

Desenvolvimento e Aplicação de um Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes

Development and Application of a Protocol for the Environmental Assessment of Springs

Mirella Nazareth de Mouraⁱ
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil

Miguel Fernandes Felipeⁱⁱ
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora, Brasil

Resumo: Ainda que as nascentes sejam importantes sistemas ambientais, a academia ainda carece de bases metodológicas robustas e concisas o suficiente para compreendê-las e protegê-las. Portanto, através de uma consulta a um painel Delphi, este artigo constrói uma metodologia baseada nas ferramentas da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), propondo um percurso metodológico de aplicação de um índice de avaliação ambiental de nascentes integrado, qualitativo, acessível, sistêmico e holista. Esta proposta metodológica foi aplicada em duas nascentes dentro do campus da Universidade Federal de Juiz de Fora e os resultados indicam que a metodologia é eficiente, apresentando a possibilidade de não apenas categorizar as nascentes, mas também sendo capaz de apontar suas deficiências no ponto de vista de uma gestão integrada.

Palavras-chave: Qualidade Ambiental; Indicadores Ambientais; Proposta Metodológica; Geomorfologia Ambiental; Gestão Ambiental.

Abstract: Although springs are crucial environmental systems, the academic community still lacks robust and concise methodological foundations to understand and protect them. Therefore, through a Delphi panel consultation, this article constructs a methodology based on OECD tools, proposing a methodological approach for applying an integrated, qualitative, accessible, systemic, and holistic environmental assessment index for springs. This methodological proposal was applied to two springs within the campus of the Federal University of Juiz de Fora, and the results indicate that the methodology is effective, not only enabling the categorization of springs but also identifying their deficiencies from the perspective of integrated management.

ⁱ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. mirellanm92@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-7552-0006>

ⁱⁱ Professor Adjunto do Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora. miguel.felippe@ich.ufjf.br. <https://orcid.org/0000-0002-0261-4298>

Keywords: Environmental Quality; Environmental Indicators; Methodological Proposal; Environmental Geomorphology; Environmental Management.

Introdução

A importância das nascentes para a sociedade é indubitável, tendo em vista seu papel na manutenção dos fluxos dos rios e córregos, inclusive em períodos secos (FELIPPE e MAGALHÃES Jr., 2009), configurando ambientes singulares e heterogêneos, dotados de funções geomorfológicas, hidrológicas, ecológicas e sociais. Todavia, além da insuficiência legal que tange a proteção das nascentes (CARMO *et al.*, 2014), estudos acerca desses sistemas ambientais ainda são escassos (STEVENS *et al.*, 2021), portanto muitos tópicos sobre este tema ainda se encontram turvos e sem resposta, não apenas pela complexidade dessa problemática, mas também pela carência de bases teóricas e metodológicas deste assunto.

Para Felipe e Magalhães Jr. (2013), ainda que existam esforços para corroborar com o estudo de nascentes *per se*, muitos deles são monotemáticos, impossibilitando a integração dos vários elementos do sistema ambiental e impedindo de se promover uma relação entre eles. Com isso, há um comprometimento da nascente enquanto *holos*, de uma totalidade complexa, o que limita o conhecimento a respeito de sua qualidade ambiental e integridade.

Como demonstrado por Springer e Stevens (2009), Felipe e Magalhães Jr. (2014), Stevens *et al.* (2021), Felipe (2013), entre outros, a compreensão da estrutura e funcionalidade das nascentes é, por si só, complexa. Quando se envereda pela (des)organização e (des)harmonia desses sistemas, as agruras se tornam ainda mais profundas. De um modo geral, os trabalhos realizados a respeito da qualidade ambiental das nascentes envolvem de forma reducionista descrições fisiográficas e hidrológicas de algumas nascentes, avaliações de impactos/danos ambientais (principalmente através do estudo de qualidade da água) e propostas de recuperação e ou proteção de nascentes.

Entretanto, deve-se ressaltar algumas colaborações para os estudos de qualidade ambiental de nascentes, que foram fundamentais para nortear este trabalho. Almejando-se o diagnóstico dos impactos ambientais de nascentes, foi adaptado por Gomes *et al.* (2005) o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), entendido como uma ferramenta interpretativa da qualidade ambiental que permite diagnosticar as perturbações ambientais em determinada nascente.

Pinto (2019) desenvolveu o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua). Segundo o autor, O PANÁgua é proposto como ferramenta de subsídio aos processos de tomada de decisões acerca da gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas, objetivando avaliar e monitorar, integralmente, as condições ambientais de nascentes e áreas de entorno, determinando seu estado de conservação, através da valoração e ponderação de parâmetros e indicadores que abrangem todos os fatores que influenciam essas condições.

Tendo em vista a escassez de técnicas específicas para avaliação de nascentes, ferramentas desenvolvidas para cursos d'água são, frequentemente, utilizadas com adaptações. Ressalta-se aqui o Protocolo de Avaliação Rápida adaptado por Callisto *et al.*

(2002) recorrentemente utilizado para diagnóstico de rios e ambientes fluviais, através da avaliação da água e dos sedimentos, que também pode ser aplicado em nascentes realizando-se alguns ajustes necessários, conforme Moura *et al.* (2016) e Toledo *et al.* (2019). Já Pinto, Roma e Balieiro (2012) propuseram avaliar o impacto de diferentes usos do solo sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas da água de nascentes. Para tal, os autores fizeram uso do IQA (Índice de Qualidade da Água).

Baseando-se nas propostas metodológicas já existentes supracitadas, percebe-se que há um vício em se preconizar o fator ambiental “água” em detrimento dos demais. Outrossim, diversas tentativas recaem em simplificações estatísticas que em vez de clarificar a questão para a gestão ambiental, somente deixam-na mais turva. O ponto de partida escolhido para a superação desses hiatos está na compreensão da nascente enquanto uma totalidade sistêmica complexa, dotada de uma organização própria em constante troca de matéria e energia com os sistemas biológico, físico e sócio-econômico-cultural adjacentes. Isso implicaria em realizar um estudo que abrangesse as particularidades que envolvem as nascentes, visando a contribuição para uma eficaz gestão e planejamento desses recursos hídricos.

Deste modo, este artigo objetiva apresentar uma ferramenta de avaliação ambiental de nascentes, intitulado Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes (PAAN), e aplicá-lo em um recorte espacial pré-definido para validação dos seus resultados. Os elementos que contribuem para que essa nova ferramenta seja original e inédita, são a complexidade, heterogeneidade e interdisciplinaridade. Portanto, este protocolo conta com variáveis ambientais de naturezas diversas, traduzidas na forma de indicadores ambientais abrangentes e sintéticos.

Materiais e Métodos

No intuito de avaliar a qualidade ambiental das nascentes, esta pesquisa antevê a elaboração de um índice capaz de converter uma série de dados técnicos em uma informação de linguagem sucinta e inteligível, como sugerido por Lopes (2012). Ademais, segundo Felipe (2013), para uma proteção eficaz das nascentes é necessário conhecê-las, compreender suas características, seu comportamento e sua gênese. É por isso, que antes da avaliação propriamente dita das nascentes, é aplicado um protocolo de caracterização dessas, onde as informações podem ser coletadas em campo ou via geoprocessamento. Esse protocolo de caracterização é uma peça-chave para um melhor entendimento acerca da dinâmica da nascente, facilitando posteriormente na interpretação dos resultados da avaliação dessas e, conseqüentemente, em uma melhor tomada de decisão.

Assim, o arcabouço metodológico do PAAN perpassa a definição dos parâmetros de avaliação ambiental fundamentais para o diagnóstico das nascentes, a integração matemática desses parâmetros na arquitetura do índice e a aplicação do protocolo, em si, para sua validação.

Levantamento dos Parâmetros de Avaliação

A escolha dos parâmetros utilizados pautou-se no trabalho prévio de Moura e Felipe (2022), o qual se utilizou de uma consulta a especialistas pela técnica Delphi¹.

Após duas rodadas de compilação da opinião de pesquisadores com lastro acadêmico na temática, foram eleitos os indicadores apresentados nos Quadros 1 e 2. Durante o processo de consulta, para fins sistemáticos, os parâmetros foram agrupados em quatro categorias: a) parâmetros que refletiam as características estruturais do sistema nascente, atrelados ao reconhecimento e caracterização básica da mesma; b) parâmetros de pressão; c) parâmetros de estado; d) parâmetros de resposta. Essa categorização coaduna com os preceitos do modelo Estado-Pressão-Resposta (E-P-R) (LEVREL *et al.*, 2009); (OCDE, 1993); (ARIZA, NETO, 2010).

Em linhas gerais, este método E-P-R leva em conta que ações antrópicas desempenham determinadas pressões (P) no meio ambiente, acarretando em possíveis mudanças no estado (E) do meio ambiente, podendo alterar, negativamente, a qualidade do mesmo. Assim, cabe à sociedade responder (R) a essas mudanças, através de políticas ambientais, econômicas e programas para reduzir ou mitigar danos causados (ARIZA, NETO, 2010); (OCDE, 1993); (RAMOS, 1997).

Quadro 1 – Parâmetros indicados para a caracterização da nascente.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DA NASCENTE
Profundidade do solo
Tipo de uso e ocupação da terra na APP da nascente
Tipo de uso e ocupação da terra na bacia de contribuição
Geologia da bacia de contribuição
Vazão da nascente
Declividade do canal de primeira ordem
Usos da água da nascente
Morfologia da nascente
Tipo de exfiltração

Quadro 2 – Parâmetros indicados de Pressão, Estado e Resposta.

PARÂMETROS DE PRESSÃO	PARÂMETROS DE ESTADO	PARÂMETROS DE RESPOSTA
Acesso de pessoas, animais domésticos e criações à nascente	Arsênio total na água	Articulação entre população e entidades de regulação
Degradação na APP da nascente	Chumbo total na água	Combate e/ou controle de processos erosivos na APP
Degradação na bacia de contribuição da nascente	Cloreto total na água	Combate e/ou controle de processos erosivos na bacia de contribuição
Assoreamento na nascente	Coliformes termotolerantes na água ²	Combate e/ou controle de processos erosivos na bacia de contribuição
Erosão acelerada na bacia de contribuição	Coliformes termotolerantes na água ³	Combate e/ou controle de processos erosivos na bacia de contribuição
Lixo na APP da nascente	Coliformes termotolerantes na água ⁴	Combate e/ou controle de processos erosivos na bacia de contribuição
Lixo na bacia de contribuição	Eutrofização da água (neste trabalho, medido através do fósforo na água)	Combate e/ou controle de processos erosivos na bacia de contribuição
Nível de dificuldade de acesso à nascente	Fósforo total na água	Existência de algum cuidador da nascente
Registro de queimadas na APP nascente	Materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais na água	Existência de programas/projetos do governo para a proteção/recuperação das nascentes
Registro de queimadas na bacia de contribuição	Mercúrio na água	Existência de programas de educação ambiental voltados para a população que utiliza a água das nascentes
Presença de estruturas de captação (barramento, desvio) com ou sem outorga	Nitrogênio total na água	Garantia de informações à população sobre a qualidade da água para consumo humano e os riscos à saúde associados à mesma
Intervenções diretas com modificação das características morfológicas da nascente	OD na água	Cercamento da nascente para a sua proteção
	Óleos e graxas na água	Localização (unidade de conservação, propriedade particular ou livre acesso)
	PH da água	
	Turbidez da água	
	Percentual de área de vegetação nativa na APP da nascente	
	Percentual de área de vegetação nativa na área da bacia de contribuição	

Os parâmetros de caracterização das nascentes foram colocados à parte na elaboração do índice, sendo considerados elementos estruturais do sistema ambiental, que não denotam qualidade. Por outro lado, são de primeira importância na compreensão da dinâmica desses sistemas, por isso, constituem um background imprescindível para a compreensão da qualidade ambiental das nascentes.

Integração dos Parâmetros

Considerando a natureza dos indicadores selecionados, a melhor alternativa para o tratamento estatístico dos dados seria a análise estatística qualitativa, a partir da cons-

trução de matrizes bidimensionais, onde os parâmetros foram cruzados em pares, para posterior análise combinatória. A seleção da técnica de cruzamentos em matrizes qualitativas bidimensionais foi inspirada em diversos trabalhos que se utilizam de ferramentas similares para integração de dados discretos ou discretizados, como Ross (1994), Freitas *et al.* (2007), Felipe e Magalhães Jr. (2009), Silva *et al.* (2011), Santos e Tessari (2012), Costa *et al.* (2017) e Piekarski e Torkomian (2019).

Sob esses preceitos, os quatro parâmetros de cada classe (pressão, estado e resposta) mais recomendados na consulta a especialistas realizada por Moura e Felipe (2022) foram utilizados.

Primeiramente, cada parâmetro teve suas possíveis respostas categorizadas hierarquicamente em três níveis discretos: 1 – indicador de qualidade ambiental ruim; 2 – indicador de qualidade ambiental média; 3 – indicador de boa qualidade ambiental. A definição das classes baseou-se nos marcos normativos e referenciais bibliográficos sobre a temática e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros mais recomendados pelos especialistas, categorizados hierarquicamente.

PARÂMETROS	CATEGORIAS HIERÁRQUICAS*			REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO
Assoreamento na nascente (A)	1. RUIM Muito material agradacional (< 70% da área da nascente)	2. MÉDIO Quantidade mediana de material agradacional (30-70% da área da nascente)	3. BOM Pouco material agradacional (>30% da área da nascente)	Sugerido pelos autores
Degradação da APP da nascente (B)	1. RUIM Muito degradada (< 70% da área degradada)	2. MÉDIO Medianamente degradada (30-70% da área degradada)	3. BOM Pouco degradada (> 30% da área degradada)	Sugerido pelos autores
Acesso de pessoas, animais domésticos e criações na nascente (C)	1. RUIM Constante	2. MÉDIO Pouco constante	3. BOM Raro	Sugerido pelos autores
Intervenções diretas com modificações das características morfológicas da nascente (D)	1. RUIM Muitas intervenções	2. MÉDIO Médias intervenções	3. BOM Poucas intervenções	Sugerido pelos autores
Morfodinâmica da nascente (AB)	1. RUIM Intensa	2. MÉDIO Moderada	3. BOM Fraca	Sugerido pelos autores
Contato com a nascente (CD)	1. RUIM Intenso	2. MÉDIO Moderado	3. BOM Fraco	Sugerido pelos autores
Coliformes termotolerantes na água (E)	1. RUIM < 100 UFC	2. MÉDIO 0-100 UFC	3. BOM 0 UFC	CONAMA, n. 274/2000

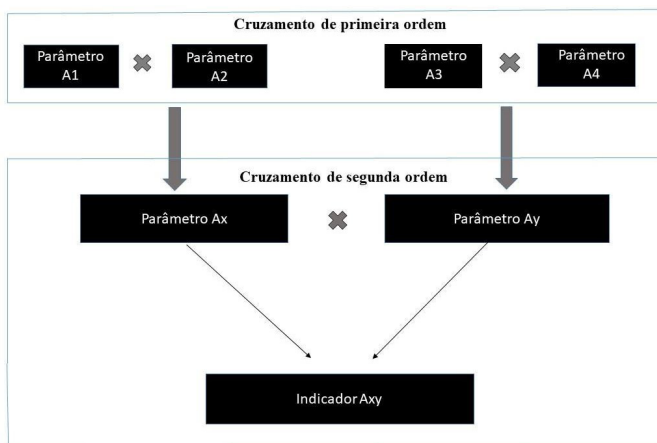
PARÂMETROS	CATEGORIAS HIERÁRQUICAS*			REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO
DBO na água (medida através do Oxigênio na água) (F)	1. RUIM > 2mgL O ₂	2. MÉDIO 2-5 mgL O ₂	3. BOM >5 mgL O ₂	CONAMA, n. 357/2005
Eutrofização na água (Substituída pelo Chumbo na água) (G)	1. RUIM ≥ 0,033 mg/L Pb	2. MÉDIO 0,01-0,033 mg/L Pb	3. BOM ≤0,01 mg/L Pb	CONAMA, n. 357/2005
Óleos e graxas na água (H)	1. RUIM Presente	2. MÉDIO Iridescência	3. BOM Ausente	CONAMA, n. 357/2005
Poluição microbiológica na nascente (EF)	1. RUIM Intensa	2. MÉDIO Moderada	3. BOM Fraca	Sugerido pelos autores
Poluição bioquímica na nascente (GH)	1. RUIM Intensa	2. MÉDIO Moderada	3. BOM Fraca	Sugerido pelos autores
Existência de programas de Educação Ambiental voltados para a população que utiliza nascentes (I)	1. RUIM Poucos programas	2. MÉDIO Média quantidade de programas	3. BOM Muitos programas	Sugerido pelos autores
Articulação entre população e entidades de regulação (J)	1. RUIM Inexistente	2. MÉDIO Pouco vigente	3. BOM Vigente	Sugerido pelos autores
Existência de projetos e/ou programas do governo para a proteção e ou recuperação de nascentes (K)	1. RUIM Inexistente	2. MÉDIO Pouco vigente	3. BOM Vigente	Sugerido pelos autores
Combate e/ou controle de processos erosivos na APP (L)	1. RUIM Inexistente	2. MÉDIO Pouco vigente	3. BOM Vigente	Sugerido pelos autores
Governança (IJ)	1. RUIM Rara	2. MÉDIO Pouco vigente	3. BOM Vigente	Sugerido pelos autores
Recuperação ambiental de nascentes (KL)	1. RUIM Rara	2. MÉDIO Pouco vigente	3. BOM Vigente	Sugerido pelos autores

* Para determinados parâmetros não foram encontradas referências confiáveis e aplicáveis à realidade deste estudo, seja na literatura científica ou nos marcos normativos. Por conta disso, optou-se por recomendar tais intervalos.

De posse dos 12 parâmetros, eles foram organizados em pares dentro de cada classe (pressão, estado, resposta) para efetivação do cruzamento matricial (matriz 3x3). Este processo foi denominado como cruzamento de primeira ordem (Figura 1). Os resultados do cruzamento de primeira ordem foram apresentados hierarquicamente por categorias discretas: 1 (ruim); 2 (médio); e 3 (bom) (Quadro 3). Posteriormente, os dois parâmetros resultantes dos cruzamentos anteriores foram novamente cruzados entre si (cruzamento de segunda ordem), dando origem a um indicador para cada classe de parâmetros, tido como o produto dos cruzamentos matriciais. Os cruzamentos de segunda ordem foram realizados com as respostas das matrizes dos cruzamentos de primeira ordem, novamente em matrizes 3x3. Porém, para uma maior resolução do indicador sintético (saída

da matriz), optou-se pela resposta em cinco categorias hierárquicas: nível 1 – péssimo; nível 2 – ruim; nível 3 – médio; nível 4 – bom; nível 5 – excelente. O Quadro 3 ilustra os cruzamentos de primeira ordem (A1 x A2 e A3 x A4) e o cruzamento de segunda ordem (Ax x Ay).

Figura 1 – Cruzamento dos pares de parâmetros em níveis de integração.



Após o cruzamento de segunda ordem, originou-se o indicador final das integrações realizadas para cada classe. Dessa forma, ao final de todos os cruzamentos, obteve-se um indicador de pressão, um de estado e um de resposta; cada um representado por algarismos hierárquicos entre 1 (ruim) e 5 (ótimo).

Por fim, a integração desses três indicadores foi realizada seguindo o raciocínio da análise combinatória, que levou a 35 combinações (5 respostas em cada indicador, sem repetição). Cada um dos cinco níveis de resposta dos indicadores de pressão, estado e resposta foram combinados e apresentados na forma de três algarismos justapostos, de forma ordenada, do menor para o maior (Quadro 4).

Dessas 35 combinações, destaca-se que, dos possíveis resultados que o índice pode apresentar, uma nascente com a combinação 111 é o pior cenário possível de qualidade, assim como a combinação 555 é a melhor possibilidade de qualidade ambiental.

A leitura do resultado do índice, na forma dos três indicadores justapostos, permite ao pesquisador compreender de modo mais profundo a qualidade da nascente do que um tradicional índice numérico, pois é possível retornar nos indicadores e averiguar qual deles merece atenção. Em última instância, colabora de forma mais profícua com a definição de estratégias de gestão para melhoria da qualidade ambiental das nascentes.

Quadro 3 – Matriz 3x3 dos cruzamentos de primeira ordem, com resultado em três categorias e cruzamentos de segunda ordem, com resultado em cinco categorias.

Parâmetro A2 e Parâmetro A4	Parâmetro A1 e A2			
		3	2	1
	3	3	2	2
	2	2	2	1
	1	2	1	1
Parâmetro Ax	Parâmetro Ay			
		3	2	1
	3	5	4	3
	2	4	3	2
	1	3	2	1

Quadro 4 – As 35 possíveis respostas hierarquizadas.

111	122	134	222	234	333	355
112	123	135	223	235	334	444
113	124	144	224	244	335	445
114	125	145	225	245	344	455
115	133	155	233	255	345	555

Roteiro de Aplicação do PAAN

O Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes (PAAN) pode ser aplicado em seis etapas, incluindo um protocolo acessório de caracterização das nascentes avaliadas (Figura 2).



Figura 2 – Percursos metodológicos para a aplicação do PAAN.

O levantamento dos dados deverá ser realizado de quatro diferentes formas, dependendo da natureza dos mesmos: geoprocessamento, análise laboratorial, levantamento de campo e análise documental, conforme recomendado no Quadro 5. Ressalta-se que há liberdade metodológica para escolha da técnica a ser empregada para determinação de cada parâmetro, em respeito às questões logísticas e financeiras associadas.

Quadro 5 – Parâmetros de caracterização e avaliação e suas respectivas formas de coleta.

PROTOCOLO DE CARACTERIZAÇÃO	
Parâmetros	Técnicas
Tipo de uso e ocupação da terra na APP	Geoprocessamento
Tipo de uso e ocupação da terra na Bacia de contribuição	Geoprocessamento
Litologia da Bacia de contribuição	Geoprocessamento
Litologia do aquífero da nascente	Geoprocessamento
Declividade do canal de primeira ordem	Geoprocessamento
Profundidade do solo	Levantamento em campo
Vazão da nascente	Levantamento em campo
Usos da água da nascente	Levantamento em campo
Morfologia da nascente	Levantamento em campo
Tipo de exfiltração	Levantamento em campo
Mobilidade da nascente	Levantamento em campo
Sazonalidade das nascentes	Levantamento em campo
PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO	
Parâmetros	Técnicas
Degradação na APP da nascente* (B)	Geoprocessamento
Coliformes termotolerantes na água (E)	Análise laboratorial
Eutrofização na água* (substituída pelo chumbo na água) (G)	Análise laboratorial
DBO na água**(oxigênio dissolvido) (F)	Análise laboratorial
Óleos e graxas na água (H)	Levantamento em campo
Intervenções diretas com modificação das características morfológicas da nascente (D)	Levantamento em campo
Acesso de pessoas, animais domésticos e criações à nascente (C)	Levantamento em campo
Existência de programas de educação ambiental voltados para a população que utiliza nascentes (I)	Levantamento em campo
Assoreamento na nascente (A)	Levantamento em campo
Existência de programas/projetos do governo para a proteção/recuperação das nascentes (K)	Levantamento em campo
Articulação entre população e entidades de regulação (J)	Levantamento em campo
Combate e – ou controle de processos erosivos na APP (L)	Levantamento em campo

* Tendo-se em vista a dificuldade em se encontrar, dentro do prazo disponível, laboratórios que disponibilizassem os ensaios de DBO, apenas para esta pesquisa, única e exclusivamente para não comprometer, totalmente, a verificação da aplicabilidade do índice, optou-se por substituí-lo pelo parâmetro OD. Salienta-se que a escolha por substituir o OD pela DBO, deu-se, primeiramente, pelo fato de que os painelistas mantiveram este parâmetro para a segunda rodada do Delphi, e, segundo, pelo fato de que OD e DBO possuem uma estreita relação, pois a DBO, configura-se, em linhas gerais, como a quantidade de oxigênio utilizada na oxidação bioquímica da matéria orgânica. Dessa forma, a mensuração da quantidade de oxigênio consumido no processo biológico de oxidação da matéria orgânica permite concluir que grandes quantidades

de matéria orgânica utilizam grandes quantidades de oxigênio, assim, quanto maior o grau de poluição, maior a DBO e menor o OD. Visto isso, o parâmetro OD foi analisado por intermédio de uma sonda, cujo eletrodo é capaz de mensurar a quantidade de oxigênio dissolvido existente na água a ser analisada.

** A mesma dificuldade supracitada também foi observada nas análises do parâmetro Eutrofização, optou-se por substituí-lo pelo parâmetro “Chumbo na água”, primeiro, por esse parâmetro ter sido o quinto mais votado entre os disponibilizados entre os painelistas, com uma porcentagem de inclusão de 42,30% e, segundo, por existirem laboratórios que pudessem disponibilizar, em tempo hábil, ensaios de Chumbo Total na água.

No que diz respeito aos três parâmetros analisados em laboratório (Coliformes Termotolerantes, OD e Chumbo na água), é válido destacar quais métodos laboratoriais foram utilizados para a análise desses. Para os Coliformes Termotolerantes foi utilizado a cartela microbiológica Colipaper, que consiste na combinação de dois substratos cromogênicos (Salmon-GAL e X – glicuronídeo) (VILLELA *et al.*, 2010). A cartela após emergida na água, deve ser levada à estufa por 15 horas a temperatura de 36-37°C. Após 15 horas de incubação, deve-se realizar a contagem das colônias.

Para o OD da água, esse foi medido com o auxílio de um oxímetro. Por fim, o Chumbo na água foi analisado à luz dos métodos da USP (US Pharmacopeia), que vem abordando em suas diretrizes o uso de espectrometria de emissão ótica por plasma indutivamente acoplado e espectrometria de massas por plasma indutivamente acoplado

Uma vez que os parâmetros listados acima foram levantados e devidamente categorizados em suas respectivas classes hierárquicas (1, 2 ou 3, respectivamente, ruim, médio e bom), o próximo passo é o cruzamento de primeira e segunda ordem desses parâmetros. Os parâmetros oriundos do cruzamento de primeira ordem formam o cruzamento de segunda ordem e fornecem o indicador final de cada classe.

O Quadro 6 ilustra os dois cruzamentos, mostrando a integração dos quatro parâmetros de entrada, que irão dar origem ao indicador final.

Quadro 6 – A integração estatística dos quatro parâmetros de cada categoria, seus cruzamentos e seu indicador final.

Categoria / Parâmetros	Cruzamentos 1ª ordem	Cruzamento 2ª ordem	Indicador (Cruzamento entre os dois parâmetros de 2ª ordem)
PRESSÃO (P)	Assoreamento na nascente (A)	Morfodinâmica da nascente (AB)	Indicador de Pressão
	Degradação na APP da nascente (B)		
	Acesso de pessoas, animais domésticos e criações à nascente (C)	Contato com a nascente (CD)	
	Intervenções diretas com modificação das características morfológicas da nascente (D)		
ESTADO (E)	Coliformes Termotolerantes na água (E)	Poluição microbiológica na nascente (EF)	Indicador de Estado
	DBO na água (oxigênio dissolvido) (F)		
	Eutrofização na água (Chumbo na água) (G)	Poluição bioquímica na nascente (GH)	
	Óleos e graxas na água (H)		
RESPOSTA (R)	Existência de programas de educação ambiental voltados para a população que utiliza nascente (I)	Governança (IJ)	Indicador de Resposta
	Articulação entre população e entidades de regulação (J)		
	Existência de programas/projetos do governo para a proteção/recuperação das nascentes (K)	Recuperação ambiental das nascentes (KL)	
	Combate e – ou controle de processos erosivos na APP (L)		

Etapa 1: Preenchimento do Protocolo de Caracterização de Nascentes

Uma vez que foram adquiridos os dados necessários para a caracterização das nascentes, passa-se à coleta das características intrínsecas a cada nascente. Idealmente, deve vir acompanhado de uma compreensão da estrutura e dinâmica do sistema, agrupando as nascentes estudadas por suas similaridades ou especificidades, podendo-se basear nas tipologias de Bryan (1919), Springer e Stevens (2009) e Felipe e Magalhães Jr. (2014).

Deve-se ressaltar que, para este trabalho, adotou-se a tipologia de Felipe e Magalhães Jr. (2014), devido ao seu cunho hidrogeomorfológico. Todavia, as tipologias de Bryan (1919), Springer e Stevens (2009), também podem ser aplicadas, caso as pesquisas sejam de cunho geológico e ecológico, respectivamente.

Etapa 2: *Preenchimento do Protocolo de Avaliação de Nascentes*

Tendo-se o levantamento dos dados necessários para a avaliação ambiental das nascentes, esta etapa visa utilizá-los no preenchimento do protocolo de avaliação das mesmas. Ressalta-se a importância da coerência metodológica; uma vez que as nascentes do universo amostral serão comparadas, é imprescindível que os dados de cada parâmetro do protocolo de avaliação sejam coletados pela mesma técnica, sob condições sazonais similares.

Etapa 3: *Categorização dos Parâmetros de Avaliação Ambiental*

A categorização dos parâmetros de avaliação ambiental será realizada a partir da criação de três classes hierárquicas (nível 1, nível 2 ou nível 3). Dados quantitativos podem ser categorizados pelas técnicas tradicionais da estatística (quebra natural, quartil, intervalos iguais etc.), já os dados qualitativos devem ser categorizados por similaridade (ver Tabela 1).

Etapa 4: *Cruzamento dos 12 Parâmetros*

Esta etapa consiste nos cruzamentos de primeira e segunda ordem dentro de cada classe de parâmetros. Os quatro parâmetros de entrada de cada categoria (P-E-R) devem ser pareados em uma matriz 3x3.

Etapa 5: *Integração dos Indicadores*

Uma vez que se tem em mãos os resultados de cada um dos indicadores, é necessário integrá-los. Baseado na análise combinatória, a justaposição em ordem crescente dos algoritmos que representam dos indicadores setorizados definirá a resposta do índice.

Etapa 6: *Monitoramento e Avaliação Periódica*

Considerando que as iniciativas de diagnóstico ambiental se configuram em uma espécie de fotografia, restritas a um tempo-espaço, aconselha-se monitoramento periódico das nascentes, especialmente abarcando as estações seca e chuvosa. Quanto maior a periodicidade do monitoramento, maior o grau de detalhamento acerca da dinâmica ambiental da nascente.

Resultados e Discussão

Área de Estudo para Aplicação do Teste da Metodologia

As nascentes estudadas neste trabalho se encontram no *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), localizado no município homônimo, com clima Cwa e Cwb – Tropical de Altitude (Köppen – Geiger (1846/1940), atualizado por Kottek *et al.* (2006).

Para Heilbron *et al.* (2004), o relevo de Juiz de Fora insere-se na Faixa Ribeira, no sistema orogênico denominado Província Mantiqueira (terreno ocidental, nos limites do sistema de planaltos centro-sul mineiro), desenvolvido durante a Orogenia Neoproterozoica Brasileiro-Pan Africana (Ciclo Brasileiro). Em relação à geologia o município situa-se no Domínio Juiz de Fora (terreno ocidental), onde ocorre uma intercalação entre as rochas do embasamento Complexo Juiz de Fora e os metassedimentos neoproterozoicos da Megassequência Andrelândia (advindos de uma associação de gnaisses de origem sedimentar), sendo ambos metamorizados em fácies granulito gnaissificados (TUPINAMBÁ *et al.*, 2007; EIRADO *et al.*, 2006).

As nascentes do *campus* são alimentadas por sistemas aquíferos granulares e fissurais, com comunicação dinâmica entre a cobertura granular superficial, associada aos mantos de interação e aos depósitos colúviais e o aquífero fissural sotoposto (MOURA, FELIPPE, 2022).

O processo de construção do campus resultou em um relevo antropogênico com topos aplainados e recortados para a fundação de edificações e construções atreladas às necessidades da instituição (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Originalmente, o relevo local constituía-se de morros e morrotes⁵ de vertentes retilíneas a convexas, com cabeceiras bem demarcadas em anfiteatros e canais de primeira ordem com leito elúvio-colúvial. Oliveira *et al.* (2013) identificaram um total de 27 nascentes localizadas dentro do campus da UFJF, que possui uma área de 1.346.793,80 m². Sete anos depois, Moura (2020) acrescentou mais três nascentes ao desenho amostral, somando-se, assim, 30 nascentes identificadas. A Figura 3 espacializa as 30 nascentes identificadas e as Figuras 4 e 5 ilustram-nas.

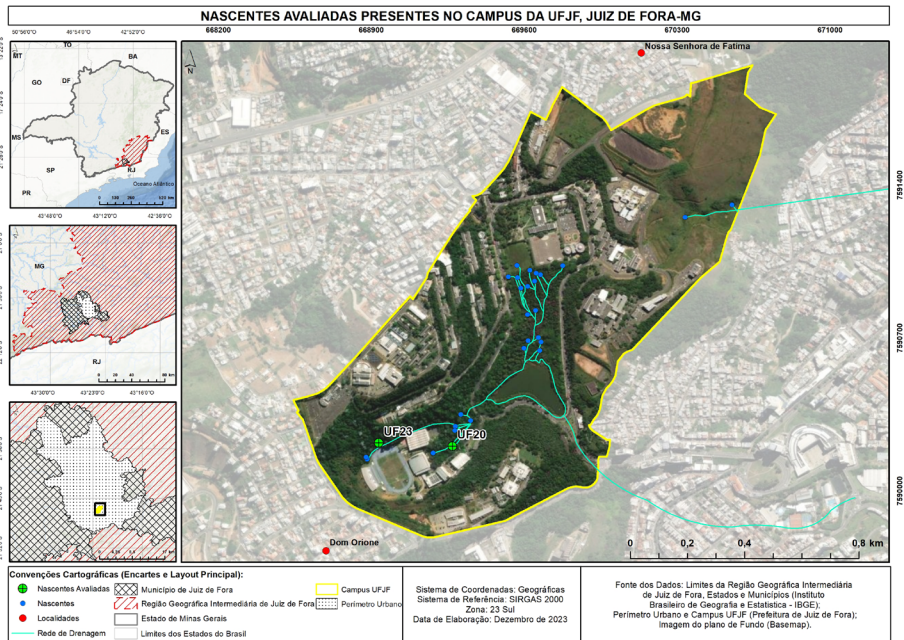


Figura 3 – Nascentes avaliadas dentro do *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora.



Figura 4 – UF20. 4A – Vista o mais a montante possível da nascente. Por ela ser difusa, forma um pequeno brejo, de difícil acesso. 4B, C e D – Poucos metros depois de sua exfiltração, sua morfologia é alterada, passando a drenar em uma canaleta, até desaguar no canal principal, a sua jusante.

Fotos: Acervo dos autores

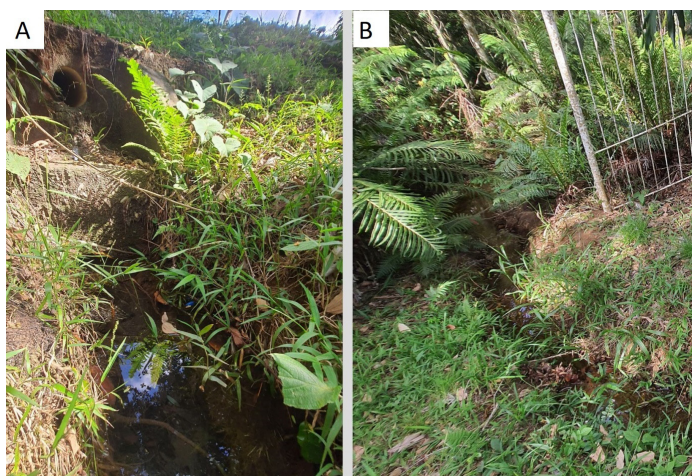


Figura 5 – UF23. 5A – Nascente difusa, em uma pequena depressão. Detalhe para a manilha a montante. Esta manilha drena águas pluviais da margem direita do canal principal. A água oriunda dessa manilha degrada a nascente, não só alterando as características físico-químicas da nascente, mas também sua morfologia. 5B – Vista para o canal que a nascente difusa forma antes de conectar ao canal principal.

A Aplicação do PAAN

Dentre as 30 nascentes mapeadas previamente por Oliveira *et al.* (2013) e Moura (2020) no campus da UFJF, duas foram escolhidas para testar o PAAN. Seguindo o percurso metodológico sugerido na Figura 3, iniciou-se pela aplicação do protocolo de caracterização das nascentes, cujos resultados são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Caracterização das duas nascentes do *campus* da UFJF.

Parâmetros de caracterização	UF20*	UF23
Profundidade do solo e das coberturas superficiais	Pouco profunda	Rasa
Tipos de uso e ocupação da terra na APP da nascente e na bacia de contribuição	Áreas especiais	Áreas especiais
Litologia da bacia de contribuição das nascentes	(Silimanita) – Granada- -Biotita Gnaiss, Rocha Calcissilicática, Anfibolito e Gondito	(Silimanita) – Granada- -Biotita Gnaiss, Rocha Calcissilicática, Anfibolito e Gondito
Litologia do aquífero da nascente	Livre – Granular	Livre – Granular
Vazão da nascente	Sexta magnitude	Sexta magnitude
Declividade do canal de primeira ordem	Baixa	Média
Usos da água da nascente	Abastecimento público	Abastecimento público
Morfologia da nascente	Canal	Concavidade
Tipo de exfiltração	Difusa	Difusa
Mobilidade da nascente	Fixa	Sem dados
Sazonalidade das nascentes	Perene	Sem dados

* Nascente drenada artificialmente por uma manilha de concreto ou por um cano.

Não apenas as duas nascentes avaliadas, mas todas as nascentes inseridas na área de estudo estão sobre o mesmo sistema aquífero granular-fissural, com comunicação dinâmica entre o manto de alteração, depósitos coluviais e o aquífero fissural sotoposto (Gnaiss). Assim, é comum observar o nível freático aflorando pela ruptura da permeabilidade entre a maior condutividade hidráulica do aquífero granular e a menor condutividade do aquífero fissural (COSTA, 2008; MOURA, FELIPPE, 2022).

Como o contexto da UFJF é uma grande cabeceira de drenagem, as zonas de recarga estão muito próximas das zonas de descarga. Com isso, o nível de base controla não apenas os processos geomorfológicos, mas também a ocorrência da exfiltração do nível freático em si nas rupturas de declive. Ademais, a morfologia dominada por segmentos côncavos faci-

lita o desencadeamento de fluxos rápidos e curtos, isso (acrescido ao fato de que o relevo do *campus* é fortemente marcado pela tecnogenia, com platôs, recortes e terraplanagens) facilita, e muito, o afloramento da água subterrânea (MOURA, FELIPPE, 2022).

A nascente UF20 é utilizada para abastecimento público. Ainda que sua exfiltração ocorra de maneira difusa, sua morfologia é em canal, fruto de uma intervenção antrópica, diretamente ligada ao seu uso. De acordo com Moura e Felipe (2022) esta nascente se enquadra na tipologia de Springer e Stevens (2009) como reocrena (nascentes fluidas, oriundas de um ou mais canais de transmissão, formam um fluxo concentrado).

A nascente UF23, apesar de também apresentar exfiltração difusa, apresenta uma dinâmica distinta, uma vez que se configura como uma área úmida em cobertura superficial espessa. Diante disso, Moura e Felipe (2022) caracterizam esta nascente como helocrena (que emergem de áreas úmidas de baixo gradiente, exfiltrando de aquíferos rasos e não confinados), segundo Springer e Stevens (2009).

De acordo com Moura e Felipe (2022) ambas as nascentes UF20 e UF23 podem ser consideradas como freáticas, ao se levar em conta a tipologia de Felipe e Magalhães (2014). Esse tipo de nascente demonstra uma dinâmica vulnerável à variação do nível freático, no aquífero granular – manto de intemperismo – sotoposto a um aquífero fissural. Com isso, a vazão média anual é baixa, tendendo a diminuir no inverno (diminuição da recarga pela ausência de chuvas). Como a exfiltração ocorre pela interceptação do nível freático pela superfície, essas nascentes são normalmente difusas, ocorrendo em concavidades no relevo que permitam esse contato com a água subterrânea.

Após o reconhecimento do *background* das nascentes pela aplicação do protocolo de caracterização, foi realizada a avaliação ambiental *stricto sensu* pela aplicação do PAAN. O resultado bruto dos parâmetros analisados é apresentado na Tabela 2, juntamente com a sua categorização. Também nesta mesma tabela são apresentados os cruzamentos de primeira e segunda ordem para integração dos indicadores de pressão, estado e resposta.

Tabela 2 – Aplicação do PAAN técnico nas nascentes UF20 e UF23 com suas respectivas pontuações recebidas.

Parâmetros	Nascentes	
	UF20	UF23
A	> 30% da área da nascente (3)	30-70% da área da nascente (2)
B	> 30% da área degradada (3)	30-70% da área degradada (2)
AB	3	2
C	Pouco constante (2)	Raro
D	Muitas intervenções (1)	Muitas intervenções (1)
CD	Muitas intervenções (1)	Algumas intervenções (2)
ABCD	3	3

Parâmetros	Nascentes	
	UF20	UF23
E	8000 UFC ml/l (1)	1600 UFC ml /l
F	3,36(2)	3,29 (2)
EF	1	1
G	0,00009 mgL (3)	0,00038 mgL (3)
H	Ausente (3)	Ausente
GH	3	3
EFGH	3	3
I	Poucos programas	Poucos programas
J	Inexistente	Inexistente
IJ	1	1
K	Pouco vigente	Pouco vigente
L	Inexistente	Inexistente
KL	1	1
IJKF	1	1

A = Assoreamento na nascente; **B** = Degradação na APP da nascente; **AB** = Morfodinâmica da nascente; **C** = Acesso de pessoas, animais domésticos e criações na nascente; **D** = Intervenções diretas com modificações das características morfológicas da nascente; **CD** = Contato com a nascente; **ABCD** = Indicador de Pressão; **E** = Coliformes termotolerantes na água; **F** = DBO (Oxigênio dissolvido) na água; **EF** = Poluição microbiológica na nascente; **G** = Eutrofização na água (Chumbo na água); **H** = Óleos e Graxas na água; **GH** = Poluição bioquímica da água; **EFGH** = Indicador de Estado; **I** = Existência de programas de Educação Ambiental voltados para a população que utiliza nascentes; **J** = Articulação entre população e entidades de regulação; **IJ** = Governança; **K** = Existência de projetos e/ou programas do governo para a proteção e/ou recuperação de nascentes; **L** = Combate e ou controle de processos erosivos na APP; **KL** = Recuperação ambiental das nascentes; **IJKL** = Indicador de Resposta.

Após a aplicação do PAAN, constatou-se que tanto a nascente UF20, quanto a UF23, formaram a combinação 133⁶. Sendo o indicador de resposta representado pelo algarismo 1, e os de pressão e estado, pelo algarismo 3. Dentre os parâmetros de resposta (Existência de programas de Educação Ambiental voltados para a população que utiliza nascentes; Articulação entre população e entidades de regulação, Existência de projetos e/ou programas do governo para a proteção e/ou recuperação de nascentes; Combate e ou controle de processos erosivos na APP), todos foram mal avaliados, ou seja, receberam pontuação 1. Conseqüentemente, para o cruzamento de primeira ordem, as notas 1, cruzadas entre si, mantiveram-se com o valor 1 (Conforme ilustrado no Quadro 3: Matriz 3x3). Portanto, ao final do cruzamento de primeira ordem, entre os dois pares, foram gerados dois novos parâmetros, com nota 1: Governança e Recuperação ambiental de nascentes. O próximo passo, o cruzamento de segunda ordem, consistiu no cruzamento

entre o parâmetro Governança e Recuperação ambiental de nascentes. Ambos já estavam com as notas 1, então, conforme mostrado no Quadro 3, o cruzamento entre esses dois parâmetros resultou no indicador final de resposta, também de nota 1.

O indicador de Estado teve resultado mediano (3), assim como o de Pressão (3). Os principais parâmetros que limitaram melhores indicadores foram coliformes termotolerantes e Oxigênio na água para Estado e Acesso e intervenções na morfologia da nascente para Pressão.

Sob a lógica Pressão-Estado-Resposta fica evidente que o resultado da avaliação ambiental das nascentes é resultante da negligência dos atores responsáveis pelo ordenamento territorial. Com o indicador de Resposta tão baixo (denotando carências severas de Governança e políticas ambientais) era esperado que as pressões sofridas pelas nascentes resultassem no prejuízo das suas condições ambientais (estado). Por conseguinte, o indicador desses dois componentes (Pressão e Estado) foram coerentemente os mesmos.

Com isso, concluímos que o resultado final de 133 nos indica que os parâmetros de pressão e estado não estão ruins, mas também estão longe de estarem ideais. Isso mostra que são parâmetros que merecem atenção, cabendo aos gestores buscarem compreender a origem das pressões ali sofridas, bem como a resposta que as nascentes apresentam frente a tais perturbações. Todavia, no quesito do indicador em falha (de resposta), este merece muita atenção e intervenção. É notória a falta de ações (governamentais ou não) e da própria população que faz algum uso da nascente (ainda que de forma indireta). Urge o desenvolvimento de programas de educação ambiental e governança, bem como acesso à informação e mobilização social.

É nesta conjuntura que a eficácia da aplicação deste índice é atestada, não apenas pela sua aplicação propriamente dita bem sucedida, mas também pelas possibilidades que a aplicação nos trouxe: compreender a nascente como um sistema ambiental, alcançar um cenário o mais fiel possível do estado da nascente, com parâmetros que demonstrem de maneira efetiva as pressões ambientais sofridas, e, principalmente, nos mostra onde atuar, nos direciona por onde começar, nos proporcionando, assim, um importante instrumento de gestão.

Considerações Finais

O (re)conhecimento de uma nascente, é sem dúvida, o primeiro passo para a sua proteção. Portanto, um estudo multidisciplinar é substancial para o entendimento das nascentes, bem como sua qualidade ambiental. No intuito de se avaliá-las, partiu-se do pressuposto de que os parâmetros de avaliação deveriam ser os mais heterogêneos possíveis, refletindo assim, a multidisciplinaridade e a complexidade que abarcam o estudo de nascentes. Entende-se que a multiplicidade de parâmetros segregados não contribui, efetivamente, para uma boa gestão ambiental, contudo, a integração deles, sim. Deste modo, integrá-los em um índice de qualidade ambiental poderá auxiliar na avaliação da qualidade ambiental das nascentes, podendo também nortear estudos mais robustos e de grande importância para o planejamento e gestão ambiental.

Este trabalho teve como finalidade não apenas contribuir diretamente para a gestão e planejamento ambiental, voltados para a proteção das nascentes, mas também,

ainda que indiretamente, com as escassas e pontuais discussões existentes na literatura acerca do tema nascentes, procurando avançar em alguns temas, ainda obscuros no arcabouço teórico-metodológico que envolve esses sistemas ambientais. Ademais, este trabalho também pode ser um trampolim para contribuir, futuramente, com trabalhos que visem avaliar as nascentes não apenas em domínio tropical, levantando-se assim, a possibilidade de, posteriormente, uma adaptação desta pesquisa em diferentes áreas de estudo.

Um índice multidisciplinar, com indicadores que correspondam à complexidade das nascentes, é um grande passo para as ciências de cunho ambiental. Todavia, espera-se que este seja o pontapé inicial para outros estudos que busquem avançar no estudo de nascentes, procurando cada vez mais preencher os hiatos existentes, as carências e falhas teórico-metodológicas, engendrando, assim, um melhor entendimento de sistemas tão fundamentais ao meio ambiente.

Referências Bibliográficas

ARIZA, C. G.; NETO, M. D. A. Contribuições da geografia para avaliação de impactos ambientais em áreas urbanas, com o emprego da metodologia pressão-estado impacto-resposta (P.E.I.R.). *Caminhos de Geografia*, v. 11, n. 35, p. 128-139, 2010. Disponível em: http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/24742/1/ARTIGO_ContribuicoesGeografiaAvaliacao.pdf. Acesso em: 27 out. 2023.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. L.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopédia Biosfera – Centro Científico Conhecer*, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2165-2179, 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/biologicas/EUTROFIZACAO.pdf>. Acesso em: 26 out. 2023.

BRYAN, K. Classification of Springs. *Journal of Geology*, n. 27, n. 7, p. 522-561, 1919. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/622677>. Acesso em: 31 out. 2023.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOUKART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002. Disponível em: <https://jbb.ibict.br/bitstream/1/708/1/Callisto%20et%20al.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023

CARMO, L. G.; FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 34, n. 2, p. 275-293, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3371/337131734006.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2023.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 274, 29 de novembro de 2000*. Ministério do Meio Ambiente, 2000. Disponível em: <https://www.icmbio.gov>.

br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2000/res_conama_274_2000_parametro-sambientaisqualidadedasaguas.pdf. Acesso em: 07 nov. 2023.

_____. *Resolução nº 357, 17 de março de 2005*. Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 07 nov. 2023.

COSTA, W. Hidrogeologia dos meios fissurados. In: FEITOSA, F. et al. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008.

COSTA, A. R. S.; SANTOS, T. C. G.; KOZMHINSKY, M.; ALENCAR, S. K.; RAIS P.; VALLE, G. Aplicação da matriz GUT na gestão integrada de resíduos sólidos da cidade do Recife-PE. *Revista AIDIS de Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica*, v. 10, n. 2, p. 201-213, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/57757>. Acesso em: 30 set. 2023.

EIRADO, L.G.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H. Os terrenos tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na Baía da Ilha Grande, sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 36, p. 426-436, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323192512_OS_TERRENOS_TECTONICOS_DA_FAIXA_RIBEIRA_NA_SERRA_DA_BOCAINA_E_NA_BAIA_DA_ILHA_GRANDE_SUDESTE_DO_BRASIL. Acesso em: 13 nov. 2023.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES Jr., A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. *GEOgrafias* v. 9, n. 1, p. 70-81, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/107406288/Conflitos_conceituais_sobre_nascentes_de_cursos_d_%C3%A1gua_e_propostas_de_especialistas. Acesso em: 27 out. 2023.

_____; _____. Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte – MG. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE MIGRAÇÕES, VI, *Anais*, p. 1-19, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267770975_CONSEQUENCIAS_DA_OCUPACAO_URBANA_NA_DINAMICA_DAS_NASCENTES_EM_BELO_HORIZONTE-MG. Acesso em: 24 out. 2023.

_____; _____. Desenvolvimento de uma tipologia hidrogeomorfológica de nascentes baseada em estatística nebulosa multivariada. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 15, p. 393-409, 2014 Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/463/401>. Acesso em: 25 set. 2023.

_____. *Gênese e dinâmica de nascentes: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical*. 2013. 254f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/IGCC-9GQJDJ>. Acesso em: 30 out. 2023.

FERNANDES, P. C. L. *Validação e controle de qualidade do fósforo total em águas: análise da qualidade da água*. 2015, 146f. Dissertação (Mestrado em Química Industrial) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2015. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/6072/1/4188_8215.pdf. Acesso em: 29 out. 2023.

FREITAS, L. C.; MACHADO, C. C.; SILVA, E.; JACOVINE, L. A. G. Avaliação quantitativa de impactos ambientais da colheita florestal em dois módulos. *Revista Ceres*, v. 54, n. 313, p. 292-303, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3052/305226813005.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, 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. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3213/321327186009.pdf>. Acesso em: 27 out. 2023.

KOTTEK, M.; GRIESER, J. C.; BECK, B.; RUDOLF, F.; RUBEL, World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, n. 15, p. 259-263, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/51997463_World_Map_of_the_Koppen-Geiger_Climate_Classification_Updated. Acesso em: 15 jan. 2024.

LEVREL, H.; KERBIRIOU, C.; COUVET, D. OECD pressure–state–response indicators for managing biodiversity: a realistic perspective for a French biosphere reserve. *Biodiversity Conservation*. v. 18, p. 1719-1732, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10531-008-9507-0.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2023

LOPES, F. W. *A Proposta metodológica para avaliação de condições de balneabilidade em águas doces no Brasil*. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-8YWFSM>. Acesso em: 27 out. 2023.

LOPES, V. C.; LIBÂNIO, M. Proposição de um índice de estações de tratamento de água (IQETA). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 318-328, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/JsFVgtRvbfYKmZknNsYJG6R/?lang=pt>. Acesso em: 07 jan. 2024.

MARQUES NETO, R.; SILVA, F. P.; FERNANDES, R. A.; BARRETO, J. B.; EDUARDO, C. C. A espacialidade do relevo em paisagens transformadas e sua representação: Mapeamento geomorfológico da Bacia do rio Paraibuna, Sudeste de Minas Gerais. *Revista Ra'e Ga. Temático de Geomorfologia*, v. 41 p. 65-81, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/49186>. Acesso em: 09 jan. 2024.

MOURA, M. N.; ALVES, M. J. B.; DIAS, J. S.; ALMEIDA NETO, J. O.; FELIPPE, M. F. Grau de alteração ambiental dos hidrossistemas do campus da UFJF. *Revista de Geografia* –

PPGEO/UFJF, v. 6, n. 2, p. 173-183, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/360951687_GRAU_DE_ALTERACAO_AMBIENTAL_DOS_HIDROSSISTEMAS_DO_CAMPUS_DA_UFJF_RATE_OF_DISTURBANCE_OF_THE_HYDROSYSTEMS_OF_UFJF_CAMPUS. Acesso em: 06 nov. 2023

_____; FELIPPE, M. F. Hydrogeomorphology of Brazilian Springs: Between Diversity and Lack of Knowledge. In: SANTOS, G. B.; FELIPPE, M. F.; MARQUES NETO, R. (eds.). *Geomorphology of Brazil: complexity, interscale and landscape*. 1. ed. Heidelberg, Alemanha. Springer, 2022. p. 83-97.

_____; _____. Comparação de chaves de classificação de nascentes: casos de Juiz de Fora – MG. In: SANTOS, G. B.; FELIPPE, M. F.; MARQUES-NETO (orgs.). *Geomorfologia: complexidade e interesalaridade da paisagem*, p. 734-748. 1. ed. São José dos Campos: editora Comum Design, 2022. Disponível em: https://sinageo.org.br/2020/wp-content/uploads/2022/05/00_XIII-SINAGEO-GEOMORFOLOGIA-COMPLEXIDADE-E-INTERES-CALARIDADE-DA-PAISAGEM.pdf. Acesso em: 27 out. 2023

_____. Qualidade ambiental de nascentes: proposta metodológica. 2020. 232f. Dissertação (Mestrado em Geografia). – Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/14088/1/mirellanazarethdemoura.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2023

_____; FELIPPE, M. F. Avaliação de nascentes para a gestão ambiental integrada: Insuficiências e proposições apontadas por um painel de especialistas. *Ateliê Geográfico*, v. 16, n. 3, p. 215-241, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/72240/39175.%20>. Acesso em: 27 out. 2023

NUVOLARI, A. *Dicionário de saneamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

OECD – Organization for Co-Operation and Development. *Core set of indication for environmental performance review: a synthesis report by the group on the state of the environment*. Paris: OECD, 1993.

OLIVEIRA, M. C. P.; ÁVILA, B. T.; FELIPPE, M. F.; MOURA, M. N.; SILVA, B. M.; DIAS, J. S. Avaliação macroscópica da qualidade das nascentes do *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora. *Revista de Geografia*, v. 3, p. 1-7, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/17930>. Acesso em: 01 nov. 2023.

PIEKARSKI, A. E. T.; TORKOMIAN, A. L. V. Identificação de clusters industriais: uma análise de métodos quantitativos. *Gerpros*, v. 1, n. 1, p. 40-50, 2005. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/gerpros/article/view/17>. Acesso em: 27 out. 2023.

PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. *Cerne*, v. 18, n. 3, p. 495-505, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/fwFZsKZV4mVXqLX98sYtcHb/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 01 nov. 2023.

PINTO, M. J. R. *Avaliação de condições ambientais de nascentes de cursos de água: ferramenta de subsídio à gestão de recursos hídricos e ao planejamento de bacias hidrográficas*. 2019. 234f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11741>. Acesso em: 31 out. 2023.

RAMOS, T. B. Sistemas de indicadores e índices ambientais. *In: CONGRESSO NACIONAL DOS ENGENHEIROS DO AMBIENTE, IV, Anais...* Portugal: APEA, 1997. p. 1-12.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, n. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 27 out. 2023.

SANTOS, A.A.P; TESSARI, C. Técnicas quantitativas de otimização de carteiras aplicadas ao mercado de ações brasileiro. *Revista Brasileira de Finanças*, v. 10, n. 3, p. 369-393, 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3058/305824788004.pdf>. Acesso em: 23 out. 2023

SILVA, A. A.; DA SILVA, N. S.; BARBOSA, V. A.; HENRIQUE, M. R.; BAPTISTA, J. A. A utilização da Matriz Swot como ferramenta estratégica – um estudo de caso em uma escola de idioma de São Paulo. *In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, VIII, Anais...* Resende: SEGeT, 2011. 11 p. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos11/26714255.pdf>. Acesso em: 27 out. 2023.

SPRINGER, A. E.; STEVENS, L. E. Spheres of discharge of springs. *Hydrogeology Journal*, v. 17, p. 83-93, 2009. Disponível em: https://docs.springstewardship.org/PDF/springer_stevens_spheres_origin.pdf. Acesso em: 29 out. 2023.

STEVENS, L.E. *et al. The ecological integrity of spring ecosystems: a global review*. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, 2021. 16p. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1VhJhTs-fp-vxQvlfGEW3jVC9w9VW3KAD/view>. Acesso em: 23 out. 2023.

TOLEDO, J. A. C.; MOURA, M. N.; ROCHA, N. R. G.; MOREM, D. B. C.; FELIPPE, M. F. Aplicação de protocolos rápidos para a avaliação ambiental de nascentes: empecilhos e possibilidades. *In: PINHEIRO, L.S.; GORAYEB, A. (orgs.) Geografia física e as mudanças globais*. Fortaleza: Editora UFC, 2019.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; VALLARADES, C.; ALMEIDA J.; SILVA L. G. E.; MEDEIROS, S. R.; ALMEIDA, C. G.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C. D.; LUDKA, I. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. *Geonomos*, n. 15, p. 67-79, 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11633>. Acesso em: 23 out. 2023

VILLELA, L. C.; CALDAS, V. T.; GAMBA, R. C. Análise microbiológica em águas minerais envasadas em embalagens de 510 ml, comercializadas no Município de Santos – SP. *Revista Ceciliansa*, p. 4-6, 2010. Disponível em: (Microsoft Word – 2 – AN\301LISE MICROBIOL\323GICA EM \301GUAS MINERAIS ENVASADAS EM EMBALAGENS DE 510 ML, COMERCIALIZADAS NO MUNIC\315PIO D) (unisanta.br). Acesso em: 07 jan. 2024.

Recebido em: 12/11/2023. Aceito em: 19/01/2024.

Notas

¹ O método Delphi é o resultado final de um projeto oriundo da *Rand Corporation*, realizado na década de 1950, voltado para a utilização da opinião de especialistas para temas de difícil consenso (LOPES, LIBÂNIO, 2005)

² Bactérias que se reproduzem ativamente à temperatura de aproximadamente 44,5 °C, estando presentes em grandes quantidades nas fezes humanas bem como dos demais animais de sangue quente (NUVOLARI, 2013)

³ Bactérias que se reproduzem ativamente à temperatura de aproximadamente 44,5 °C, estando presentes em grandes quantidades nas fezes humanas bem como dos demais animais de sangue quente (NUVOLARI, 2013)

⁴ Bactérias que se reproduzem ativamente à temperatura de aproximadamente 44,5 °C, estando presentes em grandes quantidades nas fezes humanas bem como dos demais animais de sangue quente (NUVOLARI, 2013)

⁵ Segundo Marques Neto *et al.* (2017, p. 74) Morros apresentam morfologias mamelonares quaternárias de topos convexos a aplainados e vertentes convexo retilíneas com coberturas superficiais argilosas. Morrotes apresentam morfologias mamelonares quaternárias rebaixadas de topos convexos e vertentes convexo retilíneas com coberturas superficiais argilosas.

⁶ Antes de se interpretar os resultados, deve-se destacar que a ordem dos algarismos pouco importa, e optou-se por colocá-los justapostos em ordem crescente (conforme já ilustrado no Quadro 4, na seção de metodologia deste trabalho). Portanto, a combinação 3-3-1 será tida como 133. No caso das nascentes estudadas, alguns parâmetros que merecem cuidado são os coliformes, intervenções na morfologia da nascente, acesso e oxigênio dissolvido na água.