

Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba

Quali-quantitative vulnerability of surface water of the Water Resources Planning and Management Unit from Low Paranaíba River, Minas Gerais State, Brazil

Rafael Mendes Rosa

Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil

rafaelmendesr@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5235-4132>

Vanderlei de Oliveira Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil

vanderlei.ferreira@ufu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4033-6564>

RESUMO

As bacias hidrográficas constituem unidades territoriais para planejamento e gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, o diagnóstico quali-quantitativo das águas superficiais é uma etapa elementar para tomada de decisão, sobretudo nas bacias hidrográficas que possuem Comitês e Agências de Bacia Hidrográfica. É importante que os dados referentes aos recursos hídricos sejam observados espacialmente por meio de produtos cartográficos, reforçando a importância da Geografia nos estudos de caráter ambiental. Assim, o presente artigo visa apresentar uma proposta de obtenção da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais em bacias hidrográficas. A área de estudo definida para pesquisa é a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3), localizada no estado de Minas Gerais. O mapa síntese final foi obtido a partir da sobreposição dos seguintes temas: disponibilidade natural das águas superficiais, áreas de conflito pelo uso da água e qualidade das águas superficiais. A vulnerabilidade alta está presente em 6,54%, a média em 31,93%, a baixa em 43,90% e a muito baixa em 15,56% do território da UPGRH PN3. Diante desses resultados, espera-se contribuir para implantação de diretrizes de melhoria da qualidade ambiental na unidade de planejamento e que o procedimento possa ser replicado em unidades análogas.

Palavras-chave: Bacias hidrográficas, Mapeamento, Recursos hídricos, Afluentes do rio Paranaíba.

ABSTRACT

The watersheds are territorial units for planning and management of water resources. In this context, the qualitative and quantitative diagnosis of surface water is an elementary step for decision making, especially in watersheds which have River Basin Committees and Agencies. It is important that data referring to water resources are observed spatially through cartographic products, reinforcing the importance of Geography in studies regarding environmental nature. Thus, this article aims to present a proposal to obtain the quali-quantitative vulnerability of surface water in watersheds. The study area defined for the research is the Water Resources Planning and Management Unit from Low Paranaíba River (UPGRH PN3), located in Minas Gerais State, Brazil. The final synthesis map has been obtained from the overlapping of the following themes: natural availability of surface water, conflict areas for the water use and surface water quality. The high vulnerability is present in 6.54% of the study area, the average in 31.93%, the low in 43.90% and the very low in 15.56% of the UPGRH PN3 territory. Given these results, we expect to contribute to the implementation of guidelines for improving environmental quality in the study area and also that the procedure may be replicated in similar units.

Keywords: Watersheds, Mapping, Water resources, Paranaíba river tributaries.

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são aceitas universalmente como unidades territoriais para planejamento e gestão dos recursos hídricos. A própria conceituação indica as razões para serem consideradas um espaço apto ao manejo e gerenciamento dos recursos hídricos. Em linhas gerais, uma bacia hidrográfica é um sistema natural espacialmente bem delimitado (pelos divisores topográficos), que possui uma porção de terras drenadas por um curso d'água principal e seus afluentes, cujas interações são integradas, pelo menos no aspecto físico (SANTOS, 2004). Diversos outros conceitos de bacia hidrográfica não diferem dessa essência, embora possa haver definições mais completas ou ainda alguma constatação que contribua no aspecto gerencial.

Conforme Pires, Santos e Del Prette (2005), a bacia hidrográfica é a unidade territorial mais apropriada para análises qualitativas e quantitativas da água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes. Por ser um sistema delimitado, é possível realizar o balanço hidrológico, cujos dados são importantes para o gerenciamento de cada unidade. Calasans, Levy e Moreau (2005, p. 68) apontam que “tanto a precipitação como a evapotranspiração podem ser consideradas como sendo condições externas impostas ao sistema ou condições de contorno, utilizadas para análises da disponibilidade hídrica”.

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997) reconhece as bacias hidrográficas como territórios básicos voltados ao planejamento (BRASIL, 1997). As unidades federativas também possuem legislações específicas para gestão dos recursos hídricos. Conforme a Constituição Federal do Brasil, os rios que se situam em mais de um estado (em divisas estaduais) são geridos pelas leis federais (BRASIL, 1988), ao passo que aqueles localizados no interior de uma unidade da federação (nascente e foz situadas dentro de um estado) estão sob o arcabouço de leis estaduais. Nesse contexto, cada estado, por exemplo, possui uma vazão de referência para o cálculo da disponibilidade das águas superficiais.

Em Minas Gerais, a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 13.199, de 29 de janeiro de 1999) segue os princípios da lei federal (MINAS GERAIS, 1999), cuja vazão de referência é a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência) conforme a Portaria do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) 48, de 04 de outubro de 2019 (IGAM, 2019). A Portaria determina que o limite máximo de captações nas bacias hidrográficas é de 50% da $Q_{7,10}$, garantindo fluxos residuais mínimos de 50% da $Q_{7,10}$ à jusante de cada intervenção. O Decreto 47.705, de 4 de setembro de 2019 aponta que as bacias hidrográficas podem ter situações de indisponibilidade hídrica após aferição do balanço hídrico das vazões outorgadas, em que a demanda de água é superior à vazão outorgável, no caso 50% da $Q_{7,10}$ (MINAS GERAIS, 2019). Quando ocorre indisponibilidade hídrica, configura-se um conflito pelo uso da água, o que gera uma Declaração de Área de Conflito (DAC).

Nesse contexto, o diagnóstico relacionado à disponibilidade e qualidade das águas superficiais deve constituir uma etapa elementar para um efetivo planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma determinada bacia hidrográfica. Os dados quantitativos e qualitativos, quando analisados de forma integrada, podem servir como uma importante ferramenta de tomada de decisão para aquelas bacias hidrográficas que possuem Comitês e Agências de Bacia Hidrográfica. É importante que os dados referentes aos recursos hídricos sejam observados espacialmente por meio de produtos cartográficos, reforçando a importância da Geografia nos estudos de caráter ambiental.

Alguns instrumentos legais possibilitam caracterizar as condições referentes a quantidade e a qualidade das águas superficiais. A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, estabelecida pelas Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997; MINAS GERAIS, 1999), é uma das ferramentas de avaliação quantitativa das águas superficiais pela utilização das vazões de referência. Os aspectos qualitativos das águas também estão inseridos nas Políticas mencionadas a partir do enquadramento dos corpos de água em classes. A implementação desses instrumentos estabelece indicadores para o manejo das bacias hidrográficas. Com uma boa base de dados quali-quantitativos pode-se acatar a sugestão de Cetra (2005) e elaborar um “zoneamento das águas”, cujo gerenciamento visa satisfazer os usuários e a conservação ambiental.

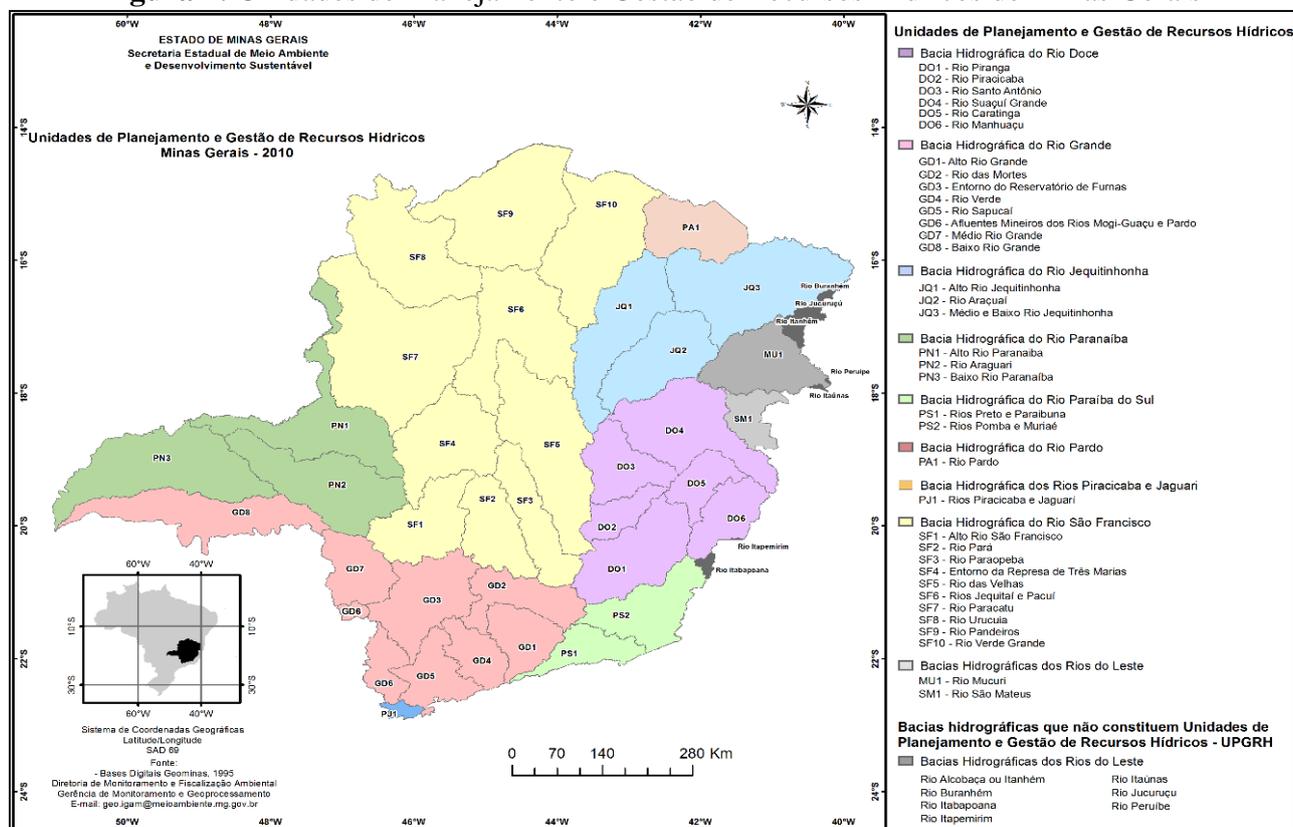
Diante do exposto, o presente artigo possui o intuito de apresentar uma proposta

procedimental de obtenção da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais a partir da sobreposição dos mapas temáticos de disponibilidade natural das águas superficiais, áreas de conflito pelo uso da água e qualidade das águas superficiais. A área definida para o experimento é a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3), localizada no estado de Minas Gerais. Trata-se de uma contribuição metodológica buscando-se reforçar a importância, a eficiência e a qualidade de resultados oriundos de dados e procedimentos acessíveis, especialmente em *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto. Paralelamente, os resultados desta pesquisa podem fornecer informações importantes para inserção de diretrizes de planejamento e gestão de recursos hídricos em futuras revisões do Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3.

2. ÁREA DE ESTUDO

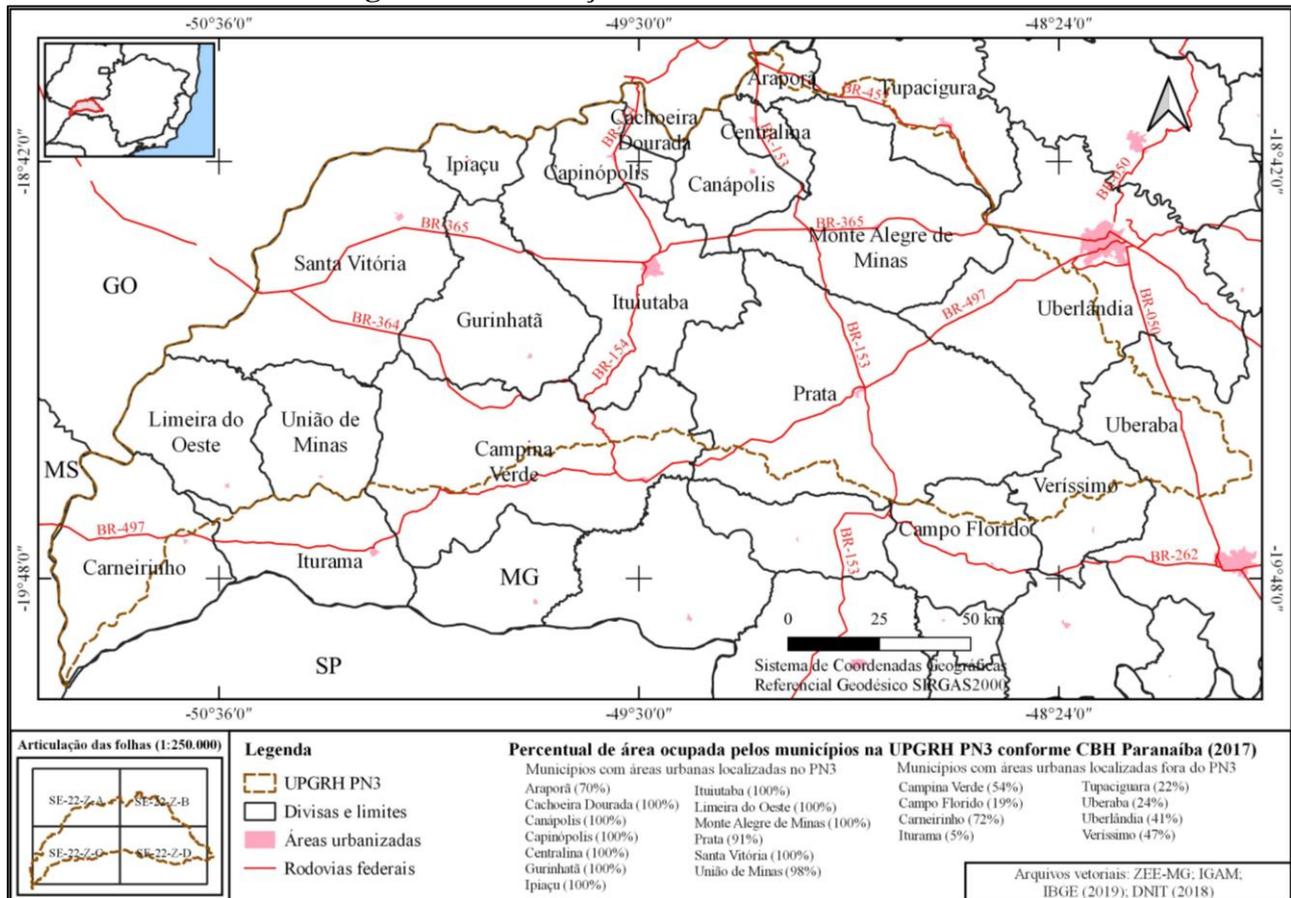
A área selecionada para aplicação do procedimento metodológico é a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3), cuja área total é de 26.892,39 km². Trata-se de um conjunto de bacias hidrográficas estaduais, que constituem, por sua vez, sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, de domínio federal (**Figura 1**). Essa unidade de planejamento é reconhecida como uma dentre 36 UPGRHs de Minas Gerais (IGAM, 2010b), sob arcabouço legal da Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei 13.199, de 29 de janeiro de 1999 (MINAS GERAIS, 1999). Destaca-se que as UPGRHs correspondem a unidades físico-territoriais que possuem similaridades em relação aos aspectos físicos, sociais, culturais, econômicos e políticos, cuja gestão cabe aos Comitês e Agências de Bacia Hidrográfica. A finalidade desse modelo é a gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos, bem como a organização dos usuários da água e a elaboração de planos diretores (IGAM, 2010a).

Figura 1: Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais



Essa unidade de planejamento ocupa parte das atuais Regiões Geográficas Intermediárias de Uberlândia e Uberaba (IBGE, 2017) no estado de Minas Gerais. Ressalta-se que ao todo a UPGRH PN3 abrange 21 municípios, sendo 10 totalmente inseridos em seu território. Além disso, 13 municípios possuem suas áreas urbanas (sedes administrativas) no interior da unidade. A **Figura 2** apresenta a localização da UPGRH PN3 com os municípios e seus percentuais de ocupação, como também as áreas urbanas e o acesso por meio de rodovias federais.

Figura 2: Localização da UPGRH PN3

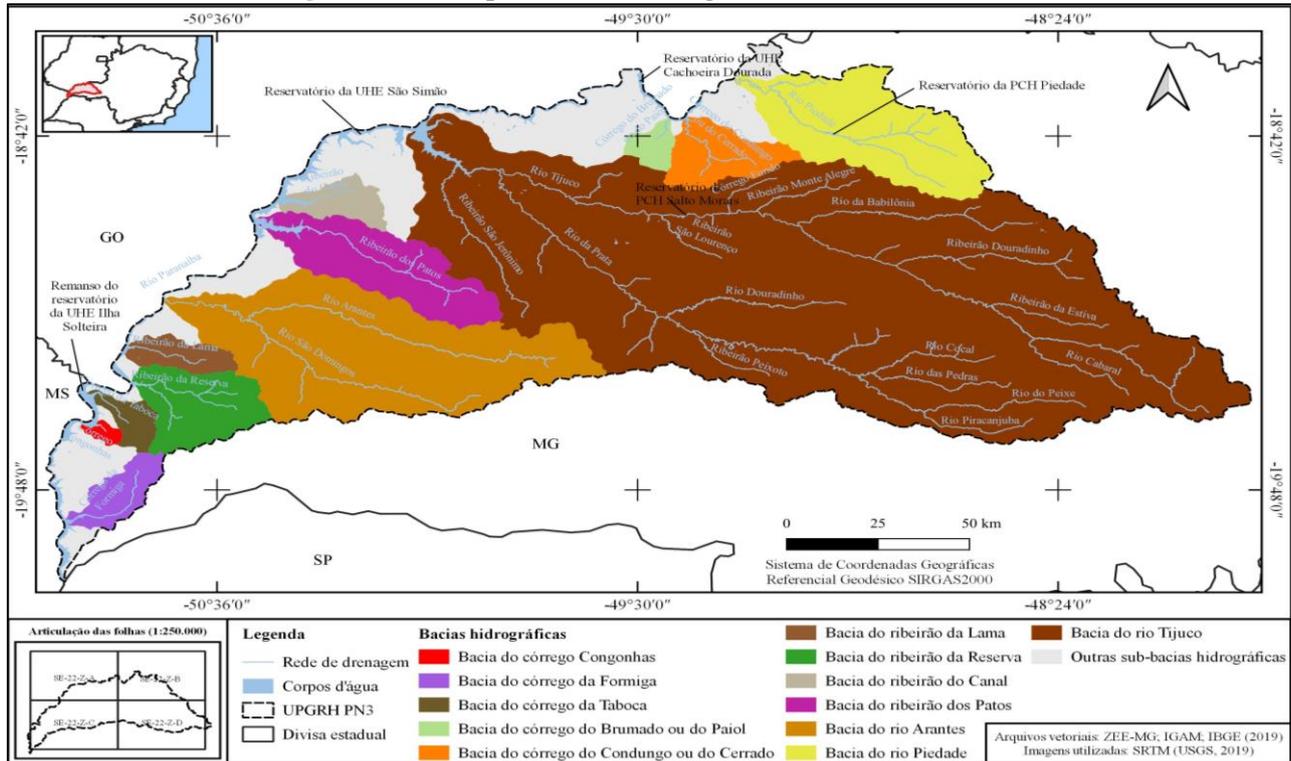


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Devido às necessárias menções nos resultados e discussão, convém mencionar as principais sub-bacias hidrográficas inseridas na UPGRH PN3. Dessa forma, destacam-se 12 bacias hidrográficas por serem aquelas que apresentam maior representatividade na unidade territorial. Essa condição foi estabelecida pelo tamanho, pela importância dos rios principais ou pelo reconhecimento em cartas topográficas oficiais, visto que muitos cursos d'água sequer foram nomeados em razão da pequena extensão. Dentre as 12 bacias hidrográficas principais, destacam-se as dos rios Tijuco, Piedade e Arantes por serem as mais conhecidas na região da área de estudo. Além das 12 bacias hidrográficas e seus rios principais, a **Figura 3** também contempla alguns afluentes importantes.

Outra indicação na **Figura 3** são os reservatórios dos empreendimentos hidrelétricos encontrados no interior e limites da UPGRH PN3. Ressalta-se que ao todo são dois reservatórios de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e parte de três reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHEs). Os reservatórios das PCHs estão no interior da UPGRH PN3, sendo a PCH Piedade em Monte Alegre de Minas e a PCH Salto Morais em Ituiutaba. Os reservatórios das UHEs estão no rio Paranaíba, na divisa de Minas Gerais com outros estados, sendo os reservatórios das UHEs Cachoeira Dourada e São Simão situados na divisa com Goiás e da UHE Ilha Solteira com Mato Grosso do Sul.

Figura 3: Principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Em relação ao contexto físico-geográfico, a UPGRH PN3 encontra-se na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná. A litostratigrafia predominante formou-se no Período Cretáceo, representada sequencialmente pelos basaltos da Formação Serra Geral (Grupo São Bento) e arenitos das Formações Santo Anastácio (Grupo Caiuá), Vale do Rio do Peixe e Marília (Grupo Bauru) (SEER; MORAES, 2017). O relevo predominante é resultante da incisão da drenagem de padrão geral dendrítico em litologias sem grande controle estrutural, gerando colinas suavizadas, morros residuais e interflúvios tabulares que configuram um modelado de dissecação homogênea (IBGE, 2009).

A área de estudo situa-se no Domínio dos Chapadões Recobertos por Cerrados e Penetrados por Florestas-Galeria (AB'SABER, 2012), cujos solos de maior representatividade correspondem à classe dos Latossolos (SANTOS et al., 2018). Sobre o clima, a UPGRH PN3 está inserida na zona climática Tropical Brasil Central, com 1.400 mm de precipitação média anual e período seco de até cinco meses, além de temperatura média superior a 18°C em todos os meses do ano (IBGE, 1978).

Com base nos dados do MapBiomás (2018), a cobertura e uso da terra da UPGRH PN3 apresenta pastagens como classe predominante em praticamente todos os setores da área. Em seguida, as classes correspondem à vegetação nativa, basicamente situada em áreas legalmente protegidas, e agricultura (culturas temporárias e permanentes). Por fim, as classes de silvicultura e áreas urbanas ocupam espaços menos representativos.

3. METODOLOGIA

A vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais foi obtida a partir da sobreposição dos componentes físico-geográficos relacionados aos recursos hídricos. São eles: 1) disponibilidade natural das águas superficiais; 2) áreas de conflito pelo uso da água (DACs); 3) qualidade das águas superficiais. Destaca-se que os pesos de cada intervalo da legenda foram inseridos nas tabelas de atributos dos *shapefiles* dos referidos componentes.

Dessa forma, primeiramente convém apresentar os valores atribuídos à disponibilidade natural das águas superficiais. Foi utilizada a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos

de recorrência) por ser a vazão de referência para outorgas dos direitos de uso de recursos hídricos de Minas Gerais, dados disponíveis na tabela de atributos do *shapefile* da rede de drenagem, escala 1:100.000 (IDE-SISEMA 2019; IGAM, 2012). Os dados da $Q_{7,10}$ correspondem aos pontos situados na foz dos rios principais, aqui considerados sendo aqueles de 5ª ordem ou superior. Os valores de vulnerabilidade atribuídos à disponibilidade das águas superficiais estão apresentados no **Quadro 1**.

Quadro 1: Graus de vulnerabilidade da disponibilidade das águas superficiais

Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$)	Valores de vulnerabilidade	Graus de disponibilidade
< 3,00 m ³ /s	3,0	Muito baixa
3,00 a 8,00 m ³ /s	2,5	Baixa
8,01 a 13,00 m ³ /s	2,0	Média
13,01 a 18,00 m ³ /s	1,5	Alta
> 18,00 m ³ /s	1,0	Muito alta

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O segundo componente (áreas de conflito pelo uso da água) seguiu um critério bastante prático e direto: as bacias hidrográficas com conflito declarado possuem o maior valor de vulnerabilidade e aquelas bacias sem conflito declarado o menor (**Quadro 2**). O arquivo vetorial dessas bacias foi obtido no endereço eletrônico do IDE-SISEMA (2019).

Quadro 2: Graus de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água

Áreas de conflito pelo uso da água	Valores de vulnerabilidade	Graus de vulnerabilidade
Bacias com conflito declarado	3,0	Muito alta
Bacias sem conflito declarado	1,0	Muito baixa

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Para a obtenção do mapa de qualidade das águas superficiais foram levantados os dados e informações da planilha e do relatório do IGAM (2018, 2019), referente ao ano de 2018¹. Os indicadores analisados pelo IGAM (2018, 2019) correspondem ao Índice de Qualidade das Águas (IQA)², Contaminação por Tóxicos (CT)³ e Índice de Estado Trófico (IET)⁴, cujos dados serviram para a espacialização dos resultados dos indicadores na UPGRH PN3. Nos casos em que uma bacia hidrográfica possua mais de uma estação de monitoramento e os resultados sejam divergentes, optou-se em apontar as diferenças. Entretanto, para as bacias sem estação adotou-se os resultados de maior recorrência. Após os *shapefiles* dos temas serem convertidos para *raster* foi utilizada a calculadora *raster* do software QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1 para o seguinte cálculo, da **fórmula (1)**:

$$V = \frac{(IQA + CT + IET)}{3} \quad (1)$$

Onde:

V = vulnerabilidade

IQA = valores de vulnerabilidade do tema Índice de Qualidade das Águas

CT = valores de vulnerabilidade do tema Contaminação por Tóxicos

IET = valores de vulnerabilidade do tema Índice de Estado Trófico

¹ As campanhas de amostragem são trimestrais (quatro ao ano), divulgadas em planilhas e relatórios consolidados.

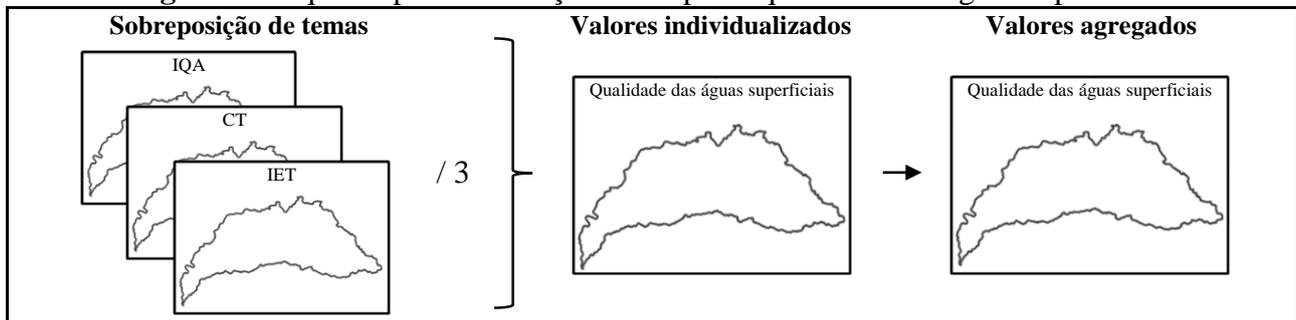
² O IQA, desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos no ano de 1970, contempla parâmetros para avaliar a qualidade das águas a partir da atribuição de pesos. Os parâmetros analisados no IQA são: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fosfato total, variação da temperatura, turbidez e sólidos totais (IGAM, 2019).

³ A CT avalia presença de arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e zinco total (IGAM, 2019).

⁴ O IET visa avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo do fitoplâncton. Os parâmetros analisados são o fósforo total e clorofila-a (IGAM, 2019).

Dessa maneira, o esquema de sobreposição dos três temas é similar ao modelo de Crepani et al. (2001) para obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos, conforme a **Figura 4**.

Figura 4: Esquema para elaboração do mapa da qualidade das águas superficiais



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Para a realização do processo, foram inseridos valores de vulnerabilidade nas tabelas de atributos dos *shapefiles* dos indicadores (IQA, CT e IET) antes de serem convertidos para imagens *raster*. A variação dos valores de 1,0 a 3,0 seguiu a lógica de que quanto mais próximo de 3,0 pior é a qualidade das águas superficiais. O **Quadro 3** expõe os valores propostos de vulnerabilidade.

Quadro 3: Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais

Indicadores	Valores de vulnerabilidade	Classes (graus de vulnerabilidade)
IQA	1,0	Excelente ($90 < IQA \leq 100$)
	1,5	Bom ($70 < IQA \leq 90$)
	2,0	Médio ($50 < IQA \leq 70$)
	2,5	Ruim ($25 < IQA \leq 50$)
	3,0	Muito ruim (≤ 25)
CT	1,2	Baixa ($\leq 20\%$ acima do limite legal)
	2,0	Média ($> 20\%$ e $\leq 100\%$ acima do limite legal)
	2,8	Alta ($> 100\%$ acima do limite legal)
IET	1,0	Ultraoligotrófico (≤ 47)
	1,4	Oligotrófico ($47 < IET \leq 52$)
	1,8	Mesotrófico ($52 < IET \leq 59$)
	2,2	Eutrófico ($59 < IET \leq 63$)
	2,6	Supereutrófico ($63 < IET \leq 67$)
	3,0	Hipereutrófico (> 67)

Fonte: Adaptado de IGAM (2019).

Os valores resultantes da sobreposição dos três temas (IQA, CT e IET) foram agregados, sendo indicado na legenda do mapa síntese os graus de qualidade das águas superficiais (**Quadro 4**).

Quadro 4: Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais com valores agregados

Valores de vulnerabilidade agregados	Graus de qualidade
3,0, 2,9, 2,8, 2,7	Muito alta
2,6, 2,5, 2,4, 2,3	Alta
2,2, 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	Média
1,7, 1,6, 1,5, 1,4	Baixa
1,3, 1,2, 1,1, 1,0	Muito baixa

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Diante de todos os temas estabelecidos (disponibilidade natural das águas superficiais, áreas de conflito pelo uso da água e qualidade das águas), procedeu-se a geração do mapa síntese, que estabelece a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais a partir da sobreposição dos três

temas. Para obtenção desse mapa, os pesos destinados aos graus de vulnerabilidade foram inseridos nas tabelas de atributos dos *shapefiles* e, em seguida, os mesmos foram convertidos em imagens *raster* no QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1. Na calculadora *raster* do *software* calculou-se a equação (2):

$$V = \frac{(DAS + AC + QAS)}{3} \quad (2)$$

Onde:

V = vulnerabilidade

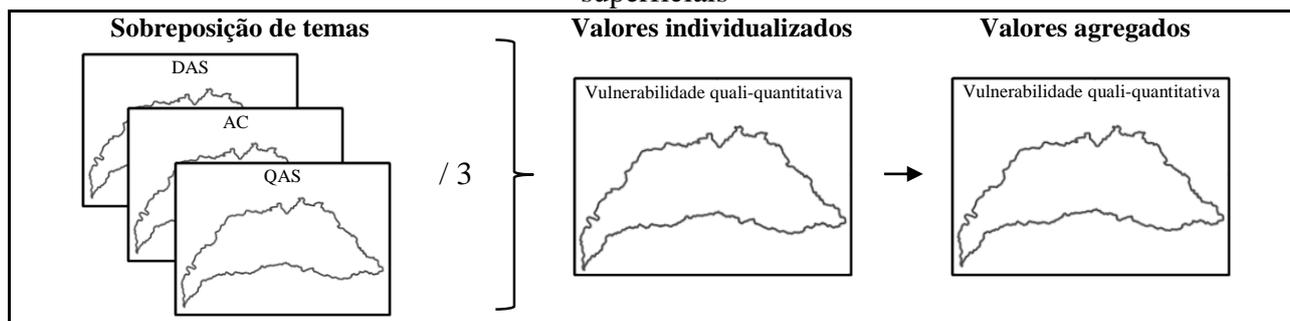
DAS = valores de vulnerabilidade do tema disponibilidade natural das águas superficiais

AC = valores de vulnerabilidade do tema áreas de conflito pelo uso da água

QAS = valores de vulnerabilidade do tema qualidade das águas superficiais

Com base na escala de Crepani et al. (2001), a sobreposição dos três temas apresenta possibilidades que variam de 1,0 (menor vulnerabilidade) a 3,0 (maior vulnerabilidade). Com o cálculo no *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1, tem-se o resultado dos valores individualizados, para posteriormente serem agregados e estabelecidos os graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. A **Figura 5** esquematiza a elaboração dessa etapa do procedimento.

Figura 5: Esquema para elaboração do mapa de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Por fim, os valores de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais foram agregados seguindo os critérios demonstrados no **Quadro 5**.

Quadro 5: Graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.

Valores de vulnerabilidade agregados	Graus de vulnerabilidade
3,0, 2,9, 2,8, 2,7	Muito alta
2,6, 2,5, 2,4, 2,3	Alta
2,2, 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	Média
1,7, 1,6, 1,5, 1,4	Baixa
1,3, 1,2, 1,1, 1,0	Muito baixa

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Disponibilidade natural das águas superficiais

A disponibilidade natural das águas superficiais da UPGRH PN3 depende basicamente da dimensão das áreas de contribuição, visto que a área não possui diferenças significativas em relação ao contexto físico-geográfico. Considerando somente as vazões mínimas, importante para o gerenciamento dos recursos hídricos, sobretudo durante os períodos de escassez hídrica, a vazão mínima natural adotada foi a $Q_{7,10}$, conforme apresentado na **Tabela 1**.

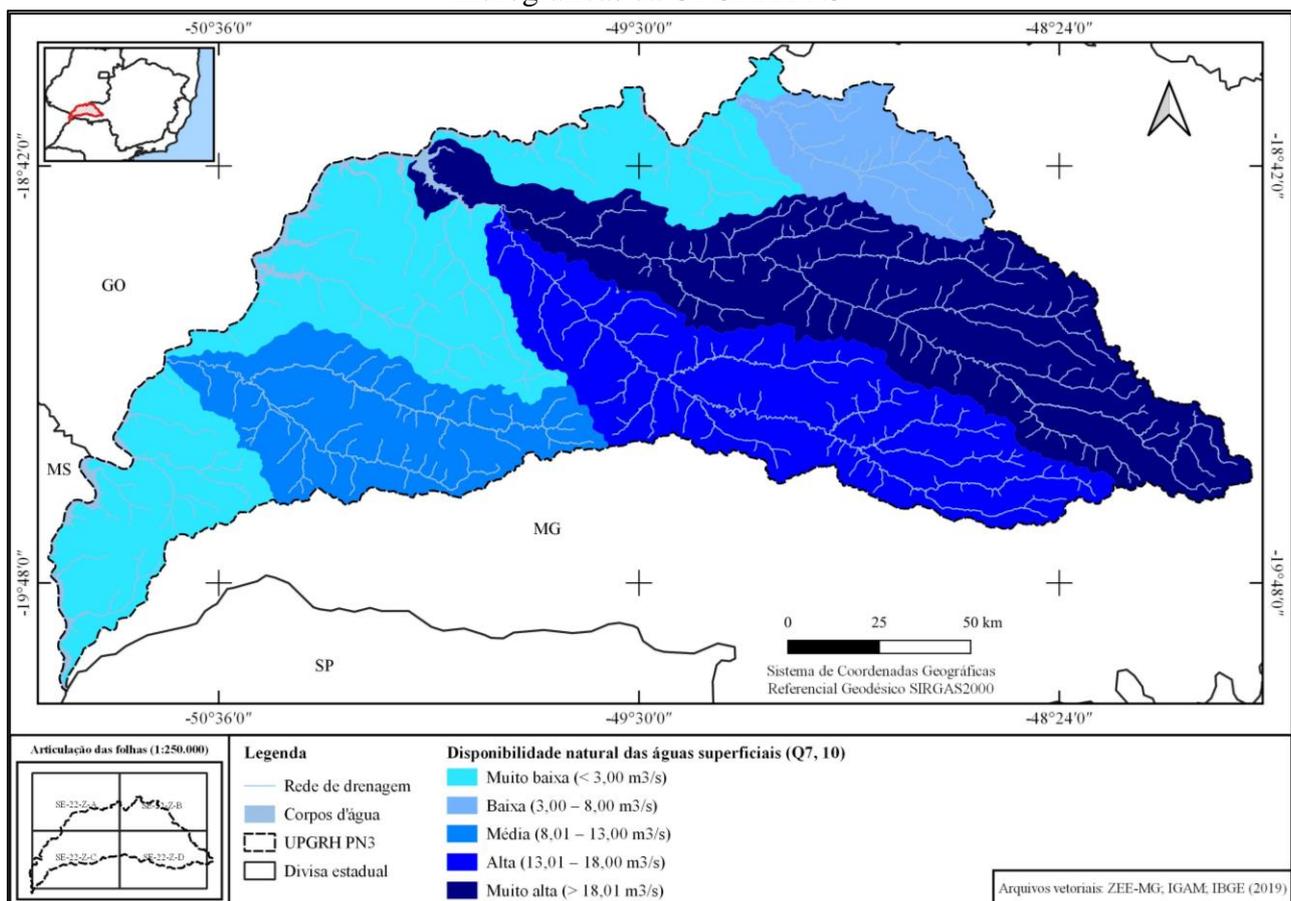
Tabela 1: Disponibilidade natural das águas superficiais considerando o exutório das principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3.

Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$)	Principais bacias hidrográficas (cursos d'água de 5ª ordem ou superior)	$Q_{7,10}$
Muito baixa (< 3,00 m ³ /s)	Ribeirão da Reserva	1,81 m ³ /s
	Ribeirão dos Patos	2,85 m ³ /s
	Ribeirão São Jerônimo	2,03 m ³ /s
	Córrego do Condungo ou do Cerrado	1,48 m ³ /s
Baixa (3,00 a 8,00 m ³ /s)	Rio Piedade	4,76 m ³ /s
Média (8,01 a 13,00 m ³ /s)	Rio Arantes	8,40 m ³ /s
Alta (13,01 a 18,00 m ³ /s)	Rio da Prata	15,75 m ³ /s
Muito alta (> 18,00 m ³ /s)	Rio Tijuco (confluência com rio da Prata)	19,91 m ³ /s
	Rio Tijuco	38,29 m ³ /s

Fonte: Adaptado de IGAM (2012).

A **Figura 6** a seguir expõe uma síntese da disponibilidade natural das águas superficiais das principais bacias hidrográficas a partir da $Q_{7,10}$ (vazão mínima de referência), consideradas como bacias principais devido ao curso d'água principal ser de 5ª ordem ou superior.

Figura 6: Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$) no exutório das principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

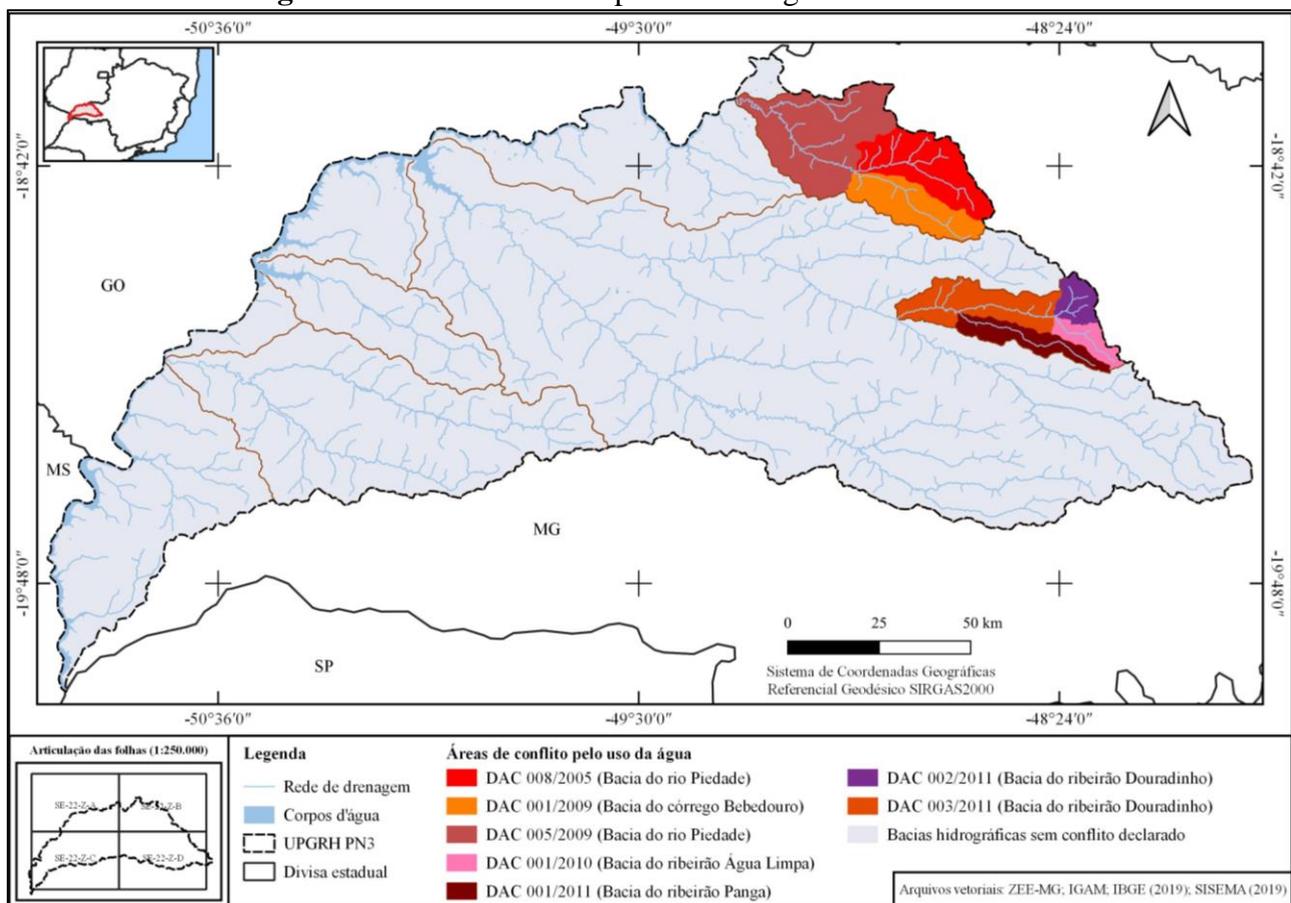
Retirando as bacias hidrográficas que apresentam cursos d'água de até 4ª ordem, as bacias dos ribeirões da Reserva e dos Patos (à oeste), do ribeirão São Jerônimo (afluente da margem esquerda do rio Tijuco) e do córrego do Condungo ou do Cerrado (ao norte) apresentam as menores disponibilidades naturais. A bacia hidrográfica do rio Tijuco possui a maior disponibilidade de águas superficiais, apresentando uma parte muito alta (rio Tijuco) e alta (rio da Prata), sendo a exceção a

bacia hidrográfica do ribeirão São Jerônimo, com disponibilidade muito baixa. De acordo com Souza (1993), do mesmo modo que a área de drenagem delimitada a partir do ponto de captação de águas superficiais para outorga interfere na $Q_{7,10}$, a bacia hidrográfica como um todo também reflete no resultado da vazão de referência.

4.2. Áreas de conflito pelo uso da água

A UPGRH PN3 possui sete áreas de conflito pelo uso da água declaradas formalmente pelo IGAM, sendo que a bacia do rio Piedade apresenta três áreas (alto Piedade, bacia do ribeirão Bebedouro e o baixo Piedade) e a bacia do ribeirão Douradinho outras quatro (alto Douradinho, ribeirão Água Limpa, ribeirão Panga e baixo Douradinho). Embora as demais bacias hidrográficas não tenham sido declaradas como áreas de conflito pelo uso da água, é possível que conflitos estejam presentes. A localização das mesmas encontra-se na **Figura 7**.

Figura 7: Áreas de conflito pelo uso da água da UPGRH PN3

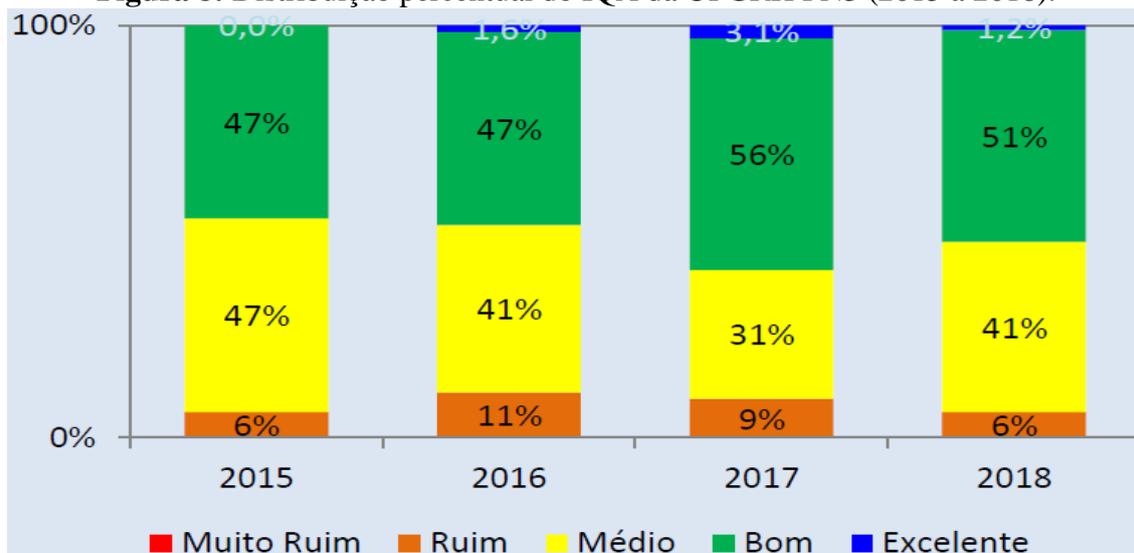


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

4.3. Qualidade das águas superficiais

A qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3 pode ser analisada, inicialmente, por meio de uma comparação entre os anos de 2015 a 2018, conforme apresentado pelo IGAM (2019). Embora a presente análise contemple além do IQA, a CT, o IET e os parâmetros fora dos limites legais, a distribuição percentual dos anos mencionados atende somente o IQA. Como demonstra a **Figura 8**, a qualidade das águas da UPGRH PN3 no ano de 2018 piorou em relação ao ano de 2017, porém a qualidade muito ruim não ocorre nesse período (IGAM, 2019).

Figura 8: Distribuição percentual do IQA da UPGRH PN3 (2015 a 2018).



Fonte: IGAM (2019).

De acordo com o IGAM (2019), a partir da comparação da média do IQA de 2018 com o IQA de 2017, houve melhoria no rio Arantes, sobretudo no seu afluente da margem esquerda, o rio São Domingos (PB053), em que as águas eram de qualidade média e em 2018 passaram para qualidade boa. No entanto, os piores resultados (qualidade ruim), em pelo menos em uma campanha amostral, ocorreram nos seguintes cursos d'água: rio Douradinho, rio Dourado (PB047), rio da Prata (PB050) e rio São Jerônimo (PB051). Especificamente para todo o ano de 2018, o resultado do IQA variou de bom, em sete pontos, para médio, em nove pontos amostrais.

A CT dos pontos amostrais apresentou-se baixa em praticamente todos os cursos d'água monitorados (resultados positivos), sendo exceções o rio São Domingos (PB033), um afluente do rio Arantes, que obteve uma classificação média, e o rio Tijuco (PB046), com classificação alta (resultado negativo). Em relação ao IET, em 10 pontos, os resultados obtidos pelas análises foram oligotróficos, sendo o restante determinado como mesotrófico. Ademais, mesmo que alguns parâmetros não tenham sido atendidos pelos limites da Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), todos os cursos d'água foram enquadrados como classe 2 (**Quadro 6**).

Quadro 6: Resultados dos pontos de monitoramento da UPGRH PN3

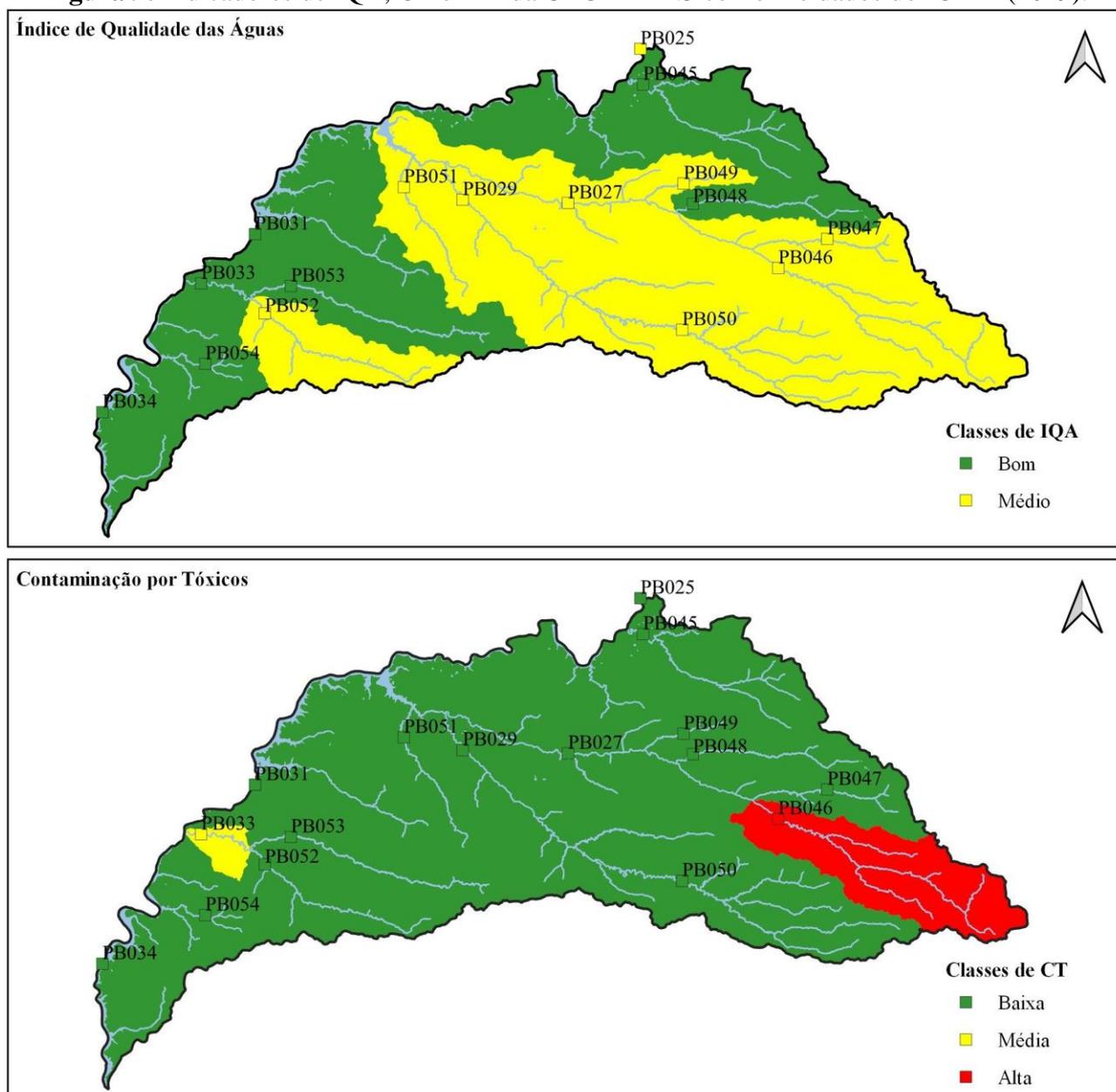
Corpo d'água	Estação	Município	Indicadores			Parâmetros fora do padrão legal			Classe de enquadramento
			IQA	CT	IET	Contaminação fecal	Enriquecimento orgânico	Substâncias tóxicas	
Ribeirão Monte Alegre	PB049	Monte Alegre de Minas	58,5	Baixa	51,7	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
Ribeirão Volta Grande	PB054	Limeira do Oeste	72,2	Baixa	49,8	-	-	-	Classe 2
Rio Arantes	PB053	União de Minas	70,8	Baixa	54,1	-	-	-	Classe 2
Rio Babilônia	PB048	Monte Alegre de Minas	70,9	Baixa	51,1	-	-	-	Classe 2
Rio da Prata	PB029	Gurinhata, Ituiutaba	68	Baixa	52,2	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
	PB050	Prata	57	Baixa	53,1	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
Rio Dourado	PB047	Uberlândia	61,4	Baixa	52,7	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
Rio Paranaíba	PB025	Araporã	66	Baixa	51,8	<i>Escherichia coli</i>	-	Zinco total	Classe 2
	PB031	Santa Vitória	70,7	Baixa	48,8	-	-	-	Classe 2
	PB034	Carneirinho	82,6	Baixa	50,1	-	-	Zinco total	Classe 2

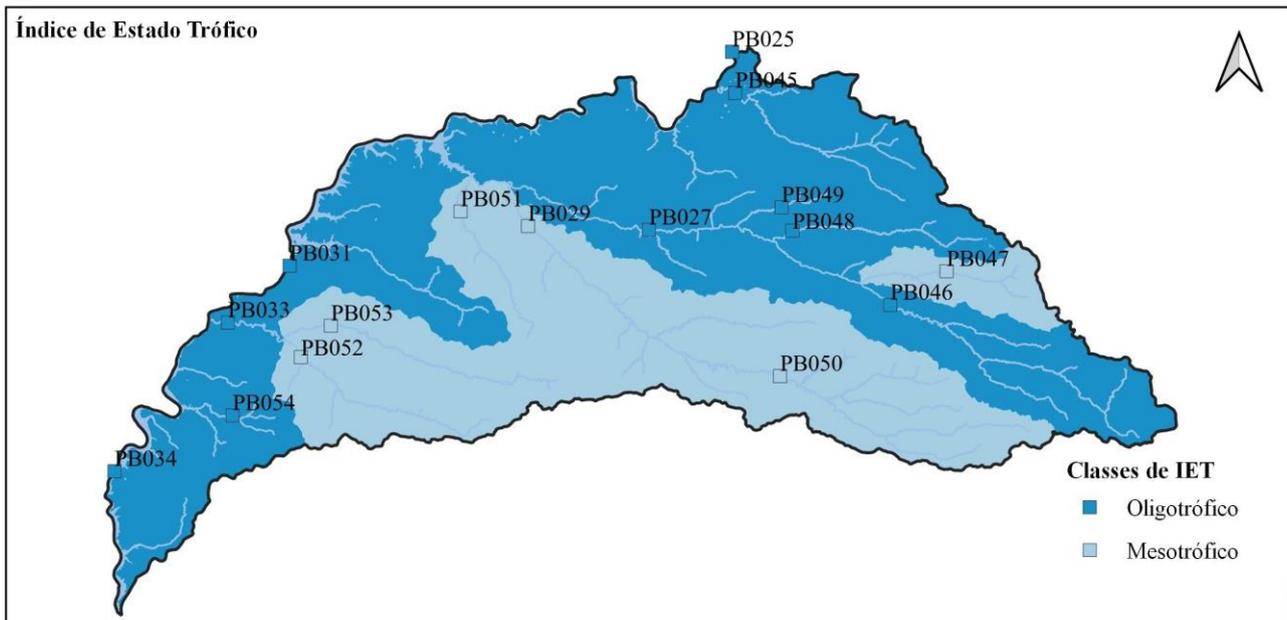
Rio Piedade	PB045	Araporã	72,6	Baixa	50,1	-	-	-	Classe 2
Rio São Domingos	PB033	Limeira do Oeste, Santa Vitória	76,2	Média	50,6	-	-	Zinco total	Classe 2
	PB052	Limeira do Oeste	65,8	Baixa	52,8	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
Rio São Jerônimo	PB051	Gurinhata	64,2	Baixa	53,8	<i>Escherichia coli</i>	Fósforo total	-	Classe 2
Rio Tijuco	PB027	Ituiutaba	68,2	Baixa	52	<i>Escherichia coli</i>	Fósforo total	-	Classe 2
	PB046	Uberlândia	67,8	Alta	49,8	<i>Escherichia coli</i>	-	Zinco total	Classe 2

Fonte: Adaptado de IGAM (2019).

A partir dos dados dos pontos de monitoramento para IQA, CT e IET, apresentados no quadro anterior, a **Figura 9** contempla uma síntese e espacialização dos resultados das bacias hidrográficas da UPGRH PN3.

Figura 9: Indicadores de IQA, CT e IET da UPGRH PN3 conforme dados do IGAM (2019).

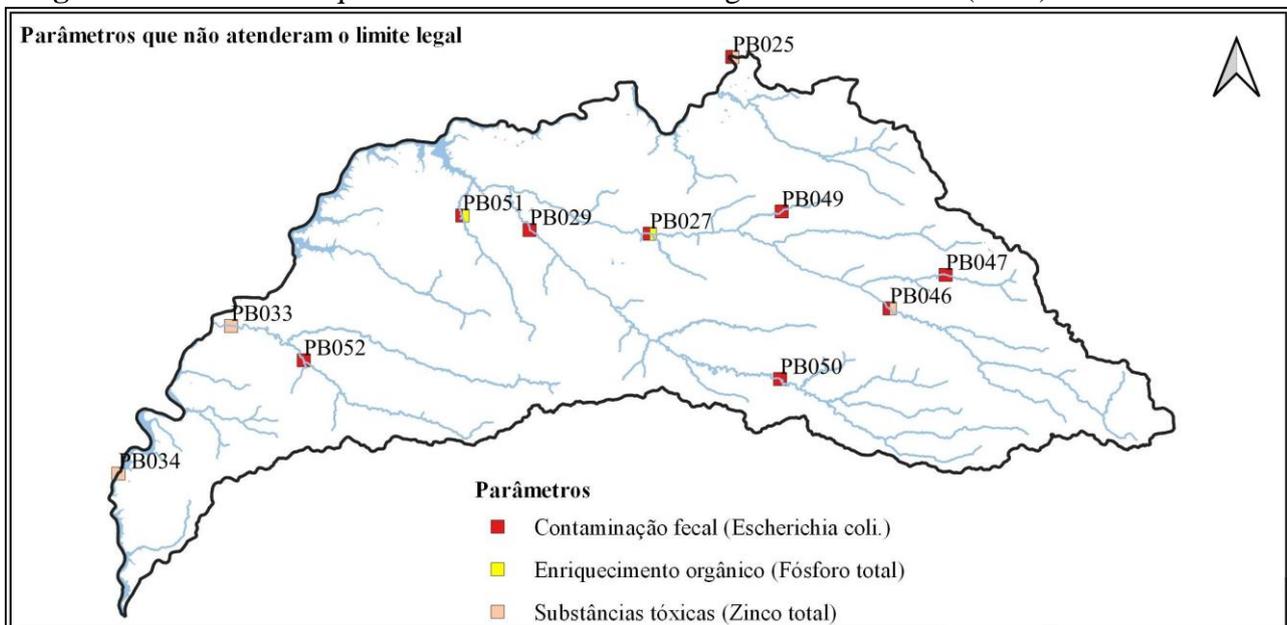




Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Sobre os parâmetros que não atenderam ao limite da Resolução CONAMA (2005), o relativo à contaminação fecal (*Escherichia coli*) é o mais significativo, pois o resultado se encontra em nove pontos de monitoramento, constituindo um problema da área como um todo. O enriquecimento orgânico, especialmente por fósforo total, um dos responsáveis pela eutrofização, está fora em dois pontos, e substâncias tóxicas, como o zinco total, em quatro pontos, conforme a **Figura 10**.

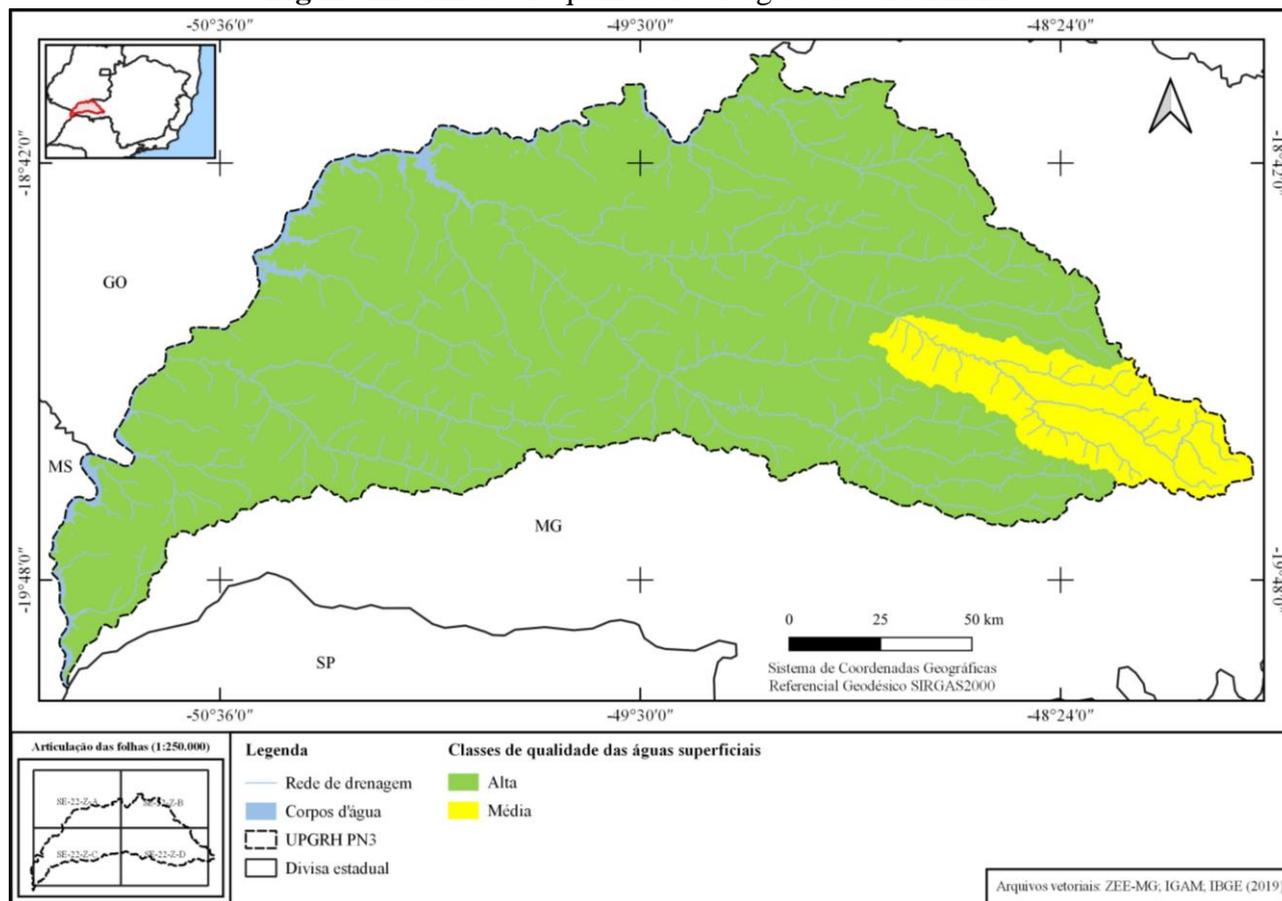
Figura 10: Parâmetros que não atenderam ao limite legal do CONAMA (2005) na UPGRH PN3



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A **Figura 11** apresenta o resultado da sobreposição dos mapas de IQA, CT e IET, servindo como uma síntese da qualidade média das águas da UPGRH PN3.

Figura 11: Síntese da qualidade das águas da UPGRH PN3



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Considerando todos os resultados da qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3 (IQA, CT, IET e parâmetros fora do limite legal), o relatório do IGAM (2019, p. 185) descreve as seguintes causas e soluções:

Os resultados verificados estão associados aos lançamentos de esgotos sanitários, sobretudo dos municípios de Ituiutaba, Monte Alegre de Minas, Prata, Gurinhatã e Limeira do Oeste, e às atividades de agropecuária. A qualidade das águas pode ter sido agravada também pelas atividades industriais desenvolvidas, principalmente, indústrias de cerâmica e laticínio. Além disso, as cargas difusas, os processos erosivos e assoreamento também contribuem para impactar a qualidade das águas. Dessa forma, para que as águas sejam devolvidas às suas adequadas condições de qualidade, são necessários investimento em saneamento básico, melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes industriais, manejo adequado do solo, preservação da vegetação marginal e ações de educação ambiental.

De modo geral, o resultado demonstra que, em grande parte, a UPGRH PN3 possui águas superficiais com alta qualidade, com exceção das águas da bacia do alto rio Tijuco, que obteve uma qualidade média. Nesse contexto, a CT foi uma variável determinante, pois se constituiu no pior indicador, possivelmente devido à presença de usina sucroalcooleira na bacia do alto rio Tijuco e culturas de cana-de-açúcar. Nos demais cursos d'água a CT foi baixa e somente em um pequeno trecho média, ao passo que o IQA e o IET não foram determinantes para diminuir a qualidade das águas. Esse resultado está compatível com a classificação do IGAM (2019), classe 2 conforme o CONAMA (2005), cujas águas podem servir ao abastecimento público após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas e recreação.

4.4. Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais

A disponibilidade natural das águas superficiais das principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3 apresenta as cinco classes de vulnerabilidade possíveis, sendo quanto maior a disponibilidade (considerando a $Q_{7,10}$) menor a vulnerabilidade. É importante destacar que as classes antagônicas muito baixa e muito alta apresentam os maiores percentuais, 28,50% e 28,02% respectivamente. Essas condições revelam situações opostas em significativas porções da área de estudo, o que indica uma heterogeneidade quanto a disponibilidade natural de águas superficiais.

Enquanto as áreas de maior vulnerabilidade (classe muito baixa) não são contíguas, presentes na maioria das bacias hidrográficas cujo curso d'água principal é de até 5ª ordem, a área de menor vulnerabilidade (classe muito alta) concentra-se em parte da bacia do rio Tijucu, que também apresenta a classe alta para a bacia hidrográfica de um de seus afluentes, o rio da Prata. De modo a completar os resultados, os valores de vulnerabilidade referente a cada classe de disponibilidade natural das águas superficiais se encontram na **Tabela 2**.

Tabela 2: Valores de vulnerabilidade da disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$) da UPGRH PN3

Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$)	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Muito baixa	7.664,45 km ²	28,50%	3,0
Baixa	1.759,20 km ²	6,54%	2,5
Média	3.554,11 km ²	13,22%	2,0
Alta	5.821,54 km ²	21,65%	1,5
Muito alta	7.535,98 km ²	28,02%	1,0
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Os valores de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água são essencialmente atribuídos às bacias que possuem e não possuem conflito declarado. Ao todo são sete áreas de conflito, sendo três na bacia hidrográfica do rio Piedade e quatro na bacia do ribeirão Douradinho, que representam 9,97% da área de estudo. Os outros 87,96% são bacias hidrográficas sem conflito declarado. Por isso, aplicou-se o valor máximo para as bacias em conflito declarado e o mínimo para aquelas que não possuem conflito formalizado. Assim, para o procedimento de sobreposição considerou-se que a UPGRH PN3 possui apenas duas bacias com conflito pelo uso da água (bacias do rio Piedade e ribeirão Douradinho). Os valores de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água estão na **Tabela 3**.

Tabela 3: Valores de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água da UPGRH PN3

Áreas de conflito pelo uso da água	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Bacias com conflito declarado	2.681,86 km ²	9,97%	3,0
Bacias sem conflito declarado	23.653,42 km ²	87,96%	1,0
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

As águas superficiais possuem uma qualidade alta em bacias que ocupam 88,90% da UPGRH PN3, portanto foi aplicado um valor de vulnerabilidade baixo (1,5) nas bacias hidrográficas que possuem essa classificação. Somente na bacia do alto rio Tijucu, que representa 9,03% da área de estudo, foi atribuído um valor intermediário (2,0) devido ao resultado da sobreposição dos dados de qualidade das águas. Os valores de vulnerabilidade relacionados à qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3 se encontram na **Tabela 4**.

Tabela 4: Valores de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3

Qualidade das águas superficiais	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Alta	23.907,49 km ²	88,90%	1,5
Média	2.427,79 km ²	9,03%	2,0
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Com base nos valores de vulnerabilidade atribuídos aos intervalos de cada componente físico-geográfico relacionado aos recursos hídricos da UPGRH PN3, foi realizada a integração dos temas com a calculadora *raster* do *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1. Considerando a equação em que os valores de vulnerabilidade são somados e, posteriormente, divididos pela quantidade de componentes, obteve-se a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. Destaca-se que nesse caso, a divisão foi por três, por justamente serem três temas (disponibilidade natural das águas superficiais, áreas de conflito pelo uso da água e qualidade das águas superficiais).

Após a obtenção do resultado da referida equação, realizou-se a agregação dos valores de vulnerabilidade, sendo identificadas quatro classes de vulnerabilidade associada tanto à qualidade quanto à quantidade de águas superficiais (vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais). Destaca-se que somente a classe baixa necessitou de agregação por ser a única a apresentar dois valores de vulnerabilidade após o cálculo da equação. Dessa forma, as quatro classes de vulnerabilidade (alta, média, baixa e muito baixa), juntamente com a indicação dos valores agregados estão apresentadas na **Tabela 5**.

Tabela 5: Valores agregados dos graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3

Vulnerabilidades	Valores de vulnerabilidade agregados*	Áreas	Percentuais
Alta	2,4	1.759,20 km ²	6,54%
Média	1,9	8.587,11 km ²	31,93%
Baixa	1,4 e 1,5	11.803,44 km ²	43,90%
Muito baixa	1,2	4.185,53 km ²	15,56%
Corpos d'água	-	557,11 km ²	2,07%
Total	-	26.892,39 km²	100%

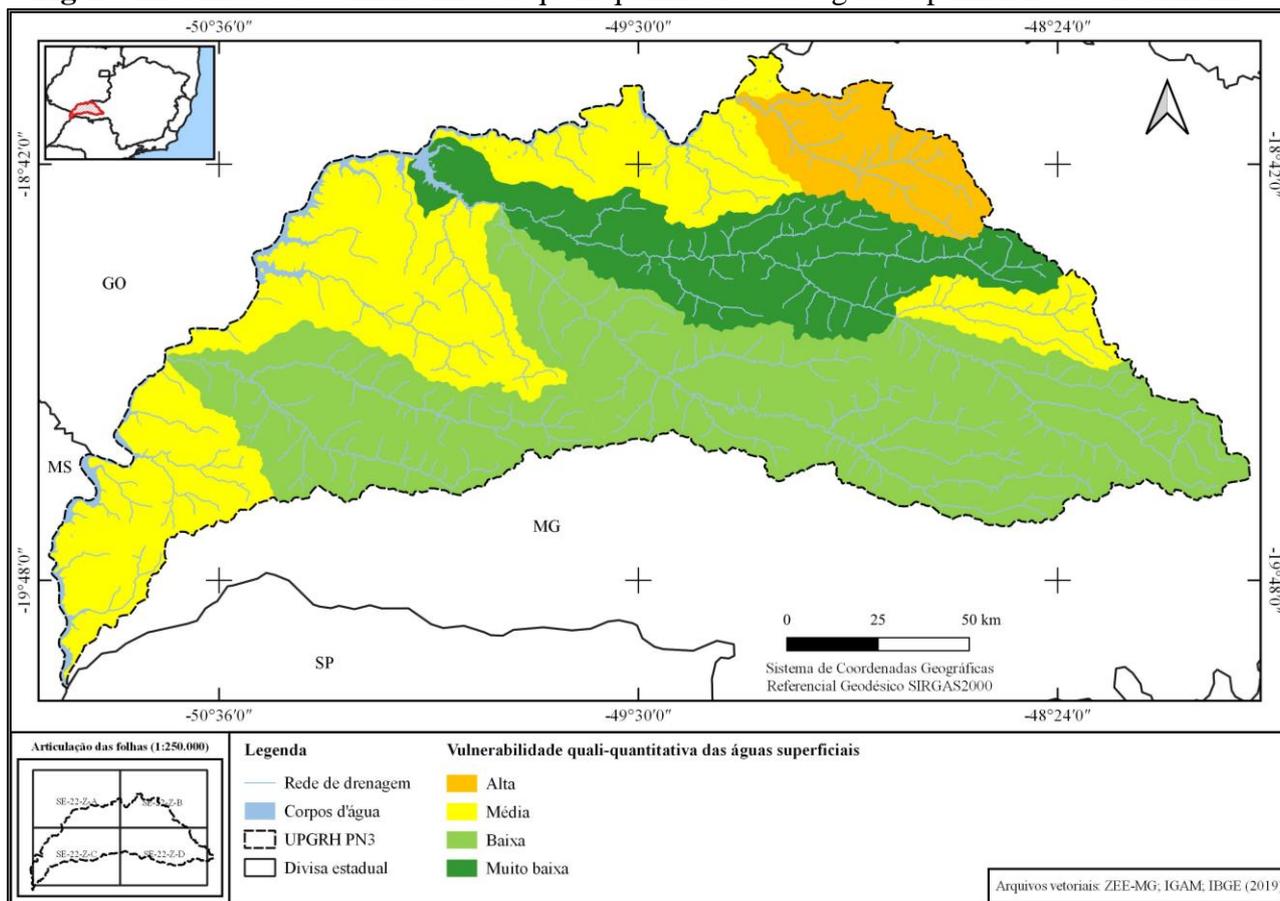
* Valores resultantes da média simples após a sobreposição dos componentes físico-geográficos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A vulnerabilidade alta, presente em 6,54% da UPGRH PN3, ocorre somente na bacia hidrográfica do rio Piedade. As áreas de vulnerabilidade média, que abrangem 31,93% da área de estudo, representam bacias hidrográficas como dos córregos da Formiga, Congonhas, Taboca, ribeirões da Reserva, da Lama, dos Patos, do Canal, São Jerônimo (porções oeste e central), além dos córregos do Brumado ou do Paiol, Condungo ou do Cerrado (norte) e ribeirão Douradinho (leste). Em 43,90% tem-se a vulnerabilidade baixa nas bacias dos rios Arantes (oeste), da Prata (central) e alto rio Tijuco (leste). A vulnerabilidade muito baixa, em 15,56%, restringe-se em parte da bacia do rio Tijuco.

Esse resultado, obtido pela integração de dados de disponibilidade e qualidade das águas superficiais, indicam preliminarmente as bacias hidrográficas da UPGRH PN3 que necessitam de algumas ações específicas para a melhoria dos recursos hídricos. Nesse sentido, a bacia hidrográfica do rio Piedade consiste na porção territorial de maior vulnerabilidade, até mesmo comprovada por possuir as DACs mais antigas da área de estudo. A **Figura 12** apresenta as vulnerabilidades quali-quantitativas das águas superficiais da UPGRH PN3.

Figura 12: Síntese da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Para justificar o resultado, algumas situações podem ser comparadas, como uma bacia que possui uma baixa disponibilidade natural de águas superficiais e DAC, porém a qualidade das águas é alta. Somando-se os valores de vulnerabilidade e dividindo-se por três, tem-se como resultado uma vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais alta. Com a utilização do *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1, alguns resultados podem ser exemplificados no **Quadro 7**.

Quadro 7: Exemplos de sobreposições da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3

Disponibilidade natural das águas superficiais (Q7, 10)	Áreas de conflito pelo uso da água	Qualidade das águas superficiais	Cálculos para obtenção da vulnerabilidade	Resultados
Baixa	Bacia em conflito	Alta	$\frac{(2,5 + 3,0 + 1,5)}{3} = 2,3$	Alta
Muito baixa	Bacia sem conflito	Alta	$\frac{(3,0 + 1,0 + 1,5)}{3} = 1,8$	Média
Média	Bacia sem conflito	Alta	$\frac{(2,0 + 1,0 + 1,5)}{3} = 1,5$	Baixa
Muito alta	Bacia sem conflito	Alta	$\frac{(1,0 + 1,0 + 1,5)}{3} = 1,1$	Muito baixa

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Os componentes disponibilidade natural das águas superficiais e áreas de conflito pelo uso da água foram os mais importantes para obtenção dos resultados, visto que a qualidade alta das águas superficiais é relativamente homogênea na UPGRH PN3 (88,90%). Inclusive a bacia hidrográfica do alto rio Tijuco, que ocupa 9,03% do território da área de estudo, e que possui uma qualidade média

das águas superficiais, a sobreposição não foi determinante para mudar o resultado da vulnerabilidade quali-quantitativa. Porém, destaca-se que essa condição ocorreu devido à área de estudo apresentar características específicas para a qualidade das águas. A aplicação do procedimento em outra unidade de planejamento, com qualidade das águas muito diferentes entre as bacias hidrográficas, esse componente seria determinante para o resultado.

5. CONCLUSÃO

O procedimento de obtenção da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais pode ser considerado satisfatório, visto que a integração dos dados possibilitou uma observação espacial bem definida da situação dos recursos hídricos da UPGRH PN3. As sobreposições, por meio da atribuição de pesos (ponderação) e divisão pelo número de componentes sobrepostos, indicam a viabilidade de replicação da metodologia proposta, especialmente em Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais por serem compostas por um conjunto de bacias hidrográficas, cujas diferenças de vulnerabilidade entre as mesmas devem ser evidenciadas.

Por fim, reforça-se a ideia de que este trabalho possa contribuir para obtenção da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais de UPGRHs, utilizando-se materiais e métodos acessíveis. Além disso, os resultados podem constituir uma ferramenta útil de planejamento e gestão da área de estudo, principalmente se for utilizada para inserção de diretrizes de caráter ambiental no âmbito do Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3, que deve ser revisado periodicamente. A única restrição para se utilizar a proposta metodológica é a disponibilidade de dados de qualidade das águas, visto que nem todas as bacias hidrográficas dispõem de estações de monitoramento. Os dados de vazões de referência podem ser estimados caso não estejam disponíveis.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012. 158 p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Centro Gráfico, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 23 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 23 nov. 2019.

CALASANS, N. A. R.; LEVY, M. C. T; MOREAU, M. **Interrelações entre clima e vazão**. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2005, p. 67-90.

CETRA, M. **Uso do índice de integridade biótica no gerenciamento de bacia hidrográfica**. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2005, p. 179-192.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Diário

ROSA, R. M.; FERREIRA, V. DE O. Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. **Boletim de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 123-142, 8 jul. 2021.

Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 21 out. 2019.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Rodovias do Brasil**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>. Acesso em: 19 nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Arquivo vetorial do território brasileiro**. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em: 15 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/. Acesso em: 06 mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 175 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de clima do Brasil escala 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15817-clima.html?=&t=downloads>. Acesso em: 01 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapeamento de recursos naturais do Brasil escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2018. 8 p. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 fev. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2018**: resumo executivo anual. Belo Horizonte: Igam, 2019. 327 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Comitês e Unidades de Planejamento**. Belo Horizonte: IGAM, 2010a. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/83?task=view>. Acesso em: 19 out. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Portaria nº 48, de 04 de outubro de 2019. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49719>. Acesso em: 22 out. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Rede de drenagem de Minas Gerais em formato shapefile**. Belo Horizonte: Igam, 2012. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 19 set. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Séries Históricas de Monitoramentos da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Igam, 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGAM, 2010b. Disponível em: http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/UPGRH_Minis_Completa.png. Acesso em: 19 out. 2019.

MAPBIOMAS. **Coleção 3 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 15 dez. 2019.

MINAS GERAIS. Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019. **Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais**. Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49498>. Acesso em: 22 out. 2019.

MINAS GERAIS. Governo do Estado de Minas Gerais. **Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-SISEMA, 2019. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 02 dez. 2019.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. **Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>. Acesso em: 17 out. 2019.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. **A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais**. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (orgs.). *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus: Editus, 2005, p. 17-35.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5ª ed., 2018.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. **Geologia regional do Triângulo Mineiro**. Belo Horizonte: CODEMIG/UFMG, 2017. 123 p. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br>. Acesso em: 19 out. 2019.

SOUZA, S. M. T. **Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Hidrosistemas, 1993. 264 p.



Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.