

Received:
March 31, 2021

Accepted:
April 27, 2021

Published:
April 30, 2021

Analysis of Water Quality and Balneability Parameters for Recreation of the Biribiri State Park in Diamantina/MG

Pedro Henrique Jesus Silva¹ , Mathaus Ferreira Santos¹ , Gleiciene Ribeiro de Magalhães¹ , Frank Alison de Carvalho¹ , Valéria Macedo Cardoso¹ , Débora Vilela Franco¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, Brasil.

Email address

dvfranco@gmail.com (Débora V. Franco)
frank.carvalho@ict.ufvjm.edu.br (Frank A. de Carvalho)
gleicieneufvjm@gmail.com (Gleiciene R. de Magalhães)
mathausstos@gmail.com (Mathaus F. Santos)
pdrohenriksilva@hotmail.com (Pedro H. J. Silva) – Corresponding author.
valeriaufvjm@hotmail.com (Valéria M. Cardoso)

Abstract

Surrounding the historic city of Diamantina, it is possible to find beautiful landscapes and natural attractions, among which is the Biribiri State Park (PEB), being one of the most visited. Throughout the year, this conservation unit is visited mostly by residents and students of the city, who take advantage to have contact with nature, practice adventure sports and bathe in its fresh waters. In this bias, the present study tries to verify the quality of the main bathing points of the PEB, given its relation with waterborne diseases: Poço da Água Limpa, Cachoeira Sentinela, Cachoeira dos Cristais and Córrego Ribeirão das Pedras (in Vila do Biribiri). The main physical, chemical and microbiological parameters of these waters were analyzed in the months of May, June, September, October and November, with emphasis on the last three. The parameters of temperature, total dissolved solids, color, turbidity, dissolved oxygen, pH, quantification of anions (chloride, fluoride, nitrate, and sulfate) and quantification of thermotolerant coliforms were compared with the legislation of Conama and with the Normative Deliberation of the State of Minas Gerais. Positively, in the analyzed period, the results of the samples regarding the parameters were within the criteria established by the legislation for Class 1. Regarding the results of the microbiological tests, the waters were considered as their own and having as a subcategory excellent, being, therefore, suitable for leisure and recreation activities that involved direct contact with it.

Keywords: Microbiological analysis, Bathing, Biribiri State Park, Water quality.

1. Introdução

A cidade de Diamantina está localizada no alto Vale do Jequitinhonha em Minas Gerais. Terra de personagens ilustres como Chica da Silva e do ex-presidente da República Juscelino Kubitschek de Oliveira, referências para quem busca compreender a história local; abarca em seu centro urbano o célebre evento da Vesperata, sendo possível observar também as características do século XVIII mantidas nos casarios coloniais preservados e nas suas diversas igrejas. (Paula, 2012; Vieira et al., 2014).

Nesse viés, conforme apontam Vieira et al. (2014), por sua história, cultura e pelo conjunto arquitetônico e paisagístico, Diamantina recebeu vários reconhecimentos, dentre os quais está o seu tombamento, em 1939, pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN); o título de Patrimônio Cultural da Humanidade, conferido pela Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), em 1999; e a sua inserção em 2007 na lista dos 65 destinos indutores de turismo no Brasil pelo ministério do Turismo, sendo considerada como uma das cidades de maior capacidade de atração de turistas internacionais.

Outros encantos regionais são pautados na diversidade de atrativos naturais encontrados em seu entorno, sendo propícios à prática de ecoturismo em suas variadas trilhas, cachoeiras, serras, grutas e unidades de conservação inseridas na Cadeia do Espinhaço, bem como trechos da Estrada Real. Nesse contexto, os lugares de maior destaque são a Gruta do Salitre e o Parque Estadual do Biribiri (PEB), sendo os mais visitados. (Silveira e Medaglia, 2012; Vieira et al., 2014).

A localização do PEB nas proximidades da área urbana, além de suas belezas cênicas e arqueológicas, são fatores consideravelmente associados ao grande número de visitantes ao longo do ano, formados predominantemente por moradores locais e estudantes, que o acessam como forma de lazer e para prática de esportes de aventura. (Vieira et al., 2014).

Conforme Vieira et al. (2014), a motivação dos visitantes do PEB está essencialmente no contato com a natureza. Nessa perspectiva, práticas em contato com o meio natural, vem aumentando ao longo dos anos, particularmente aquelas desenvolvidas em contato com a água, como forma de contrapor a vida moderna, o ambiente urbanizado e a rotina estressante, sendo uma atividade que vigora mesmo com a evolução tecnológica e científica ao longo dos anos (Martins, 2012; Lopes, Von Sperling e Magalhães Jr., 2015).

Vale destacar que o banho de cachoeira é o principal atrativo do PEB, prevalecendo sobre algumas atividades como, por exemplo, a prática de esportes de aventura, realização de caminhadas, programas de educação ambiental e contemplação da paisagem. (Nunes, Neumann e Valarini, 2011).

A Cachoeira da Sentinela e a Cachoeira dos Cristais, são os balneários de destaque dentro do PEB, sendo comumente frequentados (Nunes Neumann e Valarini, 2011). Outros dois pontos importantes para as atividades recreativas são o Poço da Água Limpa, circunvizinho à cidade diamantinense, e o Córrego Ribeirão das Pedras, situado nas proximidades do ponto turístico da Vila do Biribiri, sendo também o desemboque das águas que perpassaram grande parte das áreas do Parque.

É importante ponderar que a qualidade da água desses corpos hídricos em que ocorrem atividades de contato direto, deve atender às condições de balneabilidade, de modo que não ofereçam riscos aos banhistas, seja pelo contato direto e prolongado ou pela possibilidade de ingestão de água, sendo imprescindível que haja o

monitoramento. (Martins, 2012; Lopes, Von Sperling e Magalhães Jr., 2015).

Cabe reiterar, que a recreação em que haja contato de forma prolongada e direta em ambientes contendo organismos patogênicos, cianotoxinas, insetos vetores, metais pesados entre outros, presentes em águas poluídas, torna os banhistas expostos a uma série de doenças, sobretudo àqueles pertencentes aos grupos mais sensíveis, como crianças, pessoas com baixa resistência imunológica e idosos. Mas há outras variáveis que também devem ser consideradas como idade, gravidez, estado de saúde e doenças (HIV, câncer). (Pond, 2005; Martins, 2012; Lopes, Von Sperling e Magalhães Jr, 2015).

Diante disso, ter o reconhecimento da qualidade dessas águas a partir de parâmetros específicos é de substancial importância. É preciso levar em consideração também que a qualidade da água é uma questão de saúde pública, cuja análise tende a beneficiar a todos os visitantes do PEB.

Dadas essas considerações, o escopo deste artigo apresenta os resultados de uma pesquisa sobre esse viés: avaliar a qualidade e a condição balneária de alguns corpos hídricos do PEB a partir de parâmetros específicos. A partir dessas análises foi possível verificar se as condições encontradas estão em conformidade com os fins propostos, isto é, em consonância ao estabelecido pela legislação.

1.1. O Parque Estadual do Biribiri (PEB)

O PEB abrange uma área de 16.998,66 hectares, estando inserido geograficamente dentro do município diamantinense, em Minas Gerais, como representado na Figura (1).

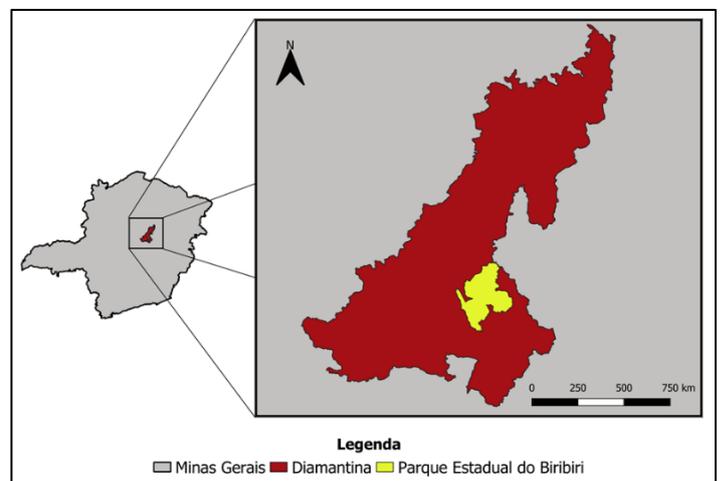


Figura 1 – Mapa da localização do PEB – MG. Desenvolvido a partir do Instituto Prístino com o software QGIS.

A criação do PEB é datada em 22 de setembro de 1998, mediante Decreto n° 39.909, o qual estabelece como propósitos dessa área a proteção da fauna e flora regionais, das nascentes dos rios e córregos; a criação de condições para que sejam desenvolvidas pesquisas e estudos científicos; bem como de alternativas de uso racional dos recursos naturais, como o ecoturismo. (Minas Gerais, 1998).

Outra normativa que regulamenta os Parques Estaduais de Minas Gerais, é o Decreto n° 21.724, de 23 de novembro de 1981 que, em seu artigo 2° estabelece que unidades como o PEB são consideradas bens do Estado de Minas Gerais, criadas para proteção e preservação permanente de regiões. (Minas Gerais, 1981).

Neste decreto também constam os objetivos da criação dos Parques, sendo elencados a garantia da preservação e intocabilidade dos ecossistemas naturais englobados, a possibilidade de realização de pesquisas e trabalhos de interesse científico, a oferta para condições de recreação e turismo, bem como a realização de atividades educativas e conscientização ecológica. (Minas Gerais, 1981).

1.2. Delimitação da área de estudo

Os locais delimitados para desenvolvimento das pesquisas são listados na sequência. As coordenadas geográficas foram obtidas a partir do aparelho GPS de navegação *Garmin*, *GPSMAP 60CSX* e software *TrackMaker* para a exportação dos dados.

O Poço da Água Limpa (PC-PEB-03), representado na Figura (2), é um dos balneários mais próximos da cidade. Suas águas são propícias ao lazer de crianças e adultos. No que tange à vegetação, ao redor do balneário predominava mata ciliar pouco densa em apenas um lado da margem. A altitude do balneário foi registrada em 1161 m, sendo que as amostras coletadas tiveram por coordenada UTM WGS 84 23K X:646009/Y:7985565.

A Cachoeira da Sentinela (PC-PEB-06), representada na Figura (3), está localizada nas proximidades da estrada que liga Diamantina à Vila do Biribiri, o que caracteriza também as intensas visitas a esse balneário, além de propiciar o banho e atividades de recreação em várias de suas piscinas naturais. Para a coleta, foi registrada uma altitude de 1106 m, sob a coordenada X:646127/Y:7988950).

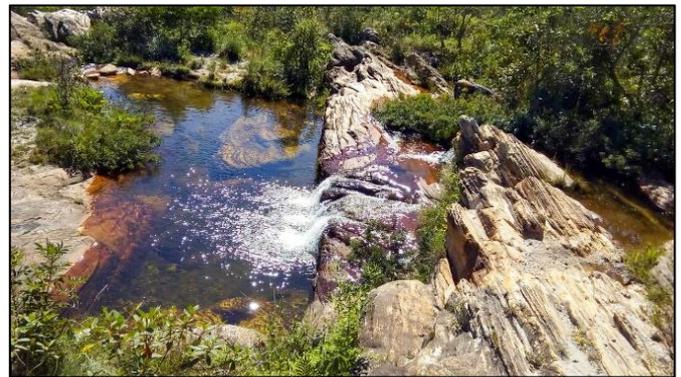


Figura 2 – Vista lateral do Poço da Água Limpa.



Figura 3 – Trecho da Cachoeira da Sentinela em que foram coletadas as amostras.

Na Cachoeira dos Cristais (PC-PEB-09), representada na Figura (4), um balneário de grande porte que abrange poços profundos e quedas d'água ao longo do seu trajeto, as coletas foram realizadas em ponto com altitude de 1083 m e coordenada X: 648140/Y:7991828).

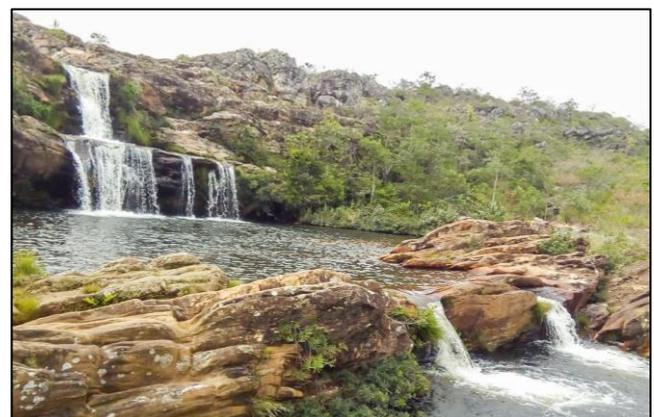


Figura 4 – Balneário da Cachoeira dos Cristais.

Com uma altitude de 1007 m, o ponto de coleta no Córrego Ribeirão das Pedras (PC-PEB-11), representado na Figura (5), encontra-se sob a coordenada X: 646134/Y: 7993325). O curso d'água em questão percorre grande parte da área do PEB antes de chegar no entorno da Vila do Biribiri. Assim, as coletas ali realizadas possibilitam obter um indicativo das condições de degradação em comparação a alguns dos seus afluentes, estando este ponto a jusante de todos os demais pontos analisados.



Figura 5 – Córrego Ribeirão das Pedras.

1.3. Aspectos gerais da legislação nacional e estadual de Minas Gerais sobre os balneários

Em nível nacional, a pesquisa baseou-se em regulamentações do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), em especial nas Resoluções n° 274 de 2000 e a n° 357 de 2005.

A primeira delas (n° 274/00) diz respeito à balneabilidade, em outras palavras, trata-se da qualidade das águas utilizadas para recreação de contato primário, isto é, em que o indivíduo mantém contato direto e prolongado, havendo alta possibilidade de ingestão de água. (Brasil, 2001).

No que concerne à balneabilidade, as águas doces (salinidade inferior ou igual a 0,50‰), salobras (salinidade entre 0,50‰ e 30‰) e salinas (salinidade igual ou superior a 30‰), têm suas condições avaliadas nas categorias própria e imprópria. Por sua vez, na categoria própria, há as seguintes subcondições: “excelente”, “muito boa” e “satisfatória”. De forma descritiva, essas condições são apresentadas na Tabela (1), lembrando-se que os enterococos são aplicados somente às águas marinhas (Brasil, 2001).

A respeito da Resolução n° 357/05, esta apresenta sobre a classificação e diretrizes

ambientais para o enquadramento dos corpos hídricos. Por meio desta é tido um instrumento que possibilita averiguar a evolução da qualidade das águas em relação às classes estabelecidas, favorecendo a fixação e o controle de metas, com a intenção de agir gradativamente para atingir os objetivos propostos. (Brasil, 2005).

A nível estadual, vigora a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 (Minas Gerais, 2008), uma síntese das legislações ambientais supracitadas, pela qual dentre outras determinações se encontra a classificação dos corpos de águas superficiais e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como o direcionamento quanto à balneabilidade para a Resolução Conama n° 274/00.

As águas doces, campo de estudo da presente pesquisa, são organizadas em cinco classes: especial e classes que variam de 1 a 4, conforme Tabela (2). Em ambas as legislações, níveis nacional e estadual, praticamente não há ressalvas a serem feitas que expressem diferenças quanto às classificações.

Para as águas doces, as Classes 1 e 2 são viáveis para atividades recreativas de contato primário, bem como se destinam à proteção de comunidades aquáticas. Contudo, se diferenciam, por exemplo, no tratamento prévio para consumo humano. Enquanto na Classe 1 o consumo pode ser realizado após tratamento simplificado, para a Classe 2, é requerido o tratamento convencional, sendo necessário a utilização de mais produtos químicos para seu consumo seguro. Isso denota que comparando essas duas classes, a Classe 1 é mais restritiva.

Conforme o Plano de Manejo do PEB, nos meses de janeiro e fevereiro, os balneários da Água Limpa, Sentinela, Ribeirão das Pedras e Soberbo (principal vertente da Cachoeira dos Cristais) são enquadrados na Classe 1.

Posteriormente, a pesquisa desenvolvida por Neves (2005), em janeiro e agosto de 2004, a partir de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, também foram obtidos resultados que possibilitam classificar esses corpos hídricos como Classe 1.

Por sua vez, Meira, Moura e Fonseca (2013), também realizaram análises físico-químicas e microbiológicas, em quatro pontos do riacho do Poço da Água Limpa, no período de março a setembro de 2009, obtendo resultados superiores ao permitido para Classe 1, para alguns parâmetros.

Tabela 1 – Características das águas de acordo com a categoria

Condição		Características
Própria	Excelente	Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes fecais (termotolerantes) ou 200 <i>Escherichia coli</i> ou 25 enterococos por 100 mililitros.
	Muito boa	Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 400 <i>Escherichia coli</i> ou 50 enterococos por 100 mililitros.
	Satisfatória	Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes fecais (termotolerantes) ou 800 <i>Escherichia coli</i> ou 100 enterococos por 100 mililitros.
Imprópria		Não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias; valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 2000 <i>Escherichia coli</i> ou 400 enterococos por 100 mililitros; incidência elevada ou anormal, na Região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias; presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação; pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais; floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana; ou, outros fatores que contraindiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

Tabela 2 – Classes da água e suas finalidades

Classes	Finalidade/Destino
Especial	Abastecimento para consumo humano, com filtração e desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama 274/00; irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
Classe 2	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama 274/00; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; aquicultura e a atividade de pesca.
Classe 3	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário; dessedentação de animais.
Classe 4	Navegação, harmonia paisagística e usos menos exigentes.

Diante dessas observações, é fundamental descrever a localização dos pontos de coletas, o período de análises e a realização frequente do monitoramento dessas áreas, investigando a interferência de fatores externos na qualidade do corpo hídrico.

Cabe ponderar ainda que, em consonância à DN COPAM/CERH-MG 01/08, em caráter mais restritivo (mas também presente na Resolução Conama 357/05), os cursos de águas doces sem aprovação no respectivo enquadramento serão considerados como Classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, sendo aplicada então a classe mais rigorosa correspondente. (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008).

Para a seguridade dos banhistas, as condições nos balneários devem estar inseridas nos limites estabelecidos para cada parâmetro, conforme a classe de água em que estão enquadrados.

1.4. Análise da qualidade e balneabilidade dos corpos hídricos

Dadas essas considerações, a pesquisa teve por principal intuito a avaliação da qualidade e balneabilidade das águas de quatro pontos do PEB (Poço da Água Limpa, da Cachoeira da Sentinela, Cachoeira dos Cristais e do Córrego Ribeirão das Pedras (riacho próximo à Vila do Biribiri) a partir de análises físico-químicas e microbiológicas realizadas em coletas periódicas. Buscou-se também contribuir para o monitoramento e para o desenvolvimento de futuras pesquisas na área.

Igualmente, visou atender aos visitantes, sobretudo aos moradores locais, haja vista sua relevância e seu impacto social referente à saúde pública, para que possam apreciar seguramente seus momentos recreativos e apreciar as belezas naturais dessa área.

Além disso, pretendeu-se levantar hipóteses sobre possíveis fontes de contaminação e poluição oriundas de forma antropogênica.

Diante do exposto é preciso compreender que, a gênese da poluição e contaminação dos recursos hídricos na maior parte das vezes é proveniente de efluentes líquidos industriais e domésticos oriundos dos centros urbanos. (Archela et al., 2003).

Identicamente, verificou-se que parte do efluente sanitário gerado no núcleo urbano de Diamantina é lançado diretamente no Córrego do Tejuco (bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras) que segue em direção ao PEB, sem qualquer processo de tratamento.

Nesse viés, Lage (2013) denota que a localização do PEB, à jusante de parte da área urbana da sede de Diamantina, favorece alterações no fluxo de sedimentos, nutrientes e poluentes, culminando em perturbações aos ecossistemas aquáticos, englobando efeitos diversos como assoreamento, eutrofização e redução da biodiversidade aquática.

Na rede hidrográfica do PEB, representada na Figura (6), é possível observar que muitos cursos

d'água têm sua gênese fora da unidade de conservação e, que posteriormente adentram o Parque e findam no PC-PEB-11 (proximidades da Vila do Biribiri). Alguns cursos d'água, que recebem efluentes *in natura*, perpassam a sede de Diamantina e desaguam no Parque, contudo, sem qualquer tratamento prévio.

Outro caso de notoriedade trata-se do Córrego Soberbo, que tem destino final a Cachoeira dos Cristais, sendo que seu trajeto inicial perpassa parte da área da UFVJM (Campus JK), sendo que essa conta com estação de tratamento de esgoto, que tem seus efluentes lançados em vala de infiltração.

A pesquisa realizada por Lage (2013) mostra que os efeitos negativos originários na área externa do PEB são minimizados pelo processo de autodepuração dos cursos d'água. Em complementariedade, Silva e Chagas (2019), apresentaram a eficácia no tratamento de efluentes da ETE da UFVJM, considerando-se também que seu lançamento não é realizado diretamente em nenhum corpo receptor próximo, transpassado ulteriormente pelo processo de infiltração no solo, conforme acima mencionado.

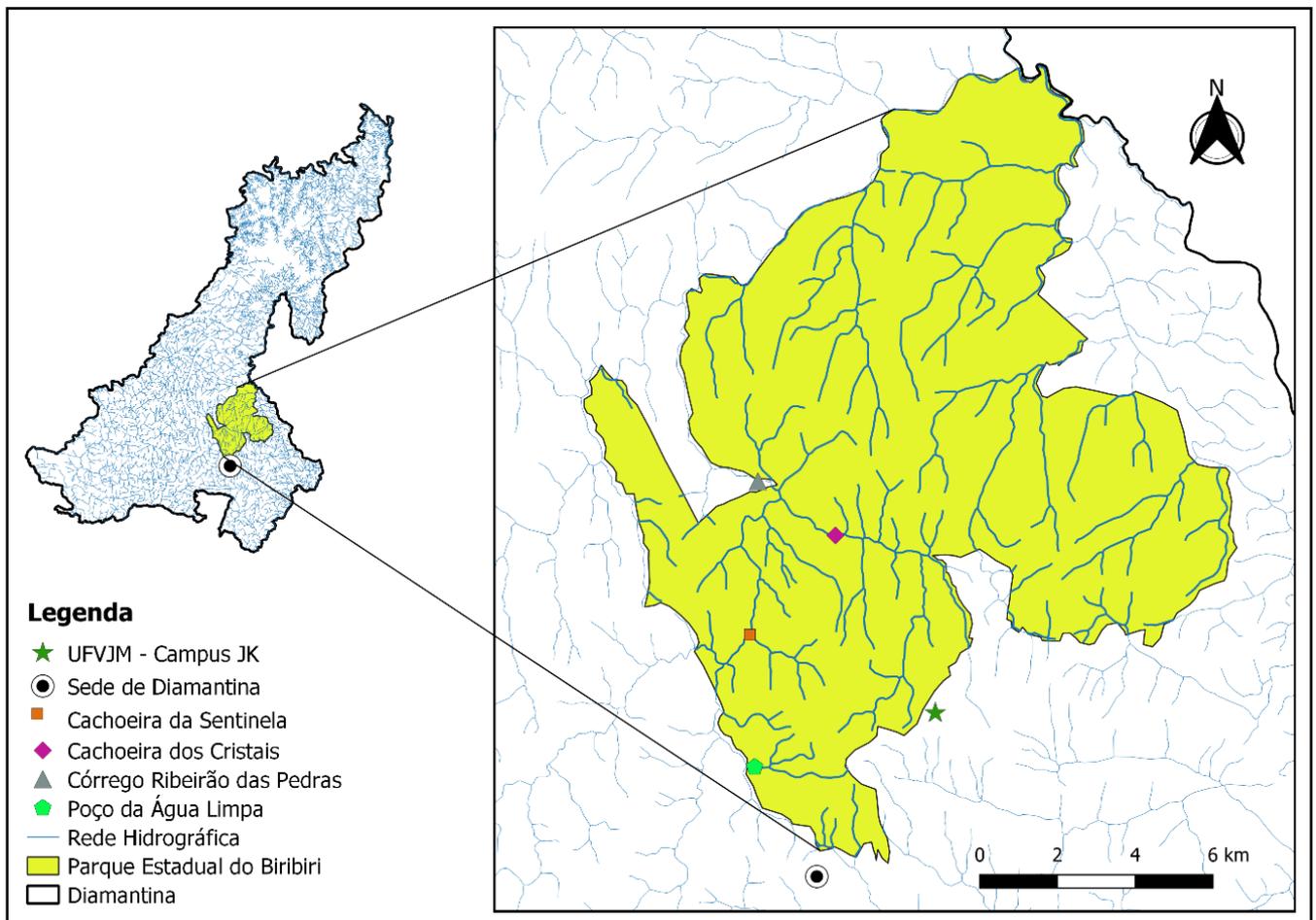


Figura 6 – Rede Hidrográfica do PEB. Desenvolvido a partir do Instituto Prístino com o software QGIS.

1.5. Parâmetros de análises

Os parâmetros de análise da qualidade da água representam os componentes encontrados e que ocasionam modificações no seu grau de pureza, sendo expressos na forma de concentrações ou valores numéricos, em termos das características, físicas, químicas ou biológicas. (Von Sperling, 2005; Vasconcelos, 2012).

1.5.1. Temperatura

A temperatura, embora não seja um parâmetro presente nas legislações ambientais citadas, foi considerada por sua relevância e atuação em diversos processos químicos, físicos e biológicos que acontecem no meio aquático, tais como o metabolismo, a degradação da matéria orgânica e sua influência crucial para a existência de muitos organismos. (Zuin, Ioriatti e Matheus, 2009; Cetesb, 2018).

1.5.2. Turbidez

A turbidez caracteriza o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra de água, por efeito de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, argila) e detritos orgânicos (algas, bactérias). Esse parâmetro é intensificado por fenômenos erosivos das margens dos rios em estações chuvosas e pela presença de esgotos industriais e domésticos. Em níveis elevados, a turbidez pode ser prejudicial aos usuários, por dificultar a visibilidade de obstáculos presentes, podendo gerar acidentes que podem levar a afogamentos. (Lopes et al., 2015; Cetesb, 2018).

1.5.3. Cor

A cor é um parâmetro associado à redução da intensidade que a luz sofre ao atravessar uma amostra de água, por conter sólidos dissolvidos, principalmente coloidais, tais como os substratos ácidos húmicos e fúlvicos, materiais originários de esgotos domésticos e efluentes industriais e compostos inorgânicos, notavelmente óxidos de ferro e manganês. Na caracterização, esse parâmetro pode ser diferenciado em dois tipos: aparente (apresenta sólidos suspensos) e verdadeira (obtida após ser realizado o processo de centrifugação). (Cetesb, 2018).

1.5.4. Sólidos totais dissolvidos

Os sólidos correspondem à matéria residual das operações de evaporação, secagem ou calcinação da amostra após um tempo fixado sob uma temperatura estabelecida previamente. Para a pesquisa, a classe de sólidos avaliada restringiu-se aos sólidos totais dissolvidos (STD), os quais abarcam todos os sais e componentes não iônicos. Os STD são constituídos principalmente por produtos na forma iônica, oriundos de processos de intemperismo. (Cetesb, 2018; Piratoba et al., 2017).

1.5.5. Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons H^+ no meio, conforme Equação (1), sendo um indicativo sobre a condição de acidez ($pH < 7$), neutralidade ($pH = 7$) ou alcalinidade da água ($pH > 7$). A vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico de esgotos podem ser prejudicados quando os valores de pH distam da neutralidade. (Von Sperling, 2005).

$$pH = -\log [H^+] \quad (1)$$

Fatores como a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, são responsáveis pela origem natural do pH. Em contrapartida, despejos domésticos e industriais, correspondem à sua origem antropogênica. (Von Sperling, 2005).

1.5.6. Oxigênio dissolvido

Outro parâmetro de substancial importância trata-se do oxigênio dissolvido (OD), a partir do qual pode-se avaliar as condições da qualidade dos corpos d'água, possibilitando determinar o grau de poluição e autodepuração. (Von Sperling, 2005).

A solubilidade do O_2 em água, pode variar conforme a salinidade, temperatura e a altitude. Na literatura, pode-se encontrar que a solubilidade desse gás é de aproximadamente $8,11 \text{ mgL}^{-1}$, dadas as condições a nível do mar (1 atm) e a temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. (Fiorucci e Filho, 2005; Junqueira e Maximiliano, 2020).

Outro fator que influencia na solubilidade da molécula de O_2 no meio é a sua natureza apolar, sendo que as interações com as moléculas de água do tipo dipolo-dipolo induzido são muito fracas,

atenuando a solubilidade desse gás. A presença desse gás no meio aquoso decorre por conta da dissolução do ar atmosférico para água e a partir da fotossíntese, outra importante fonte de oxigênio. (Fiorucci e Filho, 2005; Junqueira e Maximiliano, 2020).

O processo de degradação da matéria orgânica por microrganismos aeróbios, perdas de oxigênio para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos, nitrificação são alguns processos responsáveis pelo consumo de oxigênio dissolvido. Sob condições de alta demanda da quantidade desse gás e sem mecanismos rápidos de reposição, a depleção de oxigênio pode ser subitamente alcançada. (Fiorucci e Filho, 2005).

1.5.7. Quantificação de ânions

Outra avaliação realizada priorizou a quantificação de quatro tipos de ânions a partir da técnica de cromatografia de íons.

Um dos principais ânions inorgânicos encontrado na água e nas águas residuais é o cloreto (Cl^-). Em relação às águas doces de Classe 1, a Resolução Conama 357/05 e a DN COPAM/CERH-MG, estabelecem que a concentração total de cloreto seja de, no máximo, 250,0 mg/L. Na água utilizada para o consumo, concentrações superiores a esta, tendo o sódio como cátion, podem fazer com que ela apresente um sabor salgado, mas os limites dessa característica organoléptica variam de acordo com o cátion associado. (APHA, 2017).

Nos seres humanos, o cloreto contribui para a atividade osmótica dos fluidos corporais, sendo a maior parte extracelular. A manutenção do equilíbrio eletrolítico corpóreo ocorre a partir do ajuste da ingestão alimentar total e pela excreção através dos rins e do trato gastrointestinal. Normalmente a perda de fluido varia de 1,5 a 2 litros por dia, juntamente a cerca de 4 g de cloreto diariamente. A maior parte é excretada na urina e o restante nas fezes e no suor. (WHO, 2003).

Em águas naturais normalmente são encontrados traços de fluoreto (F^-) e concentrações elevadas estão relacionadas com fontes subterrâneas ou locais com minerais ricos em flúor. Para a Resolução Conama 357/05 e a DN COPAM/CERH-MG, a concentração máxima de fluoreto é de 1,4 mg/L para águas doces de Classe 1. (Cetesb, 2018).

A absorção de fluoreto através da água é quase completa, enquanto que o flúor presente nos alimentos não é absorvido em sua totalidade. A

retenção desse ânion ocorre em grande parte nos ossos e em menor quantidade nos dentes. Concentrações desse íon inferiores a 1 ppm são um exímio na proteção aos dentes contra as cáries, tornando-o mais resistente à ação de bactérias e impedindo processos enzimáticos que dissolvem a substância orgânica proteica e o material calcificante do dente. Entretanto, a ingestão de flúor em excesso pode provocar danos à saúde, como escurecimento dos dentes, dores abdominais agudas, náuseas, vômitos e diarreia. O fluoreto pode ser eliminado pela urina, sendo variável de acordo o estado de saúde do indivíduo e seu grau de exposição a esta substância. (Peixoto, 1998; Cetesb, 2018).

O nitrogênio pode ser encontrado em vários estados de oxidação no meio aquático. A partir da forma predominante ao longo do curso de água, é possível avaliar a capacidade de transformação e degradação da carga orgânica nitrogenada e de assimilação de determinadas classes de resíduos. A presença abundante de nitrato, por exemplo, forma mais oxidada desse elemento, denota que o despejo de esgoto doméstico foi realizado há muito tempo e, mediante condições aeróbias, o curso d'água conseguiu se regenerar. (Guimarães e Nour, 2001).

O ânion nitrato sozinho apresenta toxicidade mínima, o problema reside em seu ciclo natural de modificação no interior corporal a nitrito, sendo esta espécie perigosa para o indivíduo por competir com o oxigênio livre. Na corrente sanguínea, o nitrito se reoxida e isso diminui a concentração de oxigênio transportado pelo sangue, podendo ser incapaz de suprir as demandas desse gás aos tecidos corporais. Em lactantes, pode suscitar a metemoglobinemia infantil, uma doença conhecida popularmente como síndrome do bebê azul, e que pode levar à morte por asfixia. Outro atento refere-se a conversão do nitrato ingerido em nitrosaminas, os quais são compostos cancerígenos. (Brasil, 2017; Ceballos e Diniz, 2017; Guimarães e Nour, 2001).

De acordo com Ceballos e Diniz (2017), concentrações de nitrato superiores a 10 mgL^{-1} são prejudiciais ao favorecem a transformação da molécula de hemoglobina em meta-hemoglobina. Essa concentração também corresponde ao limite máximo de nitrato para águas doces de Classe 1 permitidas pela Resolução Conama 357/05 e a DN COPAM/CERH-MG.

O sulfato é um dos íons mais recorrentes na natureza, cuja gênese em águas naturais é proveniente da dissolução de solos e rochas e pela

oxidação de sulfeto. As drenagens de minas contribuem com grande quantidade desse ânion através da oxidação de pirita (dissulfeto de ferro – FeS_2). Sua origem antrópica está relacionada às descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. Enquanto que nas águas tratadas, é originário do uso de coagulantes. É muito importante seu controle na água tratada tendo em vista que a sua ingestão tem efeitos laxantes. A concentração máxima permitida para águas doces de Classe 1 é de 250,0 mg/L, de acordo com a Resolução Conama 357/05 e a DN COPAM/CERH-MG N° 01/08. (APHA, 2017; Cetesb, 2018).

1.5.8. Análises microbiológicas

Grande parte dos microrganismos presentes nas águas naturais é inofensiva à saúde humana, mas a contaminação por esgoto sanitário transfere microrganismos prejudiciais à saúde humana. (Brasil, 2013).

A detecção de microrganismos patogênicos presentes na água é extremamente difícil, por causa das baixas concentrações, sendo requeridas avaliações de grandes volumes de amostras. Somam-se ainda a demanda de tempo, os altos custos e, a possibilidade de não se obterem resultados positivos ou que confirmem a presença de todos os microrganismos potencialmente presentes (Von Sperling, 2005; Brasil, 2013).

De modo a transpor essas dificuldades em exames laboratoriais, são realizados estudos a partir de organismos indicadores de contaminação fecal, sendo identificada a possibilidade do meio para transmitir doenças (Von Sperling, 2005).

Conforme apontam Ceballos & Diniz (2017), um organismo indicador microbiológico é definido como qualquer microrganismo ou grupo de microrganismos que pela sua presença (ou pela sua ausência), sua frequência de isolamento e pela diversidade dos gêneros e/ou espécies que compõem o grupo, são capazes de demonstrar a existência de poluição e/ou da contaminação fecal.

Ainda que muitos desses organismos indicadores não sejam patogênicos, são satisfatórios na indicação de água contaminada por fezes humanas ou de animais e, por conseguinte, na sua potencialidade para transmissão de doenças (Von Sperling, 2005).

As bactérias do grupo coliforme são comumente utilizadas como indicadores de contaminação fecal. A inexistência desse grupo de

bactérias, pode indicar a ausência de patógenos na amostra. Por outro lado, a identificação de bactérias coliformes na amostra aumenta a probabilidade de serem encontrados organismos infectantes ou causadores de doenças (Guimarães e Nour, 2001; Von Sperling, 2005; Brasil, 2013).

Em águas doces são usualmente utilizados como indicadores de contaminações fecais os coliformes termotolerantes e a *Escherichia coli* (*E. coli*) (Von Sperling, 2005).

Os coliformes termotolerantes são definidos como um subgrupo de bactérias coliformes, Gram negativas, que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2$ °C, com produção de ácido, aldeídos e gás, são oxidase-negativas, reduzem nitratos a nitritos e podem crescer em meios contendo agentes tensoativos (sais biliares a 2%), tendo a *E. coli*, de origem exclusivamente fecal, como representante principal (Brasil, 2013; Ceballos e Diniz, 2017).

A *E. coli* é da família *Enterobacteriaceae* e é a principal bactéria do grupo de coliformes termotolerantes, sendo abundante nas fezes de animais homeotérmicos e humanos. É a única que fornece garantia de contaminação exclusivamente fecal. Todavia, sua detecção não garante que a contaminação seja humana, já que pode ser encontrada em fezes de outros animais (Von Sperling, 2005).

Por definição, a *E. coli* é uma bactéria anaeróbia facultativa do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol com produção de ácido e gás a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a ureia e apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glucoronidase, sendo esta exclusiva de *E. coli* (Brasil, 2013; Ceballos e Diniz, 2017).

Para a identificação da contaminação fecal como exclusivamente humana, é necessária a realização de sofisticados testes bioquímicos complementares, não efetuados regularmente em análises de rotina (Von Sperling, 2005).

2. Metodologia

2.1. Coleta e armazenamento da água

As coletas de água foram realizadas dentro do horário de funcionamento do PEB, nos períodos matutino e/ou vespertino, conforme as recomendações da NBR 9898 (ABNT, 1987).

A caracterização das amostras ocorreu nos meses de maio, junho, setembro, outubro e novembro de 2019, objetivando abarcar os períodos de seca e chuva. Particularmente, nos últimos três meses desse ano, as coletas foram realizadas de forma periódica ao longo de cinco semanas para viabilizar o teste microbiológico.

Para a realização das análises da água nos laboratórios da UFVJM, as amostras foram coletadas em frascos de polipropileno (PP) de 250 mL previamente esterilizados, para os testes microbiológicos; enquanto que para os testes físico-químicos foram utilizadas garrafas PET de 1,5 L que anteriormente continham água mineral.

As amostras foram acondicionadas em caixa térmica com gelo e, na sequência, armazenadas em geladeira. As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Bioprocessos do curso de Farmácia/UFVJM em até 24h após as coletas. Já os demais testes foram efetivados no laboratório de Geoquímica Geral e Ambiental do CEGEO/UFVJM e no LABVALE (Laboratório Integrado de Pesquisa do Vale do Jequitinhonha).

2.2. Análises físico-químicas *in loco*

Através de um medidor multiparâmetros portátil modelo HANNA HI9828, cedido pelo laboratório de Geoquímica Geral e Ambiental do CEGEO/UFVJM, os dados de temperatura ambiente, sólidos totais dissolvidos, pH e oxigênio dissolvido foram obtidos no local das amostragens.

Para isso, o eletrodo do medidor foi inserido na amostra de água contida em um béquer descontaminado com álcool etílico a 70% e ambientado com a água do balneário.

2.3. Análises de cor e turbidez

Os testes de cor e turbidez foram obtidos no laboratório de Geoquímica Geral e Ambiental do CEGEO/UFVJM pelo técnico responsável.

Os dados da coloração foram obtidos diretamente no fotocolorímetro Alfakit NCM/SH 90275020, que mede a amostra no intervalo de 1 a 500 mg/L Pt-Co. Para isso, cada amostra foi filtrada, retirada uma alíquota de 10 mL, despejada em um frasco e inserida no aparelho devidamente calibrado. Os resultados foram obtidos no leitor digital do equipamento após alguns segundos.

Os dados da turbidez foram obtidos a partir do turbidímetro portátil HANNA HI 93703, bastando a

disposição da amostra em cubeta, e esta, no equipamento referido para a imediata leitura do resultado da análise automática.

2.4. Quantificação de ânions por cromatografia

O procedimento utilizado foi baseado no método da *Environmental Protection Agency* (EPA) para a determinação de íons inorgânicos em água potável por cromatografia de íons.

As amostras de água foram transportadas ao prédio do LABVALE, acondicionadas a 4 °C e analisadas em um período de 24 horas após a coleta.

Previamente as amostras foram filtradas sendo utilizado um filtro de membrana de acetato de celulose para a remoção de materiais em suspensão e, na sequência, analisadas com o cromatógrafo de íons 930 Compact IC Flex da marca Metrohm, sendo quantificados os ânions fluoreto, cloreto, nitrato e sulfato. Os dados foram obtidos em computador acoplado ao cromatógrafo de íons.

Os parâmetros utilizados estão descritos na Tabela (3).

Tabela 3 – Parâmetros cromatográficos para análise dos ânions em água

Parâmetro	Dados
Volume de injeção	110,67 µL
Canal	Condutividade
Tempo de análise	11 minutos
Integração	Automática
Tipo de Coluna	Metrosep A Supp 5 100/4.0
Supressor Químico	Solução de ácido sulfúrico 100 mM (H ₂ SO ₄ 100 mM)
Composição do Eluente	3,2 mM de Na ₂ CO ₃ ; 1,0 mM de NaHCO ₃
Fluxo	0,700 mL.min ⁻¹
Pressão	5,18 MPa
Temperatura	25,5 °C

O equipamento foi calibrado a partir de cinco soluções padrões com quantidades conhecidas dos analitos. Estas soluções foram adquiridas com certificações ou produzidas a partir de padrões com água ultrapura. Para esta etapa foi fornecido o padrão que continha todos os íons em análise e utilizou-se o padrão com diferentes diluições para calibrar o equipamento.

Este *loop* foi escolhido devido à expectativa de baixas concentrações destes analitos nas amostras. As leituras do detector de condutividade (área do pico ou altura do pico) foram usadas para calcular as concentrações.

2.5. Análises microbiológicas: quantificação de coliformes termotolerantes

O método adotado foi adaptado do Manual Prático de Análise de Água da FUNASA (Brasil, 2013). A técnica de contagem de coliformes termotolerantes foi dividida em duas etapas.

2.5.1. Teste presuntivo

Uma bateria de 15 tubos de ensaio contendo tubos *Durhan* e distribuídos de 5 em 5 foi tomada. Nos primeiros 5 tubos (contendo caldo lactosado de concentração dupla) foram inoculados 10 mL da amostra de água a ser examinada, em cada tubo (diluição 1:1). Nos 10 tubos restantes (contendo caldo lactosado de concentração simples), foram inoculados nos 5 primeiros tubos 1 mL da amostra (diluição 1:10) e nos 5 últimos tubos, foram inoculados 0,1 mL da amostra, em cada tubo (diluição 1:100). Os tubos foram incubados a $35 \pm 0,5$ °C durante 48 horas. Havendo formação de gás dentro do tubo de *Durhan* no final de 48 horas o teste presuntivo foi considerado positivo.

2.5.2. Teste para determinação de coliformes termotolerantes

A cada tubo positivo do teste presuntivo, foi retirada uma porção nas três diluições (1:1; 1:10 e 1:100) e inoculada em tubos contendo o meio EC. Os tubos foram incubados por 24 horas a $44,5 \pm 0,2$ °C em banho maria.

Os tubos de diluições 1:1; 1:10 e 1:100 que continham o meio EC e que apresentaram resultado positivo (formação de gás dentro do tubo de *Durhan*) foram contabilizados. Posteriormente, foi consultada a Tabela de Número Mais Provável (NMP) de coliformes termotolerantes por 100 mL de água (Brasil, 2013) e os resultados obtidos foram comparados às legislações.

3. Resultados e discussão

3.1. Temperatura

Os valores de temperatura estão representados na Figura (7). Esse parâmetro não é determinado

pelo Conama ou pela DN COPAM/CERH – MG e, dessa forma, não há um valor de referência.

No que se refere aos valores de temperatura ambiente (ar) - expressos pelos gráficos de linhas -, tendo em vista o período com os mesmos dias de análises, as menores temperaturas foram registradas no balneário do Córrego Ribeirão das Pedras (PC-PEB-11), localizado próximo à Vila do Biribiri, nos dias 06/06, 01/10, 08/10 e 21/11. Provavelmente essas observações estão associadas ao momento da coleta, uma vez que as primeiras coletas eram realizadas neste balneário, ficando os demais pontos expostos ao sol até que fossem analisados.

Em 06/06, as coletas foram realizadas no período matutino, com presença de nuvens e aparições esporádicas do sol, sendo registradas as menores temperaturas da água *in loco* - expressas pelos gráficos de barras. Por sua vez, em 14/10, as coletas foram realizadas no período vespertino e a condição do tempo propiciava a aparição do sol, contribuindo para o aumento da temperatura da água como registrado.

As temperaturas mais altas da água ocorreram nos dias 14/10 e 21/10, sendo registradas na Cachoeira da Sentinela (PC-PEB-06).

De todo o período analisado, as menores temperaturas ocorreram em junho (06/06), um dos meses mais frios, conforme encontrado no Plano de Manejo do PEB. Mas essa característica não se estendeu à temperatura do ar.

Foi denotado também que, em grande parte das mensurações realizadas, as temperaturas da água seguiram um padrão de aumento e decréscimo em diferentes pontos de amostragem, no mesmo dia de coleta. As temperaturas mais baixas podem estar associadas ao horário das coletas e à menor incidência da luz solar nesses locais, bem como a preservação da mata ciliar nestes pontos, fatores esses que contribuem para a manutenção das condições de temperatura dos cursos d'água.

Diversos fatores podem influenciar nos resultados da mensuração da temperatura superficial dos corpos hídricos naturais: estação do ano, latitude, altitude, período do dia, velocidade do curso d'água, profundidade, presença de vegetação ou problemas de assoreamento. (Zuin, Ioriatti e Matheus, 2009; Vasconcelos, 2012; Cetesb, 2018).

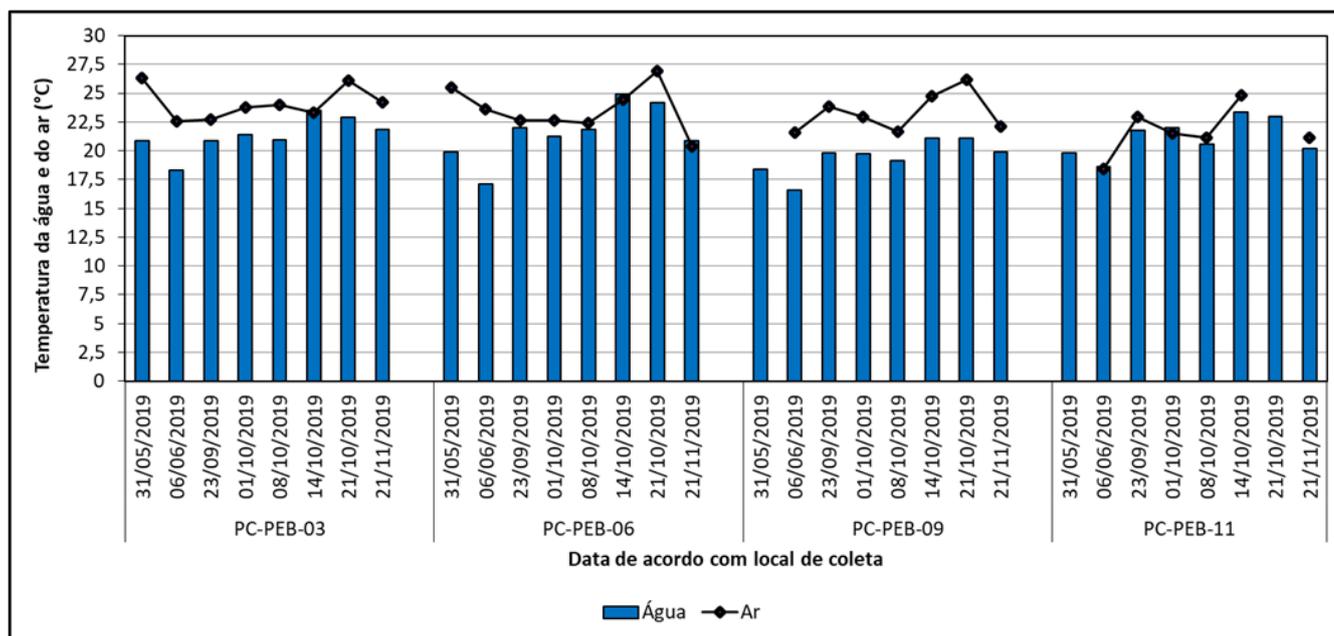


Figura 7 – Valores de temperatura ambiente (ar) e dos corpos hídricos.

3.2. Turbidez

Os dados de turbidez constam na Tabela (4).

Tabela 4 – Valores de turbidez em relação aos locais de coleta e às datas

Local de coleta	Data	Turbidez (UNT)
PC-PEB-03	31/05/2019	0
	06/06/2019	0,5
	21/11/2019	0,71
PC-PEB-06	31/05/2019	0,67
	06/06/2019	1,14
	21/11/2019	0
PC-PEB-09	31/05/2019	1
	06/06/2019	1,57
	21/11/2019	1,74
PC-PEB-11	31/05/2019	2,01
	06/06/2019	2,08
Limite conforme as legislações analisadas		< 40

O maior valor de turbidez obtido nas coletas corresponde a 2,08 UNT, referente ao PC-PEB-11, balneário que também apresentou os maiores valores obtidos para esse parâmetro. Essa característica pode estar associada à dinâmica natural do solo, estando presentes muitos sedimentos no fundo do leito (areia) carregados pelo fluxo de água. De modo análogo, os valores obtidos na Cachoeira dos Cristais (PC-PEB-09), podem ser o resultado das características pedológicas da bacia hidrográfica ao longo do curso d’água.

A turbidez pode ser uma característica natural do curso d’água, mas também pode ser intensificada por fenômenos erosivos das margens, ações

antrópicas como o desenvolvimento de práticas agrícolas inadequadas e o lançamento de efluentes domésticos e industriais. (Vasconcelos, 2012).

Positivamente, a mensuração da turbidez permitiu verificar que as concentrações estão condizentes para a Classe 1, haja vista que os valores não excederam o limite de 40 UNT estabelecido pela Resolução Conama 357/05 e pela DN COPAM/CERH MG 01/08.

3.3. Cor

Os valores de cor estão representados na Tabela (5). Para a Resolução Conama 357/05 e a DN COPAM/CERH MG 01/08, para Classe 1, não há um limite para o parâmetro cor, correspondendo ao nível natural do corpo de água.

Tabela 5 – Cor em relação aos locais de coleta e às datas

Local de coleta	Data	Cor (mg Pt-Co/L)
PC-PEB-03	31/05/2019	16,40
	06/06/2019	4,26
	21/11/2019	52,68
PC-PEB-06	31/05/2019	44,16
	06/06/2019	34,10
	21/11/2019	56,49
PC-PEB-09	31/05/2019	35,60
	06/06/2019	23,59
	21/11/2019	76,94
PC-PEB-11	31/05/2019	34,48
	06/06/2019	27,16
Limite conforme as legislações analisadas		Nível natural do corpo hídrico

No dia 21/11, a exceção do ponto (PC-PEB-11), os valores de cores foram os mais elevados. Esse fator pode estar associado à chuva registrada no dia anterior (20/11), a qual pode ter sido responsável pelo carreamento de partículas para o corpo d'água.

3.4. Sólidos totais dissolvidos

Os dados de sólidos totais dissolvidos (STD) foram representados na Tabela (6).

Tabela 6 – Valores de sólidos totais dissolvidos (STD) em relação aos locais de coleta e às datas

Data	Concentração de STD (mg/L)			
	PC-PEB-03	PC-PEB-06	PC-PEB-09	PC-PEB-11
31/05/2019	2	1,5	2	7,5
06/06/2019	2	1,5	2,5	7,5
23/09/2019	3	3	4	12
01/10/2019	4	5	4	35
08/10/2019	5	6	8	84
14/10/2019	3	4	3	1
21/10/2019	3	4	5	11
21/11/2019	5	7	5	7
Limite conforme as legislações analisadas				< 500

A partir da análise da Tabela (6), nota-se que nos três primeiros pontos de coleta, a concentração de STD não ultrapassou 10 mgL⁻¹. Referente ao PC-PEB-11, esse balneário apresentou as mais altas concentrações de STD, principalmente nos dias 01/10 e 08/10, representativos também das maiores concentrações encontradas nos períodos de análises.

No PC-PEB-11, a área para coleta das amostras difere consideravelmente em relação aos demais três pontos, que apresentam montante em áreas mais protegidas, praticamente no interior da unidade de conservação. O ponto em questão abarca a bacia do Ribeirão das Pedras que comporta drenagem parcial da área da sede urbana de Diamantina. Dessa forma, a variação da concentração expressa anteriormente, pode estar associada à localização do ponto PC-PEB-11, estando este a jusante dos demais três pontos de coleta remetendo a um ponto de concentração, assim como pelas características naturais do ambiente, com a movimentação de sedimentos desprendidos das margens pelas águas. Além disso, chuvas próximas ao período de coletas, por exemplo, possivelmente provocam alterações à montante e influenciam nos resultados. (Neves, 2005).

Ainda que sujeitas a essas variações, as concentrações de STD foram ínfimos ao limite de 500 mgL⁻¹ estabelecido pela Resolução Conama 357/05 e pela DN COPAM/CERH MG 01/08 para Classe 1 de águas doces.

A comparação dos dados de STD e cor (causada principalmente por sólidos dissolvidos), não foram variáveis diretamente relacionadas, uma vez que as variações não aumentaram ou decaíram simultaneamente nestes parâmetros.

3.5. Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH constam na Tabela (7).

Tabela 7 – Valores pH em relação aos locais de coleta e datas

Data	Valores de pH			
	PC-PEB-03	PC-PEB-06	PC-PEB-09	PC-PEB-11
31/05/2019	5,38	5,43	6,24	6,88
06/06/2019	5,31	5,28	6,16	6,68
23/09/2019	5,7	6,69	6,77	6,83
01/10/2019	5,55	5,91	7,1	6,51
08/10/2019	5,17	5,9	6,85	6,67
14/10/2019	5,99	6,8	6,98	6,76
21/10/2019	6,03	7,04	7,31	7,37
21/11/2019	5,28	4,87	5,98	6,96
Limites conforme as legislações analisadas			6,00 < pH < 9,00	

De acordo com a Resolução Conama 357/05 e a DN COPAM/CERH-MG 01/08, para Classe 1, o pH das águas em condição natural deve estar compreendido na faixa entre 6,0 e 9,0. No entanto, em parte das amostras analisadas os dados de pH sofreram variações entre 4,87 (PC-PEB-06) e 7,37 (PC-PEB-11).

Tendo em vista as características climáticas, nos meses de maio e junho, marcados pelo regime de transição chuvoso-seco e seco, respectivamente, o pH sofreu pouca variação, mas para uma opinião mais conclusiva, seriam necessárias mais análises.

O Poço da Água Limpa (PC-PEB-03), apresentou valores de pH abaixo do estabelecido pela legislação, sendo os valores obtidos nos dias 14/10 e 21/10 os mais próximos da faixa ideal, correspondendo, respectivamente, a 5,99 e 6,03. Na Cachoeira da Sentinela (PC-PEB-06), a maior parte das amostras esteve próxima ou se enquadrou no intervalo estabelecido pela Resolução Conama 357/05. No que tange a Cachoeira dos Cristais (PC-PEB-09), apenas em 21/11, o valor de pH correspondeu a 5,98, sendo o menor do período analisado nesse balneário. Por fim, os pontos

correspondentes ao Córrego Ribeirão das Pedras (PC-PEB-11) foram os que apresentaram dados característicos da faixa necessária em todas as análises realizadas.

3.6. Oxigênio dissolvido (OD)

As concentrações de OD, em mgL^{-1} , estão representadas na Tabela (8). A concentração estabelecida pela legislação é de 5 mgL^{-1} , no mínimo.

Tabela 8 – Concentração de OD em relação aos locais de coleta e às datas

Data	Concentração de OD (mgL^{-1})			
	PC-PEB-03	PC-PEB-06	PC-PEB-09	PC-PEB-11
31/05/2019	7	6	6,4	5,9
06/06/2019	6,3	6,3	6,9	6,3
23/09/2019	4,84	4,43	5,46	5,05
01/10/2019	3,31	4,30	4,77	3,84
08/10/2019	3,46	3,98	4,55	4,69
14/10/2019	4,50	4,05	4,49	4,00
21/10/2019	4,76	4,33	5,38	4,23
21/11/2019	4,08	4,68	4,66	4,76
Média	4,63	4,38	5,07	4,72
Limite conforme as legislações analisadas	5,00 <			

Tendo em vista os valores mensurados, em grande parte das amostras os valores são inferiores ao estabelecido pela legislação. Somente um ponto de amostragem apresentou a quantidade média de OD, durante todo o período de análises, próxima ao estabelecido, correspondente à Cachoeira dos Cristais (PC-PEB-09).

Nas primeiras coletas realizadas (31/05 e 06/06), todos as amostras apresentaram concentrações em conformidade com a legislação e, em comparação aos demais dias, apresentaram os maiores índices. Esse fato pode estar atrelado ao clima, uma vez que não tendo contribuição de efeitos pluviométricos, a quantidade de matéria orgânica na água por escoamento é reduzida, logo haverá menor consumo de OD.

Em dias que apresentaram precipitação anteriormente às coletas (22/09 e 20/11), pouco influenciaram na alteração da quantidade de OD nos dias posteriores. Todavia, em alguns dos dias de análise pode ter ocorrido precipitação apenas na área do PEB e não somente na cidade, como observado nas datas citadas. Além disso, as chuvas mencionadas foram registradas apenas em um dia anterior às coletas, podendo haver o acúmulo de matéria orgânica neste período e o OD ser

consumido posteriormente nos processos de estabilização e autodepuração.

A correlação com os dados de temperatura da água, não permitem inferir a relação direta entre esses dois parâmetros na maior parte do período analisado. Contudo, no período de baixa ou nenhuma incidência de chuva 31/05 e 06/06, os valores de concentração de OD estavam altos e a temperatura correspondia a menor no período de análises. Considerando-se as maiores temperaturas da água registradas (14/10 e 21/10), a quantidade de OD estiveram próximas ou pouco acima da quantidade média registrada.

A partir de vistorias *in loco*, notou-se que, em praticamente todos os pontos nos últimos três meses das coletas, havia pouco desenvolvimento de algas, haja vista que são consumidoras do OD.

Nessas circunstâncias, a Cachoeira da Sentinela é provida de três quedas d'água, sendo a atuação dos ventos superficiais propícia para trocas gasosas com a atmosfera (Nascimento, 2010).

Haja vista que o Córrego Soberbo, que desagua na Cachoeira dos Cristais, recebe efluente da ETE/UFVJM de forma indireta (por infiltração), o tratamento realizado tem sido eficiente para não afetar a qualidade da água deste balneário (Silva e Chagas, 2019).

3.7. Análises de ânions

As concentrações dos ânions estão representadas na Tabela (9), na qual os dados foram obtidos a partir de coleta realizada em 22/11/19.

As maiores concentrações de ânions fluoreto, cloreto e sulfato foram encontrados no Poço da Água Limpa (PC-PEB-03). Por sua vez, as maiores concentrações de nitrato correspondem ao Ribeirão das Pedras (PC-PEB-11), a razão para isso pode estar atrelada ao despejo de efluentes provenientes de bairros localizados a montante em relação à bacia hidrográfica, enquanto que os demais pontos apresentam montante praticamente preservada; pode denotar também a capacidade de autodepuração do curso d'água do PC-PEB-11.

Tabela 9 – Resultados do cromatógrafo de íons

Pontos de coletas	Concentração obtida por ânion (mgL^{-1})			
	Fluoreto	Cloreto	Nitrato	Sulfato
PC-PEB-03	0,837	2,969	0,149	1,750
PC-PEB-06	0,092	0,719	0,207	1,202
PC-PEB-09	0,136	0,883	0,178	1,198
PC-PEB-11	0,092	0,750	0,325	0,926
CMP	1,4	250,0	10,0	250,0

Tendo em vista os valores estabelecidos pelas legislações, a concentração do ânion fluoreto esteve mais próxima da concentração máxima permitida, referente ao Poço da Água Limpa (PC-PEB-03), correspondendo a aproximadamente 60% desse valor. Nos demais pontos, os valores foram inferiores a 9,7% (máximo no PC-PEB-09). A análise da concentração de cloreto e sulfato permite afirmar que a taxa desses íons não foi superior a 0,12%. Enquanto que o nitrato, não ultrapassou 3,25%.

Por fim, realizando comparações entre os valores obtidos e a legislação, isto é, a concentração máxima permitida (CMP) podemos notar que as concentrações obtidas estão abaixo da concentração máxima permitida ou seja, as águas analisadas em relação a esse parâmetro estão seguras.

3.8. Parâmetros microbiológicos

O número de coliformes termotolerantes/100 mL (NMP/100 mL) das amostras de água dos pontos PC-PEB-03, PC-PEB-06, PC-PEB-09 e PC-PEB-11 coletadas durante cinco semanas encontra-se descrito nas Tabelas (10) a (13).

O número de coliformes termotolerantes em algumas semanas foi superior a 250 NMP/100 mL, critério estabelecido pela Resolução Conama 274/00 à Classe 1 para o balneário ser classificado como próprio e excelente para serem exercidas atividades de contato primário. Somente no balneário do PC-PEB-11, em nenhuma das semanas estudadas, a quantidade de coliformes ultrapassou esse número.

É possível perceber também a variabilidade no número de coliformes termotolerantes ao longo das coletas, tendo registros inferiores a 2/100 mL de amostra. Essa variabilidade está associada à distribuição heterogênea de bactérias nas amostras coletadas.

Em 80% das amostras coletadas ao longo de cinco semanas consecutivas no mesmo local, os resultados foram inferiores a 250 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. Desse modo, conforme os critérios de balneabilidade estabelecidos pela Resolução Conama 274/00 para Classe 1, as amostras de água de todos os pontos coletados (PC-PEB-03, PC-PEB-06, PC-PEB-09 e PC-PEB-11) foram classificadas como “própria – excelente” para a recreação de contato primário.

Tabela 10 – Resultados do NMP de coliformes termotolerantes no PC-PEB-03

Período (semana)	Número de tubos positivos por diluição			Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL de amostra)
	1:1	1:10	1:100	
01	1	0	0	2
02	5	4	5	350*
03	3	0	0	8
04	1	3	0	6*
05	0	2	0	4

Tabela 11 – Resultados do NMP de coliformes termotolerantes no PC-PEB-06

Período (semana)	Número de tubos positivos por diluição			Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL de amostra)
	1:1	1:10	1:100	
01	0	0	0	< 2
02	4	0	0	13
03	5	0	0	23
04	5	5	2	500
05	4	0	2	17*

Tabela 12 – Resultados do NMP de coliformes termotolerantes no PC-PEB-09

Período (semana)	Número de tubos positivos por diluição			Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL de amostra)
	1:1	1:10	1:100	
01	5	0	0	23
02	5	0	0	23
03	5	0	0	23
04	5	0	2	40
05	5	5	3	900

Tabela 13 – Resultados do NMP de coliformes termotolerantes no PC-PEB-11

Período (semana)	Número de tubos positivos por diluição			Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL de amostra)
	1:1	1:10	1:100	
01	0	0	0	< 2
02	4	1	0	17
03	4	2	0	26
04	2	1	2	9*
05	5	4	2	220

* Valores superestimados com base na combinação de positivos disponíveis em Brasil (2013).

4. Conclusão

A qualidade das águas dos balneários foi avaliada a partir de dados obtidos *in loco* e nos laboratórios da UFVJM, sendo considerados os parâmetros físicos e químicos (cor, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e quantificação de ânions) estabelecidos pelas legislações da Resolução Conama 357/05 e da DN

COPAM/CERH-MG 01/08, além da temperatura. Por sua vez, para a análise da balneabilidade, foram considerados os dados quantitativos de coliformes termotolerantes, em consonância à Resolução Conama 274/00.

A verificação da temperatura da água, possibilitou observar que nos meses de setembro, outubro e novembro foram registradas as mais altas temperaturas em comparação aos meses de maio e junho, meses estes mais próximos da estação chuvosa. A temperatura dos corpos hídricos nesse período de análises estava compreendida na faixa de 17 a 25 °C. A temperatura do ar, também apresentou variações consideráveis nesse período, tendo maior instabilidade em razão do menor calor específico, mas é preciso denotar que os horários de coleta e as características locais também influenciam na irregularidade desse parâmetro. Esse parâmetro não é determinado pelas legislações supracitadas e, portanto, não há um valor de referência.

A cor presente nas amostras pode ser proveniente de ácidos húmicos e fúlvicos oriundos da decomposição da matéria orgânica. A turbidez pode estar relacionada com a dinâmica natural do local, apresentando muitos sedimentos no leito dos balneários, principalmente o Córrego do Ribeirão das Pedras, que apresentou maiores valores. As análises da cor, da turbidez e também dos sólidos totais dissolvidos estão dentro dos parâmetros da Resolução Conama 357/2005 e da DN COPAM/CERH-MG 01/08, para Classe 1, estando os valores mensurados abaixo dos respectivos limites estabelecidos.

A avaliação das condições de pH, denotaram que a Cachoeira dos Cristais e o Córrego Ribeirão das Pedras apresentaram valores dentro da faixa considerada ideal, todavia os demais pontos não apresentaram valores exorbitantes e que pudessem oferecer riscos aos banhistas. O menor valor de pH (4,87) foi obtido na Cachoeira dos Cristais.

Concernente à taxa de oxigênio dissolvido, nos meses mais frios (maio e junho), foram registradas as maiores concentrações de todo o período analisado. Nos outros meses, propícios às precipitações, a presença de matéria orgânica nas águas e, por conseguinte, os processos de autodepuração e estabilização da matéria orgânica, são fatores que influenciam os valores mensurados. A porcentagem em apenas três pontos foi inferior a 50%, denotando que não há presença de despejo de esgoto próximo a esses balneários. A observação dos entornos dos balneários, bem como

levantamento de informações através de moradores, mostrou que não há fontes diretas de poluição nesses balneários.

A partir da análise de ânions foram denotados valores muito baixos da concentração dos mesmos na água, a exceção do fluoreto no Poço da Água Limpa (60%), conferindo atenção à presença desse íon. Nos demais pontos, a porcentagem foi inferior a 9,7% enquanto que para os demais ânions não ultrapassaram 3,25% em relação ao valor máximo permitido. Cabe uma ressalva quanto ao Córrego Ribeirão das Pedras, o qual não apresentou concentrações exorbitantes de nitrato, embora um de seus afluentes seja o Ribeirão Tijuco, que perpassa a sede de Diamantina, denota-se então, a capacidade de autodepuração do curso d'água.

Em relação às análises microbiológicas, responsáveis pelo veredito de própria ou não para utilização de contato primário, os resultados obtidos no período estudado, quando confrontados com os limites estabelecidos na Resolução Conama 274/00, viabilizam a utilização desses corpos hídricos como balneários. Tendo em vista sua classificação como excelente, o Poço da Água Limpa (balneário mais próximo da cidade), a Cachoeira Sentinela, a Cachoeira dos Cristais e o córrego do Ribeirão das Pedras são propícios à execução de atividades de contato direto.

É preciso atentar que essas conclusões se referem ao período de análises, sendo necessários estudos recorrentes sobre as condições dos corpos hídricos, haja vista as possibilidades de alteração das características do local e do entorno por ações antrópicas e até mesmo naturais.

Em suma, pela baixa quantidade de sólidos totais dissolvidos e valores acima de 50% de OD, não são despejados esgotos próximos desses balneários. Os valores de coliformes encontrados podem ser provenientes de excrementos de animais que habitam a região e que transitam por esses balneários. Doravante, se faz necessário o monitoramento periódico desses e outros locais utilizados como balneários ao longo do PEB, de modo a avaliar se esses parâmetros são alterados de forma abrupta ao longo do ano. Além disso, é uma forma de assegurar que a saúde dos usuários não se encontre em perigo.

Os objetivos desse trabalho foram alcançados, mas deixam espaços para outros questionamentos e que poderão embasar pesquisas posteriores, tais como averiguar as características dos seres vivos e dos solos contidos nesses locais, acerca das

questões microbiológicas e químicas neles contidas, salientando a necessidade da continuidade das análises, em especial microbiológicas para sempre se ter a confirmação do atendimento dos parâmetros estipulados pela Resolução Conama 274/00 pra conferir a balneabilidade aos locais sempre utilizados pelos banhistas da unidade de conservação Parque Estadual do Biribiri.

5. Agradecimentos

Agradecemos a toda colaboração prestada nos laboratórios de Bioprocessos, de Geoquímica Geral e Ambiental do CEGEO e do LABVALE da UFVJM e a todos que, mesmo indiretamente, possibilitaram a concretização desse trabalho.

Referências

APHA – American Public Health Association, 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC. 1545 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. *NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores*.

Archela, E.; Carraro, A.; Fernandes, F.; Barros, O.N.F. e Archela, R.S., 2003. *Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos*. Geografia. 12(1), pp.517-525. <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2003v12n1p517>

Brasil, 2001. *Resolução Conama nº 274/2000*. Diário Oficial da União, Brasília, p. 70-71. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272> [Acessado 30 março 2021].

Brasil, 2005. *Resolução Conama nº 357/2005*. Diário Oficial da União, Brasília, nº 053, p. 58-63. 2005. [online] Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> [Acessado 30 março 2021].

Brasil, 2013. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. *Manual prático de análise de água*. 4. ed., Ministério da Saúde, Brasília: Funasa.

Brasil, 2017. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. *Tratamento de águas com excesso de ânions fluoreto e nitrato utilizando HDLs como adsorventes*. Colaboradores: Sibebe B. C. Pergher... [et al.] – Natal: Caule de Papiro.

Ceballos, B.S.O. e Diniz, C.R., 2017. *Técnicas de microbiologia sanitária e ambiental*. Campina Grande: EDUEPB.

Cetesb, 2018. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo*. Anexo E. 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/> [Acessado 30 março 2021].

Fiorucci, A.R. e Filho, B.E., 2005. *A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos*. Química Nova na Escola, 22(22), pp.10-16.

Guimarães, J.R. e Nour, E.A.A., 2001. *Tratando nossos esgotos: Processos que imitam a natureza*. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, 1, pp.19-30.

Instituto Prístino: Atlas Digital Geoambiental. Prístino. Sistema WebGis de livre acesso ao banco de dados ambiental. Disponível em: <https://institutoprístino.org.br/atlas/>. [Acessado 11 dezembro 2020].

Junqueira, M.M. e Maximiliano, F.A., 2020. *Interações intermoleculares e o fenômeno da solubilidade: Explicações de graduandos em química*. Química Nova, 43(1), p. 106-117. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170449>

Lage, G.B., 2013. *Influência do uso e ocupação do solo nas áreas de expansão urbana na qualidade das águas do Ribeirão das Pedras e Córrego do Soberbo em Diamantina - MG*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Lopes, F.W.A.; Von Sperling, E. e Magalhães Jr. A.P., 2015. *Indicadores para balneabilidade em águas doces no Brasil*. Geografias. Belo Horizonte, 11(1), pp.6-22. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.13390>

- Martins, L.K.L.A., 2012. *Contribuições para monitoramento de balneabilidade em águas doces no Brasil*. Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- Meira, J.R.; Moura, F.R. e Fonseca, M.F., 2013. *Water Quality of the “Água Limpa” stream in the State Park Biribiri, Minas Gerais State, Brazil*. *Advances in Environmental Biology*, 7(11), pp.3487-3496.
- Minas Gerais, 1981. *Decreto nº 21.724, de 23 de novembro de 1981*. Belo Horizonte. [online] Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1107>> [Acessado 30 março 2021].
- Minas Gerais, 1998. *Decreto nº 39.909, de 22 de setembro de 1998*. Minas Gerais, Belo Horizonte. [online] Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1558>> [Acessado 30 março 2021].
- Minas Gerais, 2008. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH - MG nº 1, de 05 de maio de 2008*. Minas Gerais, Belo Horizonte. [online] Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>> [Acessado 30 março 2021].
- Nascimento, A.P., 2010. *Análise dos Impactos das Atividades Antrópicas em Lagoas Costeiras - Estudo de Caso da Lagoa Grande em Paracuru - CE*. Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais.
- Neves, S.C., 2005. *Caracterização geoquímica ambiental das águas, solos e sedimentos de corrente da Bacia do Ribeirão das Pedras, Diamantina, MG*. Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Instituto de Geociências.
- Nunes, C.A.; Neumann, I.L.B. e Valarini, J.G.P., 2011. *Perfil da demanda e análise da satisfação do visitante do Parque Estadual do Biribiri*. Graduação. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.
- QGis, Software. Versão 3.10.12. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html> [Acessado 11 dezembro 2020].
- Paula, V.C., 2012. *O Estudo da Demanda Turística de Diamantina e sua Relação com o Marketing de Destinos como Instrumento de Fomento do Turismo Local*. *Revista Vozes dos Vales da UFVJM: Publicações Acadêmicas/MG – Brasil*, 1(1).
- Peixoto, E.M.A., 1998. *Elemento químico: Flúor*. Química Nova na Escola, 8, p.43.
- Piratoba, A.R.A.; Ribeiro, H.M.C.; Morales, G.P. e Gonçalves, W.G., 2017. *Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil*. *Revista Ambiente & Água* [online], 12(3), pp.435-456. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>
- Pond, K., 2005. *Water recreation and disease. Plausibility of associated infections: acute effects, sequelae and mortality*. London: IWA/WHO.
- Silva, M.M. e Chagas, R.C., 2019. *Avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluentes do campus JK/UFVJM através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos*. Graduação. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.
- Silveira, C. E. e Medaglia, J. (Coord.), 2012. *Perfil da demanda turística real de Diamantina e região: características de viagem, motivações, percepções & expectativas*. Diamantina: UFVJM, 42 p. Relatório final de pesquisa.
- STCP Engenharia de Projetos Ltda (Elab.), 2004. *Plano de Manejo do Parque Estadual do Biribiri: Encarte 3 - Análise da Unidade de Conservação*. Curitiba: Paraná. 232 p. Encarte técnico.
- Vasconcelos, M.G., 2012. *Avaliação integrada da qualidade da água do Rio Uberabinha - MG com base na caracterização química dos sedimentos e de espécimes da ictiofauna*. Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia.
- Vieira, G.D.; Scalco, R.F.; Medaglia-Silveira, J. e Silveira, C.E., 2014. *Mercado e perfil do ecoturista de Diamantina (MG): um estudo introdutório*.

Revista Brasileira de Ecoturismo, 7(3), pp.482-499.
<https://doi.org/10.34024/rbecotur.2014.v7.6378>

Von Sperling, M., 2005. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. 3. ed., v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. 452 p.

WHO (World Health Organization), 2003. *Chlorine in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality*. Geneva, World Health Organization.

Zuin, V.G., Ioriatti, M C. S. e Matheus, C. E., 2009. *O emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de águas naturais: uma proposta para a educação química e ambiental na perspectiva CTSA*. *Química Nova na Escola*, 31(1), pp.3-8.