

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO GORUTUBA

Characterization and assessment of water quality in the Gorutuba River watershed

Vitoria Ellen Oliveira^{1*}

Bruna Bastos Nascimento²

Uende Aparecido Figueiredo Gomes³

Lucas Lourenço⁴

Marcelo Antônio Nero⁵

Plinio Temba⁶

RESUMO

No Brasil, principalmente em pequenos municípios, predomina ausência e precariedade de acesso ao esgotamento sanitário, situação que muitas vezes resulta em impactos à qualidade das águas nas bacias hidrográficas do país. Neste artigo, objetivou-se avaliar o impacto das

¹ Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Mestranda em disciplina isolada no Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais (PPG-AMSA) do Instituto de Geociências da UFMG – e-mail: vitoriallen3@gmail.com * Autor correspondente

² Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária. Pós graduanda no curso de Mineração e Meio Ambiente pela Faculdade Única de Ipatinga. – e-mail: brunabastoos_@hotmail.com

³ Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Professora no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa – UFV – e-mail: uendeafg@gmail.com

⁴ Graduando em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Técnico em Meio Ambiente pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG – e-mail: lucaslourenco2@gmail.com

⁵ Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP. Professor Adjunto do Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Mestre em Engenharia pela – EPUSP. Engenheiro Cartógrafo pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – Unesp. – e-mail: marcelo.nero@gmail.com

⁶ Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Professor Associado da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Mestre em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo – USP. Engenheiro Cartográfico pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ – e-mail: temba.mobile@gmail.com

deficiências de acesso ao esgotamento sanitário na bacia hidrográfica do Rio Gorutuba, um importante afluente do Rio Verde Grande, na mesorregião do Norte de Minas Gerais, semiárido brasileiro. Para tanto, foi realizado o levantamento das soluções de esgotamento sanitário utilizadas nos municípios componentes desta bacia hidrográfica, estimadas as quantidades de matéria orgânica lançadas nos cursos d'água, sejam elas advindas de efluentes brutos ou tratados. Foi também realizada a avaliação da evolução dos usos e ocupação do solo na bacia e avaliados os resultados da qualidade e a influência da sazonalidade sobre as águas coletadas nas estações de monitoramento do Projeto Águas de Minas, mantidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Os resultados deste estudo apontam que a população residente nos municípios que compõem a bacia hidrográfica não tem acesso adequado ao esgotamento sanitário. Identificaram-se 4.648 domicílios sem banheiro ou sanitário e recorrente violação dos padrões de qualidade da água estabelecidos para os cursos d'água da bacia. A análise de uso e ocupação do solo influencia diretamente nas alterações da qualidade das águas, que são potencializadas pelos efeitos da sazonalidade

Palavras-Chave: Qualidade da água. Rio Gorutuba. Sistemas de Esgotamento Sanitário. Uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

In Brazil, mainly in small municipalities, there is a predominance of precarious access to sanitary sewage and even lack of it, a situation that often causes impacts on water quality in its hydrographic basins. The purpose of this article was to evaluate the impact of deficiencies in access to sanitary sewage on the watershed of Gorutuba River, an important tributary of Verde Grande River, in the mesoregion of the North of Minas Gerais that is part of Brazilian semi-arid. For this purpose, a research on the sanitary sewage solutions adopted in the municipalities that are in this watershed was carried out, estimating the quantities of organic matter discharged into the watercourses, whether they come from raw or treated effluents. Assessment on the evolution of land use and occupation in the watershed was also done. The results of quality and the influence of seasonality on the water collected in the gauge stations of "Águas de Minas Project" (Waters of Minas) maintained by Igam (Minas Gerais Water Management Institute), were also evaluated. The results of the present study indicate that the population in the municipalities that are in the watershed does not have adequate access to sanitation. An amount of 4,648 households without bathrooms or toilets were identified, as well as recurring violation of water quality standards established for the courses in the watershed. The analysis of land use and occupation directly influences changes in water quality, which are enhanced by the effects of seasonality.

Keywords: Water quality. Gorotuba River. Sewage Systems. Land use and occupation.

Data de submissão: 01/12/2020

Data de aprovação: 04/02/2021

1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento populacional, a intensificação das atividades produtivas e as condições, geralmente insatisfatórias, de sistemas de saneamento básico constituem aspectos críticos para a natureza finita dos recursos hídricos, culminando em situações de estresse hídrico e conflitos pelos usos múltiplos da água (GONÇALVES, 2016). Assim, torna-se de grande importância o monitoramento da qualidade das águas em conjunto com recursos tecnológicos.

Em uma bacia hidrográfica, a qualidade das águas é afetada por eventos naturais como as chuvas através do contato da água escoada e/ou infiltrada com as partículas, substâncias e impurezas presentes no solo (VON SPERLING, 2014a). As interferências do homem por sua vez, seja na forma concentrada, com a geração de despejos domésticos e industriais, ou de forma difusa, com a aplicação de defensivos agrícolas no solo, implicam na alteração da qualidade da água pelo aumento da concentração de alguns compostos e/ou introdução de novos (VON SPERLING, 2014a).

Dentre as bacias hidrográficas impactadas pelo lançamento de esgotos sanitários, destacam-se àquelas situadas no semiárido, como as da região Norte de Minas Gerais. Em especial destaca-se a bacia hidrográfica do Rio Gorutuba, uma sub-bacia do Rio Verde Grande, rio este que aflui pela margem direita do Rio São Francisco e constitui, em parte de seu curso, o limite entre os estados da Bahia e de Minas Gerais (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2013). A bacia do Rio Gorutuba é muito impactada pelo lançamento de cargas orgânicas, apresenta baixo potencial de diluição dos efluentes e baixa disponibilidade hídrica, o que ocasiona registros de conflitos pelo uso da água desde a década de 80 (ANA, 2013).

Neste sentido, a bacia do Rio Gorutuba constitui uma importante unidade de estudo, visto o crescimento da taxa de urbanização na sub-bacia do Alto Gorutuba e a inexistência de estudos mais aprofundados que avaliem em conjunto a qualidade das águas, o uso e ocupação do solo e as condições de esgotamento sanitário na região (ANA, 2013; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM, 2016).

Desta forma, percebidos os diversos impactos que a inexistência de sistemas de esgotamentos sanitários causa na qualidade das águas, o presente trabalho possui como objetivo avaliar tais impactos, associados ao uso e ocupação do solo, além do lançamento de efluentes

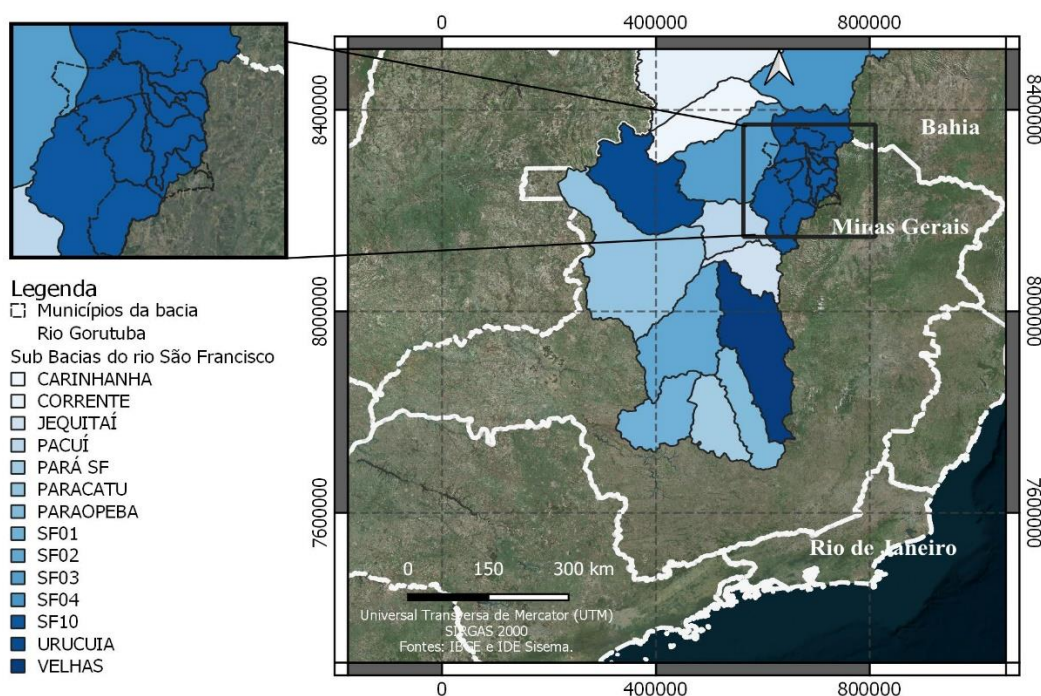
não tratados, e, ainda, verificar a influência da sazonalidade na preservação da qualidade das águas.

2 MÉTODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A bacia do Rio Verde Grande tem área de 31.410 km², abrange oito municípios na Bahia (13% da área total) e 27 municípios em Minas Gerais (87% da área total), e entre seus principais afluentes, encontra-se na margem direita o Rio Gorutuba. Conforme ANA (2013), o Rio Gorutuba é de domínio estadual, e sua gestão é de responsabilidade do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam). A área de drenagem deste manancial é igual a 9.848 km², cerca de 32% da área total da bacia do Rio Verde Grande, englobando áreas de 13 municípios em Minas Gerais, sendo eles: Catuti, Francisco Sá, Gameleiras, Jaíba, Janaúba, Mato Verde, Monte Azul, Nova Porteirinha, Pai Pedro, Porteirinha, Riacho dos Machados, Serranópolis de Minas e Verdelândia (MAPA 1).

Mapa 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Gorutuba



Fonte: Elaborado pelo autores (2020)

Em Minas Gerais, a região da bacia do Rio Gortuba, é um grande polo agropecuário, com grande participação na fruticultura nacional, tendo a banana como principal produto dos municípios de Jaíba, Janaúba e Nova Porteirinha (ANA, 2013). O crescimento da taxa de urbanização na sub-bacia do Alto Gortuba não foi acompanhado pela promoção do acesso aos serviços de esgotamento sanitário. Ademais, inexistem estudos mais aprofundados que avaliem em conjunto a qualidade das águas e as condições de esgotamento sanitário precárias na região (ANA, 2013; FEAM, 2016). Desta forma destaca-se a importância do presente estudo que pode subsidiar ações de preservação e proteção dos recursos hídricos da bacia sendo a promoção do acesso ao saneamento básico essencial para a proteção dos mananciais.

2.2 Diagnóstico dos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) e do uso e ocupação do solo na BHRG

Para análise das condições de acesso ao saneamento foram utilizados dados do Atlas Esgoto, coordenado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) e do Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referente ao ano de 2010.

A ANA constitui uma importante fonte de informações sobre as águas e os serviços de saneamento básico, responsável pela elaboração dos projetos Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água, Atlas Esgotos – Despoluição de bacias hidrográficas e o Programa de Despoluição de bacias hidrográficas (Prodes), voltado à operação eficiente das estações de tratamento de esgotos nas sedes municipais.

O IBGE é uma das fontes primordiais de dados secundários sobre o saneamento nos municípios. Destacam-se os dados do Censo Demográfico, da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). Através destes dados, foram levantadas as soluções de abastecimento de água e de esgotamento sanitário adotadas nas áreas urbanas e rurais dos municípios.

Para análise das possíveis influências do uso e ocupação na bacia foi realizada a busca de dados em diferentes recortes temporais na base Mapeamento Anual da Cobertura e

Uso do Solo no Brasil - MapBiomas,⁷ Coleção 4.1 lançada em 20 de março de 2020. Os dados, extraídos em formato matricial, foram processados com o software QGIS versão 2.18.22. e resultaram em informações quantitativas e vetoriais que indicaram a evolução dos usos do solo, permitindo assim estabelecer correlações com os resultados de qualidade das águas na bacia.

2.3 Análise da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Gorutuba - BHRG

Para a avaliação da qualidade das águas superficiais, foram utilizados os dados de qualidade das águas superficiais das estações da Rede Estadual de Monitoramento mantida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam). Os dados, disponibilizados para acesso público pelo *site* do Igam⁸, foram obtidos em formato Excel e avaliados no mesmo software. O período avaliado pela pesquisa foi estabelecido com base na disponibilidade dos dados de cinco estações, sendo considerada uma janela temporal de doze anos, compreendendo o período entre os anos de 2007 e 2018. No Quadro 1 são apresentadas informações das estações.

Quadro 1 – Estações de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais inseridas na BHRG – Projeto Águas de Minas

Estação	Descrição	Implantação	Enquadramento ¹	Município	Coordenadas UTM-SIRGAS 2000	
					X	Y
SFC145	Rio Gorutuba a jusante do barramento do Bico da Pedra	28/02/2005	Classe 2	Janaúba (MG)	684943	8249207
VG007	Rio Gorutuba a jusante da cidade de Janaúba e da barragem da ASSIEG	21/08/1997	Classe 2	Janaúba (MG), Nova Porteirinha (MG)	682123	8259823

⁷ <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>

⁸ <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/405>

SF020	Rio Mosquito a jusante de Porteirinha	01/03/2013	Classe 2	Porteirinha (MG)	708592	8259248
SFC200	Rio Serra Branca a montante da barragem Serra Branca	03/12/2004	Classe 2	Porteirinha (MG)	728328	8265807
VG009	<i>Rio Gorutuba a montante da confluência com o Rio Pacuí</i>	14/11/1997	Classe 2	Jaíba (MG), Pai Pedro (MG)	680685	8318629

Fonte: Adaptado de IGAM (2017); COPAM; CERH (2008).

Nota: ¹Conforme Portaria nº 715/1989 IBAMA e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1/2008.

Para análise dos dados de qualidade das águas e inferências na bacia pautou-se na recomendação de Von Sperling (2014b) sobre inferências estatísticas e avaliação de conformidade dos parâmetros de qualidade das águas em relação aos limites estabelecidos pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e o Conselho Estadual de Estadual de Recursos Hídricos (CERH) através da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1/2008 (COPAM; CERH, 2008).

Entre os métodos estatísticos utilizados foram realizadas análises de distribuição de frequência, evolução temporal, box-plot e testes de tendência de séries temporais. O teste de tendência realizado foi o teste de Mann-Kendall, utilizado recentemente por diversos autores (GUÇLU, 2020; VIRDIS *et al.*, 2020; CHANG *et al.*, 2020). O objetivo da aplicação foi identificar se existe tendência de elevação ou redução das medidas em função da sazonalidade, ao longo do tempo, considerando o conjunto de resultados por período de chuva, que se estende de outubro a março, e do período de estiagem, que tem início em abril e finaliza-se em setembro. Os testes foram realizados empregando-se o software ProUCL versão 5.1, desenvolvido pela US-EPA, utilizando 5% de significância. Salienta-se que os testes de tendência podem indicar

a ocorrência de interferências, positivas ou negativas, podendo configurar ações de recuperação ou de degradação atuando no trecho avaliado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Diagnóstico sanitário e dos usos e ocupação do solo na BHRG

O esgotamento sanitário é um dos serviços de saneamento que mais necessita de análises e propostas para o encaminhamento de soluções, principalmente quando voltadas para a gestão hídrica. O lançamento de uma parcela significativa de carga poluidora nos corpos d'água é resultado do déficit de coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras, levando a implicações negativas aos usos múltiplos dos recursos hídricos (ANA, 2013).

Cabe ressaltar que em 2006, o Copam determinou, por meio da DN 96/2006, prazos e a convocação para que todos os municípios implantassem sistemas de tratamento de esgotos regularizados (COPAM, 2006). Entretanto, segundo dados da ANA (2017), presentes no estudo Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas, dos 13 municípios da bacia, em sete sedes municipais, Monte Azul, Riacho dos Machados, Catuti, Janaúba, Jaíba, Porteirinha e Nova Porteirinha, a COPASA é a responsável pela prestação de serviços de esgotamento sanitário. Dos demais municípios, Francisco Sá é a única sede que mantém Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) para a prestação de serviços referentes ao esgotamento sanitário, enquanto nos municípios Gameleiras, Pai Pedro, Serranópolis de Minas e Verdelândia o serviço é de responsabilidade das prefeituras, e em nenhum deles é realizado o tratamento de esgoto (ANA, 2017).

Ainda, segundo o mesmo levantamento de dados referentes ao ano de 2013, mais de 50% da população dos municípios de Gameleiras, Janaúba, Pai Pedro, Porteirinha, Mato Verde, Serranópolis de Minas, Verdelândia e Mato Verde, não têm atendimento por sistema de esgotamento sanitário, logo sem coleta, sem tratamento e desprovidos de soluções individuais. Como supracitado, em alguns dos municípios nesta condição há prestação de serviços por concessionária, entretanto, este atendimento só é realizado, majoritariamente, em áreas urbanas, situação apresentada a seguir.

A descrição geral da cobertura dos serviços de esgotamento sanitário por situação do domicílio, segundo o Censo Demográfico de 2010, indica que parte significativa da bacia

apresenta um grande déficit quanto ao acesso às estruturas sanitárias. Dos 68.379 domicílios existentes nos municípios da bacia, apenas 10.246 domicílios (cerca de 15%), são atendidos por rede de esgotamento sanitário, enquanto 4.648 domicílios (cerca de 6,8%) sendo 3.920 na área rural e 728 na área urbana, não possuem banheiro e estruturas sanitárias de uso exclusivo dos moradores (IBGE, 2010).

Foram identificadas, segundo ANA (2013), seis Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) em operação nas sedes municipais da bacia, localizadas nos municípios de Catuti, Jaíba, Janaúba (que também atende o município de Nova Porteirinha), Monte Azul, Porteirinha e Riacho dos Machados. Desse total, foram obtidas informações das eficiências de remoção de carga de DBO dos esgotos coletados em todas as ETEs, e para todas foram encontrados valores superiores a 60%, conforme estipula a Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/2008 (COPAM; CERH, 2008).

O lançamento de esgotos, sem tratamento adequado ou em estado bruto, acarreta em lançamento de elevadas concentrações de matéria orgânica aos cursos d'água, podendo levar ao desequilíbrio da dinâmica dos cursos d'água, uma vez que as bactérias decompositoras de matéria orgânica consomem o oxigênio dissolvido em água e liberam nutrientes no meio, favorecendo o surgimento de algas. Os cursos d'água e cargas estimadas de lançamento de efluentes na bacia hidrográfica estão relacionados na Tabela 1, enquanto na Figura 1 é apresentado o diagrama unifilar da BHRG, contendo as localizações das ETE's e Estações de Monitoramento da Qualidade das Águas existentes na bacia. Cabe ressaltar que alguns dos cursos d'água em que há lançamento de efluentes não estão inseridos na bacia de estudo.

Tabela 1 – Relação de cursos d'água receptores e dos efluentes gerados na Bacia do Rio Gorutuba

Município	Efluentes Tratados		Efluente Bruto	
	Curso D'água	Carga (kg/dia)	Curso D'água	Carga (kg/dia)
Catuti	Córrego Várzea Grande	8,9		
Francisco Sá	Córrego Sumidouro	178,3	Córrego Sumidouro	232
Jaíba	Rio Verde Grande	41,2		
Janaúba/Nova Porteirinha	Rio Gorutuba	196,9	Rio Gorutuba e córregos sem nome	2738,9

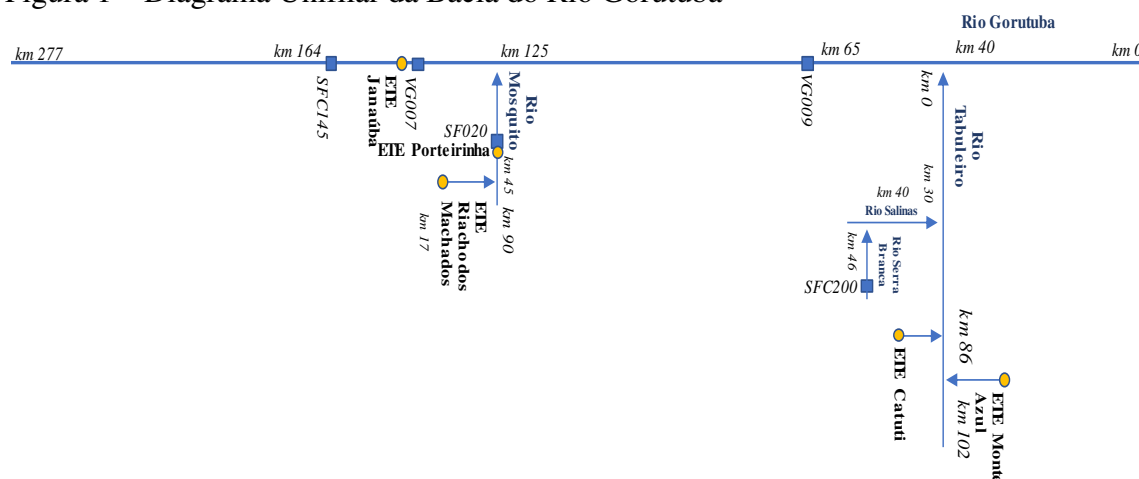
(Continua)

(Conclusão)

Município	Efluentes Tratados		Efluente Bruto	
	Curso D'água	Carga (kg/dia)	Curso D'água	Carga (kg/dia)
Monte Azul	Rio Tabuleiro	23,2		
Pai Pedro			Rio Serra Branca	97,5
Porteirinha	Rio Mosquito	88,5	Rio Mosquito	921,6
Riacho dos Machados	Córrego do Saco	15,2	Córrego do Saco	76,8
Serranópolis de Minas			Rio Mosquito	96,5
Verdelândia			Rio Verde Grande	252,4

Fonte: Elaborado pelos autores com dados de ANA (2017)

Figura 1 – Diagrama Unifilar da Bacia do Rio Gorutuba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

3.2 Uso e ocupação do solo na BHRG

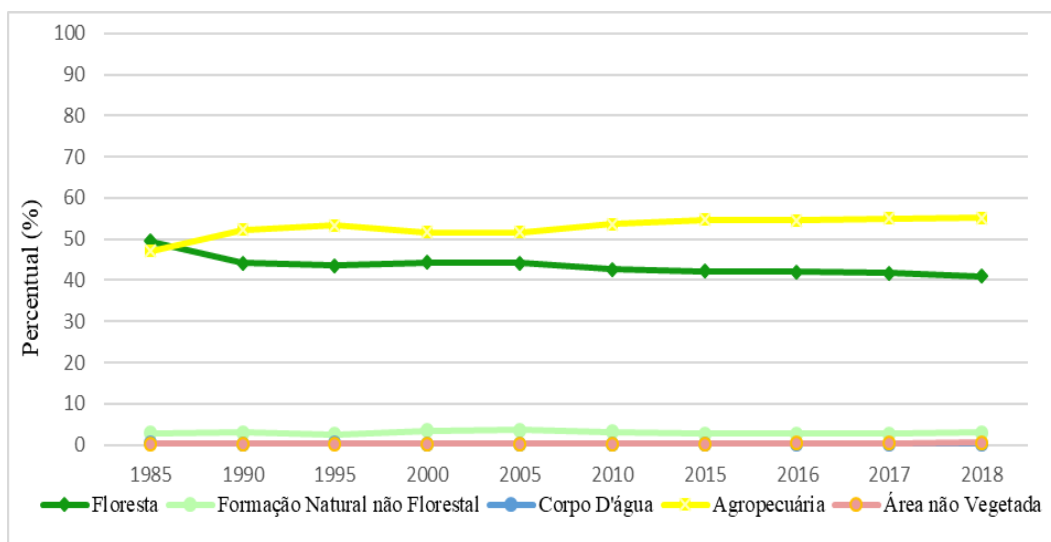
Quanto aos diferentes tipos de uso e ocupação do solo na bacia, avaliou-se a evolução temporal ocorrida entre os anos de 1985 a 2018 com base em cinco classes distintas, sendo elas:

- floresta: formação natural de mata atlântica e florestas plantadas;
- formação natural não florestal: campo;
- agropecuária: pastagens e agricultura e/ou pecuária;

- d) área não vegetada: áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas como estradas, vias e construções, mineração;
- e) corpo d'água: rios e lagos presentes na bacia.

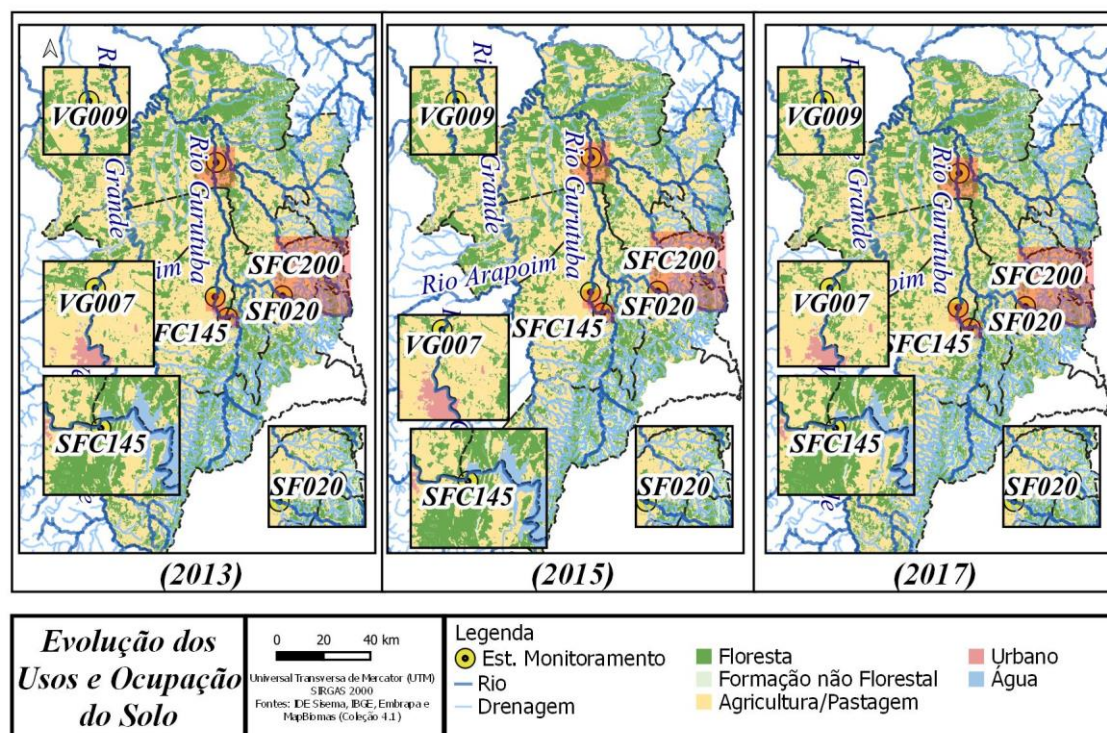
Com os dados obtidos, apresentados no Gráfico 1 e no Mapa 2, observa-se um grande avanço da agropecuária na região (+8,12%) e um decréscimo nas áreas de florestas (-8,44%). Um grande aumento também foi percebido nas áreas não vegetadas, correspondentes às manchas urbanas, crescimento de aproximadamente 150%. Tais mudanças no uso do solo diminuem a rugosidade superficial, implicando em menor infiltração e percolação, responsáveis pela recarga das águas subterrâneas. Sendo assim, infere-se um maior escoamento superficial das águas de precipitação, podendo refletir em maiores processos erosivos, inundações e alteração da qualidade das águas superficiais. Cabe dizer que a existência de empreendimentos como agricultura, usualmente, implica em inserção de nutrientes e/ou agrotóxicos no solo e estes contaminantes podem ser solubilizados e carreados pelas águas de chuva, gerando impactos às águas superficiais e/ou subterrâneas. Além disso, as florestas plantadas usualmente representam culturas arbóreas plantadas para fins comerciais (ex: eucalipto, pinus, araucária), espécies de rápido crescimento que demandam muito volume de água, o que pode interferir na disponibilidade hídrica.

Gráfico 1 – Evolução dos Usos do Solo na Bacia do Rio Gortuba - 1985 a 2018



Fonte: Adaptado de MapBiomias (2020)

Mapa 2 – Uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Gorutuba nos anos de 2013, 2015 e 2017



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

Do ponto de vista dos recursos hídricos, a intermitência de um manancial é uma situação extrema em relação à capacidade de diluição dos efluentes lançados uma vez que nesta situação inexistente vazão significativa no corpo hídrico durante longos períodos (ANA, 2013). Neste sentido, a hipótese da degradação ambiental é ampliada uma vez que grande parte dos efluentes municipais gerados na bacia, localizada na região do semiárido brasileiro, são lançados em cursos d'água intermitentes, implicando em uma capacidade de diluição de efluentes praticamente nula.

Cabe ressaltar que o lançamento de efluentes em cursos d'água intermitentes e perenes é regulado pelos normativos Resolução CONAMA 141/2012 e Resolução nº 1.163, do Ministério do Meio Ambiente (MMA) publicada em setembro de 2016, que estabelecem que o lançamento de efluentes poderá ser realizado em cursos d'água deste tipo se tratados adequadamente (CONAMA, 2012; BRASIL, 2016). O diagrama unifilar, Figura 1, demonstra que as grandes distâncias existentes entre as estações de monitoramento da qualidade das águas na bacia limitam uma análise mais fiel à dinâmica na bacia.

3.3 Avaliação de conformidade das águas na BHRG

Alguns dos principais parâmetros a serem investigados em uma análise de corpos receptores em uma bacia são os parâmetros turbidez, presença de sólidos, pH, fósforo, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e parâmetros biológicos como os coliformes termotolerantes (VON SPERLING, 2014a).

Para o parâmetro pH os valores se mantiveram bastante heterogêneos durante o período de 2007 a 2018, permanecendo concentrados na faixa de 6,46 a 7,76, dentro da faixa de 6 a 9 estabelecida pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 1/2008 (COPAM; CERH, 2008). Além disso, a frequência de resultados indica que as inconformidades para o parâmetro foram percebidas em 20% dos resultados na estação VG007, e que o menor valor de pH registrado na bacia foi igual a 4,6 na estação VG007, enquanto os demais resultados se mantiveram superiores ao limite mínimo, sem que nenhum ultrapassasse o valor máximo. A média de pH para todas as estações foi próxima de 7 (FIGURA 2).

Os resultados de DBO, no período de 2007 a 2018, permaneceram abaixo do valor máximo estabelecido pela mesma resolução para todos os pontos da bacia até o ano de 2012, nos anos subsequentes o parâmetro se manifestou superior ao limite legal nos anos de 2013, 2014, 2016 e 2018 na estação VG009, e nos anos 2015, 2017 e 2018 para a estação SF020. A distribuição de frequência indica que para a estação SFC020, localizada no município de Porteirinha, aproximadamente 32% dos resultados estiveram acima do valor máximo legal para as águas de Classe 2, concentração igual a 5 mg/L. Ademais, a estação VG007 apresentou total conformidade de resultados, enquanto nas demais estações os percentuais de atendimento foram próximos a 90%.

Ainda, para todas as estações os valores de DBO estão concentrados na faixa de 2,2 mg/L, com pequenas oscilações até a faixa de 3,2 para a estação VG009. O box-plot, apresenta que as concentrações de DBO registradas na bacia foram próximas a 2 mg/L, sendo os valores mais atípicos encontrados na estação SFC020, que apresentou valor máximo igual a 16 mg/L.

Para o fósforo total, durante os anos de 2007 a 2018 os resultados no intervalo de estudo permaneceram abaixo do valor máximo estabelecido pela legislação para grande parte dos resultados obtidos até o ano de 2012, excetuando-se os resultados para as águas coletadas na estação VG007, localizada a jusante dos lançamentos sanitários de Janaúba e Nova

Porteirinha que, juntos lançam diariamente quase três toneladas de carga orgânica nas águas da bacia e que apresentaram resultados superiores ao limite nos anos 2008 e de 2013 a 2018. Para a estação SF020 a média anual dos resultados foi superior ao limite estabelecido pela legislação em todos os anos, enquanto a estação VG009 apresentou média de resultados superiores ao limite estabelecido pela legislação no ano de 2016. Acrescenta-se que a distribuição de resultados demonstra que a estação SFC200, localizada no município de Porteirinha, tem menores índices de conformidade, apenas 35% dos resultados estiveram abaixo do limite máximo legal.

Os valores de desvios padrão para fósforo nas estações VG009 (rio Gorutuba), SF020 (rio Mosquito) e SFC200 (rio Serra Branca) também foram bem superiores aos demais pontos de monitoramento na bacia. Destaca-se o valor médio dos resultados de fósforo da estação SFC200, 0,73 mg/L, sete vezes superior ao limite legal de 0,1 mg/L estabelecido pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 1/2008 (COPAM; CERH, 2008). Ressalta-se que esta variável está diretamente relacionada à presença de nutrientes na água, e que, quando disposto em excesso no meio, é um agente de grande potencial causador da eutrofização das águas. A disponibilidade de nutrientes se dá mediante o lançamento de efluentes sem tratamento em cursos d'água, que, por sua vez, possuem grande carga de matéria orgânica.

Em um curso d'água a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição, sendo a ocorrência de nitrato associada à presença de poluições mais difusas, como o uso de fertilizantes. O limite de nitrato para as águas Classe 2, segundo a Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 1/2008, é igual a 10 mg/L. A evolução temporal e a frequência do parâmetro na bacia indicam que durante todo o período avaliado nas águas coletadas nas estações de monitoramento, as concentrações se mantiveram pouco significativas, próximas a 0,3 mg/L, sendo o maior valor encontrado na bacia igual a 1,8 mg/L nas águas da estação VG009. Ainda, a avaliação dos desvios padrões nas estações se mantiveram bem dispersos na área de estudo, com maiores concentrações nas amostras coletadas nas estações SFC200 e VG009 (FIGURA 2).

Para turbidez, cujo limite legal é igual a 100 UNT, foram observados desvios ao padrão legal nos anos de 2013 e 2017 para as amostras da estação SF020, e nas águas coletadas no ano de 2010 na estação VG007. As águas coletadas na estação VG009 apresentaram desvios em 13% dos resultados obtidos no período, enquanto para estação SF020 cerca de 6% dos

resultados foram inconformes. Ainda, as amostras obtidas na estação SF020 apresentaram grande variação de resultados registrando valores entre 509 e 0,93 UNT (FIGURA 2).

Entre os anos 2007, 2010, 2012 e 2013 as águas coletadas na estação VG007 obtiveram resultados superiores ao limite estabelecido pela DN COPAM/CERH 01/2008 para os coliformes termotolerantes/*E.coli*, enquanto nas amostras coletadas na estação VG009 houve superação do limite nos anos 2010, 2011 e 2012, na estação SFC200 em 2013 e nos anos 2013, 2015, 2016, 2017 e 2018 para as águas da estação SF020. A distribuição de frequência acumulada demonstra que apenas a estação SFC145, estação mais a montante na bacia, não apresentou inconformidades neste parâmetro. O percentual de inconformidades nas estações se manifestou crescente ao longo da bacia, com menores percentuais de inconformidade na a estação VG007, cerca de 8%, e maiores na estação VG009 que obteve quase 30% de resultados não conformes. A frequência demonstra que para todas as estações os resultados se mantiveram na faixa de 40,8 NMP/100 mL, com maiores variações para a estação SFC145.

O atendimento aos limites mínimos de oxigênio dissolvido nas águas é importante para a manutenção da biota aquática. A evolução do parâmetro nas águas da bacia indica que os valores se mantiveram inferiores ao limite mínimo exigido para legislação em todos os anos para as amostras da VG007 (rio Gortuba a jusante da cidade de Janaúba e da barragem da ASSIEG), situação que não é observada na estação SFC145 (rio Gortuba, a jusante do barramento do Bico da Pedra), localizada a montante da VG007, que apresentou total conformidade no período. A estação SF020 (rio Mosquito), terceira na linha de drenagem, apresentou resultados inconformes entre os anos de 2013 e 2016, e a estação SFC200 apresentou todas as médias de resultado acima do limite. A estação VG009 teve média de resultados inferior a 5 mg/L em grande parte do período avaliado, apresentando resultados conformes somente nas médias dos anos 2014, 2016 e 2018.

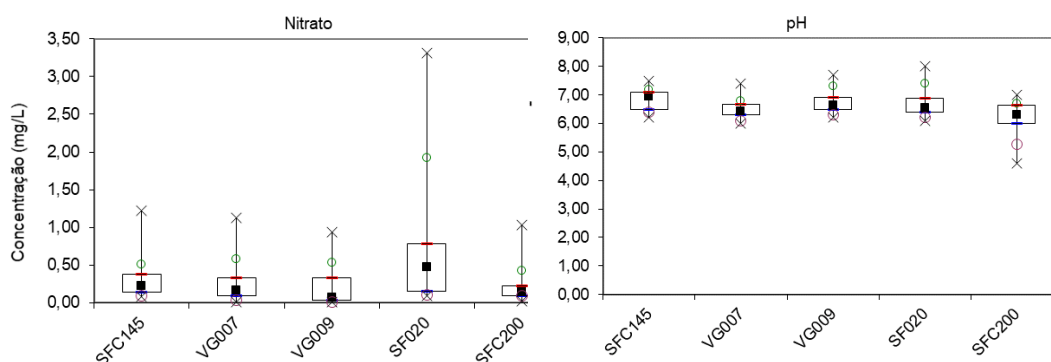
A distribuição de resultados para oxigênio dissolvido indica também que a estação SFC020, localizada no município de Porteirinha, apresenta menores índice de conformidade, cerca de 35% dos resultados abaixo do limite mínimo legal, um possível reflexo do lançamento de uma carga orgânica superior a 1 tonelada diariamente no Rio Mosquito. Para as demais estações apresentam atendimento médio superior a 85%, nas estações SFC145 e VG007 os percentuais de atendimento são maiores, tendendo aos 100%. Ainda, o box-plox para o Oxigênio Dissolvido, Figura 2, reafirma a avaliação apresentada anteriormente, as águas das

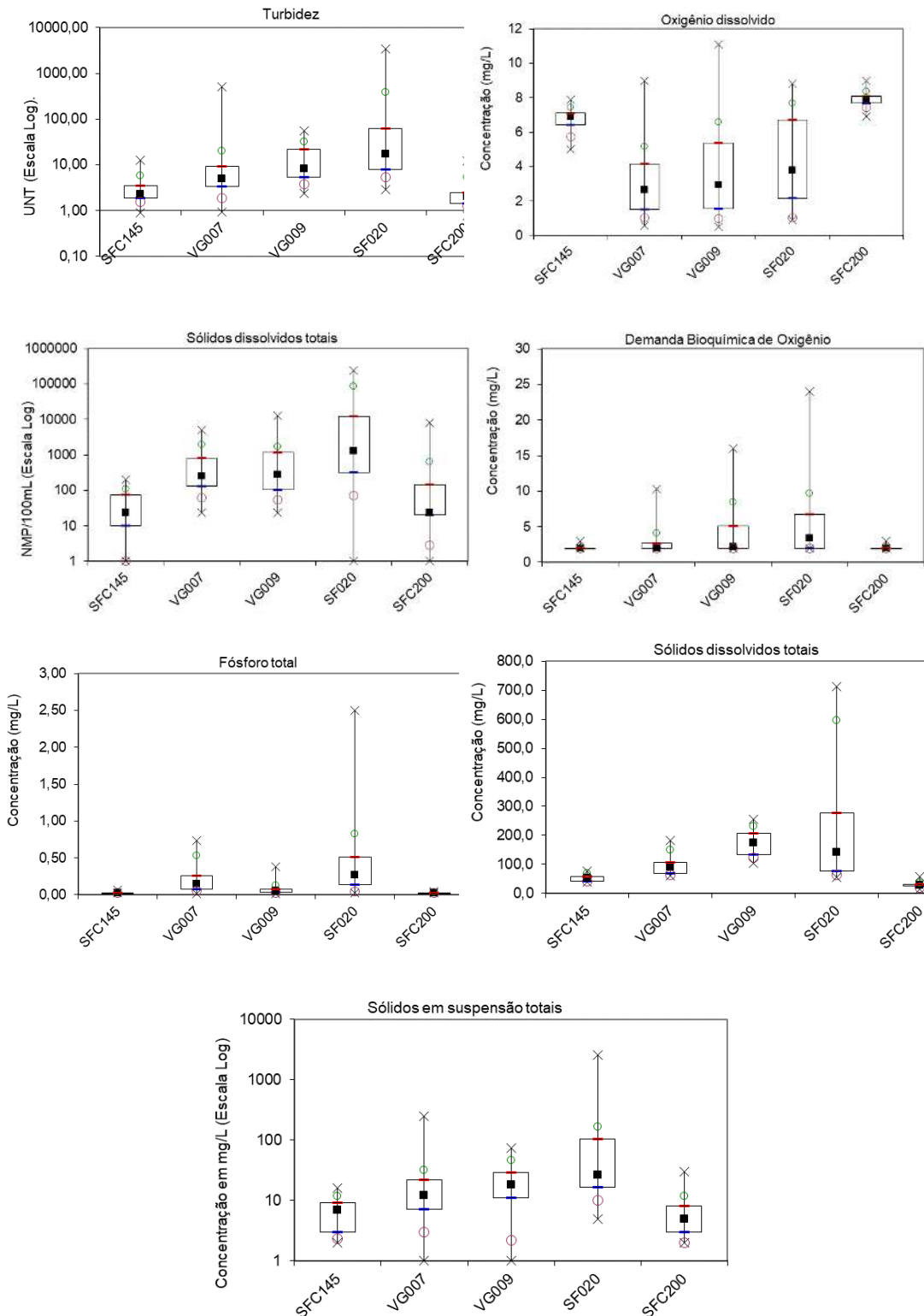
estações SFC145 e VG007 apresentaram pequenas oscilações de resultados, enquanto as demais estações apresentaram valores muito dispersos ao longo do período de monitoramento.

Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Os sólidos totais podem ser classificados de acordo com suas características físicas ou químicas, sendo que os parâmetros sólidos suspensos e sólidos totais representam a fração de sólidos dissolvidos com limites estabelecidos na Deliberação normativa COPAM/CERH nº 1/2008 para as águas de Classe 2. A evolução temporal do período de estudo indica que o limite de 500 mg/L para o parâmetro sólidos dissolvidos totais só foi ultrapassado para o ano de 2017 nas águas coletadas da estação SF020, enquanto o limite de 100 mg/L de sólidos em suspensão foi atingido em duas ocasiões na análise temporal para a mesma estação, nos anos 2013 e 2017.

Os gráficos de sólidos apresentados na Figura 2, indicam que o comportamento destes parâmetros nas estações SFC145 e VG007 foi similar, com pouca dispersão dos resultados. Para a estação VG009 os valores de máximo, média e mínimo foram bem dispersos para ambos os parâmetros implicando em maiores resultados de desvio padrão. Para sólidos em suspensão, também se observa grande dispersão de resultados na estação SF020.

Figura 2 – *Box Plots* dos parâmetros de qualidade analisados nas estações de monitoramento localizadas na bacia do Rio Gortuba - anos de 2007 a 2018





Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

3.4 Avaliação da influência da sazonalidade na qualidade das águas através do Teste de Tendência de Mann-Kendall

Para realização dos testes de tendência de Mann-Kendall, correlacionando com a influência da sazonalidade, foram utilizados os parâmetros cloretos e fosfatos, compostos muito utilizados na composição de fertilizantes, além das variáveis de investigação utilizados para caracterização das águas na bacia. Cabe pontuar que o parâmetro sólidos totais foi utilizado em substituição da análise dos parâmetros sólidos dissolvidos e sólidos suspensos. Tais parâmetros tiveram os resultados separados em duas amostras em função dos meses de coleta, sendo elas as coleções de chuva e estiagem.

Mediante os testes realizados, verificou-se que os parâmetros oxigênio dissolvido e DBO, relacionados com a disponibilidade e ao consumo de oxigênio no meio, respectivamente, foram pouco influenciáveis pelas condições sazonais, e a DBO, por sua vez, indicou tendência de aumento significativa para os períodos chuvosos e de estiagem. A estação VG007, localizada imediatamente a jusante da ETE Janaúba, apresentou tendência de aumento para os parâmetros fósforo total e fosfatos, em ambos os períodos sazonais, variáveis essas associadas à presença de algas, que, por sua vez, influenciam no consumo de oxigênio, reduzindo sua disponibilidade nas águas. Ainda, verificou-se que os teores de sólidos totais mostraram tendência de aumento mais evidente no período de estiagem, nas estações SF020 e VG009, ocasionado pela diminuição da lâmina d'água, que evidencia a presença de sólidos no meio. Ressalta-se que ambas as estações anteriormente mencionadas, encontram-se dispostas em regiões de supressão de vegetação, além da contribuição de fontes difusas, relacionadas com as áreas de agricultura e pastagens. Ainda, a estação SF020 está localizada em um curso d'água que recebe lançamento de efluente bruto (rio Serra Branca).

Os nitratos indicaram maior influência dos períodos chuvosos, com tendência de aumento verificada para a estação VG009 e tendência de diminuição identificada na estação SFC200. Contudo, a estação VG009 também indicou tendência de aumento no período de seca, sendo este um forte indicativo da influência do avanço da agricultura na região da localização do ponto, visto que este é um elemento presente na composição de alguns agrotóxicos. Além disso, a estação VG009 está inserida no rio Gortuba, que recebe a contribuição de fontes poluidoras difusas, relacionadas ao lançamento de efluentes brutos.

Ademais, foram notadas influências da sazonalidade de maneira pontual, bem como as tendências observadas foram pouco significativas, em ambos os períodos sazonais indicados. As tendências observadas reforçam a influência do lançamento de efluentes sem tratamento na região da bacia em análise, principalmente em cursos d'água intermitentes, além do uso e ocupação do solo, com atividades que ocasionaram a supressão de vegetações do entorno. Ainda, é possível afirmar que as estações que indicaram águas mais impactadas estão, preferencialmente, localizadas em cursos d'água que recebem contribuições de efluentes brutos, o que acaba tornando a influência dos períodos sazonais pouco relevantes, diante do cenário de águas já impactadas.

4 CONCLUSÃO

De forma geral pode-se constatar que de fato a região de estudo é muito impactada, seja pelos usos agrícolas e demais ocupações do solo ou pelos lançamentos de efluentes nos cursos d'água. A redução de oxigênio dissolvido e a presença de coliformes termotolerantes são um dos maiores indicadores de contaminação sanitária na região. A ausência e precariedade de atendimento sanitário na região são questões que devem ser trabalhadas a fim de garantir a população condições dignas de saneamento e a salubridade ambiental.

Em 2006, o Copam determinou, por meio da DN n° 96/2006 (COPAM, 2006) o estabelecimento de prazos e a convocação para que todos os municípios implantassem sistemas de tratamento de esgotos regularizados, entretanto, ainda podemos observar que, 14 anos depois, o panorama do esgotamento sanitário ainda não avançou de forma significativa em Minas Gerais. Fato esse que impacta sistemicamente a qualidade dos rios de uma forma geral, gerando mortandade da fauna, além do possível aumento de doenças de veiculação hídrica sobre a população que se encontra a jusante dos vertedouros de esgotamento sanitário.

Cabe ressaltar ainda, que estudos mais aprofundados de avaliação do potencial de autodepuração em regiões específicas da bacia também são necessários para uma completa avaliação da realidade da qualidade de água. A partir disso, o comitê de bacia e os demais órgãos gestores poderão estabelecer ações necessárias para a solução da problemática explicitada pelo artigo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. 2017. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf/. Acesso em: 06 jun. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Indicadores de qualidade**: contaminação por tóxicos. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-contaminacao.aspx>. Acesso em: 20 jul. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Verde Grande**. Brasília: ANA, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 1.163, de 26 de setembro de 2016**. Dispõe sobre o critério para decisão quanto ao deferimento de pedidos de outorga para diluição de efluentes tratados situados em rios de domínio da União intermitentes ou efêmeros, passa a ser unicamente a verificação quanto ao devido tratamento do efluente, não sendo realizada a análise de disponibilidade hídrica do corpo receptor. Revogada pela Resolução 1254/2016/ANA/MMA. Disponível em: http://www.lex.com.br/legis_27191558_RESOLUCAO_N_1163_DE_26_DE_SETEMBRO_DE_2016.aspx. Acesso em: 10 fev. 2021.

CHANG, H. K. *et al.* Teste de Mann-Kendall aplicado à dados hidrológicos: desempenho dos filtros TFPW e CV2 na análise de tendências. **Ci e Nat.**, Santa Maria, v.42, e87, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/41928/html>. Acesso em: 06 jun. 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais); CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais); **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2008, p.8. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). **Deliberação Normativa COPAM nº 96, de 12 de abril de 2006**. Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7204>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). **Resolução nº141, de 10 de julho de 2012**. Estabelece critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos e de enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, em rios intermitentes e efêmeros, e dá outras providências. Disponível em: http://piranhasacu.ana.gov.br/resolucoes/resolucaoCNRH_%20141_2012.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214>. Acesso em: 10 jun. 2019.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Minas Gerais). **Minas Trata Esgoto: Plano de ações estratégicas para redução do lançamento de carga poluidora nas bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2016. 241 p.

GONÇALVES, F. **Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul: avaliação integrada da qualidade das águas dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo**. 2016. 141 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1174M.PDF>. Acesso em: 06 jun. 2020.

GÜÇLÜ, Y. S. Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA, **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 584, May. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169420301347>. Acesso em: 06 jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVAVEIS. **Portaria nº 715, de 20 de setembro de 1989**. De enquadramento e nível de qualidade de água (classe) do rio São Francisco e tributários. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/Bacia%20do%20S%C3%A3o%20Francisco.pdf/>. Acesso em: 22 jan. 2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (Minas Gerais). **Boletim anual de qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio Verde Grande**. Belo Horizonte: Igam, 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (Minas Gerais). **Séries históricas de monitoramento de qualidade das águas superficiais do estado de Minas Gerais**. Repositório Institucional. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/405>. Acesso em: 06 jun. 2020.

MAPBIOMAS – Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Base de dados. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

VIRDIS, S. G. P. *et al.* Estimation of satellite-derived lake water surface temperatures in the western Mediterranean: integrating multi-source, multi-resolution imagery and a long-term field dataset using a time series approach. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 707, Mar. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719355627>. Acesso em: 20 fev. 2021.

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

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água dos rios**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014b.