o limite padrão adotado, e é calculado através da equação 3a ou 3b, de acordo com:

a – para os casos em que o valor do teste não deve ser superior ao limite (limite máximo):

$$\text{Excursão } i = \left(\frac{\text{valor da análise não conformes } i}{\text{valor padrão } j} \right) - 1 \quad (\text{Eq. 3a})$$

b - para os casos em que o valor do teste não deve ser abaixo do limite (limite mínimo):

$$\text{Excursão } i = \left(\frac{\text{valor padrão } j}{\text{valor da análise não conforme } i} \right) - 1 \quad (\text{Eq. 3b})$$

A soma normalizada das excursões, denominada nse, é calculada somando as excursões dos testes individuais e dividindo pelo número total de análises (critérios atingidos e não atingidos) (CCME, 2001). Assim o cálculo pode ser realizado através da equação 4.

$$\text{nse} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excursão } i}{\text{número total de análises}} \quad (\text{Eq. 4})$$

A Amplitude (F3) é então calculada por uma função assintótica que escalona a soma normalizada das excursões em relação aos de critérios estabelecidos em uma escala entre 0 e 100, e pode ser calculado pela equação a seguir (Equação 5).

$$F3 = \frac{nse}{0,01(nse) + 0,01} \quad (\text{Eq. 5})$$

Após o cálculo dos três fatores (F1, F2 e F3) o índice é calculado pela soma desses fatores como se fossem vetores, ou seja, a soma dos quadrados de cada fator é, por conseguinte, igual ao quadrado do índice. Esta abordagem trata o índice como um espaço tridimensional definido por cada um dos fatores ao longo de um eixo, com este modelo, as mudanças no índice ocorrerão em proporção direta com alterações em todos os três fatores (CCME, 2001).

O cálculo final do Índice de Qualidade de água CC-ME é feito através da equação 6.

$$IQA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right) \quad (\text{Eq. 6})$$

Os valores do IQA-CCME são divididos em cinco categorias, cada categoria refere-se à condição natural da água fundamentada na preservação da vida aquática, como também numa melhoria das informações disponíveis, para um julgamento técnico ou leigo da qualidade da água, e podem ser modificadas de acordo com os objetivos propostos no monitoramento. Na Tabela 1, são apresentadas as categorias.

Tabela 1 – Categorização da qualidade da água pelo IQA-CCME

VALOR	CLASSE	SIGNIFICADO
95 - 100	ÓTIMA	Protegida com uma ausência virtual de ameaça ou comprometimento, condições muito próximas dos níveis naturais ou primitivos.
80 - 94	BOA	Protegida com apenas um menor grau de ameaça ou comprometimento, as condições raramente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
65 - 79	REGULAR	Protegida, mas ocasionalmente ameaçada ou prejudicada, as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
45 - 64	RUIM	Frequentemente ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
0 - 44	PÉSSIMA	Quase sempre ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam de níveis naturais ou desejáveis.

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de CCME (2001)

O Rio Pomba transcende a fronteira do estado de Minas Gerais, portanto um rio de nível Federal, desse modo adotou-se como padrões de referência para a composição do cálculo do IQA desse trabalho, aqueles descritos na legislação federal CONAMA n° 357 (Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, 2005).

3.4 Pontos de Monitoramento

O número e a localização das estações de monitoramento de qualidade de água e as frequências de amostragem são ainda hoje muitas vezes determinados por conveniência ou por outros critérios aleatórios, sem uma abordagem sistemática ou que contenha objetivos claros (Almeida, 2013).

Diante do contexto, o método de Sanders (1983), inicialmente, desenvolvida por Sharp (1971), foi adotado neste trabalho. O modelo de Sharp (1971) e adaptado por Sanders (1983) define trechos de rio que devem ser monitorados, é um modelo simples, que se baseia no ordenamento de rios dentro de uma bacia hidrográfica e no cálculo do centro de massa, que recebe a classificação de primeiro nível hierárquico, daí em diante a classificação sucede até outros níveis de hierarquia, até que as fontes de poluição sejam encontradas. A principal adaptação do método feito por Sanders (1983) é a inclusão das fontes pontuais de poluição. Assim os centros de massa da rede de drenagem são deslocados para trechos onde a bacia hidrográfica contribuinte tem um número maior de descargas pontuais (Vieira, 2014).

A proposta de macrolocação descrita teve como principal fundamento o conhecimento da rede de drenagem e as interferências das atividades antrópicas ocorridas dentro da bacia hidrográfica. Essa metodologia de macrolocação de pontos foi a que melhor se adequou às peculiaridades da bacia, considerando algumas observações, tais como a frequência temporal, a localização dos pontos existentes, bem como a disponibilidade e confiabilidade dos dados de cada ponto, assim como os objetivos propostos desse trabalho.

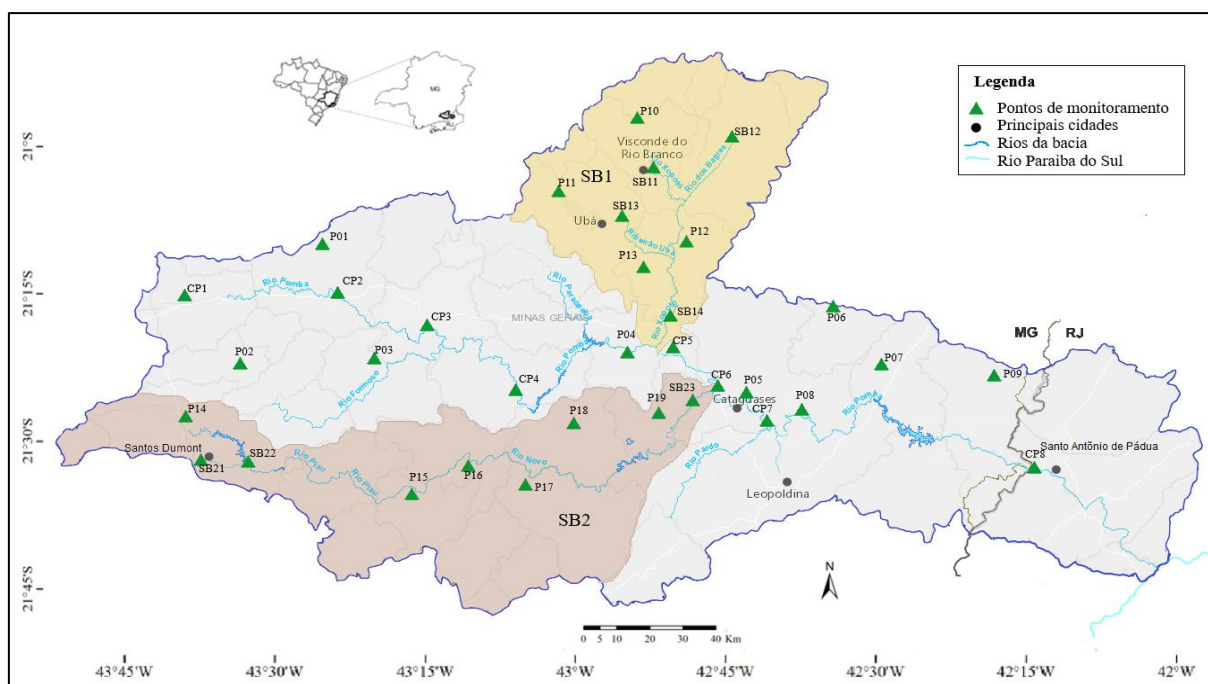
Na confecção da rede de drenagem utilizou-se os dados do ano de 2022 disponíveis no Hidroweb da ANA³ como norteador dos principais rios da bacia e na definição das cargas de poluição utilizou dados do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros dos rios Pomba e Muriaé – diagnóstico e prognóstico (AGEVAP, 2020).

³ Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>

Após consultar base de dados do Igam e da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), foram identificados um total de 34 pontos de monitoramento de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Pomba com possibilidade de uso de dados para o cálculo do IQA-CCME, conforme Mapa 3, porém apenas 15 foram selecionados através da metodologia de macrolocação, sendo os demais considerados não úteis para este estudo.

O descarte dos pontos foi baseado na inconsistência com a metodologia de macrolocação, onde os pontos apontados pela metodologia divergem dos pontos de monitoramento já consolidados existentes na bacia e as recomendações do CCME quanto à frequência mínima anual de campanhas, onde foram realizadas número de campanhas bem inferiores ao recomendado, de modo que o monitoramento seria de baixa confiabilidade para uma comparação de resultados.

Mapa 3 – Pontos de monitoramento totais existentes na bacia hidrográfica do rio Pomba e sub-bacias Xopotó e Rio Novo

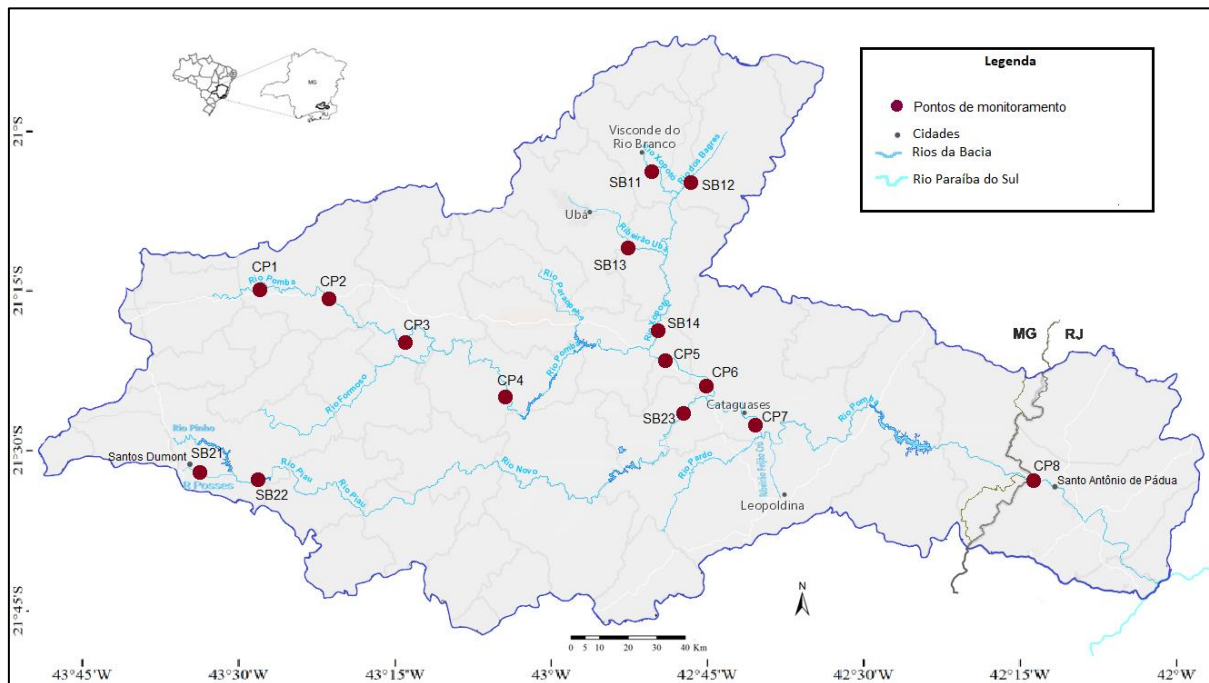


Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de ANA (2022)

A partir da aplicação da metodologia de macrolocação de pontos de monitoramento foram escolhidas as estações de monitoramento existentes e operadas pelo Igam e Copasa, que se encaixavam nos trechos apontados como apropriados para serem monitorados. No Mapa 4 e na Tabela 2, são apresentados os pontos de monitoramento utilizados no presente estudo para

avaliação dos indicadores de qualidade de água na bacia hidrográfica do rio Pomba entre o período de 1998 a 2019.

Mapa 4 – Representação dos pontos de monitoramento selecionados após metodologia aplicada



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de ANA (2022)

A calha principal do rio Pomba, denominada assim por ser a área central da bacia hidrográfica, onde estão inseridos os afluentes das sub-bacias, ficaram localizados os pontos denominados CP1 a CP8. A sub-bacia do rio Xopotó, denominada SB1, localizada na margem esquerda da calha principal, compreende os pontos entre SB11 a SB14, e a sub-bacia do Rio Novo, que tem sua localização na margem direita da calha principal, os pontos SB21 a SB23 (MAPA 4).

Tabela 2 – Descrição dos pontos de monitoramento e coordenadas geográficas

Pontos de Coleta	Descrição do Ponto	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
CP1	Rio Pomba, ponto a montante da cidade de Santa Bárbara do Tugúrio.	21°14'43"S	43°33'54"W
CP2	Rio Pomba, ponto a jusante da cidade de Mercês recebe bastante carga de efluentes domésticos.	21°14'05.0"S	43°19'12.0"W
CP3	Rio Pomba, ponto logo após uma PCH e a montante da cidade de Rio Pomba.	21°16'49.7"S	43°11'16.2"W
CP4	Rio Pomba, ponto a jusante a cidade de Guarani.	21°23'27.4"S	43°02'29.9"W
CP5	Rio Pomba, ponto fica dentro da área urbana da cidade de Dona Euzébia.	21° 19' 05"S	42° 49' 03"W
CP6	Rio Pomba, ponto a montante da cidade de Cataguases e da foz do rio Novo.	21°22'40.9"S	42°44'43.2"W
CP7	Rio Pomba, ponto a jusante da cidade de Cataguases.	21°25'55.8"S	42°39'38.8"W
CP8	Rio Pomba, ponto na divisa dos Estados de Minas Gerais e do Rio de Janeiro.	21°29'40.8"S	42°15'20.7"W
SB11	Rio Xopotó, ponto a jusante da cidade de Visconde do Rio Branco.	21°02'48.7"S	42°49'58.9"W
SB12	Rio dos Bagres, ponto a montante da cidade de Guiricema.	21°00'07.0"S	42°42'48.0"W
SB13	Rio Ubá, ponto a jusante da cidade de Ubá.	21°08'04.1"S	42°52'39.1"W
SB14	Rio Xopotó, ponto próximo a foz com o Rio Pomba.	21°16'44.6"S	42°49'3.78"W
SB21	Ribeirão das Posses, ponto a jusante da cidade de Santos Dumont.	21°29'19.0"S	43°31'56.2"W
SB22	Rio Pinho, ponto a jusante de uma represa.	21°29'14.0"S	43°27'18.9"W
SB23	Rio Novo, ponto a jusante de uma PCH na foz com o rio Pomba.	21°24'11.0"S	42°46'50.9"W

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

3.5 Definição dos Parâmetros

Os dados da pesquisa vieram do banco de dados do Igam que é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de Minas Gerais desde 1997 e da Copasa, que atua no estado desde 1963 também possui uma rede monitoramento dentro dos municípios onde a empresa possui concessão. As análises foram realizadas em quatro campanhas ao ano, sendo no total 12649 análises realizadas para todos os pontos no período estudado.

Para o CCME (2017) a definição dos parâmetros a serem utilizados para as avaliações de IQA devem estar relacionados aos usos dessa bacia, outra abordagem é usar números e tipos de parâmetros variáveis para calcular o CCME, em resposta aos estressores de origem humana no corpo d'água.

Assim utilizou-se os dados do Plano Diretor de Bacia do Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé, no qual estava notificado e desenhado os principais usos e possíveis interferentes que poderiam vir a causar danos a qualidade da água da bacia. Além do plano diretor da bacia, alguns autores como Ruas (2006), Soares, Huszar e Holand (2007), Farage (2009) e Silva (2014), descreveram grupos de contaminantes e condições físicas de relevo e o modelo de apropriação do solo que propiciam impactos de forma negativa na qualidade da água da bacia hidrográficas do rio Pomba e que também serviram de referência para a definição dos parâmetros utilizados nesse trabalho.

Uma questão importante na definição dos parâmetros para uso do índice CCME, está nas considerações e ressalvas quanto a utilização quantitativa dos dados, devendo observar o uso de no mínimo oito e de no máximo 20 parâmetros no cálculo (CCME, 2017).

É necessário tomar o devido cuidado para garantir que os parâmetros selecionados não tenham o mesmo impacto, expressando a mesma resposta, como por exemplo, pH e alcalinidade, ou turbidez e sólidos suspensos, e observar também que, a utilização de muitos parâmetros pode reduzir a importância de parâmetros individuais relevantes, ou no sentido inverso onde poucos parâmetros tendem a aumentar a importância de cada parâmetro. Ou seja, estes fatos, nos leva a concluir que para o sucesso da pesquisa deve haver um bom equilíbrio entre esses dois extremos, conforme destacado pelo CCME (CCME, 2017).

Diante das considerações anteriores os parâmetros selecionados e utilizados para o cálculo foram 16 no total, sendo eles: Alumínio Dissolvido (Al), Escherichia coli/coliformes

termotolerantes (E. Coli), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Dureza Total (DT), Fenóis Totais (FT), Ferro Dissolvido (Fe), Fósforo Total (PT), Manganês Total (Mn), Nitratos (NO₃), Nitritos (NO₂), Nitrogênio Amoniacal Total (NH₃), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Surfactantes/Agentes Tensoativos (ATA), Turbidez (NTU).

A Resolução CONAMA n°357/2005, prevê a substituição do grupo coliformes termotolerantes pela Escherichia Coli de acordo com os limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente. (CONAMA, 2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No modelo de cálculo do IQA-CCME, agregou-se todos os dados de todos os pontos de monitoramento selecionados para determinado ano de medição. Esse procedimento permite que a análise da qualidade da água seja feita, não para o ponto específico, mas sim pelo ano de referência, de forma a obter o IQA da bacia ou rio naquele dado ano, considerando todos os pontos monitorados selecionados. Após essa agregação foram aplicados os cálculos do IQA e como resultado, portanto, foi obtido um único valor de IQA da bacia para o ano correspondente.

Os gráficos foram divididos em 2 (dois) formatos: IQA geral de toda a bacia e IQA do rio Pomba, sem a inclusão das sub-bacias, onde somente foram utilizados os dados da calha principal.

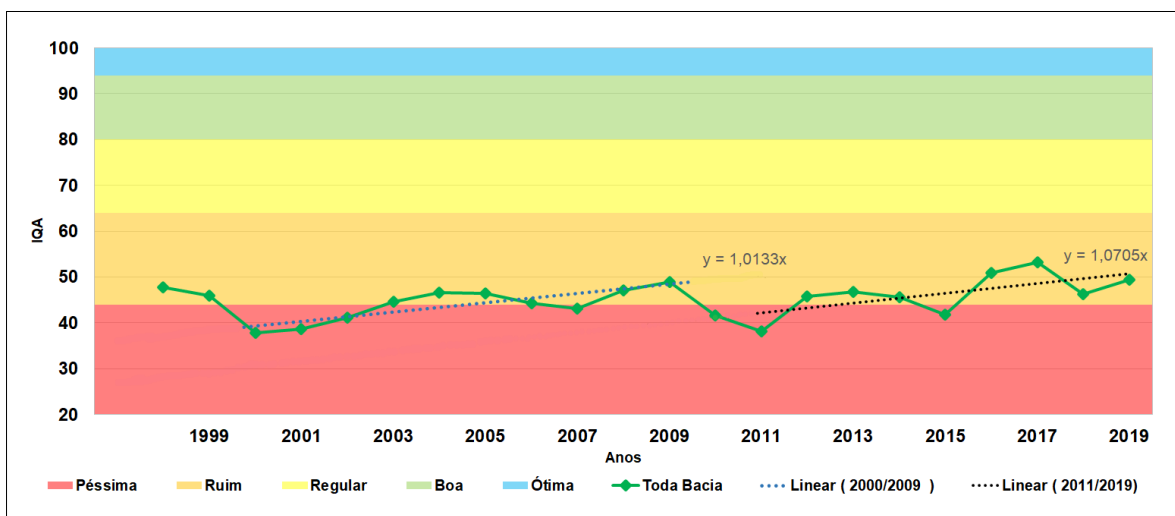
IQA geral de toda a bacia

No modelo de cálculo do IQA geral para toda bacia os valores se mantiveram semelhantes durante todo o período de observação, com IQA ruim e, em alguns anos, com o IQA na faixa de péssima qualidade (GRÁFICO 2).

Ainda que pouco perceptível, há uma tendência de melhora na qualidade da água quando se observa o desvio no coeficiente angular alfa α dos dados de toda bacia (14,81°). Os anos de 2000 e 2011 apresentaram picos de queda de qualidade de água e melhora nos anos seguintes.

Nos anos subsequentes (2011-2019) foi constatada uma melhor capacidade de autodepuração na bacia. No entanto, o processo de piora da qualidade com subsequente recuperação se repete periodicamente em intervalos de alguns anos. Todo esse processo pode ser vislumbrado nos anos de 2000 a 2009, onde é possível se observar uma reta de tendência de melhora do valor de IQA ao longo dos anos com coeficiente angular α de 45,38, e de 2011 a 2019 com coeficiente angular α de 46,95 (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 – IQA de toda bacia do rio Pomba com dados agregados por ano de monitoramento entre 1998 a 2019

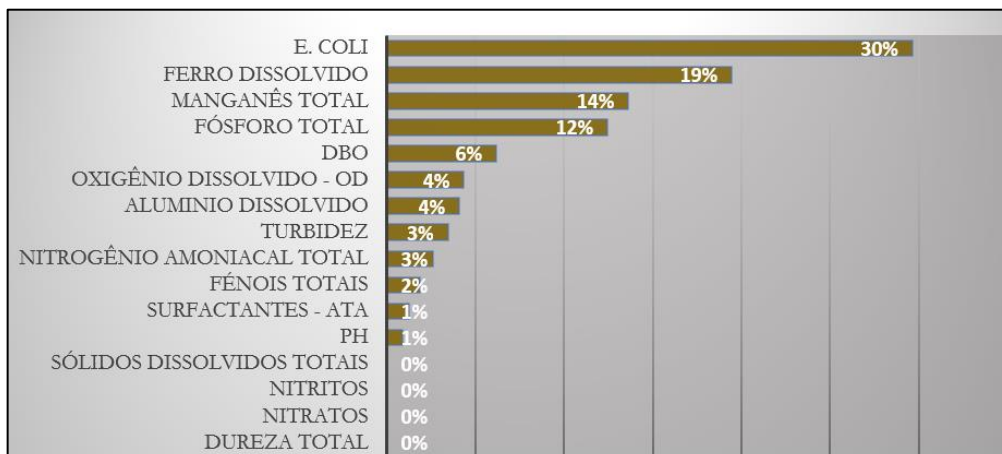


Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Os anos de pior qualidade da água ocorrem em períodos de chuvas intensas, no qual ocorre principalmente o carreamento de material terrestre para o leito dos rios, observado por Silva (2021), onde parâmetros como E. Coli que representam 30% de ocorrência no período estudado, conforme Gráfico 3, e tem grande influência no F3 do cálculo do IQA da qualidade da água.

Além desses, outros parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Fósforo que tem característica de poluição de fonte urbana causada principalmente pela presença de esgoto doméstico que são incidentes na bacia e comprometem a qualidade da água. Por um outro lado a presença de metais como ferro e manganês refletem o modelo de uso do solo da região, com pouca cobertura florestal, o que propicia a erosão e consequentemente pelo arraste a contaminação do rio.

Gráfico 3 – Percentual de violação para os parâmetros no período estudado

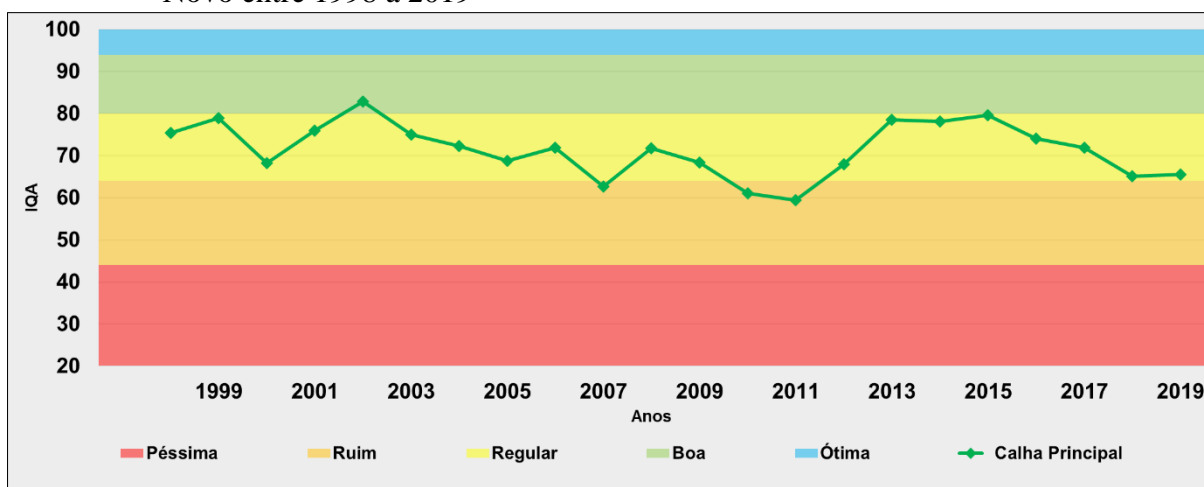


Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

IQA sem a interferência das sub-bacias

No modelo de cálculo do IQA sem a interferência das sub-bacias, avaliou-se a interferência das sub-bacias Xopotó e Rio Novo no cálculo do IQA anual do rio Pomba. O que se observou é que há uma melhora da qualidade da água em relação ao IQA de toda a bacia, permanecendo na faixa de regular na maior parte do tempo, conforme Gráfico 4, quando desconsiderado os valores de monitoramento das sub-bacias. Os picos de valores de IQA chegam em alguns momentos a uma água de boa qualidade, como é o caso dos anos de 2002 e 2015 (área verde e linha verde do gráfico).

Gráfico 4 – IQA de toda a bacia do rio Pomba sem interferência das sub-bacias Xopotó e Rio Novo entre 1998 a 2019

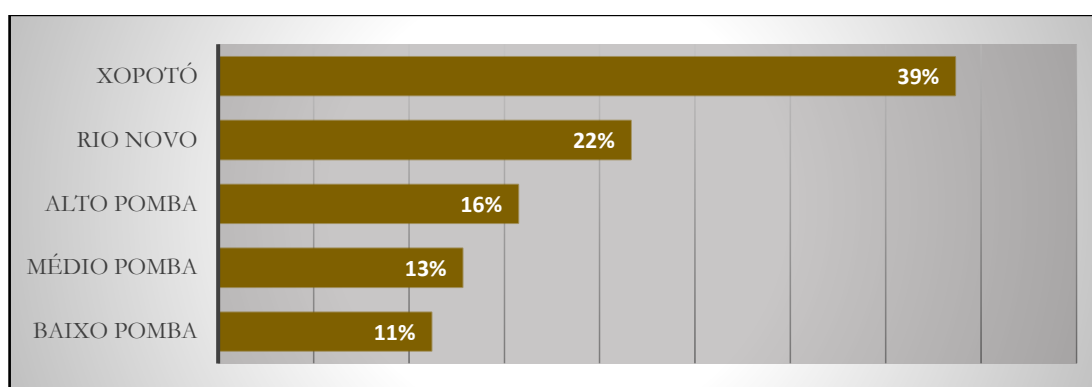


Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Pode-se dizer que há uma regionalização dos impactos com as fontes de poluição que estão mais concentradas nas sub-bacias, principalmente na sub-bacia Xopotó que corresponde com o maior número de incidência de material contaminante, com 39% (GRÁFICO 5).

Conforme já destacado por AGEVAP (2020) e discutido por Silva (2021), o rio Xopotó tem grande capacidade de comprometer a qualidade da água do rio Pomba, seja por suas elevadas taxas de esgoto doméstico lançadas nos rios sem tratamento, seja também pela forma de uso e apropriação do solo, com desmatamento e pecuária, de modo a contribuir com a poluição de material particulado para o leito do rio principalmente no período chuvoso.

Gráfico 5 – Porcentagem de parâmetros não conformes incidentes por regiões da bacia



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho buscou avaliar o comportamento da qualidade da água na calha principal do rio Pomba, utilizando o índice IQA-CCME após a aplicação da metodologia de macrolocação de pontos de monitoramento e a evolução da qualidade da água ao longo do tempo estudado.

De modo geral a qualidade da água da bacia se manteve em equilíbrio, oscilando entre ruim e péssima, com a maioria dos resultados na faixa ruim, e o modelo de investigação proposto não demonstrou tendência de piora ou melhora da qualidade da água ao longo do tempo estudado em função da mudança de faixas de qualidade, muito embora algumas oscilações com picos de melhora e piora estejam presentes no resultado apresentado.

Diante das considerações pode se concluir que as sub-bacias, Rio Novo e Xopotó tiveram grande influência na piora da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Pomba,

mais que qualquer outra região dentro da bacia, seja pela forma como se faz apropriação pelo uso e ocupação do solo, bem como as áreas de cobertura vegetal de pouca expressão, todos esses fatores contribuíram de forma direta para uma faixa IQA de baixa qualidade.

A metodologia de macrolocação aplicada e posteriormente adaptada se mostrou importante no sentido de demonstrar para esse modelo de investigação de dados, que um número menor de pontos de monitoramento pode ser perfeitamente usado, pois considera tanto as características fisiográficas da bacia, como também aponta de forma satisfatória as interferências antrópicas.

O formato de dados agregados por ano de monitoramento demonstrou ser um formato de fácil maleabilidade por permitir calcular o IQA juntando todos os dados de monitoramento de um mesmo ano. Tem como principal vantagem uma melhor visualização espacial da qualidade da água da bacia hidrográfica como um todo. Sua limitação está na visualização da qualidade local da água no ponto de monitoramento, uma vez que esse formato visualiza o comportamento anual da bacia ou de um rio e não do ponto.

Vale dizer que a evidência mais marcante está relacionada ao saneamento, que teve papel incisivo nas características da qualidade da água, principalmente pelo fato de os grandes centros urbanos das sub-bacias não terem sistemas adequados de tratamento de efluentes.

Sendo assim ficou demonstrado que a inclusão dos dados das sub-bacias, Rio Novo e Xopotó influenciaram em uma piora na qualidade da água, sugerindo a necessidade de uma investigação individual dos dados das sub-bacias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura de recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view> Acesso em: 02 nov. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Elaboração de estudos para concepção de um sistema de previsão de eventos críticos na bacia do Rio Paraíba do Sul e de um sistema de intervenções estruturais para mitigação dos efeitos de cheias nas bacias dos rios Muriaé e Pomba e investigações de campo correlatas**: R31 papel dos afluentes nas Cheias e Pontos Críticos para o Siemec. Brasília: ANA, SUM/SPR, 2011. Disponível em: [gripsul.ana.gov.br/rels/R31.Papel dos afluentes e Pontos críticos SIEMEC.pdf](http://gripsul.ana.gov.br/rels/R31.Papel%20dos%20afluentes%20e%20Pontos%20cr%C3%ADicos%20SIEMEC.pdf). Acesso em: 18 out. 2022.

ALMEIDA, K. C. B. **Avaliação da rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais da bacia do rio das velhas utilizando o método da entropia**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – AGEVAP; COMITÊ PARA INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – CEIVAP; HOLOS ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA. **Relatório consolidado de caracterização – Pomba p3: Diagnóstico ambiental (caracterização): Avaliação Ambiental Integrada – AAI das bacias dos rios Muriaé, Pomba, Piabanha, Paraibuna e Preto, afluentes do rio Paraíba do Sul**. 2013. Disponível em: http://sigaceivap.org.br:8080/publicacoesArquivos/arq_pubMidia_Processo_009-2011_P03.7-RCC-Pomba.pdf. Acesso em: 02 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - AGEVAP. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - PIRH-PS e elaboração dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Afluentes - diagnóstico e prognóstico da bacia hidrográfica dos afluentes mineiros dos rios Pomba e Muriaé**. 2020. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/conteudo/REL-Produto-C-versao-final-dez16.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código das Águas. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm. Acesso em: 17 nov. 2019.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/91972/constituicao-da-republica-federativa-do-brasil-1988#art-20--inc-III>. Acesso em: 17 abr. 2020.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 25 nov. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 25 nov. 2019.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canadian water quality guideline for protection of aquatic life**: CCME water quality user's manual update 2017. Disponível em: <https://ccme.ca/en/res/wqmanualen.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2019.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **CCME Water Quality Index 1.0**. Disponível em:
https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/ceea/archive/Water/CCME_Canada.PDF. Acesso em: 25 nov. 2019.

COMITÊ PARA INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - CEIVAP. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – resumo** - Caderno de Ações Bacia do Rio Pomba. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:
<https://www.ceivap.org.br/downloads/PSR-RE-012-R1.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2019.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. 2019. Disponível em:
<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2019.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18/03/2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 25 nov. 2019.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH (Brasil). Ministério do desenvolvimento Regional. **Resolução nº 12, de 19 de julho de 2000b**. foi revogada pela resolução de nº 91, DE 5 DE NOVEMBRO DE 2008. Estabelece procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2091.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2019.

CUNHA, D. G.F.; CALIJURI, M. C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Carlos, v.15, n.4, p.337-346, dez. 2010. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/VZN7PkDBp6JtjDx3cKQqx7H/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 25 nov. 2019.

FARAGE, J. de A. P. **Influência do uso e da ocupação do solo na qualidade da água e capacidade autodepurativa do Rio Pomba**. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em:
<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3546/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2019.

GARCIA, E. N. dos A.; MORENO, D. A. A. C.; FERNANDES, A. L. V. A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. **Environmental Forum of Alta Paulista**, Tupã, v. 11, n. 6, p. 235-249, 2015. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1259/1279 Acesso em: 21 nov. 2019.

GOOGLE. Google Earth Website. **Mapas da Bacia do Rio Pomba**. 2020. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 26 ago. 2020.

GUEDES, H. A. S. *et al.* Application of multivariate statistical analysis in the study of water quality in the Pomba River (MG). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 5, p. 558-563, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/pYzDPFQQTmNyZbznJ7GFHKd/abstract/?lang=en#>. Acesso em: 25 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico**: Brasil. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/leopoldina/panorama>. Acesso em: 21 mar. 2024.

MINAS GERAIS. **Decreto de nº 44.290, de 03 de maio de 2006**. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/44290/2006/?cons=1>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MINAS GERAIS. **Decreto de nº 45.565, de 22 de março de 2011**. Aprova o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH-MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=16494>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MINAS GERAIS. **Decreto de Lei nº 12.584, de 17 de julho de 1997**. Altera a denominação do Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais - DRH-MG - para Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, dispõe sobre sua reorganização e dá outras providências. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/12584/1997/>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MINAS GERAIS. **Lei Estadual de nº 13.199/1999 de 29 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/13199/1999/?cons=1>. Acesso em: 26 ago. 2020.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lei estadual de nº 3.239, de 02 de agosto de 1999**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII; e dá outras providências. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/43fd110fc03f0e6c032567c30072625b>. Acesso em: 26 ago. 2020.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lei estadual de nº 650 de 11 de janeiro de 1983**. Dispõe sobre a política estadual de defesa e proteção das bacias fluviais e lacustres do rio de janeiro. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/legislacoes/Leis/Lei%20Estadual%20650.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2020.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lei estadual de nº 5101 de 04 de outubro de 2007**. Dispõe sobre a criação do Instituto Estadual do Ambiente – INEA e sobre outras providências para maior eficiência na execução das políticas estaduais de meio ambiente, de recursos hídricos e florestais. Posteriormente modificada pela Lei de nº 7511 de 10 de janeiro de 2017. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/e9589b9aab9cac8032564fe0065abb4/674aaff783d4df6b8325736e005c4dab?OpenDocument>. Acesso em: 26 ago. 2020.

RUAS, A. L. **Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica – estudo de caso do Rio Pomba**. 2006. 280 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-6SWRZM>. Acesso em: 21 nov. 2019.

SANDERS, T. G. *et al.* **Design of network for monitoring water quality**. Highlands: Water Resources Publications, 1983.

SHARP, W. E. A topologically optimum water-sampling plan for rivers or streams. **Water Resources Research**, Malden, v. 7, n. 6, p. 1641-6, dec. 1971. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR007i006p01641>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR007i006p01641>. Acesso em: 19 nov. 2019.

SILVA, H. T da. **Avaliação da evolução da qualidade da água superficial na bacia do Rio Pomba, MG, utilizando o índice IQA-CCME**. 2021. 141 f. Dissertação (Mestrado em Rede Nacional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.btdt.uerj.br:8443/handle/1/18738>. Acesso em: 12 jan. 2022.

SILVA, R. R. **Bacia do rio Pomba (MG): uso e ocupação do solo e impactos ambientais nos recursos hídricos**. 2014. 118 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, 2014. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/972f9993-fb40-4fc6-9ab8-3a78213b4aec/full>. Acesso em: 21 nov. 2019.

SOARES, M. C. S.; HUSZAR, V. L. M.; ROLAND, F. Phytoplankton dynamics in two tropical rivers with different degrees of human impact (southeast Brazil). **River Research and Applications**, Germany, v. 23, n. 7, p. 698-714, sept. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/rra.987>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rra.987>. Acesso em: 19 nov. 2019.

VIEIRA, M. R.; GENERINO, A. P. M.; SILVEIRA, R. B. de O. da. Método de alocação de pontos para monitoramento da qualidade de águas superficiais utilizado na RNQA. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11., 2014, Natal. **Anais eletrônicos** [...]. Natal: ABRHidro, 2014. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=7745>. Acesso em: 19 nov. 2019.

WEINBERG, A. **Uso de Índices de Qualidade de Água para a caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Guandu**. 2013. 166 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://www.drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2013/agatha-weinberg-2013.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas (ANA) através do Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015 - Portaria CAPES no 206, de 04 de setembro de 2018.

Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), pelo apoio técnico científico oferecido, e a ANA e a CAPES pelo apoio ao PROFÁGUA aportado até o momento.