



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 10, nº 2 (2024)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n2ID33033>



Qualidade Ambiental de nascentes na zona rural do município de Pedra do Indaiá - MG

Environmental Quality of springs in a rural area, in the municipality of Pedra do Indaiá – MG

Alysson Rodrigo Fonseca¹; Thiago Vilela Nogueira²; Gabriela Barbosa Martins³; Mauro Cesar Cardoso Cruz⁴; Fabrício Furtado de Sousa⁵; Clécio Eustáquio Gomides⁶

¹ Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Unidade Divinópolis/Ciências Naturais e da Terra, Divinópolis/MG, Brasil. Email: alysson.silva@uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7510-8142>

² Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Unidade Divinópolis/Ciências Naturais e da Terra, Divinópolis/MG, Brasil. Email: thiago.1693508@discente.uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2351-4081>

³ Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Unidade Divinópolis/Ciências Naturais e da Terra, Divinópolis/MG, Brasil. Email: gabriela.1655090@discente.uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8356-6861>

⁴ Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Unidade Divinópolis/Engenharias, Divinópolis/MG, Brasil. Email: mauro.cruz@uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7808-1193>

⁵ Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Unidade Divinópolis/Humanidades, Divinópolis/MG, Brasil. Email: fabrizio.sousa@uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-862X>

⁶ Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Unidade Divinópolis/Engenharias, Divinópolis/MG, Brasil. Email: clecio.gomides@uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8566-2913>

Resumo: A qualidade ambiental de um determinado sistema refere-se à relação harmônica entre os elementos que o constituem, propiciando seu funcionamento e dinâmica. Este estudo de caso teve como objetivo a identificação, georreferenciamento e análise da qualidade ambiental e microbiológica das nascentes existentes na comunidade do Camarão, zona rural do município de Pedra do Indaiá - MG. Foram avaliados impactos ambientais em 13 nascentes a partir do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN. A análise microbiológica da água foi realizada através do Teste do Substrato Cromogênico (Colitest[®]), que mostra a presença ou ausência de Coliformes Totais e Termotolerantes. A aplicação dos testes foi realizada no período seco (julho/2022) e período chuvoso (dezembro/2022). No que se refere ao Grau de Preservação das nascentes, verificou-se uma classificação como "Boa" (Classe B) para 3 nascentes, "Razoável" (Classe C) e "Ruim" (Classe D) para 4 nascentes em ambas as classificações e "Péssima" (Classe E) para apenas uma nascente. Na análise microbiológica, constatou-se que todas as nascentes avaliadas apresentaram resultados positivos para presença de coliformes totais e termotolerantes (*Escherichia coli*). Os resultados mostraram elevado grau de degradação de praticamente todas as nascentes avaliadas. Sendo um estudo de caso, realizado em apenas uma comunidade rural do município, existe a possibilidade de que esse quadro seja generalizado para as demais, sendo necessárias pesquisas complementares para se avaliar essa hipótese.

Palavras-chave: Índice de Impacto Ambiental em Nascentes; Qualidade da Água; Saneamento Ambiental.

Abstract: The environmental quality of a system refers to the harmonious relationship between its constituent elements, enabling its functioning and dynamics. This case study aimed to identify, georeference and analyze the environmental and microbiological quality of existing springs in the community of Camarão, a rural area of the municipality of Pedra do Indaiá, MG. Environmental impacts of 13 springs were evaluated based on the Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN; Environmental Impact on Springs Index). Water microbiology was analyzed using the Chromogenic Substrate Test (Colitest[®]), which indicates the presence or absence of total and thermotolerant coliforms. The tests were applied in the dry season (July 2022) and rainy season (December 2022). Classification of springs according to Degree of Preservation found three to be "Good" (Class B, four to be "Reasonable" (Class C), four to be "Bad" (Class D) and one to be "Terrible" (Class E). Microbiological analysis found all the evaluated springs to be positive for the presence of total and thermotolerant coliforms (*Escherichia coli*). The results showed a high degree of degradation of practically all the evaluated springs. As this is a case study, being carried out in only one rural community in the municipality, there is the possibility that this situation will be generalized to others, and so additional research is needed to evaluate this hypothesis.

Keywords: Environmental Impact on Springs Index; Water Quality; Environmental Sanitation.

Recebido: 30/06/2023; Aceito: 14/03/2024; Publicado: 24/09/2024.

1. Introdução

A água é um recurso valioso que está presente em diversas atividades humanas. Com o desenvolvimento populacional e econômico, o uso dos recursos hídricos se torna cada vez mais necessário pela sociedade e com diferentes aplicações, estando estritamente ligada às necessidades do ser humano, sejam pessoais, econômicas e/ou sociais (GOMES *et al.* 2005; FELIPPE, 2009; SANTOS e SANTOS, 2021).

Nas áreas rurais e urbanas dos municípios brasileiros, a alteração da qualidade e volume da água dos rios, ribeirões e lagoas, seja pela poluição, degradação da mata ciliar e outros fatores degradadores, tem sido um fator preocupante de debate e discussão. Situação semelhante também é constatada em relação às nascentes, que na maioria das vezes não tem a sua importância reconhecida pelo poder público e sociedade.

Conceitualmente, as nascentes configuram-se em um sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente de modo temporário ou perene, integrando à rede de drenagem superficial (FELIPPE, 2009). A água das chuvas, ao atingir o solo, infiltra e percola para os aquíferos mais profundos ou escoam superficialmente, sendo neste caso drenada para fora do sistema (bacia) sob ação da gravidade em canais hidrográficos. Já a água subterrânea possui uma dinâmica mais lenta do que a superficial e, assim, mais bem distribuída no tempo. Após atingirem os aquíferos, as águas são paulatinamente redistribuídas à superfície por fluxos subterrâneos, que também culminam em sua exfiltração. Muitos desses fluxos não cessam nem mesmo em estiagens prolongadas, pois são constantemente alimentados pelas águas armazenadas nos aquíferos, originando as nascentes perenes (FELIPPE e MAGALHÃES-JUNIOR, 2009).

Considerando a importância das nascentes, torna-se importante que estas sejam interpretadas pela ótica da dinâmica ambiental, a partir da identificação de surgências e dos fluxos que se conectam aos talwegues fluviais, devendo serem concebidas como parte dos sistemas hidrográficos responsáveis pela formação dos canais fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1981). Constituem-se, portanto, em importantes sistemas para a manutenção do equilíbrio ambiental *lato sensu* das bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980; FELIPPE e MAGALHÃES-JUNIOR, 2012; PINTO *et al.* 2012; FELIPPE *et al.* 2014). Além disso, apresentam múltiplas finalidades, como consumo humano e animal (dessedentação), uso da água para irrigação (geração de alimento e renda), possibilitando a fixação do homem no meio rural, dentre outros benefícios (DENNEDY-FRANK *et al.*, 2016).

Considerando essa relevância, a emergência da questão de proteção das nascentes deve ser considerada tanto nas áreas urbanas, mas em especial nas áreas rurais, onde estão a maior parte das nascentes e também onde tem-se observado significativas alterações ambientais, visto que a produção agrossilvipastoril tem sido focada quase que somente na questão econômica, não sendo, muitas vezes, considerado aspectos técnicos, de planejamento e regulamentação no que concerne ao uso do solo, especialmente quando considerada a Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), que estabelece às áreas das nascentes como de restrição de uso (PORFÍRIO *et al.* 2018). Assim, no âmbito do Art.4 da referida Lei, considera-se como Área de Preservação Permanente - APP, aquelas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros (BRASIL, 2012, Art. 4º, IV).

Garantir, portanto, a qualidade das nascentes, representa o primeiro passo para a manutenção do equilíbrio da dinâmica ambiental de todo o sistema fluvial. Alterações nos processos que abarcam as nascentes promovem, invariavelmente, consequências a jusante. O primeiro e mais evidente efeito é qualitativo, pois envolve distúrbios nos parâmetros físicos, químicos ou biológicos das águas dos rios. Efeitos quantitativos também podem ser visualizados, desde a redução nos débitos à jusante até alterações na distribuição sazonal das vazões de toda a bacia (TEODORO *et al.*, 2007).

O município de Pedra do Indaiá, localizado na região centro-oeste do estado de Minas Gerais não fugiu a este contexto, com grandes transformações nas últimas décadas e tendo a maior parte de sua vegetação natural substituída por pastagens, lavouras e silvicultura (*Eucalyptus* spp.). Empiricamente observa-se na região uma redução significativa no volume de água de rios e ribeirões, especialmente na estação seca do ano. Paralelamente, tem sido relatado pelos moradores locais a redução do volume de fluxo de nascentes e em alguns casos, o secamento completo. Assim, em função da ausência de dados oficiais e ou científicos que atestam sobre o número exato, localização e as condições ambientais das nascentes da rural do município, este trabalho tem como objetivo identificar e georreferenciar as nascentes em uma de suas zonas rurais e ainda, realizar análises microbiológicas da água e avaliar a qualidade ambiental desses mananciais.

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Pedra do Indaiá, localizado na região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, Brasil, com extensão territorial de 347,920 km² e população de 4.112 habitantes (IBGE, 2024). Seu clima é classificado como do tipo Cwa – Tropical de altitude com versões quentes e invernos secos (ALVARES et al. 2013). O período mais quente do ano corresponde ao trimestre janeiro/ fevereiro/ março, com ocorrência esporádica de outubro a dezembro como meses mais quentes. Possui temperatura média anual situada na faixa de 21,8 °C, variando entre as temperaturas médias extremas de 15,8 °C como mínimas e 28,7 °C máximas.

O município está inserido na região do bioma mata atlântica, porém em área de transição com o domínio cerrado (IDE - SISEMA, 2024), estando hoje seu ambiente bastante alterado pelas atividades da agricultura, silvicultura e pecuária. Sendo assim, há pouquíssimos remanescentes das condições originais da vegetação, pois a maior parte encontra-se degradada pela atividade pastoril de forma extensiva no município e ainda, por práticas agrícolas não adequadas, desmatamentos e queimadas.

No que se refere ao seu patrimônio hídrico, o município apresenta em suas áreas rurais e urbanas nascentes que contribuem significativamente para a vazão da microbacia do Rio Lambari, compondo a Bacia do Rio Pará, que por sua vez pertence à Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (IDE - SISEMA, 2022). Cabe destacar que somente na microbacia do Rio Lambari estão inseridos seis municípios, totalizando uma população de 113.426 habitantes (IBGE, 2024).

2.2 Avaliação dos Impactos Ambientais nas áreas das nascentes

Os impactos ambientais nas nascentes foram avaliados neste trabalho a partir da interpretação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN, adaptado de Gomes et al. (2005). Segundo os autores, este procedimento tem como objetivo verificar de forma qualitativa o grau de proteção em que as nascentes se encontram, através de uma técnica de avaliação sensorial – macroscópica – e comparativa de alguns elementos-chave na identificação de impactos ambientais e suas consequências sobre a qualidade das nascentes.

Este estudo engloba as nascentes existentes na zona rural denominada Camarão, no município de Pedra do Indaiá - MG, com coordenadas geográficas 20° 27' 15" de latitude sul e 45° 16' 01" de longitude oeste. A escolha dessa zona se deu pelo fato de um dos componentes do projeto conhecer bem a região e os moradores, o que facilitou para encontrar as nascentes já detectadas, assim como para obter permissão para adentrar nos terrenos, visto que todas encontravam-se em propriedade privada. Foram identificadas, na área do estudo, doze nascentes, sendo que em uma delas não foi possível aplicação dos testes, visto que se encontrava inacessível.

Para a caracterização ambiental das nascentes e a avaliação de parâmetros macroscópicos, foram analisados os parâmetros mostrados no Quadro 1, conforme metodologia utilizada nos estudos desenvolvidos por Gomes et al. (2005). Os parâmetros macroscópicos devem ser enquadrados em padrões visando sua quantificação e possibilitando a posterior somatória dos pontos obtidos, por meio da pontuação indicada para cada parâmetro ambiental avaliado. Dessa forma, o atributo definido (bom, médio ou ruim) deve ser convertido em um escore e o índice resulta do somatório dos escores creditados para cada parâmetro. Sendo assim, o valor máximo possível do índice é 39 pontos - quando todos os parâmetros são considerados “bons” - e o mínimo de 13 pontos, quando todos os parâmetros são considerados “ruins”. No Quadro 2 é demonstrada a classificação das nascentes quanto aos impactos macroscópicos.

Os dados primários foram obtidos em visitas de campo organizadas de forma que todas as nascentes identificadas fossem visitadas. *In loco*, as nascentes analisadas foram georreferenciadas por GPS - Global Positioning System, tipo navegação – Garmin MAP 78 e posteriormente, suas coordenadas geográficas foram transferidas para o sistema QGIS versão 2.8.1 e *Google Earth*, visando a geração de mapa da zona rural avaliada, com as nascentes identificadas e plotadas. Tais informações foram complementadas por meio da documentação fotográfica de cada nascente utilizando-se de uma câmera Nikon D5000.

Tabela 1 – Definição do índice de impacto ambiental macroscópico em nascentes

Parâmetro Macroscópico	Qualificação		
	Ruim (1)	Médio (2)	Bom (3)
Cor da água	Escura	Clara	Transparente
Odor da água	Forte	Com odor	Não há
Lixo ao redor da nascente	Muito	Pouco	Não há
Materiais flutuantes	Muito	Pouco	Não há
Espumas	Muito	Pouco	Não há
Óleos	Muito	Pouco	Não há
Esgoto na nascente	Visível	Provável	Não há
Vegetação	Degradada ou ausente	Alterada	Bom estado
Uso por animais domésticos	Presença	Apenas Marcas	Não detectado
Uso por Humanos	Presença	Apenas Marcas	Não detectado
Proteção do local	Sem proteção	Com proteção (mas com acesso)	Com proteção (sem acesso)
Proximidade com residência ou estabelecimento	Menos de 50 metros	Entre 50 e 100 metros	Mais de 100 metros
Tipo de área de inserção	Ausente	Propriedade privada	Parques ou áreas protegidas

Fonte: Adaptado de GOMES *et al.* (2005).

Tabela 2 – Classificação das nascentes quanto aos impactos macroscópicos (somatória final)

Classe	Grau de Preservação	Pontuação final
A	Otima	37-39
B	Boa	34-36
C	Razoável	31-33
D	Ruim	28-30
E	Péssima	Abaixo de 28

Fonte: Adaptado de GOMES *et al.* (2005)

2.3 Análise microbiológica da água

As análises microbiológicas da água foram realizadas em dois períodos específicos do ano, ou seja, no período seco (agosto/2022) e no período chuvoso (dezembro/2022). As amostras coletadas foram armazenadas em vasilhames devidamente identificados e armazenados em caixas de isopor, sendo levadas imediatamente ao laboratório de microbiologia da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG – Unidade Divinópolis.

No laboratório, o método de análise dos parâmetros biológicos Coliformes Totais e Termotolerantes constou do Teste de Substrato Cromogênico - Colitest® (FUNASA, 2013). Nessa metodologia, as amostras são coletadas nas nascentes com mínimo de 100 ml de água em frasco estéril, sendo em laboratório adicionado o conteúdo de um frascote contendo o substrato cromogênico e incubada a $35,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Após esse período, as amostras com coloração amarelada indicam a presença de Coliformes Totais. Quando essas amostras são expostas a uma lâmpada ultravioleta de 365nm e há fluorescência, indicam a presença de Coliformes Termotolerantes. Caso a amostra se mostre transparente após as 24 horas de incubação, indica que não há presença de coliformes na mesma.

3. Resultados e discussão

As treze nascentes identificadas na zona rural estudada, assim como os pontos e suas respectivas coordenadas são mostradas na Tabela 1 e na Figura 1. Na nascente 12 não foi possível a aplicação dos testes, visto que se encontrava em cavidade profunda. Cabe ressaltar que a maior parte das nascentes avaliadas ($n = 10$) encontravam-se em “grotas”, que segundo Guerra e Guerra (2008) são formações que se constituem como depressões ou cavidades úmidas observadas nas

interseções entre montanhas, formando vales profundos e por vezes extensos. De acordo com IDE-SISEMA (2024), tal constatação ocorre em função do município estar inserido na geomorfologia do tipo homogênea aguçada, que segundo Cavalcante (2005), constitui-se de um conjunto de formas de relevo com topos estreitos e alongados, esculpidas em sedimentos e definidas por vales encaixados.

Tabela 3 – Coordenadas geográficas das nascentes avaliadas na zona rural Camarão, município de Pedra do Indaiá - MG

Nº	Coordenadas
1	20°16'25.93"S 45°10'23.20"O
2	20°16'32.34"S 45°10'26.36"O
3	20°16'46.55"S 45°10'10.77"O
4	20°16'33.19"S 45° 9'31.38"O
5	20°16'19.61"S 45° 9'22.75"O
6	20°16'12.96"S 45° 9'14.99"O
7	20°15'50.69"S 45° 9'27.46"O
8	20°15'50.84"S 45°10'44.49"O
9	20°15'57.58"S 45°10'46.83"O
10	20°16'12.08"S 45°10'36.36"O
11	20°15'59.98"S 45°10'17.72"O
12	20°15'25.49"S 45° 9'55.55"O
13	20°15'19.93"S 45°10'6.05"O

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).



Figura 1 – Nascentes avaliadas na zona rural Camarão, município de Pedra do Indaiá - MG.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A partir da aplicação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), os resultados obtidos foram sistematizados na Tabela 2.

Tabela 4 – Quantificação da Análise dos Parâmetros Macroscópicos das nascentes avaliadas em Pedra do Indaiá - MG.

PARÂMETROS MACROSCÓPICOS	Número das Nascentes												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cor da água	2	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	-	2
Odor da água	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
Lixo ao redor da nascente	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	2
Materiais flutuantes	1	2	1	3	3	2	2	3	3	3	3	-	2
Espumas	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
Óleos	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
Esgoto na nascente	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
Vegetação	1	1	2	2	3	2	2	1	1	2	1	-	2
Uso por animais domésticos	2	2	2	3	3	1	3	3	2	3	1	-	1
Uso por Humanos	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3	-	3
Proteção do local	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	-	1
Proximidade com residência	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	-	3
Tipo de área de inserção	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	2
TOTAL DE PONTOS	27	29	30	35	36	31	33	31	30	34	31	-	30
CLASSIFICAÇÃO	E	D	D	B	B	C	C	C	D	B	C	-	D

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A análise macroscópica dos impactos ambientais (Tabela 2), mostrou que, no que se refere à cor da água, essa mostrou-se como “transparente” em apenas dois dos mananciais, nascentes 2 e 5, e como “clara” nas demais nascentes (Figuras 2 e 3). Segundo Rocha *et al.* (2017), em nascentes preservadas é de se esperar uma coloração transparente da água, sendo considerado um parâmetro estético positivo, pois segundo Botelho *et al.* (2001) e Ricklefs (2010), favorece a passagem de luz e a consequente realização da fotossíntese da vegetação aquática existente. Já a coloração clara ou mesmo escura, segundo Souza (2004), pode ocorrer naturalmente devido à partículas de rochas ou argila, pela presença de elementos químicos adicionados ou ainda, pela decomposição de matéria orgânica. Cabe ressaltar que a erosão natural e/ou a ocasionada pelas ações antrópicas também podem causar alteração na cor da água, não podendo também ser descartada o revolvimento do local por animais domésticos ou mesmo silvestres.

Tabela 5 – Quantificação da Análise dos Parâmetros Macroscópicos das nascentes avaliadas em Pedra do Indaiá - MG.

PARÂMETROS MACROSCÓPICOS	Número das Nascentes												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cor da água	2	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	-	2
Odor da água	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
Lixo ao redor da nascente	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	2
Materiais flutuantes	1	2	1	3	3	2	2	3	3	3	3	-	2
Espumas	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
Óleos	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
Esgoto na nascente	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
Vegetação	1	1	2	2	3	2	2	1	1	2	1	-	2
Uso por animais domésticos	2	2	2	3	3	1	3	3	2	3	1	-	1
Uso por Humanos	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3	-	3
Proteção do local	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	-	1
Proximidade com residência	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	-	3
Tipo de área de inserção	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	2
TOTAL DE PONTOS	27	29	30	35	36	31	33	31	30	34	31	-	30
CLASSIFICAÇÃO	E	D	D	B	B	C	C	C	D	B	C	-	D

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).



*Figura 2 – Cor da água transparente na nascente 5
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).*



*Figura 3 – Cor da água, escura, na nascente 3.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).*

É importante ressaltar que, embora a água fosse clara e até mesmo transparente, a presença de água ou fundo com coloração tendendo à “ferruginosa” foi constatada em oito das nascentes avaliadas (Figuras 4 e 5). Tal alteração ocorre em função da formação geológica e também das ações antrópicas, que podem favorecer o excesso de íons de ferro na água e possibilitar o desenvolvimento de bactérias ferruginosas (CARMO, 2016).



*Figura 4 – Água ferruginosa decorrente da nascente 10.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).*



*Figura 5 – Água ferruginosa decorrente da nascente 13.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).*

O parâmetro “odor” foi detectado apenas na nascente 2, o que foi ocasionado pela presença de carcaça bovina na nascente, em avançado grau de decomposição (Figura 6). Nas zonas rurais, especialmente no período da seca, não é incomum o gado procurar pastagens verdes em áreas com solos hidromórficos, que segundo Nascimento et al. (2013) apresentam drenagem deficiente e assim geralmente encontram-se encharcados, podendo acarretar no atolamento e a consequente morte do animal. Santos et al. (2015) citam que, além do odor característico, as águas contaminadas com cadáveres podem apresentar contaminação microbiológica por bactérias heterotróficas e proteolíticas, clostrídios sulfito-redutores, enterovírus e adenovírus. Além disso, geralmente há elevado consumo do oxigênio, devido à decomposição biológica e às transformações químicas, principalmente dos produtos com nitrogênio, fósforo e enxofre, dentre outros. Verifica-se também acréscimo na quantidade de sais minerais, aumentando a condutividade elétrica dessas águas.



Figura 6 – Presença de carcaça bovina na água da nascente 2.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O parâmetro “lixo” foi detectado em pequena quantidade, constando apenas de restos de arame farpado na nascente 1 e uma sacola plástica na nascente 13, provavelmente carregada pelo vento ou pela enxurrada. A presença de restos de produtos de utilização humana é mais frequente em nascentes localizadas em áreas urbanas, em função do adensamento e da proximidade com as construções, conforme constatado nos trabalhos de Rocha et al. (2017), Fonseca et al. (2019), Fonseca et al. (2021) e Santos et al. (2021).

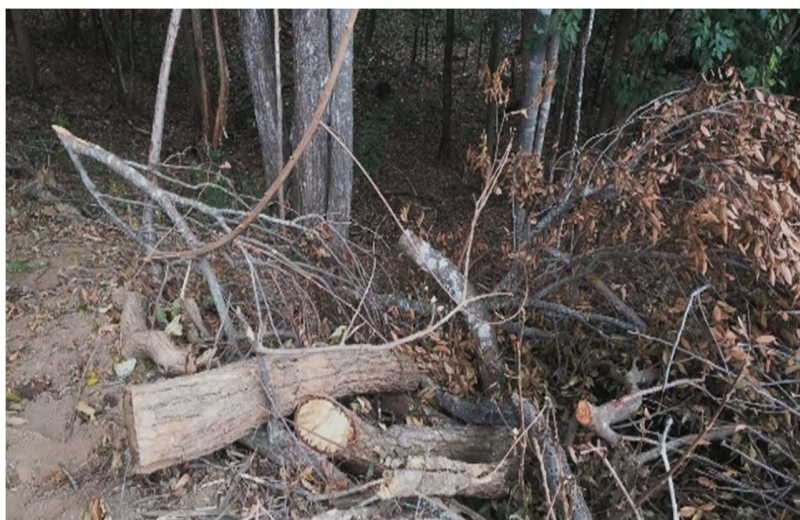
“Materiais flutuantes” foram detectados nas nascentes 1, 3, 6, 7 e 13. Estes constavam de matéria vegetal, como partes de folhas e galhos, o que não impacta negativamente a nascente. Segundo Gomes et al. (2005) os materiais flutuantes podem se constituir de materiais advindo do lixo doméstico ou decorrente do fluxo de escoamento da água de chuva, podendo ser também elementos de origem orgânica, como os verificados nesse trabalho.

Não foi detectado o parâmetro “esgoto” nas nascentes, resultado este já esperado, visto que não foram constatadas tubulações de esgoto e nem construções nas proximidades das nascentes. A presença de “espumas” e “óleos” em pequena quantidade foi detectada somente na nascente 2, em função da decomposição de carcaça bovina, conforme relatado anteriormente.

A vegetação em bom estado de conservação foi verificada apenas para a nascente 5, as demais nascentes tiveram sua vegetação categorizada como “alterada” (3, 4, 6, 7, 10 e 13) ou “degradada ou ausente” (1, 2, 8, 9 e 11). Cabe destaque ao registro de desmatamento registrado na nascente 6, com a supressão de espécies arbóreas de grande e médio porte, com a extração de madeira (Figuras 7 e 8). De acordo com o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012), no caso das nascentes, deve ser considerada uma dimensão mínima da faixa marginal de vegetação nativa a ser preservada, em qualquer que seja sua situação topográfica, de no mínimo 50 metros em torno das nascentes ou de 15 metros em áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008.



*Figura 7 – Vegetação degradada ou ausente na nascente 1.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).*



*Figura 8 – Desmatamento da vegetação na nascente 6.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).*

Felippe et al. (2014), Montanarella et al. (2016) e Faria et al. (2019) enfatizam que a preservação da vegetação no entorno das nascentes e em regiões circunvizinhas é fundamental para sua manutenção, pois atua como um amortecedor das chuvas, evitando o impacto direto sobre o solo e a sua compactação. Dessa forma, ela colabora para que o solo permaneça poroso e capaz de absorver a água das chuvas, alimentando os lençóis freáticos. Adicionalmente, evita que o escoamento superficial excessivo de água carregue partículas de solo e resíduos tóxicos provenientes das atividades agrícolas para o leito dos cursos d'água. Tais resíduos podem afetar a qualidade da água e as partículas de solo podem diminuir a vida útil dos reservatórios, assoreando-os. Além dessas atribuições, Silva et al. (2021) cita sua importância como elemento regularizador da biodiversidade, da composição atmosférica, do clima e do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica.

O cercamento, devidamente instalado e operante, não foi constatado em nenhuma das nascentes avaliadas (Tabela 2, Figuras 9 e 10). Na nascente 8 havia materiais de um antigo cercamento em precário estado de conservação, com mourões podres e arames arrebentados, o que não impedia a entrada de bovinos e equinos (Figura 10). Segundo Pinto et al. (2004)

e Fonseca e Gontijo (2021), o cercamento das áreas das nascentes é de grande importância, pois delimita o espaço onde elas se encontram e impedem a entrada de animais domésticos de grande porte.



*Figura 9 – Cercamento em estado precário (ver arames arrebitados) na nascente 8.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).*



*Figura 10 – Cercamento ausente na nascente 1.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).*

O uso da área das nascentes por animais domésticos de grande porte (bovinos e equinos), detectado pela presença desses ou de suas marcas, como pegadas ou fezes, foi verificada em 7 dos 12 mananciais avaliados (Tabela 2, Figuras 11 e 12). A presença desses animais nas Áreas de Preservação Permanente - APP's das nascentes tende a impactar negativamente a vegetação e ainda, favorecer a compactação do solo e seu revolvimento, causando assoreamento, erosão e aumento de turbidez da água, além da contaminação microbiológica que ocorre principalmente através das fezes e urina (FONSECA e GONTIJO, 2021). CARVALHO et al. (2020) complementa apontando que a compactação do solo ocasionada pelo pisoteio diminui a capacidade de surgência da nascente, favorecendo seu secamento.



Figura 11 – Presença de vestígios de animais domésticos de grande porte (pegadas e fezes) na nascente 3.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

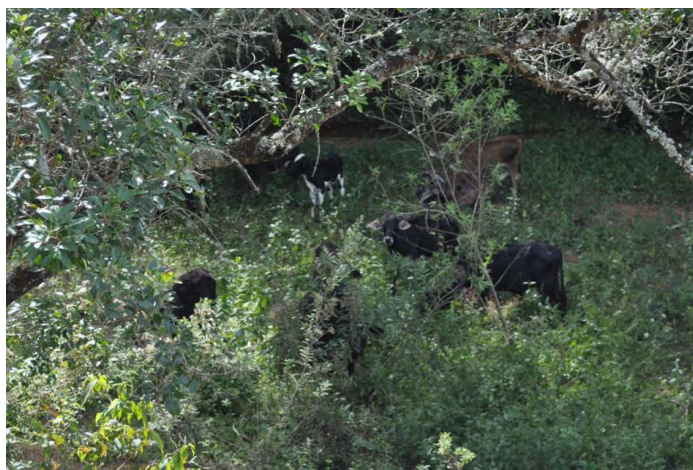


Figura 12 – Presença de animais domésticos de grande porte, bovinos, na nascente 11.
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Torna-se importante ressaltar que a ausência de animais domésticos de grande porte e seus vestígios (rastros e fezes) em 5 das nascentes avaliadas (4, 5, 7, 8 e 10) não ocorreu pela presença de cercamento, mas sim pelo fato dessas terem seus pontos de ressurgência em grotas profundas, o que acabam por se constituírem em “barreiras naturais” que tendem a impedir o acesso desses animais a estas áreas.

O parâmetro “uso por humanos” foi detectado em apenas duas das nascentes avaliadas (8 e 9). Nessas nascentes foram verificados dispositivos como caixa de coleta de água e tubulação, sendo a água utilizada nessas duas nascentes por residências para uso doméstico, irrigação de hortaliças e dessedentação de animais. Felipe (2009) chama a atenção para o fato de que a utilização da água das nascentes, quando feita inadequadamente, pode vir a alterar substancialmente a qualidade ambiental dessas. O autor enfatiza ainda que a utilização dessas águas sem tratamento ou desinfecção prévia, possibilita o risco de doenças de veiculação hídrica causadas, em sua maioria, por microrganismos de origem animal ou humana, transmitidos por rota fecal-oral.

No que se refere à “Proximidade com residência”, apenas uma das nascentes estava entre 50 a 100 metros de residência (nascente 8), estando as demais afastadas em mais de 100 metros. Tal constatação é um fator positivo, pois conforme menciona Gomes et al. (2005), a maior proximidade das nascentes com residências ou estabelecimentos aumenta a interferência antrópica, resultando em diversos impactos ambientais negativos, como a contaminação da água, presença de lixo, degradação da vegetação, compactação do solo e assoreamento.

No tocante ao parâmetro "inserção de área", constatou-se que todas as nascentes avaliadas se encontravam em propriedades privadas. De acordo com informações obtidas junto à Prefeitura Municipal, em Pedra do Indaiá, não há unidades de conservação, sendo essa uma característica ambiental negativa, pois áreas dessa natureza são importantes para a manutenção e preservação dos ecossistemas naturais e seus recursos, incluindo solo, água e diversidade biológica.

No que se refere ao Grau de Preservação das nascentes, verificou uma classificação como "Boa" (Classe B) para 3 nascentes, "Razoável" (Classe C) e "Ruim" (Classe D) para 4 nascentes em ambas as classificações e "Péssima" (Classe E) para apenas uma nascente. Nenhuma nascente foi classificada na categoria A, como "Ótima" (Figura 13).

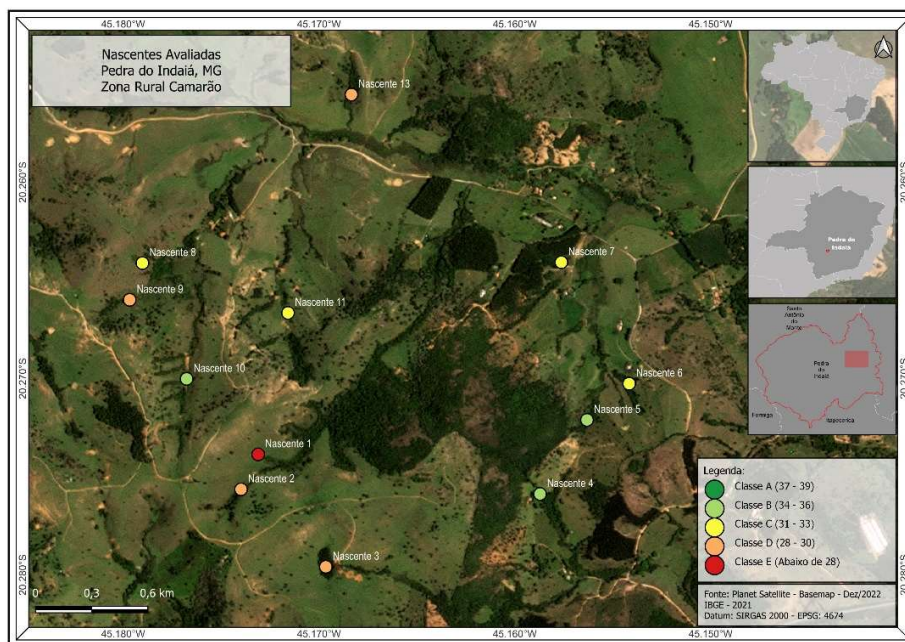


Figura 13 – Classificação do grau de Preservação das Nascentes avaliadas na zona rural Camarão, município de Pedra do Indaiá - MG.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

São poucos os estudos desenvolvidos em Minas Gerais tendo-se como objetivo o diagnóstico ambiental das nascentes. Pinto et al. (2004), em estudo realizado em nascentes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz em Lavras-MG, registraram um número de nascentes perturbadas maior do que as do tipo degradadas. Resende et al. (2009), estudando o estado de conservação de 70 nascentes da Bacia Hidrográfica do Córrego-Feio em Patrocínio-MG, constataram 63% das nascentes em estado de perturbadas, 20% classificadas como preservadas e 17% como degradadas. Marciano et al. (2016), buscaram diagnosticar o estado de preservação das nascentes localizadas na bacia hidrográfica do córrego do Vargedo, no município de Santa Rita do Sapucaí, MG, no qual constataram elevado grau de alteração dos mananciais avaliados.

No que tange à análise microbiológica, constatou-se que todas as nascentes avaliadas apresentaram resultados positivos para presença de coliformes totais e termotolerantes (*Escherichia coli*), nas duas coletas realizadas (ou seja, tanto no período seco como no chuvoso). Segundo Macêdo (2003) tal constatação indica contaminação fecal, havendo, portanto, o risco da presença de agentes patogênicos na água e assim risco para as duas famílias identificadas neste estudo que utilizam da água das nascentes.

Os impactos ambientais verificados nas nascentes, as respectivas classes obtidas e a constatação de coliformes fecais em todas as amostras evidenciam que os mananciais estudados tem sua dinâmica afetada negativamente, podendo culminar, inclusive, em seu secamento. Estudos têm mostrado que uma das principais consequências das intervenções antrópicas nas áreas onde se localizam as nascentes são as alterações de vazão (SILVA et al. 2021; SANTOS et al. 2021). Em casos extremos, a redução do fluxo pode significar o desaparecimento da nascente, sua transformação em nascente temporária ou sua migração para jusante. Isso se explica pelo fato de os sistemas hidrológicos envolverem uma cadeia de processos conectados entre si, alterando sua dinâmica e as características das nascentes. Assim, o desaparecimento de uma

nascente resultará na redução da vazão nos cursos d'água e conseqüentemente na sua disponibilidade para diversos fins, inclusive para uso na propriedade rural.

A despeito destes fatores, há um enorme contraste com a situação encontrada nas comunidades instaladas no entorno das nascentes e dos rios, que por falta de conhecimento de seus moradores, desmatam a área de preservação permanente, potencializando processos erosivos e o comprometimento dos recursos hídricos (JIAN *et al.* 2018). Aliado a isso, no caso do Estado de Minas Gerais, o relevo acidentado em algumas regiões, aliado à abundância hidrográfica, contribui para que pequenas propriedades rurais apresentem uma limitação considerável do uso da terra, em termos de exploração econômica (ROCHA, 2009). Tal conflito torna-se evidente uma vez que as áreas naturais (não exploradas) são essenciais à sustentação da vida silvestre e das dinâmicas ambientais, mas são fonte de sustento quando utilizadas para a produção de alimentos e demais produtos básicos oriundos da atividade agrícola (PORFÍRIO *et al.* 2018).

Diante do quadro de degradação das nascentes, comumente encontrado em zonas rurais dos municípios brasileiros, torna-se fundamentais estudos que possam dar subsídios para as políticas de preservação e fiscalização e ainda, para a recuperação daquelas degradadas (FONSECA e GONTIJO, 2021). A literatura técnica na área tem sugerido, como principal técnica de recuperação das nascentes a remoção do fator de degradação, o isolamento adequado das nascentes, a condução da regeneração natural da vegetação nativa das áreas perturbadas e o enriquecimento com mudas de espécies nativas por meio do plantio nas áreas degradadas (SOUSA *et al.* 2019). Neste contexto, Alvarenga *et al.* (2016) e Rodrigues *et al.* (2020) destacam a aplicabilidade de algumas estratégias que podem ser empregadas, a depender do nível de perturbação das áreas de nascentes, como a condução da regeneração natural por isolamento da área; o enriquecimento da diversidade genética com a introdução de indivíduos de espécies já existentes no local, como facilitadoras do processo de regeneração; utilização de poleiros artificiais a favorecer a entrada de sementes, promoção da dispersão e atração de dispersores de sementes, bem como o plantio direto de mudas ou semeadura direta.

Porfírio *et al.* (2018) complementa, apontando que tais estudos e práticas de recuperação das nascentes também podem se constituir como ferramenta de educação ambiental, pois uma das dificuldades para a proteção dos ambientes naturais está na existência de diferenças nas percepções dos valores e da importância dos mesmos entre os indivíduos de culturas diferentes ou de grupos socioeconômicos que desempenham funções distintas. Por fim, complementa que para que haja uma real percepção dos proprietários sobre a importância da conservação do meio ambiente e das áreas protegidas, faz-se necessário que eles compreendam a corresponsabilidade que estes têm sobre essas áreas em suas propriedades, tornando-se protagonistas nesse processo.

4. Considerações finais

Diante dos resultados obtidos nesse estudo, fica evidenciado, para a área estudada, a inadequabilidade das propriedades rurais às leis ambientais vigentes, a ineficiência da fiscalização pelos órgãos ambientais e a falta de cuidado dos proprietários com as áreas onde se localizam as nascentes. Portanto, torna-se necessário que o poder público crie políticas de incentivo de conservação das nascentes e recuperação daquelas que se encontram degradadas. Paralelamente é necessário que os órgãos ambientais assegurem o cumprimento das leis que conferem proteção a elas.

Outro fator importante consiste no desenvolvimento de ações de educação ambiental que busquem instruir os proprietários dos terrenos onde as nascentes se encontram, sobre as leis ambientais, seus direitos e deveres, com ênfase a importância da preservação e recuperação dos mananciais. Aliado a isso, torna-se necessário que a sociedade e o poder público reconheçam o produtor rural como guardião desse patrimônio e lhe dê o devido retorno pelos produtos ofertados e pelos serviços ambientais prestados, posto que a maioria da população fixada nas áreas urbanas depende dos recursos naturais e dos alimentos vindos do campo.

Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Apoio à Pesquisa – PAPq/UEMG, pela concessão de Bolsa de Iniciação Científica.

Referências

ALVARENGA, A.P., BOTELHO, S.A., PINHEIRO, A.C., PEREIRA, I.M. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas na restauração de nascentes no Sul de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, v.13, n.23, p.1239-1250. 2016.

-
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728. 2013.
- BOTELHO, C. G.; CAMPOS, C. M.; VALLE, R. D.; SILVEIRA, I. A. **Recursos naturais renováveis e impacto ambiental: água**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. (Apostila: Curso de pós graduação *Lato sensu*).
- BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- CARMO, J.C.C. do. **Ferro na água subterrânea do Estado da Bahia: uma avaliação preliminar dos fatores influentes na concentração**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2016.
- CARVALHO, C.G.S., PORTO, R.A., OLIVEIRA, U.R. Avaliação macroscópica de impactos ambientais em nascentes do Rio de Ondas no Oeste da Bahia. **Geociências**, v. 39, n. 3, p. 831 - 845, 2020.
- CAVALCANTE, L.M. **Zoneamento geológico e geomorfológico de uma área entre Assis Brasil e Brasília – Acre Rio Branco**. Acre: Embrapa, 2005. 21p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2a ed. São Paulo: Blücher, 1980. 200 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981. 313 p.
- DENNEDY-FRANK, P. J., MUENICH, R. L., CHAUBEY, I., ZIV, G. Comparing two tools for ecosystem service assessments regarding water resources decisions. **Journal of Environmental Management**, v.177, p.331-340, 2016.
- FARIA, F.N.C., MELLO DUARTE, J.R., OLIVEIRA, L.A.B., SILVA, E.C., CARVALHO, I.A. O papel das matas ciliares na conservação do solo e água. **Biodiversidade**, v. 18, n.3, p.171-179, 2019.
- FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte - MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- FELIPPE, M.F.; MAGALHÃES-JUNIOR, A.P. Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte - MG. **VI Encontro Nacional sobre Migrações**, 4, 2009.
- FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES-JUNIOR, A. P. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte - MG. **Geografias**, v.8, n.2, p.8-23, 2012.
- FELIPPE, M. F.; CARMO, L. G.; MAGALHÃES-JUNIOR, A. P. Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, p. 275-293, 2014.
- FONSECA, A. R.; COSTA, F. A. F.; GONTIJO, R. A. N.; FONSECA, T. L. Macroscopic analyses and evaluation of environmental quality in urban springs of Divinópolis-MG. **Scientific Electronic Archives**, v.12, n.4, p.68-74, 2019.
- FONSECA, A. R.; GONTIJO, R. A. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade microbiológica das águas em nascentes da área urbana de Santo Antônio do Monte – MG. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 20, p. 87-101, 2021.
- FUNASA. **Manual Prático de Análise de Água**. 4a.ed. Brasília: FUNASA, Ministério da Saúde, 2013. 150p.
- GOMES, P. M.; MELO, C.; SANTIAGO, V.S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia - MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, v.17, n.32, p.103-120. 2005.
- GUERRA, A.T.; GUERRA, A.L.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 652p.
- IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. *Cidades e Estados do Brasil*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 11/03/2024.

- IDE-SISEMA - **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 09/01/2024.
- JIAN, S.U.N., YU, L.I.U., TIANCAI, Z.H.O.U., GUOHUA, L.I.U., JINGSHENG, W.A.N.G. Soil conservation service on the Tibetan Plateau. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, v.109, n.3-4, p.445-451. 2018.
- MACÊDO, J.A.B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química, 2003. 601p.
- MARCIANO, A. G.; SILVA, L. F.; SILVA, A. P. M. Diagnóstico das nascentes da bacia hidrográfica do córrego do Vargedo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.3, p.330-342, 2016.
- MONTANARELLA, L., PENNOCK, D. J., MCKENZIE, N., BADRAOUI, M., CHUDE, V., BAPTISTA, I.; VARGAS, R. World's soils are under threat. **Soil**, v.2, n.1, p.79-82. 2016.
- NASCIMENTO, P.C.; LANI, J.L.; ZOFFOLI, H.J.O. Caracterização, classificação e gênese de solos hidromórficos em regiões litorâneas do Estado do Espírito Santo. **Científica**, v. 41, n.1, p.82-93, 2013.
- PINTO, L. V. A.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 197-206, 2004.
- PINTO, L.V.A.; ROMA, T.N. de; BALIEIRO, K.R.C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Revista Cerne**, v.18, n. 3, p. 495-505, 2012.
- PORFÍRIO, N. B., FONSECA, A. R., FONSECA, A.P. Awareness of Rural Producers Regarding the LR and PPA in Divinópolis, MG, Brazil. **FLORAM - Floresta e Ambiente**, v.25, n.2, p.1-9, 2018.
- RESENDE, H.C., MENDES, D.R., MENDES, J.E.D.G., BERNARDES, W.A. Diagnóstico e ações de conservação e recuperação para as nascentes do Córrego-Feio, Patrocínio, MG. **Bioscience Journal**, v.25, n.5, p.112- 119, 2009.
- RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 6ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. 546p.
- ROCHA R.R.C. **Análise das limitações do Direito na solução de conflitos ambientais: a aplicação de sistemas de informações geográficas a processos judiciais**. Dissertação (Mestrado). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009.
- ROCHA, B.F., FONSECA, A.R.; SOUSA, F.F. Análise Macroscópica e Parâmetros Microbiológicos de nascentes da área urbana de Cláudio, Minas Gerais, Brasil. **Conexão Ciência**, v.12, n.3, p.17-33, 2017.
- RODRIGUES, A.B.M., GIULIATTI, N.M., PEREIRA JÚNIOR, A. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Brazilian Applied Science Review**, v.4, n.1, p.333-369, 2020.
- SANTOS, D. R. C. da S.; SANTOS, V. C. dos. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade da água em nascentes localizadas na Vila Bananeira, Arapiraca-AL. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 481- 498, 2021.
- SANTOS, A.G.S.; MORAES, L.R.S.; NASCIMENTO, S.S.A.M. Qualidade da Água Subterrânea e Necrochorume no Entorno do Cemitério do Campo Santo em Salvador/BA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, n.3, v.1, p.39-60, 2015.
- SANTOS, A.G. et al. Impactos macroscópicos e qualidade da água das nascentes urbanas do município de Passos – MG. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.4, n.2, p.2083-2098, 2021.
- SILVA, L.K.T. et al. Problemática ambiental em Nascentes Potiguares: subsídios e projetos de Educação Ambiental para recuperação de áreas degradadas. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, v.14, n.2, p 661-675, 2021.
- SOUZA, M. N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SOUZA, K.I.S.D., CHAFFE P.L.B., CARVALHO PINTO, C.R.S.D., NOGUEIRA, T.M.P. Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n.1, p. 76-86, 2019.

TEODORO, V.L.I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.J.L.; FULLER, B.B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, n.11, v1., p. 137-156, 2007.