UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Catharina de Oliveira Maia

QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTES SITUADAS FORA DE ÁREAS PROTEGIDAS EM BELO HORIZONTE – MG: fatores condicionantes e desafios de proteção

Belo Horizonte

2025

Catharina de Oliveira Maia

QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTES SITUADAS FORA DE ÁREAS PROTEGIDAS EM BELO HORIZONTE – MG: fatores condicionantes e desafios de proteção

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Antônio Pereira Magalhães Júnior

Coorientador: Diego Rodrigues Macedo

Belo Horizonte
2025

M217q
2025

Maia, Catharina de Oliveira.

Qualidade ambiental de nascentes situadas fora de áreas protegidas em Belo Horizonte – MG [manuscrito] : fatores condicionantes e desafios de proteção / Catharina de Oliveira Maia. – 2025.

277 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Antônio Pereira Magalhães Júnior.

Co-orientador: Diego Rodrigues Macedo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2025.

Bibliografia: f. 233-245.

1. Nascentes – Teses. 2. Qualidade ambiental – Teses. 3. Água – Qualidade – Teses. 4. Recursos hídricos – Desenvolvimento – Teses. 5. Planejamento urbano – Belo Horizonte (MG) – Teses. I. Magalhães Junior, Antônio Pereira. II. Macedo, Diego Rodrigues. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 556.18:711.4(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Nathalia Machado Laponez Maia – CRB-6/3002
Biblioteca "Vitória Pedersoli", Instituto de Geociências da UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTES SITUADAS FORA DE ÁREAS PROTEGIDAS EM BELO HORIZONTE – MG: FATORESCONDICIONANTES E DESAFIOS DE PROTEÇÃO"

CATHARINA DE OLIVEIRA MAIA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 26 de junho de 2025, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, cons tuída pelos seguintes professores:

Antônio Pereira Magalhães Júnior

IGC/UFMG

Diego Rodrigues Macedo

IGC/UFMG

Luiz Fernando de Paula Barros

IGC/UFMG

Miguel Fernandes Felippe

UFJF

Belo Horizonte, 26 de junho de 2025.

Documento assinado eletronicamente por **Antonio Pereira Magalhaes Junior**, **Professor do Magistério Superior**, em 26/06/2025, às 19:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Luiz Fernando de Paula Barros**, **Professor do Magistério Superior**, em 27/06/2025, às 09:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Miguel Fernandes Felippe**, **Usuário Externo**, em 27/06/2025, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Diego Rodrigues Macedo**, **Professor do Magistério Superior**, em 27/06/2025, às 11:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4293697** e o código CRC **E46167CD**.

À minha mãe, Denise.

Ao meu pai, Wellington.

Aos meus irmãos, Fernando e Léo.

Por tudo.

AGRADECIMENTOS

Entre as incertezas que nos cercam e dão ritmo à vida, há também certezas que nos fortalecem e que são imprescindíveis para o movimento da vida acontecer. Aqui, agradeço a todas e todos, minhas certezas, que estiveram comigo nesta jornada do mestrado e continuam presentes nos demais movimentos da vida.

Agradeço aos meus pais, Denise e Wellington, e aos meus irmãos, Fernando e Léo, por todo apoio e amor, imensuráveis, acompanhados pelo humor único que torna nossas incertezas mais leves e as nossas certezas mais prazerosas.

Agradeço minhas avós e meus avôs, maternos, vó Mary e vô Antônio; paternos, vó Maria e vô Antônio, por terem me proporcionado memoráveis vivências de aconchego.

Agradeço às amigas e amigos de infância por toda leveza e pela construção de amizades recheadas de confiança, entrega e amor. Em especial, Ana, Bê, Dani, Mari, Marina e Nati.

Agradeço às amigas e amigos da Geografia por todo acolhimento e pelas transdisciplinaridades inatas aos trabalhos de campo e à ciência, Brey, Berna, Carol, May, Sem Peixe, Lívia e Vilaz. Em especial, ao Daniel, pela presença, apoio, orientação e por todo cotidiano amor.

Agradeço aos que foram definitivos para tornar os trabalhos de campo possíveis. Em especial, Ana, Berna, Daniel, Madu, Matheus, May, Maria Clara e aos guardiões das nascentes alvo deste estudo.

Agradeço aos meus orientadores, Professores Antônio e Diego, pelo apoio e pela confiança para tornar o caminhar do mestrado possível, desafiador e prazeroso.

Agradeço aos membros da banca de seminário e de defesa, Professores Fábio Soares, Luiz Fernando e Miguel Felippe, pelas contribuições e ensinamentos.

Agradeço à UFMG, orgulho de representar uma instituição pública, gratuita e de excelente qualidade.

Aos Professores, indispensáveis para minha formação pessoal e acadêmica. Em especial, os Professores do IGC, Valéria Roque, Antônio Magalhães, Fábio Soares e Álida Leal; e Professor de Literatura do ensino médio, Sérgio Lima. Obrigada por "roquearem" os meus pensamentos.

Aos colegas e demais colaboradores do Instituto de Geociências. Em especial, ao Marcelo, pela calorosa receptividade, e ao sr. Edson pela entrega e entusiasmo nos trabalhos de campo.

Ao grupo de pesquisa RIVUS, por contribuir e proporcionar trabalhos de excelência e de grande relevância para as diversas áreas que englobam a hidrogeomorfologia e, sobretudo, por desenvolver pesquisas que não resumem os Sistemas Hídricos a um recurso.

“Plantar o trigo e refazer o pão de cada dia

Beber o vinho e renascer na luz de todo dia”

Beto Guedes e Milton Nascimento - Fé Cega, Faca Amolada (1975)

RESUMO

No Brasil, a maioria das cidades ainda carece de processos organizados e estratégicos de planejamento urbano. O projeto de construção de Belo Horizonte, embora planejado, inseriu-se nesse cenário ao priorizar um modelo funcional alinhado aos padrões estéticos urbanos da época, com ênfase na mobilidade e em cortes geométrico regulares, em detrimento das condições físicas e ambientais do território. Essa situação contribuiu para que ao longo do tempo aumentasse a ocorrência de problemas no município associados ao sistema hídrico, como inundações e alagamentos. Além disso, a urbanização impactou significativamente as nascentes presentes no município, resultando na supressão, alteração, descaracterização e surgimento de nascentes em condições distintas daquelas originalmente encontradas. Nesse cenário, foram instituídas áreas protegidas, como Unidades de Conservação e parques urbanos, com o objetivo de conservar e recuperar parte do sistema hídrico da cidade. Não obstante, a hidrografia local continuou a ser profundamente modificada, e muitas nascentes situadas fora dessas áreas protegidas permanecem vulneráveis. Embora a importância das nascentes situadas fora de áreas protegidas seja reconhecida, são raros os estudos focados nesses sistemas ambientais. Ademais, a proteção dessas nascentes ainda é limitada, dependendo principalmente de ações coletivas ou individuais da população. O presente trabalho teve como objetivo investigar os fatores que influenciam na qualidade ambiental e na qualidade da água de nascentes situadas fora de Unidades de Conservação e parques urbanos no município de Belo Horizonte. A pesquisa foi desenvolvida a partir da coleta de dados primários com uma população de nascentes fora de áreas protegidas, permitindo caracterizar seu quadro ambiental e hídrico, além de pressões, impactos e tipos de uso pela população. A definição da população de nascentes contou com campanhas de campo de reconhecimento para certificar a factibilidade de trabalhar com o conjunto amostral especificado em gabinete. Além disso, optou-se por partir de um reconhecimento de campo ideal para um reconhecimento que fosse operacional devido a alteração acelerada do uso da terra e do aumento do adensamento na cidade que ocasionou a supressão ou a alta descaracterização de muitas nascentes que tinham sido registradas. Nesse sentido, a partir do campo de reconhecimento operacional, foi possível definir um conjunto amostral composto por 27 nascentes. Os resultados indicaram correlações estatisticamente relevantes entre variáveis da dimensão socioterritorial, como localização e tipo de uso, e o Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes. Por outro lado, essas mesmas variáveis apresentaram baixa correlação com o Índice de Qualidade da Água. Além disso, variáveis da dimensão ambiental, que retratam sobre o contexto característico e físico das nascentes, mostraram pouca influência sobre os índices trabalhados. Assim, a análise evidencia que a utilização de um único indicador não é capaz de responder sobre a complexidade inerente às nascentes, especialmente, as desprotegidas em contextos urbanos. Assim, reforça-se a necessidade de investigações mais amplas e sistemáticas, especialmente voltadas às nascentes localizadas fora de áreas legalmente protegidas, de modo a subsidiar a elaboração de instrumentos normativos mais eficazes e compatíveis com as especificidades socioambientais e hidrológicas do território.

Palavras-chave: recursos hídricos; sistemas ambientais; área urbana.

ABSTRACT

In Brazil, most cities still lack organized and strategic processes of urban planning. The construction project of Belo Horizonte, although planned, was inserted in this context by prioritizing a functional model aligned with the urban aesthetic standards of the time, with emphasis on mobility and regular geometric cuts, to the detriment of the territory's physical and environmental conditions. This situation contributed, over time, to the increase in problems in the municipality associated with the water system, such as floods and inundations. In addition, urbanization significantly affected the springs present in the municipality, resulting in the suppression, alteration, and degradation of springs, as well as the emergence of new ones under conditions distinct from those originally found. In this scenario, protected areas such as Conservation Units and urban parks were established with the aim of conserving and recovering part of the city's water system. Nevertheless, the local hydrography continued to be deeply modified, and many springs located outside these protected areas remain vulnerable. Although the importance of springs outside protected areas is recognized, studies focused on these environmental systems are still scarce. Moreover, the protection of these springs remains limited, relying mainly on collective or individual actions by the population. The present study aimed to investigate the factors that influence the environmental and water quality of springs located outside Conservation Units and urban parks in the municipality of Belo Horizonte. The research was developed based on the collection of primary data from a population of springs outside protected areas, allowing the characterization of their environmental and hydrological conditions, as well as pressures, impacts, and types of use by the population. The definition of the spring population included field recognition campaigns to certify the feasibility of working with the sample set previously specified in the office. Furthermore, it was decided to move from an ideal field recognition to an operational one due to the accelerated changes in land use and the increasing urban densification in the city, which caused the suppression or severe degradation of many springs previously recorded. In this sense, based on the operational field recognition, it was possible to define a sample set composed of 27 springs. The results indicated statistically significant correlations between socioterritorial variables, such as location and type of use, and the Spring Environmental Quality Index. On the other hand, these same variables showed low correlation with the Water Quality Index. In addition, environmental variables, which portray the characteristic and physical context of the springs, showed little influence on the indices analyzed. Thus, the analysis highlights that the use of a single indicator is not sufficient to address the complexity inherent to springs, especially those unprotected in urban contexts. Therefore, the need for broader and more systematic investigations is reinforced, particularly focusing on springs located outside legally protected areas, in order to support the development of more effective regulatory instruments compatible with the socio-environmental and hydrological specificities of the territory.

Keywords: water resources; environmental systems; urban area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 - Planta Geral de Belo Horizonte por Aarão Reis 17
Figura 1-2 - Avenida Afonso Pena em 1958 e 2016. 18
Figura 1-3 - Nascente presente em: 1- Parque Vila Clóris; 2- Quintal de residência 19
Figura 2-1 – Modelo esquemático do ciclo hidrológico. 27
Figura 2-2 – Fluxos hídricos em uma bacia hidrográfica 27
Figura 2-3 – Dinâmica hídrica no Ciclo Hidrológico 28
Figura 2-4 – Nascente geomorfológica e geológica (Valente *et al*., 2005): 1- Nascente com borbulhamento pontual na Chapada das Mangabeiras; 2- Nascente que exfiltra em vários pontos no contato de falha com o calcário *Sarvak* no Irã 30
Figura 2-5 - Nascentes antropogênicas em Belo Horizonte 33
Figura 2-6 - Evolução da mancha urbana no município de Belo Horizonte 35
Figura 2-7 - Cenário de antes e depois da nascente tamponada em Belo Horizonte. 39
Figura 2-8 – Panorama legal nacional de proteção de nascentes. 48
Figura 2-9 – Panorama legal municipal de proteção de anscentes. 53
Figura 3-1 – Contexto geológico de Belo Horizonte. 58
Figura 3-2 – Compartimentos Geomorfológicos de Belo Horizonte. 59
Figura 3-3 – Classes de solo em Belo Horizonte 61
Figura 3-4 – Bacias Hidrográficas em Belo Horizonte. 62
Figura 3-5 – Hidrografia de Belo Horizonte. 63
Figura 3-6 – Uso e ocupação da terra de Belo Horizonte 64
Figura 4-1 - Nascentes dentro e fora de áreas protegidas em Belo Horizonte. 67
Figura 4-2 – Critérios para caracterização da população de nascentes. 69
Figura 4-3 – Modelo esquemático da construção do Diagrama de Voronoi. 70
Figura 4-4 – Diagrama de Voronoi das nascentes de Belo Horizonte 71
Figura 4-5 – Área de influência das nascentes fora de áreas protegidas em Belo Horizonte 72
Figura 4-6 – Grupos de nascentes 75
Figura 4-7 – Nascentes selecionadas a partir dos centróides. População de nascentes em verde, quadrante com contorno verde, centróide pontos pretos e nascentes selecionadas em amarelo. 76
Figura 4-8 – Nascentes selecionadas. 77
Figura 4-9 – Espacialização das nascentes trabalhadas. 79
Figura 4-10 – Matriz 3x3 – Cruzamento de primeira ordem. 85

Figura 4-11 – Matriz 3x3 – Resultado do cruzamento de primeira ordem. 85
Figura 4-12 – Matriz 3x3 – Cruzamento de segunda ordem. 86
Figura 4-13 – Matriz 3x3 – Resultado do cruzamento de segunda ordem. 86
Figura 4-14 – Valores do Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes. 87
Figura 4-15 – Análises de laboratório. 90
Figura 4-16 – Representação gráfica do *boxplot*. 92
Figura 5-1 – Diagrama dos fatores ambientais. 96
Figura 5-2 – Diagrama da dimensão socioterritorial. 99
Figura 5-3 – Exemplo de nascentes de logradouro. 100
Figura 5-4 – Exemplo de nascentes de propriedade privada. 102
Figura 5-5 – Nascentes de logradouro e de propriedade privada. 104
Figura 5-6 – Nascentes conforme renda. 105
Figura 5-7 – Nascentes conforme intervalo de expansão da urbanização. 107
Figura 5-8 – Ocupação de área urbana na APP. 108
Figura 5-9 – Nascentes conforme o percentual da presença de mancha urbana na APP. 109
Figura 5-10 – Nascentes conforme iniciativa de proteção. 111
Figura 5-11 – Nascentes conforme tipo de uso e ocupação da terra. 113
Figura 5-12 – Tipos de usos mapeados. 117
Figura 5-13 – Diagrama da dimensão ambiental. 118
Figura 5-14 – Nascentes conforme geomorfologia. 120
Figura 5-15 – Nascentes conforme variação geomorfológica da vertente. 122
Figura 5-16 – Nascentes conforme pedologia. 124
Figura 5-17 – Nascentes conforme condição de naturalidade. 125
Figura 5-18 – Nascentes de origem natural e antropogênica. 126
Figura 5-19 – Nascentes conforme a condição da situação. 129
Figura 5-20 – Tipos de condição da situação da nascente. 130
Figura 5-21 – Nascentes conforme o tipo de exfiltração. 131
Figura 5-22 – Nascentes conforme sazonalidade. 132
Figura 6-1 – Resíduos presentes no entorno de nascentes. 146
Figura 6-2 – Presença de óleo e graxa no corpo hídrico da nascente. 147
Figura 6-3 – Água da nascente transposta para construção de bica. 149
Figura 7-1 – Correlação entre IQAN e IQA: em que S refere-se ao período de seca e C ao período chuvoso. 162
Figura 7-2 – *Status* da correlação entre IQAN/IQA e critérios: o círculo sem preenchimento

indica ausência de correlação, enquanto o círculo com preenchimento indica presença de correlação entre o índice analisado e os critérios correspondentes. 165
Figura 7-3 – Correlação entre renda e IQAN na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 166
Figura 7-4 – Correlação entre IQAN/IQA e área urbana na APP na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 167
Figura 7-5 – Correlação entre IQAN/IQA e localização/acesso na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 169
Figura 7-6 – Correlação entre IQAN/IQA e intervalo de urbanização na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 171
Figura 7-7 – Correlação entre IQAN/IQA e uso e ocupação da terra na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 174
Figura 7-8 – Correlação entre IQAN/IQA e iniciativa de proteção na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 177
Figura 7-9 – Correlação entre IQAN/IQA e tipo de uso na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 179
Figura 7-10 – Correlação entre IQAN/IQA e geologia na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 181
Figura 7-11 – Correlação entre IQAN/IQA e condição de naturalidade na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 183
Figura 7-12 – Correlação entre IQAN/IQA e tipo de exfiltração na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 185
Figura 7-13 – Correlação entre IQAN/IQA e sazonalidade na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 187
Figura 7-14 – Correlação entre IQAN/IQA e geomorfologia da nascente na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 189
Figura 7-15 – Correlação entre IQAN/IQA e condição da situação da nascente na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d). 191
Figura 7-16 – Percentual de domínio da variável com maior frequência. 192
Figura 7-17 – Proporção de presença e ausência de correlação entre IQAN/IQA e critérios. 193
Figura 7-18 – Fluxograma do Índice Integrado. 195
Figura 7-19 – Índice Integrado: Estação Seca. 198
Figura 7-20 – Índice Integrado: Estação Chuvosa. 199

Figura 8-1 – Contexto da área da nascente NC26. 202
Figura 8-2 – Exemplos de nascentes canalizadas. 203
Figura 8-3 – Contexto da área da nascente NC20. 205
Figura 8-4 – Classes de enquadramento conforme tipo de uso. 207
Figura 8-5 – Requisito da qualidade da água conforme tipo de uso. 208
Figura 8-6 – *Ranking* de nobreza conforme o tipo de uso. 209
Figura 8-7 – Diagrama para tipificar nascentes urbanas. 219
Figura 8-8 – Tipologias das nascentes urbanas alvo da pesquisa. 220
Figura 8-9 – Espacialização dos tipos de nascentes trabalhadas. 221
Figura 8-10 – Diretrizes para identificação de nascentes prioritárias de proteção. 224
Figura 8-11 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme grau de nobreza. 226
Figura 8-12 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme conforto hídrico. 227
Figura 8-13 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme iniciativa de proteção. 228
Figura 8-14 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme condição da situação da nascente. 229
Figura 8-15 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme condição de acesso e localização. 230

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1- Variável Dummy para quatro nascentes hipotéticas 73
Tabela 5-1 – Quantidade de nascentes por variável. 96
Tabela 6-1 – Resultados IQAN e IQA. 134
Tabela 6-2 – IQA das nascentes com pior desempenho no IQAN. 151
Tabela 6-3 – Resultado do pH para as nascentes utilizadas para consumo. 155
Tabela 6-4 – Variação da temperatura e do oxigênio dissolvido. 157
Tabela 7-1 – Classificação do Índice Integrado. 196
Tabela 7-2 –Índice Integrado das nascentes. 196
Tabela 8-1 – IQA das nascentes utilizadas como consumo. 204
Tabela 8-2 – IQAN e IQA das nascentes com iniciativa de proteção. 213
Tabela 8-3 – IQAN e IQAN das nascentes com inexistência de proteção e de ameaça. 214

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1 - Conceito de nascentes aplicados ao paineil *Delphi*. 23
Quadro 2-2 - Método GoM para classificação de tipologias de nascentes. 32
Quadro 2-3 - Impactos ambientais sobre nascentes urbanas 38
Quadro 2-4 - Serviços ecossistêmicos que são impactos na Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo – PA. 40
Quadro 4-1 - Bases cartográficas de estudo para a definição da população de nascentes. 68
Quadro 4-2 - Critérios do protocolo de caracterização de nascentes 80
Quadro 4-3 - Critérios dos parâmetros E-P-R. 82
Quadro 4-4 - Valor para ser indicado aos critérios dos parâmetros E-P-R. 82
Quadro 4-5 - Organização dos critérios E-P-R em pares. 84
Quadro 4-6 – Classificação do IQA. 88
Quadro 6-1 – Resultados dos parâmetros E-P-R. 137
Quadro 6-2 – Indicador de alteração no parâmetro de Estado. O círculo sem preenchimento indica ausência de alteração, enquanto o círculo com preenchimento indica presença de alteração. 141
Quadro 8-1 – Identificação dos entrevistados. 200
Quadro 8-2 – Classes de qualidade da água conforme tipo de usos mapeados. 208

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **17**
2 NASCENTES: COMPREENSÕES, PANORAMA LEGAL E INICIATIVAS DE PROTEÇÃO EM ÁREAS URBANAS **22**
2.1 Nascentes: conceito, tipologias e serviços ecossistêmicos **22**
2.1.1 Nascentes como sistemas ambientais: conceitos e processos hídricos **22**
2.1.2 Tipologia de nascentes **29**
2.1.3 Áreas urbanas: adensamento e impactos em nascentes **34**
2.1.4 Nascentes e provisão de serviços ecossistêmicos **39**
2.2 Panorama e evolução do quadro legal sobre nascentes **42**
2.2.1 Iniciativas da legislação nacional **42**
2.2.2 Iniciativas da legislação ambiental de Minas Gerais **49**
2.2.3 Iniciativas da legislação municipal de Belo Horizonte **50**
2.2.4 Iniciativas do poder público e da sociedade civil **54**
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO **58**
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS **65**
4.1 Definição da população de nascentes objeto do estudo **65**
4.1.1 Aquisição de dados geoespaciais de nascentes em Belo Horizonte **66**
4.1.2 Seleção de critério para o agrupamento de nascentes **67**
4.1.3 Análise espacial a partir do Diagrama de Voronoi **69**
4.1.4 Área média de influência das nascentes **71**
4.1.5 Extração de classes por maior abrangência **72**
4.1.6 Análise espacial a partir da Variância de Dummy **73**
4.1.7 Definição de grupos de nascentes situadas fora de áreas protegidas em Belo Horizonte **74**
4.1.8 Seleção de nascentes e campanhas de campo **77**
4.2 Obtenção dos dados primários **79**
4.2.1 Caracterização de nascentes **79**
4.2.2 Obtenção do Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes e Índice de Qualidade da Água **80**
4.2.3 Entrevistas semiestruturadas **90**
4.3 Análise e interpretação dos dados primários **91**
5 FATORES AMBIENTAIS DE NASCENTES FORA DE ÁREAS PROTEGIDAS EM BELO HORIZONTE **95**
5.1 Dimensão socioterritorial **99**
5.2 Dimensão ambiental **117**
5.2.1 Contexto físico **118**
5.2.2 Característico do ambiente **124**
6 QUALIDADE AMBIENTAL E HÍDRICA DE NASCENTES FORA DE ÁREAS PROTEGIDAS EM BELO HORIZONTE **133**
6.1 Qualidade Ambiental **137**
6.1.1 Parâmetro de Estado **141**

6.1.2 Parâmetros de Pressão e Resposta **147**
6.1.3 Panorama do IQAN **149**
6.2 Qualidade Hídrica **153**
7 FATORES CONDICIONANTES DA QUALIDADE AMBIENTAL E DA ÁGUA DAS NASCENTES URBANAS **161**
7.1 Dimensão socioterritorial **166**
7.2 Dimensão ambiental **180**
7.3 Panorama das interações entre os fatores ambientais e o IQAN/IQA **192**
8 NASCENTES URBANAS: REFLEXÕES E DESAFIOS DE PROTEÇÃO **200**
8.1 Percepção, desafios e iniciativas de proteção sobre nascentes urbanas em Belo Horizonte **200**
8.1.1 Percepção e potencialidade de usos **201**
8.1.2 Iniciativas e riscos à proteção **212**
8.2 Subsídio à gestão e proteção de nascentes urbanas **217**
8.2.1 Tipologias de nascentes urbanas **217**
8.2.2 Identificação de nascentes prioritárias para proteção **222**
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS **231**
REFERÊNCIAS **233**
ANEXO **246**
APÊNDICES **249**

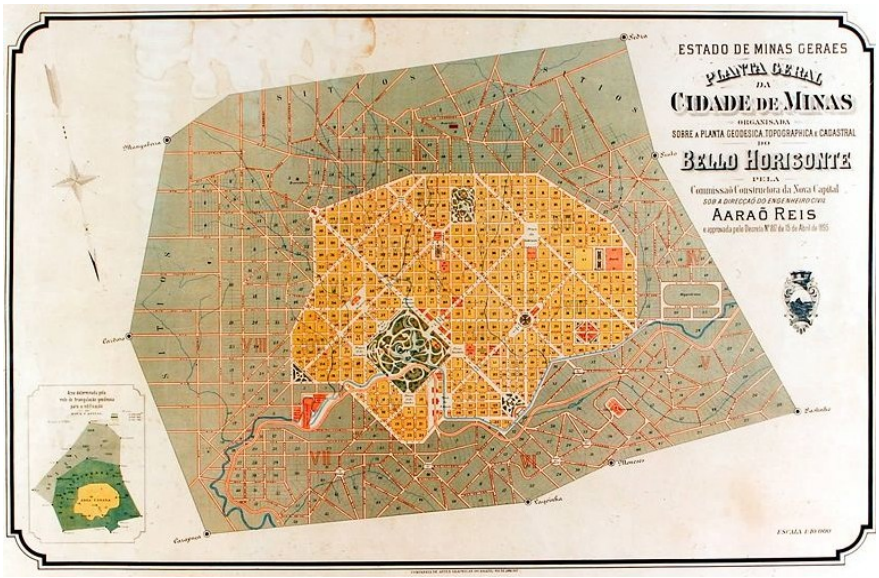
1 INTRODUÇÃO

Processos organizados e estratégicos de planejamento não fazem parte do contexto histórico da maioria das cidades brasileiras. No Brasil, os modelos de cidades planejadas ainda são pontuais e, muitas vezes os exemplos ocorrem nas regiões com maior concentração de renda, como é o caso das regiões Sul e Sudeste no país onde se situam Curitiba, Petrópolis e Belo Horizonte (Rodriguez, 2016).

Mesmo nos casos de municípios planejados são notáveis os problemas associados às questões ambientais. Esses problemas foram impulsionados pela atração populacional e pela especulação imobiliária, acompanhadas de fenômenos de segregação social e degradação ambiental. Nesse sentido, um dos traços do histórico da urbanização brasileira é a artificialização agressiva do ambiente, alterando ou suprimindo aspectos geomorfológicos e hidrográficos (Pinho, 2016).

Belo Horizonte, metrópole e capital do estado de Minas Gerais ilustra esse contexto de município planejado priorizando aspectos estéticos e desvalorizando fatores e dinâmicas do quadro físico, fato que resultou em problemas socioambientais que, ainda hoje, são importantes desafios para o aparato gestor do município (Rodriguez, 2016). Entre 1894 e 1897, o engenheiro Aarão Reis foi responsável pela elaboração do projeto de construção de Belo Horizonte, a qual, naquele momento, teve seu perímetro limitado à atual Avenida do Contorno (IBGE, 2022; PBH, 2023). A Figura 1-1 abaixo apresenta a planta geral de Belo Horizonte projetada por Aarão Reis.

Figura 1-1 - Planta Geral de Belo Horizonte por Aarão Reis



Fonte: Marcos do Tempo (2010).

Entretanto, poucos anos após a sua inauguração, os limites da mencionada Avenida foram

ultrapassados pela zona urbana. Entre as décadas de 1930 e 1940, a população do núcleo urbano cresceu consideravelmente, o que se manteve nas décadas seguintes, chegando a taxa anual de cerca de 3,4% entre as décadas de 1970 e 1980 (Ferreira, 2001). Atualmente, a população estimada ultrapassa 2,5 milhões de habitantes (IBGE, 2022). A Figura 1-2 abaixo apresenta o cenário de antes e depois da Avenida Afonso Pena, uma das principais avenidas identidades do município (Barbosa, 2022).

Figura 1-2 - Avenida Afonso Pena em 1958 e 2016.

Fonte: Arquivo Nacional do Brasil (2024).

O projeto original estabeleceu malhas perpendiculares entre ruas e avenidas em diagonal com quarteirões regulares, desconsiderando as particularidades do quadro físico. A hidrografia, por exemplo, tornou-se um obstáculo para o padrão geométrico do sistema viário, levando à canalização e/ou tamponamento de vários cursos d´água e à degradação ou supressão de nascentes. As alterações desconfiguraram a cobertura de grande parte da superfície (com forte impermeabilização e redução da infiltração) e a malha hidrográfica, impactando o regime fluvial e a dinâmica dos fluxos (Melo, 2017). Como resultado, o município passou a conviver, já nos seus anos iniciais como município, com problemas de inundações e deslizamentos que foram se agravando à medida que aumentava a população em áreas de risco (Borsagli, 2019). Paralelamente, os sistemas fluviais tornaram-se a saída mais frequente para o lançamento de esgotos não tratados, estratégia comum nas realidades urbanas brasileiras com fortes lacunas de saneamento. Artificializados e poluídos por estratégias urbanas e políticas equivocadas, grande parte dos cursos d´água de Belo Horizonte passou a ser desvalorizada e até mesmo desprezada pela própria população (Macedo; Magalhães Júnior, 2011).

No cenário de Belo Horizonte, os sistemas hídricos foram, portanto, forçosamente adaptados à configuração do município, e não o contrário. O próprio aparato legislativo vigente não

contempla certas especificidades determinantes da existência de sistemas hídricos, como a migração de nascentes e a forte sazonalidade do regime fluvial. Essas especificidades podem resultar dos próprios compartimentos fisiográficos do município.

A evolução do processo de urbanização resultou em duas realidades distintas quanto ao estado dos sistemas hídricos. Por um lado, verifica-se um predomínio de sistemas bastante impactados ou suprimidos e, por outro, um conjunto de sistemas, menos frequentes, que se manteve menos impactado, por vezes em condições próximas das originais, seja em espaços protegidos (Unidades de Conservação e parques urbanos) ou fora deles (Felippe, 2009). Neste último caso, se inserem nascentes, áreas úmidas (brejos) e cursos d´água em leito natural que ainda resistem em diversas áreas do município, incluindo quintais de residências, escolas e praças, por exemplo. A Figura 1-3 abaixo apresenta o exemplo de nascentes situadas dentro e fora espaços protegidos em Belo Horizonte.

Figura 1-3 - Nascente presente em: 1- Parque Vila Clóris; 2- Quintal de residência.

Foto: Elaborado pela autora.

No histórico de Belo Horizonte, algumas iniciativas buscaram combater o paradigma tradicional de urbanização com base na artificialização dos sistemas hídricos. Este é o caso do Programa de Recuperação Ambiental dos Fundos de Vale e Córregos em Leito Natural do Município de Belo Horizonte (DRENUBS/Nascentes), o qual se baseia em processos participativos de proteção de cursos d´água em leito natural e criação de parques lineares, buscando enfrentar os desafios de compatibilização de dimensões socioambientais, como saneamento e qualidade de vida (Medeiros, 2009). Por sua vez, a criação de parques urbanos se constitui em outra iniciativa importante para a proteção de sistemas hídricos, os quais visam a proteção de recursos naturais em áreas urbanizadas ao mesmo tempo em que concilia e oferece opções de conforto e lazer para a população (PBH, 2024). Nos últimos anos, vários trabalhos

vêm focando as características e o estado ambiental de nascentes em parques de Belo Horizonte, como os de Felippe (2009), Macedo e Magalhães Júnior (2011), Sampaio e Augustin (2014), Ferreira (2018), entre outros. Os estudos mostram que, apesar do cenário bastante artificializado da metrópole, há muitas nascentes que permanecem ativas ou apresentam baixo grau de descaracterização. Entretanto, há fortes lacunas de conhecimento sobre os sistemas situados fora dessas áreas protegidas (CBH Velhas, 2018).

A proteção de recursos naturais em áreas urbanas não localizadas em Unidades de Conservação (UCs) ou parques urbanos fica comprometida pela ausência de um aparato legal mais restritivo e que atenda às especificidades dos sistemas hídricos. Esta realidade traz fortes pressões e impactos no patrimônio natural, em grande medida por parte do setor de construção civil e expansão do setor viário. Não raro, a ausência do poder público somente pode ser minimizada pela ação de proteção efetivada por ações individuais ou coletivas dos próprios habitantes. Este é o caso da iniciativa de proteção de muitas nascentes urbanas em Belo Horizonte. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas executou o projeto "Valorização de Nascentes Urbanas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Onça" (CBH Velhas, 2018), o qual visou o mapeamento, diagnóstico e caracterização de 345 nascentes presentes nas bacias dos ribeirões Arrudas e Onça. Dentre os resultados, houve o registro de diversas nascentes que são protegidas por moradores (CBH Velhas, 2018). Ademais, é importante evidenciar o projeto "Catalogador de Nascentes da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Pampulha" (Instituto Guaicuy, 2015), desenvolvido pelo Projeto Manuelzão da UFMG, o qual foi responsável por catalogar 507 nascentes em áreas públicas e privadas na região da Lagoa da Pampulha em Belo Horizonte. Ainda, esse projeto, além de identificar e caracterizar as nascentes, trabalhou para conscientizar e auxiliar a população diretamente envolvida na proteção desses ambientes (Instituto Guaicuy, 2015).

Tendo em vista o contexto abordado, esta pesquisa tem o objetivo geral de investigar os fatores que influenciam na qualidade ambiental e da água de nascentes situadas fora de Unidades de Conservação e parques urbanos no município de Belo Horizonte. São elencados os seguintes objetivos complementares:

- Caracterizar o quadro ambiental e hídrico de nascentes situadas fora de áreas protegidas em Belo Horizonte;

- Analisar as iniciativas e os desafios que comprometem a proteção de nascentes urbanas situadas fora de áreas protegidas; e

- Apresentar diretrizes para identificar nascentes prioritárias de proteção fora de área protegidas.

2 NASCENTES: COMPREENSÕES, PANORAMA LEGAL E INICIATIVAS DE PROTEÇÃO EM ÁREAS URBANAS

O presente capítulo se encontra dividido em duas seções. A primeira busca elucidar compreensões acerca do conceito, tipologias, contexto de nascentes presentes em áreas urbanas e tipos de serviços ecossistêmicos relacionado às nascentes, em especial àquelas presentes em áreas urbanizadas. A segunda seção trata de um breve levantamento acerca da evolução do quadro legal, em âmbito federal, estadual e municipal, em relação à compreensão e ações de proteção sobre as nascentes, além de apresentar as iniciativas do que se tem feito por parte do poder público e da socidade acerca desses sistemas ambientais.

2.1 Nascentes: conceito, tipologias e serviços ecossistêmicos

A presente seção se encontra dividida em quatro itens. O primeiro item busca elucidar compreensões acerca do conceito de nascente entendido por diversos autores e que baseiam o presente objeto de estudo. Já o segundo item trata das tipologias, apresentando as compreensões da literatura em relação à diversidade do quadro físico de nascentes e suas implicações. O terceiro item trata do contexto de pressões e impactos acerca das nascentes inseridas em áreas urbanas. Por fim, o último item trata dos tipos de serviços ecossistêmicos e respectiva relação com as nascentes.

2.1.1 Nascentes como sistemas ambientais: conceitos e processos hídricos

Mina d´água, água que brota, fonte, surgência, entre outros, são alguns dos diversos nomes mais populares utilizados para fazer alusão ao termo nascente. Além da existência dos diversos nomes populares, existem diferentes interpretações e conflitos conceituais acerca do próprio significado de nascente. Felippe e Magalhães Júnior (2013) apontam que as contradições que existem acerca do termo nascente podem ser justificadas pelo modo coloquial que são utilizados ou também pelo fato de não haver correspondência do termo em outros idiomas. À título de exemplo, na língua inglesa e espanhola, o termo nascente equivale a *spring* e *fuente*, respectivamente. As traduções desses dois termos equivalem no português, literalmente, à palavra fonte. Nesse sentido, a falta de correspondência dos termos que se referem à nascente na literatura estrangeira, também influencia nas compreensões acerca de seu conceito (Felippe; Magalhães Júnior, 2013). Ademais, é possível entender que os diferentes tipos de formas que uma nascente pode apresentar também influenciam na diversidade de compreensões acerca do

seu significado em diferentes locais do país.

Diante desse contexto, Felippe e Magalhães Júnior (2013) aplicaram um painel *Delphi* (paniel de especialistas) a fim de reunir diferentes conceitos atribuídos à nascente para avaliar a compreensão dos especialistas, alvos do estudo, acerca do que se entende sobre o termo. O Quadro 2-1 apresenta os conceitos apresentados no painel *Delphi* e o Gráfico 2-1 indica o percentual de escolha dos conceitos adotados pelos especialistas.

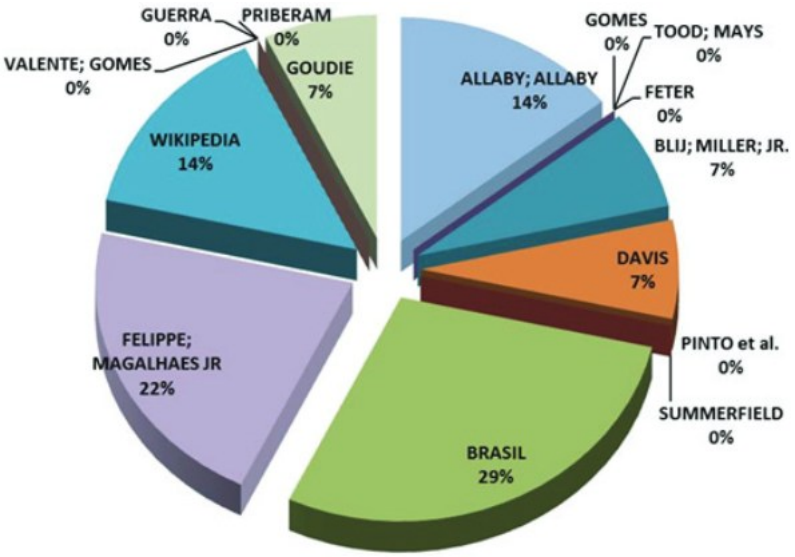
Quadro 2-1 - Conceito de nascentes aplicados ao paineil *Delphi*.

AUTORES	DATA	CONCEITO
Allaby e Allaby	1991	A flow of water above ground level that occurs where the water-table intercepts the ground surface.
Gomes et al.	2005	A nascente do rio ou riacho é a fonte situada no limite do afloramento do aquífero.
Tood e Mays	2005	A spring is a concentrated discharge of groundwater appearing at the ground surface as a current of flowing water. To be distinguished from springs are seepage areas, which indicate a slower movement of groundwater to the ground surface. Water in seepage areas may pond and evaporate or flow, depending of magnitude of the seepage, the climate and the topography.
Feter	1994	A spring may have a discharge that is fairly constant, or the discharge may vary. Spring can be permanent or ephemeral. The water may contain dissolved minerals of many different types or certain dissolved gases or petroleum. The temperature of the water may be close to the mean annual air temperature or be lower or higher. Flow may range from a barely perceptible seepage to 1000 ft^3 (30 m^3) or more per second.
De Blij et al.	2004	A surface stream of flowing water that emerges from the ground. Spring can be formed in a number of ways. Most commonly, an aquiclude stops the downward percolation of water, which is then forced to flow from a hillside.
Davis	1966	Any natural surface discharge of water large enough to flow in a small rivulet can be called a spring. Discharge smaller than this is called surface seepage. Springs also discharge below the surfaces of ocean, lakes and Rivers. Subaquous springs are commonly hard to detect unless their discharge is greater than several cubic per second.
Pinto et al.	2004	Cada início dos tributários.
Summerfield	1991	Channels may also be initiated through spring sapping where groundwater flow is concentrated in more per-meable zones within the bedrock.

AUTORES	DATA	CONCEITO
Brasil	2002	Local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea.
Felippe e Magalhães Jr	2009	Nascente é um sistema ambiental marcado por uma feição geomorfológica ou estrutura geológica em que ocorre a exfiltração da água de modo temporário ou perene, formando canais de drenagem a jusante.
Wikipédia	2009	Nascente, em hidrografia, é o local do qual se inicia um curso de água (rio, ribeirão, córrego), seja grande ou pequeno.
Valente e Gomes	2005	Nascentes são manifestações superficiais de lençóis subterrâneos.
Guerra	1993	O mesmo que cabeceira de um rio. Geralmente não é um ponto e sim uma zona considerável da superfície terrestre.
Priberam	2008	Ponto onde começa uma corrente de água.
Goudie	2004	Springs are point where groundwater, recharged at higher elevations, emerges at the surface. Depending on the nature of the recharge and of the storage-transmission characteristics of the aquifer through which the water has flowed, that may be permanent (perennial), seasonal or intermittent.

Fonte: Adaptado de Felippe e Magalhães Júnior (2013).

Gráfico 2-1 - Conceito de nascentes aplicados ao painel Delphi



Fonte: Felippe e Magalhães Júnior (2013).

O Gráfico 2-1 indica que o conceito apresentado por Brasil (2002) obteve maior aderência. Não obstante, Felippe e Magalhães Júnior (2013) ressaltam considerações relevantes acerca do conceito de nascente de Brasil (2002). Essas considerações, também cabíveis para os outros conceitos menos adotados, envolvem, principalmente, as seguintes pautas em relação ao conceito de nascentes:

1. Potencial mobilidade;
2. Tipo de exfiltração; e
3. Condição de naturalidade.

Acerca da primeira pauta, um dos aspectos que os autores ressaltam é a preocupação em adotar um termo que faça alusão à um local, à um ponto ou à uma área em que ocorre a exfiltração. Nesse sentido, quando o conceito de Brasil (2002) determina que a nascente é um local em que ocorre a exfiltração, extingue-se a relação que existe da mobilidade natural das nascentes pelo acompanhamento da dinâmica pluviométrica, ou seja, de que as nascentes, naturalmente, podem migrar, como abordam Felippe e Magalhães Júnior (2013). Ainda, em relação à segunda pauta, os autores abordam que o conceito apresentado por Brasil (2002) determina que a nascente é resultado do afloramento da água subterrânea, entretanto, Felippe e Magalhães Júnior (2013) apontam que a nascente não deixa de existir pela ausência de exfiltração da água subterrânea visto que esta é dependente do fluxo hídrico, o qual pode ter caráter perene ou não, por exemplo. Por fim, em relação à terceira pauta, Felippe e Magalhães Júnior (2013) apresentam considerações acerca da condição de naturalidade de exfiltração para gerar uma nascente, como é apontada pelo conceito Brasil (2002). Essa determinação se faz conflitante devido a existência de nascentes que passaram a existir em razão da influência direta das ações antrópicas. Nesse sentido, impor a condição de uma origem natural das nascentes exclui a existência daquelas de origem antropogênica.

Com o objetivo de propor uma definição multidisciplinar e coerente com a literatura e os relatos apontados pelos especialistas, Felippe e Magalhães Júnior (2013) apresentaram um novo conceito de nascente, a saber:

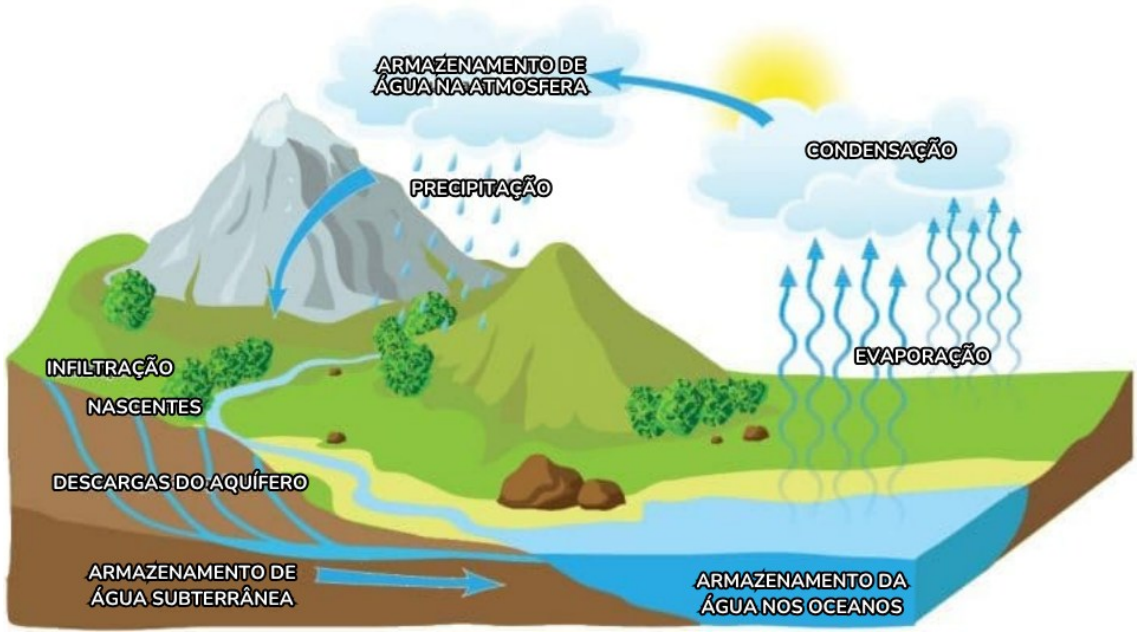
> Sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente, de modo temporário ou perene, e cujos fluxos hidrológicos na fase superficial são integrados à rede de drenagem (Felippe; Magalhães Júnior, 2013, p. 80).

A diferença do conceito proposto acima para os demais apresentados é o fato de integrar as

variáveis que existem acerca das condições de mobilidade e do tipo de exfiltração. Nesse sentido, o conceito proposto trata a nascente como um sistema ambiental. Assim, extingue-se a preocupação de fazer alusão à um local, à um ponto ou à uma área visto que, apresentando a nascente como um sistema ambiental, ressaltam-se os processos associados à dinâmica hídrica da nascente. Além disso, o conceito apresentado pelos autores integra os diferentes tipos de regime que uma nascente pode apresentar visto que a exfiltração da água é dependente do fluxo hídrico, o qual pode ter caráter perene ou não. Diante dessa situação, este trabalho considera a definição de nascente apresentada pelos autores. Contudo, também serão abarcadas as nascentes antropogênicas, entendidas como nascentes originadas e condicionadas por ações antrópicas (Felippe, 2009). A adição destas nascentes é justificada pois, é muito comum a ocorrência de exfiltrações com poucas características naturais e com poucos registros históricos que indiquem a naturalidade da exfiltração hídrica, principalmente em áreas urbanas.

O impacto causado nos sistemas hídricos não se restringe ao limite político-administrativo do município (Tucci, 2004). Além disso, não existe dimensão espacial precisa que determine certamente a área em que a nascente se insere devido a sua dinâmica espaço-temporal, a qual está sob influência direta da variação do clima que controla e condiciona a dinâmica de migrações e intermitências das nascentes (Felippe, 2009). Nesse sentido, Felippe (2009) enfatiza que as nascentes consituem-se como um dos subsistemas que compõem todo um sistema morfológico, nesse caso, o sistema hídrico proporiamente dito. O sistema hídrico por sua vez faz parte da bacia hidrográfica, a qual é entendida como unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos (Brasil, 1997). Os sistemas hídricos que constituem a bacia hidrográfica possuem Ciclos Hidrológicos. Estes Ciclos apresentam-se, geralmente, como um sistema fechado em escala global e temporal em relação ao homem (Felippe, 2009). A Figura 2-1 abaixo apresenta um modelo esquemático do Ciclo Hidrológico.

Figura 2-1 – Modelo esquemático do ciclo hidrológico.



Fonte: Adaptado de Cosme (2025).

O Ciclo Hidrológico em escala local, como é o caso de áreas urbanas, se faz como um sistema aberto, o qual é influenciado diretamente por atividades antrópicas que podem determinar as respostas das dinâmicas dos fluxos hídricos, principalmente em relação à velocidade e à forma de circulação da água no Ciclo Hidrológico. A Figura 2-2 apresenta um modelo esquemático dos processos que envolvem os fluxos hídricos, apresentado por Summerfield (1991).

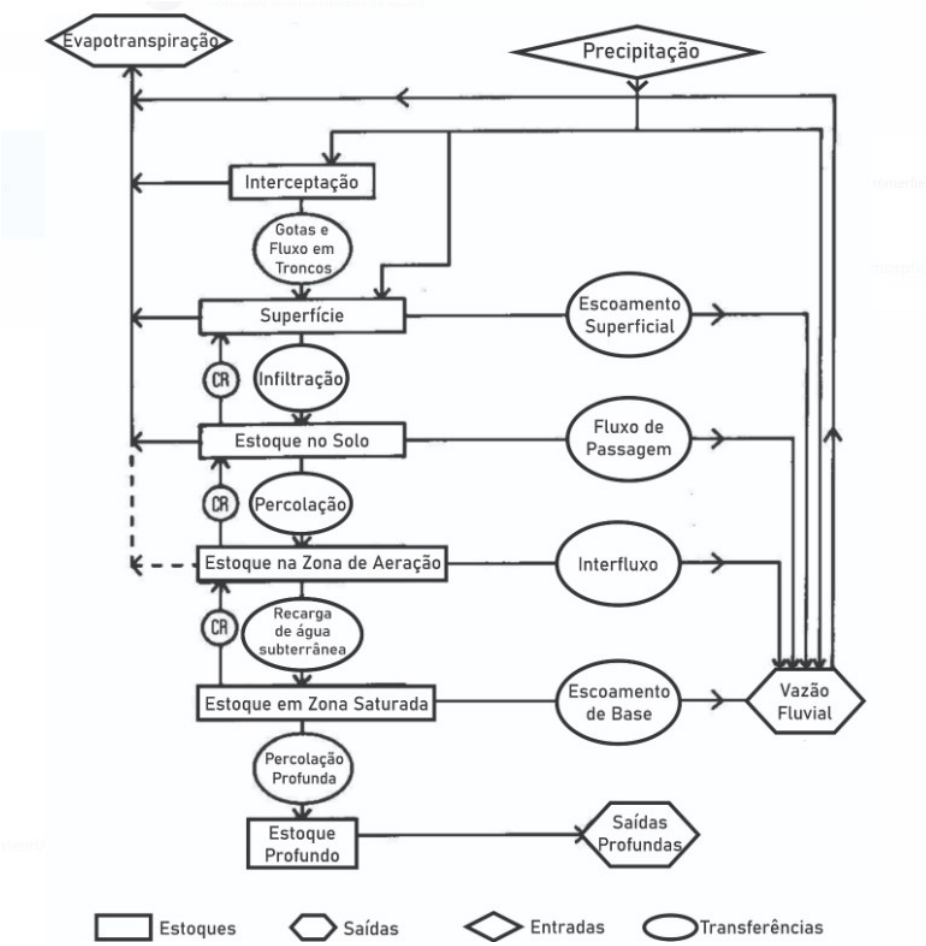
Figura 2-2 – Fluxos hídricos em uma bacia hidrográfica

Fonte: adaptado de Summerfield (1991).

De acordo com a Figura 2-3, existem diferentes processos que são responsáveis pela dinâmica do fluxo hídrico em uma bacia hidrográfica. Os processos relacionados à infiltração, escoamento e percolação da água influenciam diretamente na forma como a água concentra e acelera fluxos hídricos. A Figura 2-3, apresenta um fluxograma geral sobre a dinâmica hídrica

no Ciclo Hidrológico.

Figura 2-3 – Dinâmica hídrica no Ciclo Hidrológico



Fonte: adaptado de Summerfield (1991).

Segundo Tundisi (2003), essas dinâmicas hídricas são modificadas por ações antrópicas que reconfiguram o fluxo hídrico natural, estabelecendo outro tipo de ciclo que se constrói pelas ações políticas, sociais, econômicas e culturais, conhecido como Ciclo Hidrossocial (Imbelloni; Felippe, 2017). O Ciclo Hidrossocial é um conceito de suma importância, principalmente quando se trata de sistemas ambientais localizados em áreas urbanas, sendo abastecido por ações políticas e dinâmicas hidrológicas que coexistem no território (Linton; Budds, 2014). Nesse sentido, a rede hidrográfica presente no município apresenta um fluxo físico de matéria e energia que é moldado e configurado por ações e determinações políticas. Assim, é necessário apontar que os estudos voltados para a temática de nascentes, de forma geral, precisam considerar as ações e determinações políticas, econômicas, sociais e culturais que moldam esses sitemas ambientais, em especial, das que estão presentes em áreas altamente adensadas.

2.1.2 Tipologia de nascentes

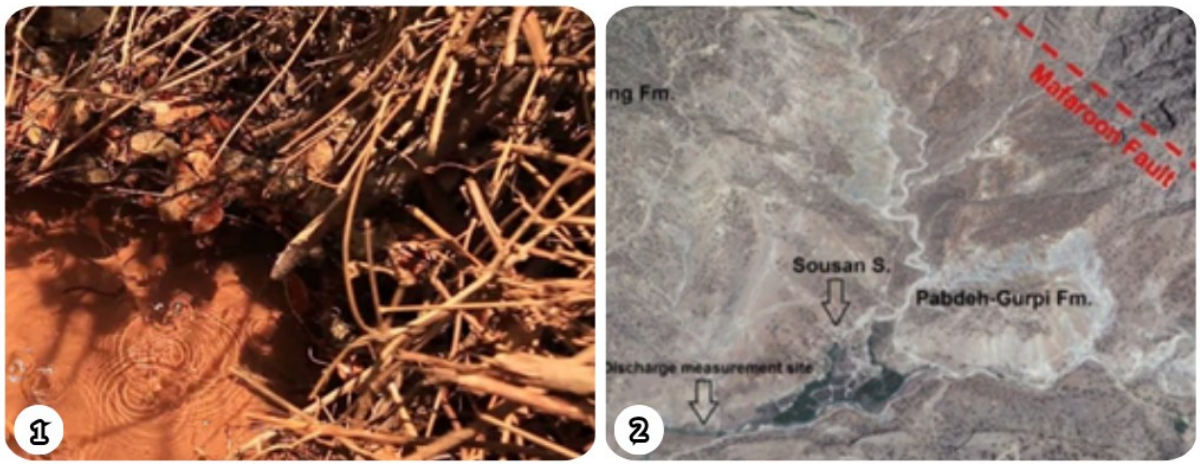
Existem alguns estudos que tratam especificamente sobre as tipologias de nascentes. Desse modo, é importante abordar sobre as pesquisas, tanto na literatura nacional quanto internacional, de destaque em relação às características e tipologias gerais de nascentes. Estabelecer tipologias de nascentes é um exercício de suma importância para levantar a diversidade dos tipos de nascente que podem existir no território. Dessa maneira, entender as tipologias corrobora para compreender as nascentes que são reconhecidas no território, sendo o reconhecimento uma etapa inicial e fundamental para estabelecer programas de recuperação ambiental (Marta; Mendes; Farias, 2015).

Segundo Faria (1997) existem dois tipos de nascentes: fixas e móveis. As nascentes fixas podem ser formadas por contato ou ressurgências em fraturas onde a exfiltração da água subterrânea ocorre em uma mesma área, não migrando ou variando de posição ao longo das estações. Diferente das nascentes fixas, as nascentes móveis migram e variam de posição ao longo do tempo de acordo com a dinâmica do nível freático (Faria, 1997). A mobilidade do local de exfiltração hídrica está diretamente relacionada com a variação do nível freático. Nesse sentido, uma mesma nascente pode migrar pela vertente, pois, é controlada pela dinâmica do nível freático que não apresenta comportamento estável ao longo do ano hidrológico.

Além de Faria (1997), Valente *et al.* (2005) desenvolveram um estudo que instigou a origem e a forma que ocorre a exfiltração hídrica, processo fundamental para a origem de nascentes. Nesse sentido, Valente *et al.* (2005) propuseram a classificação de nascentes com base em critérios geológicos e geomorfológicos. Em relação aos critérios geomorfológicos foram propostos três tipos de classificação de nascente: de encosta, de depressão e difusa. A nascente de encosta origina-se a pela variação da permeabilidade entre as camadas de contato. Já a nascente de depressão associa-se ao borbulhamento pontual, também conhecido como "olho d'água". Por fim, a nascente difusa origina-se em áreas encharcadas ou brejos, quando há múltiplos registros pontuais de exfiltração. Em relação aos critérios geológicos identificam-se outros tipos de classificação de nascente: de lençóis artesianos, falhas geológicas e de rochas cársticas (Valente *et al*., 2005). A nascente de lençóis artesianos, usualmente presente em áreas íngrimes, origina-se pela variação de pressão de aquíferos confinados. Já a nascente de falhas geológicas, origina-se pela descontinuidade litoestrutural existente entre o aquífero e a superfície. Por fim, a nascente de rochas cársticas, geralmente localizada em rochas carbonáticas, origina-se a partir de dutos ou canais cársticos. A Figura 2-4 abaixo apresenta o

exemplo de um dos tipos de nascentes propostos por Valente *et al.* (2005).

Figura 2-4 – Nascente geomorfológica e geológica (Valente *et al*., 2005): 1- Nascente com borbulhamento pontual na Chapada das Mangabeiras; 2- Nascente que exfiltra em vários pontos no contato de falha com o calcário *Sarvak* no Irã.



Fonte: Vardanjani *et al.* (2018).

Além disso, Kresic (2010) elaborou um estudo importante em relação à classificação de nascentes, segundo o autor, a geomorfologia e a litoestrutura possuem papel fundamental na exfiltração hídrica. Ainda, o mesmo autor aponta que as nascentes podem ser divididas em dois grupos principais: nascentes de gravidade e nascentes artesianas. As nascentes de gravidade, também nomeadas como nascentes descendentes, originam-se pela exfiltração hídrica direta do lençol frático na superfície terrestre. Já as nascentes artesianas, também conhecidas como fontes ascendentes ou emergentes, originam-se pela pressão do confinamento do aquífero subjacente. Ademais, Kresic (2010) classifica as nascentes quanto ao seu tipo de exfiltração. Este podendo ser classificado como nascente de infiltração, de fratura (ou fissura) e tubular. A nascente de infiltração é designada para a exfiltração difusa, diferente da nascente de fratura, a qual refere-se à exfiltração concentrada em planos de estratificação, juntas, clivagens e falhas na rocha. Por fim, a nascente tubular refere-se à exfiltração em grandes aberturas. Esse tipo de nascente é geralmente encontrado em áreas cársticas. Outro aspecto abordado por Kresic (2010) sobre as tipologias de nascentes é em relação ao tipo de regime. De acordo com o autor, além das nascentes perenes, a existência de nascentes intermitentes é de suma relevância para a recarga de aquíferos, podendo ser encontradas em materiais consolidados ou não.

Conforme já abordado por diversos autores, como Felippe *et al.* (2013), Felippe (2013), Faria (1997), Carmo *et al.* (2014), além dos aspectos morfológicos, do tipo de exfiltração e da mobilidade do local de exfiltração, o tipo de regime é um parâmetro de suma importância para integrar as classificações de nascentes. A definição da sazonalidade da nascente como perene,

intermitente ou efêmera é amplamente utilizada por diversos autores, tais como Valente *et al.* (2005), Kresic (2010), Faria (1997), Christofoletti (1981). Esta tipologia está condicionada ao clima, o qual é responsável por controlar a dinâmica hídrica das nascentes. Esta está relacionada com os fluxos e processos hidrológicos e interações subterrâneas-superficiais que são responsáveis pela variação da vazão e pelo processo de exfiltração hídrica (Felippe, 2013).

De acordo com Knighton (1984), os processos hidrológicos que resultam em nascentes classificadas como efêmeras estão relacionados com os regimes de chuva que propiciam o escoamento superficial. Assim, nascentes efêmeras são típicas de regiões áridas e semi-áridas devido às respostas hídricas diretamente relacionadas com os eventos de chuva, mas, não descartando a sua ocorrência em outros tipos de região. Diferente das nascentes efêmeras, as do tipo intermitentes ou perenes estão relacionadas com os processos hidrológicos resultados do escoamento subsuperficial e de base. Os fluxos hídricos de escoamento subsuperficial regem a exfiltração das nascentes intermitentes durante o período chuvoso, entretanto, no período de seca, a exfiltração de base para esses sistemas ambientais é cessada. Diferente das nascentes perenes em que, independente do período (seco ou chuvoso), existem respostas hídricas que conferem exfiltração hídrica, seja pelo escoamento subsuperficial ou de base (Felippe, 2013).

É importante ressaltar que, apesar de amplamente utilizados por diferentes estudos, os tipos de regime de nascente não são considerados pela legislação ambiental vigente. A Resolução do CONAMA nº 0004/2012, por exemplo, institui parâmetros legais para nascentes com um único tipo de regime, de forma e mobilidade de exfiltração: nascentes perenes, pontuais e fixas (Brasil, 2002). Desse modo, Carmo *et al.* (2014) ressaltam que isentar a heterogeneidade característica do quadro de nascentes nas normas do país acarreta não só na falta de reconhecimento desses sistemas ambientais, mas também na ausência de ações de proteção voltadas especificamente para essas nascentes. Ainda, Carmo *et al*. (2014) enfatizam que assegurar a proteção de um único quadro de nascentes contribui para a errônea compreensão de que somente a perenidade hídrica é responsável pelo relativo equilíbrio dos cursos d´água visto que fazem parte da única classe explicitamente protegida por lei. Entretanto, é necessário ressaltar que as nascentes não são sistemas fechados e homogêneos e devem ser priorizadas independente de interesses econômicos a fim de assegurar uma proteção contínua (Carmo *et al*., 2014).

É válido ressaltar que o entendimento das tipologias de nascentes evoluiu com os avanços das pesquisas voltadas para a compreensão desses sistemas ambientais. O reconhecimento das diferentes tipologias de nascentes amadureceu ao se comparar com estudos mais antigos, como

Linsley *et al.,* (1978), Batista (1996) e Faria (1997), que classificavam as nascentes com poucos critérios aplicáveis para caracterizá-las precisamente (Felippe; Magalhães Júnior, 2013). Entretanto, é preciso abordar que tais estudos foram importantes para encaminhar pesquisas cada vez mais especializadas ao compreender que existem outros critérios a serem considerados pela diversidade do quadro físico e socioeconômico para caracterizar as nascentes. Nesse sentido, Felippe (2013), elaborou um estudo baseado no método *Grade of Membership* (GoM) para apresentar uma nova metodologia de classificação de tipologias de nascentes. Desse modo, o método GoM possibilitou que uma mesma nascente pudesse apresentar diferentes graus de relação diante de diversas características do quadro físico, como mostra o Quadro 2-2.

Quadro 2-2 - Método GoM para classificação de tipologias de nascentes.

Tipo	**k1**	**k2**	**k3**	**k4**	**k5**	**k6**
Morfologia	Concavidade	Afloramento ou duto	Talvegue	Concavidade	Duto ou olho	-
Tipo de exfiltração	Difusa	Múltipla ou pontual	Pontual	Difusa	Pontual	-
Existência de contato estratigráfico	Sem contato	Com contato	Indiferente	Com contato	Sem contato	-
Vazão média anual	Baixa	Indiferente	Baixa	Baixo à média	Média à baixa	-
Razão de vazão	Prioritariamente estável, tendendo a superior a 1	Prioritariamente inferior a 1	Muito elevada	Prioritariamente estável, tendendo a superior a 1	Muito elevada	-
Migração	Indiferente	Fixa	Não mensurável	Móvel	Não mensurável	-
Prof. Média do manto de intemperismo	Profundo	Raso	Médio	Médio	Profundo	-
Posição dos afloramentos rochosos	Ausente	Na nascente	Existente (na nascente ou arredores)	Ausente ou arredores	Ausente	-
Sazonalidade	Perene	Perene	Intermitente	Perene	Intermitente	-
Nome	**Freática**	**Dinâmica**	**Sazonal erosiva**	**Flutuante**	**Sazonal de encosta**	**Antropogênica**

Fonte: Felippe (2013).

De acordo com o Quadro 2-2, a nascente classificada como antropogênica foi o único tipo que não apresentou variações do quadro físico pelo fato de essa tipologia assumir qualquer característica. De acordo com Felippe *et al.* (2014), as nascentes antropogênicas são originadas

e condicionadas por ações antrópicas. Tais ações criam uma nova superfície pela erosão acelerada, remoção da cobertura pedológica superficial ou construção de valas, por exemplo, que promovem a exfiltração hídrica em áreas que naturalmente não são condicionadas para tal. Essa exfiltração hídrica, por relacionar com uma rede de drenagem, origina uma nascente antropogênica (Felippe *et al.*, 2014). Nesse sentido, as ações antrópicas que resultam em nascentes antropogênicas podem ser resumidas, de forma simplificada, em ações que promovem um "corte" suficientemente profundo para forçosamente ocorrer uma exfiltração hídrica que esteja relacionada à uma rede de drenagem. Felippe (2009) apresenta o conceito de nascente antropogênica tendo em vista as alterações hidrogeomorfológicas, principalmente em áreas urbanas, as quais usualmente praticam ações que interferem diretamente na dinâmica pluvial e fluvial, acarretando, consequentemente, em alterações dos fluxos de matéria e de energia. De acordo com Brierley *et al.* (2005), os espaços urbanos promovem perturbações ambientais (Sousa *et al*., 2006) capazes de modificar as condições naturais da dinâmica hidrogeomorfológica dos sistemas hídricos. A Figura 2-5 apresenta diferentes nascentes antropogênicas presentes no município de Belo Horizonte.

Figura 2-5 - Nascentes antropogênicas em Belo Horizonte

Foto: Elaborado pela autora.

Diante das tipologias de nascentes apresentadas, é importante ressaltar que não é cabível fundamentar as diversas tipologias de nascentes apenas por um único critério de classificação. Essa situação é pertinente, pois, como ressaltado por Felippe (2009) e Felippe e Magalhães Júnior (2013), é importante a criação de diferentes tipologias que considerem critérios multivariados para a classificação de nascentes. Nesse sentido, chaves de classificações que compreendam o contexto em que se insere as nascentes são fundamental para, principalmente, elaborar políticas de proteção ambiental que possam definir áreas principais de ação ou de conservação desses sistemas ambientais, por exemplo. Assim, considerar esse quadro para as

nascentes urbanas é primordial, visto que esses sistemas ambientais coexistem com perturbações características de áreas altamente adensadas. Dessa maneira, considerar essas perturbações como uma das chaves de classificação das nascentes urbanas, por exemplo, é fundamental, pois, é um elemento característico desses sistemas ambientais. Desse modo, este trabalho, visando investigar as características tipológicas de nascentes urbanas a partir de um conjunto amostral previamente definido, criará chaves de classificações específicas que contribuirão para levantar nascentes críticas de proteção situadas fora de áreas protegidas no município de Belo Horizonte.

2.1.3 Áreas urbanas: adensamento e impactos em nascentes

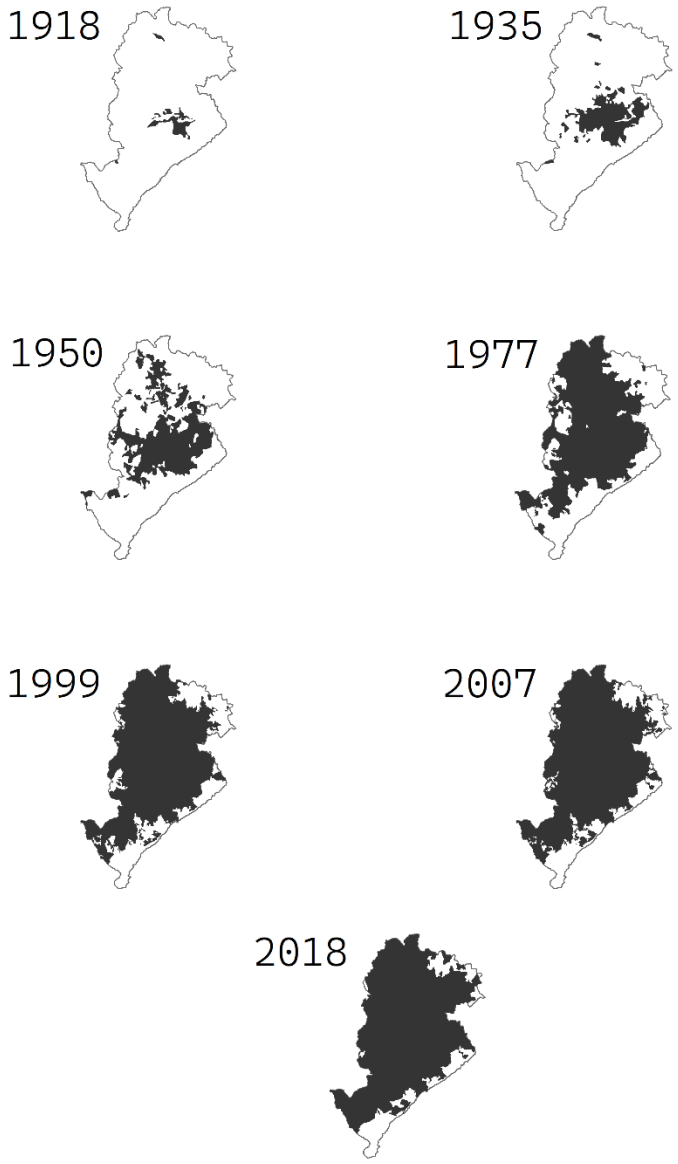
As nascentes presentes em áreas urbanas respondem de forma diferente daquelas presentes em áreas menos perturbadas por ações antrópicas. Estas perturbações são entendidas como qualquer tipo de alteração do ambiente que descaracterize as condições naturais de uso e ocupação do solo, como canalização de rios, alteração da topografia e impermeabilização do solo pelo homem (Sousa *et al*., 2006). A artificialização do espaço urbano cria uma nova natureza, a qual interfere diretamente nos fluxos naturais de energia e matéria. Nesse sentido, como abordam Baptista *et al.* (2013) e Ikematsu *et al.* (2017), áreas urbanas alteram quantitativa e qualitativamente os sistemas hídricos devido a diferentes fatores, tais como impermeabilização do solo, alteração da cobertura vegetal por edificações e retirada de água em fontes superficiais e subterrâneas. Assim, compreender a dinâmica fluvial das nascentes presentes em áreas urbanas é fundamental para viabilizar a elaboração de projetos que dialoguem com a realidade da cidade com o fim de protegê-las (Marta *et al.*, 2015).

De acordo com Knighton (1984), materiais, como o concreto e o asfalto, dão origem a um novo sistema de infiltração e exfiltração hídrica, diferente do que geralmente é apontado em áreas mais preservadas, principalmente por reduzir a capacidade de infiltração do solo em comparação com áreas naturais. Ainda, em áreas muito urbanizadas o fluxo de matéria e de energia também responde aos processos exógenos, como o intemperismo e erosão, entretanto, a forma e a dinâmica dessa resposta adequa-se à configuração imposta pelo ambiente altamente artificializado. Segundo Brierley (2005), as alterações antrópicas provocam perturbações que podem implicar em alterações que vão além das condições hidrogeomorfológicas naturais dos cursos d'água. Além disso, é preciso enfatizar que os processos naturais de infiltração e exfiltração hídrica não deixam de ocorrer por conta da criação de uma nova configuração da superfície topográfica. Nesse sentido, a ocorrência desses processos naturais em ambientes

artificializados quando não planejados, geralmente, acarretam em desastres não contentados pelo município, como inundações em áreas de edificação, deslizamento de terra e desmoronamento de construções, entre outros (Brierley, 2005).

Quando as instituições governamentais não apresentam nem executam planos voltados à mitigação das interferências nas condições naturais das nascentes, o município, muitas vezes, acaba por comprometer não só a quantidade e a qualidade hídrica, mas também levando à descaracterização e até à supressão de corpos hídricos (Cembranel *et al.*, 2019). A Figura 2-6, apresenta a evolução da mancha urbana em um intervalo de aproximadamente 30 anos no município de Belo Horizonte.

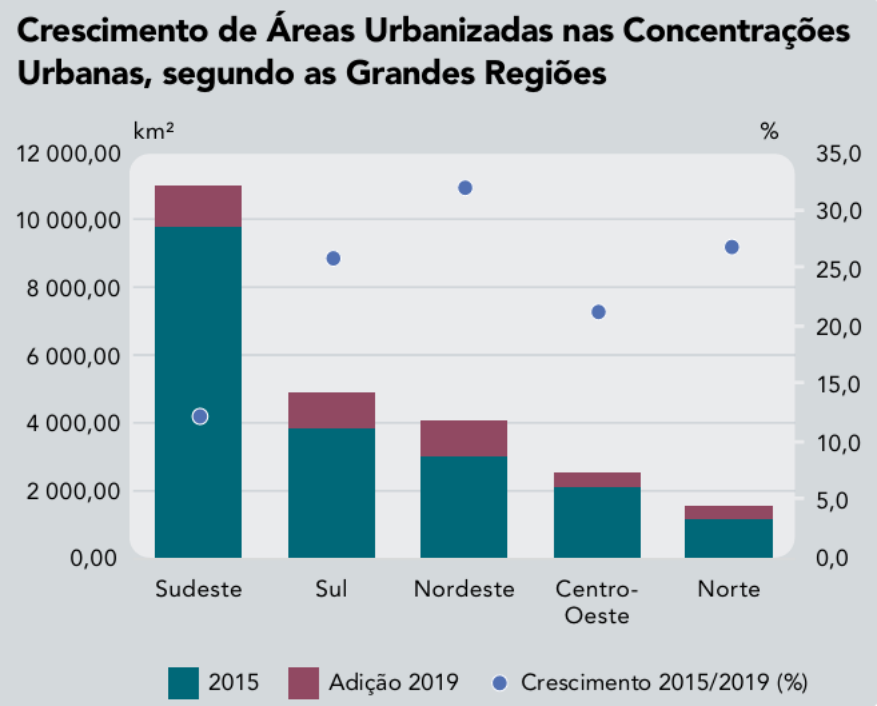
Figura 2-6 - Evolução da mancha urbana no município de Belo Horizonte



Fonte: BH Map (2024).

As áreas urbanas no país têm apresentado aumento considerável, com crescimento de 19% entre 2015 e 2019 (IBGE, 2019) - Gráfico 2-2.

Gráfico 2-2 – Crescimento de áreas urbanizadas no Brasil entre 2015 e 2019



Fonte: IBGE (2019).

De acordo com Farias *et al.* (2017), a rápida e considerável alteração na configuração de áreas altamente densificadas no território brasileiro exige que sejam criadas novas orientações de políticas públicas que condizem com o contexto de áreas urbanas no país. Nesse sentido, estabelecer normas que não retratam as especificidades de áreas urbanas pode acarretar em políticas pouco eficientes ou até não funcionais para a proteção do meio ambiente e, em especial, das nascentes. Em termos legais, as normas em âmbito federal que tratam da proteção de nascentes pouco dialogam com a configuração de áreas altamente urbanizadas. Têm-se como exemplo que ilustra essa situação, a vigente Resolução nº 0004, de 20 de março de 2002, a qual define Áreas de Preservação Permanente (APP) com o raio de no mínimo 50 (cinquenta) metros para as nascentes (Brasil, 2002). Segundo Valente *et al.* (2005), essa Resolução banaliza a complexidade que existe para a proteção de nascentes, ademais a conservação da qualidade da água se mantém comprometida visto que a preservação de 50 m é insignificante perante um contexto que usualmente não protege as áreas de recarga de aquíferos. Ainda, Carmo *et al.* (2014) ressaltam que o mapeamento das APPs de nascentes comumente é resumido em um *buffer* de 50 m, ou seja, um polígono que envolve uma feição vetorial por um raio de 50 m. Esse método oculta especificidades da dinâmica hidrogeomorfológica característica de cada

nascente, além de não ser funcional para uma proteção ideal das áreas em que as nascentes se inserem. Ainda, Carmo *et al.* (2014) apontam que um parâmetro que pode ser ideal para a proteção desses sistemas ambientais é a consideração da bacia de contribuição, a qual assegura a proteção para as nascentes de diferentes regimes hídricos visto que a área responsável pela exfiltração hídrica, independente da variação do nível freático, será protegida.

Ademais, Felippe e Magalhães Júnior (2009) abordam que, apesar da existência de áreas de proteção no município, como parques municipais e Unidades de Conservação, é imprescindível que a gestão ambiental e do território não se limite ao manejo dessas áreas, visto que as perturbações externas, como impermeabilização do solo e falhas do saneamento, impactam diretamente os padrões dos fluxos e da exfiltração hídrica da rede de drenagem como um todo. Assim, devem-se considerar ações de proteção das nascentes de forma geral, tanto as que estão inseridas em locais protegidos ou fora de parques municipais ou Unidades de Conservação, visando mitigar os impactos na manutenção do equilíbrio hidrológico.

Diante do exposto, é importante ressaltar que compreender a dinâmica do município para desenvolver ações de proteção e de conservação não significa desocupar ou proibir o acesso à determinadas áreas no município. Dessa maneira, é necessária a execução de ações de proteção e de conservação que viabilizem o convívio sustentável com os elementos que estão inseridos e coexistem com a dinâmica do município. Nesse sentido, existem projetos, como Gorski (2008) e Ikeda (2019), alinhados com essa concepção de priorizar a aproximação sustentável entre o meio ambiente e a cidade. Entretanto, nota-se uma lacuna em relação às ações de proteção de nascentes localizadas fora de áreas protegidas. Em termos legais, houve avanços significativos para o reconhecimento e compreensão desses sistemas ambientais, contudo, é notável a ausência de iniciativas em prol de ações para a proteção e conservação de nascentes urbanas no país.

Não obstante, é válido apontar que as áreas urbanas devem ser reconhecidas como espaços que também podem conferir alto potencial de práticas de conservação a partir da execução de serviços ecossistêmicos (Raimundo, 2006). Nesse sentido, em relação às nascentes urbanas, é importante reconhecer os impactos ambientais promovidos pela cidade para desenvolver práticas e ações de conservação e proteção desses sistemas ambientais que sejam adeptos à realidade urbana. O Quadro 2-3 elenca os principais impactos ambientais urbanos e suas consequências para a dinâmica das nascentes.

Quadro 2-3 - Impactos ambientais sobre nascentes urbanas

IMPACTOS AMBIENTAIS URBANOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A DINÂMICA DAS NASCENTES		
Impactos	**Consequências gerais no sistema hídrico**	**Consequências para as nascentes**
Impermeabilização do solo	Aumentos da quantidade e da velocidade do escoamento superficial Redução da recarga dos aquíferos Intensificação dos processos erosivos Aumentos da carga sedimentar para os cursos d'água Assoreamento e inundações	Descaracterização; Redução da vazão; e Desaparecimento.
Resíduos (combustível, esgoto, lixões, etc.)	Poluição das águas subterrâneas.	Redução na qualidade da água.
Retirada de água subterrânea	Rebaixamento do nível freático.	Redução da vazão; e Desaparecimento.
Substituição da cobertura vegetal	Intensificação dos processos erosivos Assoreamento Inundações Diminuição da retenção de água Aumento da energia dos fluxos superficiais	Descaracterização; Redução da vazão; e Desaparecimento.
Construções	Drenagem de nascentes; e Aterramento.	Descaracterização; e Redução da vazão.
Canalização de rios	Aumento da velocidade e da energia dos fluxos Alteração no padrão de influência/efluência dos rios	Descaracterização; e Redução da vazão.
Ilha de calor	Alteração no padrão de chuvas Alteração no padrão de recarga	Alteração da vazão.

Fonte: Adaptado de Felippe e Magalhães Júnior (2009).

O Quadro 2-3 é resultado de um estudo elaborado por Felippe e Magalhães Júnior (2009) que teve o objetivo de elencar as possíveis consequências dos impactos ambientais em nascentes urbanas no município de Belo Horizonte. De acordo com o resultado obtido pela pesquisa, grande parte dos impactos causam a alteração de vazão de nascentes urbanas. Nesse sentido, Felippe e Magalhães Júnior (2009) apontam que, em alguns casos a redução significativa da vazão pode causar a supressão da própria nascente em determinado tempo ou alteração do regime e da mobilidade da nascente. A Figura 2-7 ilustra o caso de uma nascente no município de Belo Horizonte que, devido á ausência de ações de proteção e de conservação, foi suprimida.

Figura 2-7 - Cenário de antes e depois da nascente tamponada em Belo Horizonte.

Fonte: Google *Street View* (2024).

2.1.4 Nascentes e provisão de serviços ecossistêmicos

Independente dos vários tipos de classificação de nascentes, é importante abordar que a conservação e a proteção desses sistemas ambientais em áreas urbanas é um desafio considerável visto que diferentes políticas ambientais não dialogam com o crescimento acelerado e desordenado de grande parte dos municípios do país. Tendo em vista esse cenário, na década de 1970 surgiu o conceito de serviços ecossistêmicos diante dos impactos negativos, como o estreitamento da camada de ozônio e desmatamendo de florestas nativas, e da forma insustentável de utilizar e lidar com os recursos naturais, além do interesse público para a conservação e valorização da biodiversidade (Muñoz; Freitas, 2017; Gomez-Baggethun *et al.*, 2010). De acordo com Constanza *et al.* (1997) e o programa *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), os serviços ecossistêmicos são benefícios obtidos pelo Homem, de forma direta ou indireta, oferecidos pelos ecossistemas para proporcionar o bem-estar social e uma vida humana mais sustentável. Nesse sentido, o MEA (2005) classificou os serviços ecossistêmicos em quatro categorias, as quais também são reconhecidas pela Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (Brasil, 2021), a saber:

1. **Serviços de provisão:** produtos obtidos de forma direta pelo ecossistema, como água, fonte de energia, e produtos bioquímicos;
2. **Serviços de regulação:** funções regulatórias e de manutenção de estabilidade promovidas pelo ecossistema, como controle da erosão, manutenção da qualidade do ar, purificação da água, manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico;
3. **Serviços de suporte:** processos necessários para a provisão e manutenção dos demais

serviços ecossistêmicos, resultado de impactos positivos como ciclagem de nutrientes, polinização, decomposição de resíduos e produção de oxigênio atmosféricos; e

4. **Serviços culturais:** produtos não-materiais, vinculados ao comportamento e valores humanos, promovendo e gerando conhecimento e a multiplicidade de culturas, como recreação, identidade cultural e turismo.

O estudo elaborado por Muñoz e Freitas (2017) teve o objetivo de reunir os trabalhos publicados sobre a contribuição e importância dos serviços ecossistêmicos em áreas urbanas durante o período de 2003 a 2015. Grande parte dos artigos alvos dessa pesquisa foram publicados em países centrais, como Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido, que apresentam processos de urbanização antigos e impactos ambientais significativos pelo acelerado crescimento industrial e do maior uso de recusos naturais. Assim, países centrais adoratam políticas ambientais, visando a proteção e conservação dos recursos naturais em áreas urbanas por meio de serviços ecossistêmicos (Muñoz; Freitas, 2017). Ainda, Muñoz e Freitas (2017) destacam as principais contribuições apontadas nos trabalhos científicos alvos do estudo, como serviços ecossistêmicos voltados para a manutenção das fontes hídricas, valorização paisagística e cultural das áreas urbanas e planejamento e sustentabilidade urbana.

De acordo com Estéfano *et al.* (2022), atribuir um valor monetário para valorizar os benefícios obtidos pelos serviços ecossistêmicos é um instrumento eficaz para a conscientização em relação ao uso e práticas de políticas sustentáveis sobre os recursos naturais. À título de exemplo dessa situação têm-se o estudo elaborado por Silva *et al.* (2023) que quantificou os serviços ecossistêmicos prejudicados pelo desmatamento no período de 1985 a 2017 na Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo - PA. A partir desse estudo foram levantados diferentes benefícios proporcionados pelos serviços ecossistêmicos que foram atribuídos à área de interesse, e, apresentados pelo Quadro 2-4.

Quadro 2-4 - Serviços ecossistêmicos que são impactos na Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo – PA.

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	
Tipo de Serviço	**Benefício**
Provisão	Provisão de alimentos Fornecimento de água Matéria-prima Recursos genéticos Recursos medicinais Recursos ornamentais

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	
Tipo de Serviço	**Benefício**
Regulação	Regulação da qualidade do ar
	Regulação climática Moderação de eventos extremos Regulação do fluxo de água Tratamento de efluentes Prevenção de erosão Ciclagem de nutrientes Polinização Controle biológico
Manutenção	Manutenção da diversidade genética Habitat para espécies
Culturais	Informação estética Recreação Inspiração para cultura, arte e design Experiência espiritual Desenvolvimento cognitivo

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2023).

Em relação às nascentes, existem poucos trabalhos que tratam diretamente dos serviços ecossistêmicos que esses sistemas ambientais podem apresentar. O estudo elaborado por Ikematsu *et al.* (2017) discorre sobre a importância que as nascentes apresentam para o fornecimento de serviços ambientais hídricos, os quais são resultado de ações de conservação e restauração dos serviços ecossistêmicos. Desse modo, Ikematsu *et al.* (2017) abordam que existem funções ambientais que justificam a importância das nascentes, principalmente, pela manutenção de processos hídricos fundamentais para a vida e para a garantia do equilíbrio ambiental.

Das diferentes funções que existem em relação às nascentes urbanas, muito trabalhos como Chaves (2023) e Gomes *et al.* (2021), elencam algumas atividades mais comuns, como educação ambiental e pedagógica, irrigação, reservatório para piscicultura, beleza cênica e oferta de água para consumo humano ou fins domésticos. Dentre as atividades mais comuns, é cabível apontar que estas integram, sumariamente, os serviços de provisão e de cultura em relação aos serviços ecossistêmicos. Contudo, as nascentes também desempenham funções ambientais que estão relacionadas diretamente com os serviços de regulação e de suporte visto que são sistemas ambientais indispensáveis a manutenção dos sistemas hídricos (Tucci, 2004). Nesse sentido, Tasca *et al.* (2021) ressaltam que nascentes presentes na cidade usualmente encontram-se privadas de seus respectivos serviços ambientais de regulação e de suporte únicos, como eliminação ou atenuação da poluição a jusante, recarga de aquíferos e redução de

condicionantes microclimáticas, controlando temperaturas e mantendo a umidade.

É importante frisar a necessidade e a importância de compreender a dinâmica de nascentes em áreas altamente adensadas e dos seus potenciais serviços para embasar medidas de sustentabilidade que dialoguem com a própria dinâmica de espaços urbanos. Essas medidas, traduzidas na valorização de serviços ecossistêmicos, devem ser inovadoras na medida em que garantam a proteção e a preservação contínua do meio ambiente, conciliando com as pressões políticas em relação ao uso e ocupação da terra (Muñoz; Freitas, 2017). De acordo com Andrade e Romeiro (2013), é necessário avançar em propostas e em ferramentas de gestão para aprimorar os serviços ecossistêmicos na cidade, os quais ainda estão regidos por normas reducionistas e pouco funcionais diante da realidade urbana. Nesse sentido, apesar da instituição de diversas normas que visam reconhecer e priorizar a implantação de políticas ambientais, como o Novo Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012) que reconhece os serviços ecossistêmicos, nota-se a distância que existe entre as iniciativas da legislação ambiental com a dinâmica da cidade em relação à proteção de nascentes. Nesse sentido, embora este trabalho não tenha como objetivo principal elencar os serviços ecossistêmicos desempenhados por nascentes urbanas, é possível estabelecer relações entre esses serviços e os diferentes tipos de uso identificados nas nascentes analisadas. A partir disso, foram propostas ações que visam reconhecer, valorizar e potencializar os benefícios ecossistêmicos associados às nascentes situadas fora de áreas protegidas no município de Belo Horizonte.

2.2 Panorama e evolução do quadro legal sobre nascentes

A presente seção se encontra dividida em quatro itens relacionados com a evolução do quadro legal em relação à compreensão e ações de proteção sobre as nascentes. Os três primeiros itens tratam das iniciativas em termos legais, em âmbito federal, estadual e municipal, respectivamente, sobre o reconhecimento e normas de restrição e proteção em relação às nascentes. Ademais, o último item trata, especificamente, sobre as iniciativas do poder público e da sociedade a fim de apresentar/destacar as propostas e o que se tem feito em relação à proteção e reconhecimento desses sistemas ambientais. O panorama e evolução do quadro legal sobre nascentes é de suma importância visto que as ações tomadas pelas diferentes instâncias governamentais devem estar em concordância com as diretrizes estabelecidas nas normas.

2.2.1 Iniciativas da legislação nacional

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), intituída em 31 de agosto de 1981, e a Política

Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida em 8 de janeiro de 1997 (Brasil, 1981; 1997) são as principais leis nacionais que firmam diretrizes voltadas para a proteção de sistemas hídricos no país. Em relação à proteção de nascentes, é válido ressaltar que inexiste norma direcionada especifica e unicamente para a proteção de nascentes visto que as legislações acerca do meio ambiente e de recursos hídricos integram diretrizes voltadas para esses sistemas ambientais. Não obstante, é fundamental salientar que a diversidade de normas legais que abordam sobre nascentes, principalmente, em relação ao seu conceito, pode corroborar para uma diversidade de interpretações por parte de diferentes agentes, tanto do Estado quanto da sociedade civil, prejudicando a potencial efetividade por parte da legislação em relação a proteção desses sistemas ambientais (Felippe, 2009; Carmo *et al*., 2014; Ikematsu *et al*., 2017; Souza *et al*., 2019; Chaves, 2023) .

Em relação aos objetivos da PNMA destaca-se a definição de áreas prioritárias de ação governamental relativa à qualidade e ao equilíbrio ecológico, atendendo aos interesses da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios (Brasil, 1981). A definição dessas áreas prioritárias é uma ação que está diretamente relacionada com o planejamento e a fiscalização do uso dos recursos ambientais estabelecida pela PNMA. Entretanto, é válido destacar que a legislação nacional não dispõe de diretrizes específicas que estabeleçam os critérios utilizados para a definição de áreas prioritárias visto que essa ação deve visar as jurisdições específicas de cada órgão local. No caso do município de Belo Horizonte, por exemplo, cabe a Secretaria Municipal de Belo Horizonte estabelecer as áreas prioritárias relativas à qualidade ambiental em que haverá ação do Executivo Municipal (PBH, 1985). Nesse sentido, em relação à proteção de sistemas hídricos a PBH estabeleceu Áreas de Diretrizes Especiais (ADEs) de Interesse Ambiental, e, um dos critérios para a identificação dessas áreas compreendem nascentes, cursos d'água, lagoas e represas (PBH, 2019).

Após 16 anos do estabelecimento da Política Nacional do Meio Ambiente, em 8 de janeiro de 1997 foi firmada a Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997). Dentre os fundamentos firmados pela PNRH, destaca-se a bacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação da norma e do gerenciamento dos recursos hídricos. Esse fundamento é de suma relevância visto que somente a proteção local de nascentes não certifica a manutenção relativa à qualidade e ao equilíbrio ecológico, como ressaltado pela PNMA. De acordo com Felippe (2009), as nascentes são resultados de uma dinâmica que envolve diferentes processos hidrológicos superficiais e subsuperficiais. Nesse sentido, é importante firmar a bacia hidrográfica como unidade territorial e de gestão visando a proteção do sistema ambiental

característico da nascente como um todo.

Outro marco importante em relação às iniciativas da legislação nacional para a proteção de nascentes, é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nº 004/1985 e nº 303/2002 (Brasil, 1985; 2002). O CONAMA é um órgão consultivo e deliberativo firmado pela Política Nacional de Meio Ambiente para assessorar, estudar e propor diretrizes para o meio ambiente e os recursos naturais (Brasil, 1981). A Resolução CONAMA nº 0004 foi estabelecida em 18 de setembro de 1985. Esta Resolução estabelece os critérios que devem ser considerados para as áreas de Reserva Ecológicas e áreas de florestas de preservação permanente. Em relação às bases conceituais estabelecidas por essa norma, é definido que nascente ou olho d´água são locais onde se verifica o aparecimento de água por afloramento do lençol frático (Brasil, 1985). Nesse sentido, é preciso ressaltar que a Resolução nº 0004/1985 foi a primeira norma nacional que estabeleceu explicitamente o conceito de nascente. Ainda que em discordância com o significado de nascente para diferentes autores, como aponta o capítulo de bases conceituais de nascentes, é um marco importante que viabilizou diversas discussões a cerca de suas terminologias. Não obstante, em relação a proteção de nascentes, a Resolução nº 0004/1985 somente refere-se as áreas de reservas ecológicas, sem tratar especificamente da proteção das áreas de nascentes de forma geral.

Em 20 de março de 2002, 17 anos após a promulgação da Resolução nº 0004, o CONAMA estabelece a Resolução nº 303, a qual revoga a Resolução nº 0004 supracitada e pauta os parâmetros, definições e limites das Áreas de Preservação Permanente (APP) (Brasil, 2002). Esse momento é um marco de suma relevância visto que a Resolução nº 303 é a primeira norma que trata especificamente de áreas de proteção de nascentes. Nesse sentido, a Resolução nº 303/2002 estabelece que as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d´água perenes, independente do contexto topográfico devem obter APP com o raio de no mínimo 50 (cinquenta) metros (Brasil, 2002). Em relação ao conceito de nascentes nota-se alguns avanços, pois a nascente ou olho d'água para a Resolução nº 303/2002 é o local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea. Assim, é válido ressaltar que essa Resolução considera a váriavel de regime desses sistemas ambientais, além de indicar que a nascente é resultado de um afloramento natural da água subterrânea para a superfície. Contudo, o conceito de nascente empregado pela Resolução nº 303 é limitante e ainda apresenta discordâncias por parte de diferentes autores. De acordo com Felippe (2009), essa Resolução atentou-se com a espacilização da nascente ao fazer alusão ao "local" em que ocorre a exfiltração da água subterrânea.

Após o estabelecimento da Resolução nº 303, em 25 de maio de 2012 houve a promulgação de Lei nº 12.651 também conhecida como "Novo Código Florestal Brasileiro", de 25 de maio de 2012, que estabeleceu as normas gerais sobre áreas de proteção (Brasil, 2012). Nesse momento, o conceito de nascente foi atualizado, passando a ser considerado por essa norma nacional como afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d´água, distinguindo-se do conceito de olho d'água, o qual é indicado por essa norma como afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente (Brasil, 2012). Nesse sentido, é preciso destacar que, em termos legais, nascente e olho d'água foram distinguidos, porém, a atualização dos conceitos trazidos pela Lei não retomou a variação em relação ao regime de nascentes, caracterizando-as necessariamente por apresentar perenidade. Ainda, a Lei nº 12.651/2012 considerou a premissa de que uma nascente deve dar início a um curso d'água. A nova concepção de nascente considerada pela Lei nº 12.651/2012 é criticada por Carmo *et al.* (2014), principalmente por não incluir diferentes tipos de regimes de nascentes. Diante do exposto, apesar da relativa preocupação da legislação nacional em atualizar o conceito de nascente, ainda é notável que o conceito apresenta limitações e discordâncias por grande parte dos autores, como aponta o capítulo anterior.

No mesmo ano e após cerca de cinco meses que foi estabelecida a Lei nº 12.651/2012, é firmada a norma nacional nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Esta norma altera diferentes pautas já estabelecidadas pela Lei nº 12.651/2012 e dá outras providências (Brasil, 2012). Em relação ao conceito de nascentes, a Lei nº 12.727/2012 não apresenta alterações, entretanto, é válido destacar que em relação à proteção desses sistemas ambientais, a Lei nº 12.727/2012 considera em zonas urbanas a Área de Preservação Permanente no entorno de nascentes e olhos d'água perenes com a admição de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição do raio mínimo de 15 (quinze) metros (Brasil, 2012). Diante desse cenário, é importante salientar que a legislação nacional começa a apresentar condições que dialoguem com a realidade de áreas altamente urbanizadas, as quais apresentam restrições que dificultam a proteção de nascentes. Entretanto, a proteção de nascentes em áreas urbanas, conforme a Lei nº 12.727/2012, ainda não considera a variação dos diferentes tipos de regime das nascentes, visando a proteção daquelas que somente apresentam perenidade.

Outra norma de destaque em relação à proteção de nascentes é a Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, também conhecida como Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA) (Brasil, 2021). Esta norma considera que os serviços ecossistêmicos, entendidos como benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas em relação à

manutenção, recuperação e melhorias das condições ambientais, apresentam diferentes categorias. Dentre essas categorias destacam-se os serviços ambientais, os quais constituem como atividades, individuais ou coletivas, que favoreçam os benefícios dos serviços ecossistêmicos (Brasil, 2021). Ademais, é válido destacar os objetivos da PNPSA que fundamentam em estimular a conservação dos ecossistemas e dos recursos hídricos, reconhecer as iniciativas individuais ou coletivas que favoreçam os benefícios dos serviços ecossistêmicos e o estímulo à pesquisa científica em relação à valoração e ao desenvolvimento de metodologias de execução dos serviços ecossistêmicos (Brasil, 2021). Nesse sentido, é de suma importância destacar a magnitude dos efeitos que iniciativas individuais e coletivas, em conjunto com pesquisas científicas, têm gerado para a proteção dos recursos hídricos e do meio ambiente como um todo.

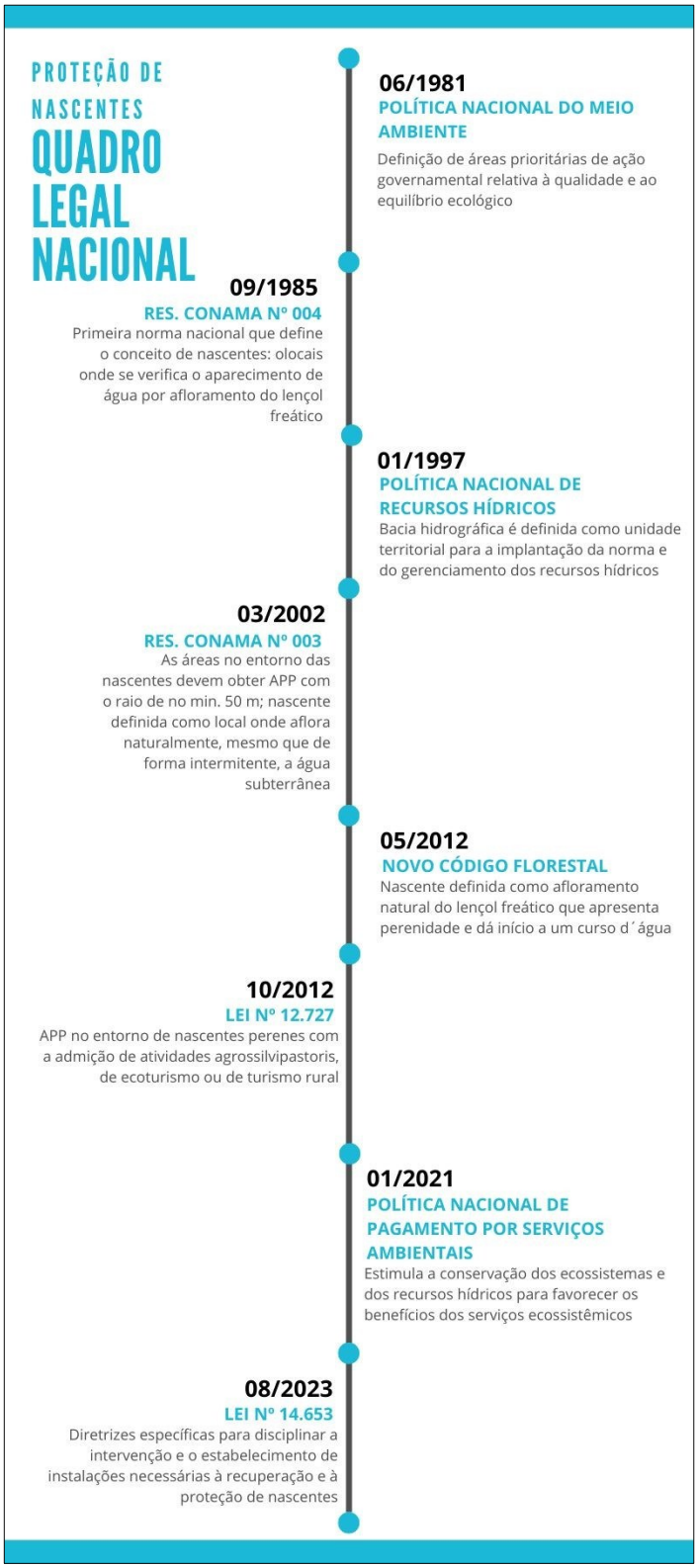
Além disso, a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais instituiu o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA), o qual promove ações de conservação de remanescentes vegetais em áreas urbanas e periurbanas para a manutenção e melhoria dos recursos hídricos, além da conservação e melhoria da quantidade e da qualidade da água, em especial em bacias hidrográficas de relevância para o abastecimento humano e para a dessedentação animal ou em áreas sujeitas a risco de desastre (Brasil, 2021). Diante do contexto acerca da PNPSA, é válido destacar que essa norma, em consonância com a Lei nº 12.727/2012, também dialoga com restrições que são conferidas por áreas urbanas. Nesse sentido, quando a iniciativa de proteção de nascentes é reconhecida por Lei, viabiliza-se uma nova alternativa para fomentar a manutenção e proteção dos recursos hídricos visto que existe legislação nacional que confere a relevância e o reconhecimento dessas atividades. Entretanto, como apontado por Mascaretti Jr. (2023), o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais deve considerar as particularidades de cada contexto regional do país. Não obstante, ressalta-se que um dos benefícios de destaque do PFPSA é o reconhecimento e recompensação por serviços ambientais, essa situação se faz como uma ferramenta estratégica para incentivar a preservação dos recursos naturais.

Ademais, outro marco importante da PNPSA acerca da proteção de sistemas hídricos é em relação às APPs que são elegíveis para pagamento por serviços ambientais com a preferência para as áreas em bacias hidrográficas consideradas críticas para o abastecimento público de água. Esse critério foi reformulado pela Lei nº 14.653, de 23 de agosto de 2023, a qual firma diretrizes específicas para disciplinar a intervenção e o estabelecimento de instalações necessárias à recuperação e à proteção de nascentes (Brasil, 2023). Nesse sentido, a norma nº

14.653/2023, além de nomear bacias hidrográficas consideradas críticas para o abastecimento público de água, passou a eleger também a preferência por áreas localizadas no entorno de nascentes para pagamento por serviços ambientais. Essa ação é de suma importância em relação à proteção de nascentes visto que por Lei é conferida diretriz que evidencia preferência por áreas que integram esses sistemas ambientais. Dessa forma, o reconhecimento e a garantia do pagamento por serviços ambientais (PSA) propicia o aumento de programas a serem estabelecidos para atender as especificidades locais, em especial, em áreas altamente urbanizadas. Segundo Coelho *et al.* (2021), existe uma tendência do aumento do número de municípios e estados brasileiros que estão aderindo ao instrumento de incentivo econômico de PSA, integrando condutas voltadas para a recuperação, aumento, conservação e provisão hídrica.

A seguir, a Figura 2-8, apresenta um resumo geral da evolução do quadro legal nacional em relação à proteção e o conceito de nascentes no país.

Figura 2-8 – Panorama legal nacional de proteção de nascentes.



Fonte: Elaborado pela autora.

É válido destacar que a evolução do quadro legal nacional em relação à proteção e o conceito de nascentes no país avançou de forma paulatina. Após a Política Nacional do Meio Ambiente, houve a implantação da Resolução CONAMA nº 0004 em 1985 que trouxe mudanças

significativas, entretanto, somente após 17 anos que essa norma foi revogada, estabelecendo a Resolução CONAMA nº 303/2002 que apresenta outras diretrizes em relação ao conceito e proteção de nascentes. Após a Resolução nº 303/2002 não houve normas, em âmbito nacional, que trouxeram ou incorporaram atualizações relevantes em relação ao conceito de nascentes, no tocante à sua proteção, é cabível salientar que houve a implantação de leis que fomentaram políticas condizentes com a realidade de áreas altamente densificadas. Contudo, a imprecisão do termo e as diferentes lacunas que a base conceitual de nascentes está sujeita interfere significativamente na viabilização de programas que visam a proteção desses sistemas ambientais.

2.2.2 Iniciativas da legislação ambiental de Minas Gerais

Se tratando de termos legais acerca das iniciativas da legislação estadual, é válido destacar que não houve ações significativas que partiram do âmbito estadual em relação à proteção e reconhecimento de nascentes. Entretanto, é importante destacar que as normas estaduais voltadas para a proteção desses sistemas ambientais estiveram em consonância com os demais regulamentos federais.

A Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999 (Minas Gerais, 1999) foi instituída cerca de dois anos após o estabelecimento da PNRH (Brasil, 1997). A PERH destaca e reafirma diversas diretrizes já instituídas pela Política Nacional de Recursos Hídricos, contudo, em relação à proteção de nascentes, é válido destacar o estabelecimento da diretriz que assegura os recursos financeiros e institucionais acerca da política e do gerenciamento de recursos hídricos no estado. Nesse sentido, a legislação estadual propõe dispor recursos financeiros para viabilizar programas permanentes de proteção e recuperação das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas, além de ações que assegurem o uso múltiplo racional dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, incluindo nascentes, ressurgências e áreas úmidas, sem que comprometa a perenidade hídricas desses sistemas.

Outro marco importante em âmbito estadual é a Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 (Minas Gerais, 2013). Esta norma estabelece diretrizes em relação à política florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Além disso, têm-se o entendimento de que o conceito de nascente corresponde ao afloramento natural do lençol freático perene e que origina um curso d'água, excluindo a diversidade do tipo de regime e de outras características conferidas às nascentes. Ademais, a Lei nº 20.922/2013 ressalta as ações de restrição voltadas para o uso e a ocupação

da terra em áreas urbanas. Nesse sentido, é firmado que a utilização dos recursos vegetais naturais e da ocupação do solo devem ser dirigidas de modo que minimize os impactos ambientais e que otimize a qualidade de vida da população. Desse modo, é entendido que existe a preocupação em encontrar um balanço entre o desenvolvimento socioeconômico e o equilíbrio ambiental.

Em relação às Áreas de Preservação Permanente, a Lei nº 20.922/2013 considera que as APPs têm a função de preservar os recursos hídricos e assegurar o bem-estar das populações humanas. Acerca das APPs instituídas em áreas rurais ou urbanas considera-se o raio mínimo de 50 m no entorno de nascentes e olhos d'águas perenes, em concordância com a Resolução CONAMA nº 303/2002 (Brasil, 2002), e que as intervenções em APPs só poderão ser autorizadas pelo órgão ambiental em casos de utilidade pública, interesse social, atividades eventuais ou de baixo impacto ambiental. Além disso, a supressão da vegetação nativa em APP que protege nascentes pode ser autorizada em caso de utilidade pública ou por ausência de alternativa técnica e locacional, contudo, em áreas rurais as APPs respectivas às nascentes e olhos d'água perenes devem manter a preservação e recomposição do raio mínimo de 15 m (Minas Gerais, 2013). Diante desse quadro, depreende-se que o Estado apresenta certa preocupação em manter um uso sustentável dos recursos hídricos, entretanto, ao não reconhecer a diversidade tipológica que compõe o quadro de nascentes, acaba por não conferir proteção às nascentes que apresentam outras características ou especificidades em relação ao seu processo de exfiltração hídrica. Ademais, a ausência de um aparato gestor para firmar políticas concretas sobre o manejo de APPs em áreas urbanas provoca certo descontrole para garantir a proteção sustentável dessas áreas.

2.2.3 Iniciativas da legislação municipal de Belo Horizonte

Cerca de quatro anos após a instituição da Política Nacional do Meio Ambiente, a prefeitura de Belo Horizonte estabelece a Lei nº 4.253, de 4 de dezembro de 1985, também conhecida como Política Municipal do Meio Ambiente (PMMA). Esta norma tem o fim da conservação e recuperação do meio ambiente, além da melhoria da qualidade de vida da população belorizontina (PBH, 1985). Ainda, em relação aos sistemas hídricos, a PMMA define como recursos ambientais a atmosfera, as águas superficiais e subterrâneas, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera. Além disso, a PMMA preocupa-se em estabelecer as áreas prioritárias para a ação do Executivo Municipal em relação à qualidade ambiental da cidade e determina que a Secretaria Municipal de Meio Ambiente tem autoridade para determinar quais são as

principais fontes poluidoras da cidade. Assim, em áreas específicas do município serão realizadas as medições dos níveis, concentrações e lançamento de poluentes nos recursos ambientais (PBH, 1985).

A Política Municipal do Meio Ambiente não estabelece uma diretriz específica em relação à proteção dos sistemas hídricos da cidade. Além disso, é notável que a PMMA também não define de forma concreta quais são os critérios e as exigências para as ações de conservação e recuperação do meio ambiente, e se essas ações se destinam a todos os elementos definidos como recursos ambientais. Dessa forma, a falta de um instrumento municipal preciso pode acarretar em decisões mal planejadas e inadequadas perante a realidade do contexto do município.

Outro marco importante após a implantação da Política Municipal do Meio Ambiente é a Lei nº 11.181, de 8 de agosto de 2019. Esta norma aprova a terceira revisão do Plano Diretor de Belo Horizonte, as duas revisões anteriores foram emitidas no ano de 2000 e 2010, respectivamente (PBH, 2019). A Lei nº 11.181/2019 é de suma relevância para o município de Belo Horizonte, pois o Plano Diretor é um instrumento básico e primordial para a política urbana, definindo as diretrizes de ordenamento do município quanto, por exemplo, ao desenvolvimento urbano, meio ambiente e relação dos espaços públicos e privados. Em relação à proteção dos sistemas hídricos, a Lei nº 11.181/2019 estabelece que um dos princípios em relação ao ordenamento do município é assegurar a preservação das faixas não edificáveis de proteção às margens d'água e às nascentes a fim de manter e recuperar as matas ciliares. Ainda, essa política determina que um dos objetivos atribuídos à proteção ambiental do município é a proteção das nascentes, cursos d'água, brejos e respectivas APPs.

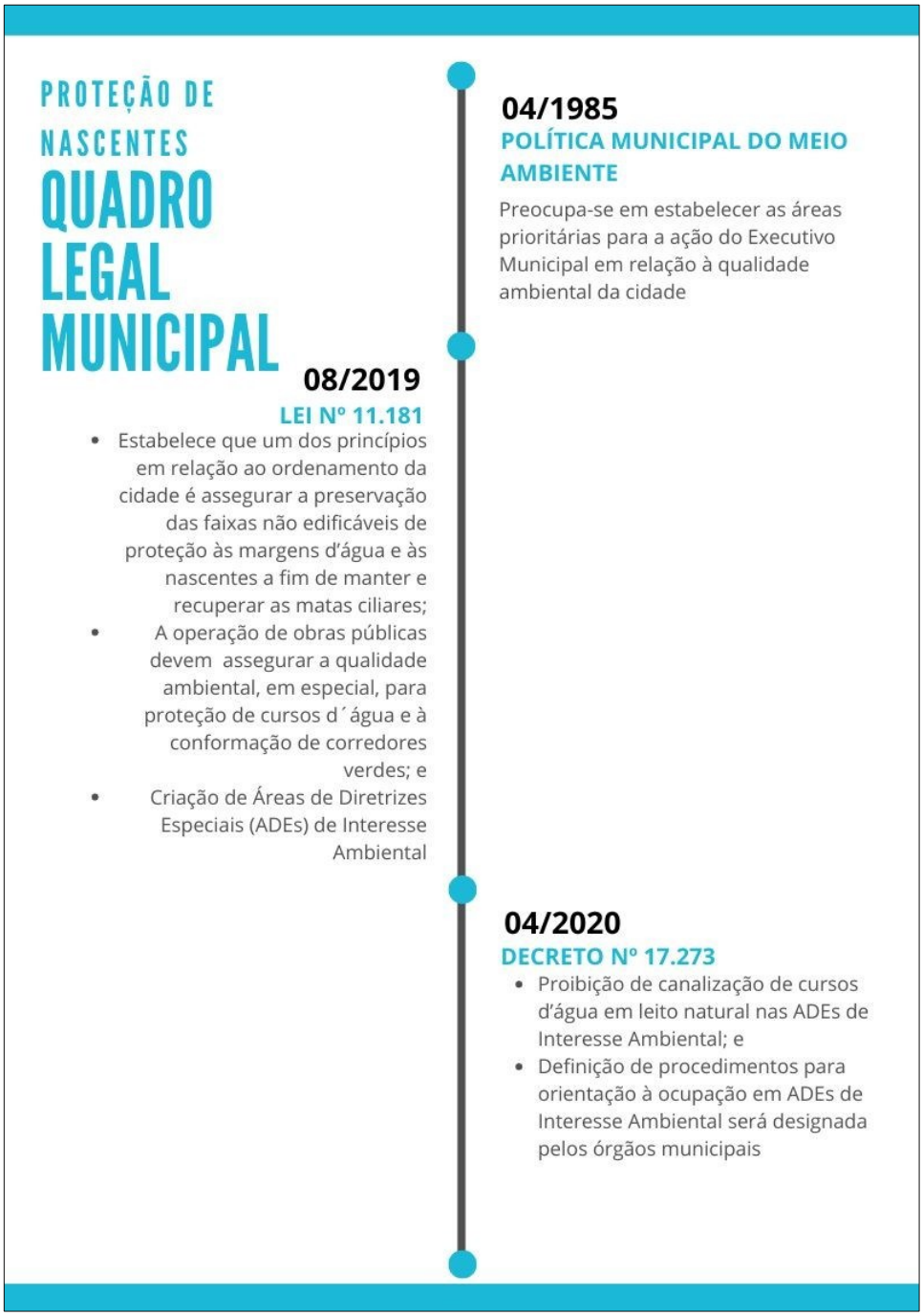
De forma adicional, em relação à proteção dos sistemas hídricos, a Lei nº 11.181/2019 estabelece que as porções do território municipal predominantemente lineares cuja delimitação é voltada para a proteção dos cursos d'água e nascentes são denominadas como áreas de conexões ambientais. Uma das estratégias para a proteção dessas áreas é a operação de obras públicas que assegurem a qualidade ambiental, em especial, para proteção de cursos d´água e à conformação de corredores verdes (PBH, 2019). Além disso, a Lei nº 11.181/2019 estabelece a criação de Áreas de Diretrizes Especiais (ADEs) de Interesse Ambiental. Essas áreas são altamente significativas, pois, existe interesse público em protegê-las devido a presença de elementos ambientais relevantes ou pela necessidade de qualificação ambiental das unidades de vizinhança. Um dos critérios para a identificação de ADEs de Interesse Ambiental é a presença de nascentes, cursos d'água, lagoas e represas (PBH, 2019). Diante do exposto, nota-

se uma mudança considerável entre o estabelecimento da Política Municipal do Meio Ambiente a instituição do novo Plano Diretor de Belo Horizonte, existe um intervalo de cerca de trinta e quatro (34) anos entre a promulgação das normas supracitadas. É importante ressaltar que durante esse intervalo existiram outras normas e decretos municipais, porém, é válido apontar que a Lei nº 11.181/2019 foi a política que trouxe de forma significativa ações de proteção em relação aos sistemas hídricos pensados para e pelo município de Belo Horizonte. Nesse sentido, em um primeiro momento em que havia instrumentos municipais imprecisos, com a Lei nº 11.181/2019 foram instituídas ferramentas mais precisas e coerentes com a realidade do contexto do município.

Por fim, em relação à termos legais em âmbito municipal, outra ação política em prol da proteção dos sistemas hídricos é o Decreto nº 17.273, de 4 de fevereiro de 2020 (PBH, 2020). Este Decreto define outras diretrizes com base no que foi disposto pela Lei nº 11.181/2019. Assim, é válido destacar algumas diretrizes que vão ao encontro de ações voltadas para a proteção do meio ambiente, como a proibição de canalização de cursos d'água em leito natural nas ADEs de Interesse Ambiental. Além disso, é determinado que a definição de procedimentos para orientação à ocupação em ADEs de Interesse Ambiental será designada pelos órgãos municipais, os quais são responsáveis pelo emprego da política urbana e de meio ambiente do município.

A seguir, a Figura 2-9, apresenta um resumo geral da evolução do quadro legal municipal em relação à proteção de nascentes no país.

Figura 2-9 – Panorama legal municipal de proteção de anscentes.



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante do exposto, depreende-se que apesar do considerável avanço das normas municipais em relação à proteção de nascentes, o próprio segue o que é abordado na legislação nacional. Nesse sentido, é estratégico considerar a sua definição de acordo com o que é descrito, em termos legais, pela esfera nacional. Assim, considerando a imprecisão do termo e as diferentes lacunas que a base conceitual de nascentes está sujeita, é preciso ressaltar que essa condição também interfere em âmbito municipal a viabilização de programas que visam a proteção desses sistemas ambientais.

2.2.4 Iniciativas do poder público e da sociedade civil

Diante do panorama de normas legais voltadas para a proteção de nascentes, é preciso destacar diferentes programas e projetos que foram desenvolvidos a partir de iniciativas tanto do poder público, quanto da sociedade civil. Nesse sentido, este item elenca as principais iniciativas do poder público em conjunto com a sociedade civil que corroboraram e corroboram significativamente para a proteção de nascentes no município de Belo Horizonte.

É válido enfatizar que existem diferentes projetos realizados por diversas instituições, públicas e privadas, que visam a proteção dos sistemas hídricos de Belo Horizonte. Um dos grandes projetos viabilizados pela prefeitura da cidade, a partir do Decreto nº 13.916, de 8 de abril de 2010, foi o "Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte" (DRENURBS) (PBH, 2010). O Decreto oficializou o Programa que já acontecia desde 2003. O DRENURBS, perante o contexto de históricas inundações que atingem o município de Belo Horizonte, objetiva realizar um tratamento integrado dos imbróglios sanitários, ambientais e sociais em bacias hidrográficas que apresentam estado crítico de conservação. Assim, as ações elaboradas para esse Programa visam a restauração das condições naturais dos cursos d'água, além de sua integração à paisagem urbana (PBH, 2010). De acordo com Macedo (2009), o DRENURBS não visa a renaturalização do curso d'água, mas promove ações que o desartificialize o máximo possível para simular condições próximas ao seu quadro natural. Ainda, Macedo (2009) enfatiza que políticas em prol de programa semelhante à magnitude do DRENURBS são raras devido a sua complexidade e a exigência de um planejamento robusto e viável com a realidade de cidades altamente densificadas. É importante destacar que o DRENURBS não promoveu ações específicas voltadas para a proteção de nascentes, não obstante, é válido salientar que esse Programa foi também importante para instigar outros projetos que trabalharam com outras ações que ainda não tinham sido abrangidas pelo "Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte", como é o caso do projeto "Valorização das Nascentes Urbanas".

O projeto hidroambiental Valorização de Nascentes Urbanas, elaborado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica Rio das Velhas, visou a preservação de nascentes nas Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Onça e Arrudas na área urbana. Esse projeto iniciou no ano de 2012 e teve como resultado, em sua primeira fase, o mapeamento e a elaboração do diagnóstico de 345 nascentes das bacias hidrográficas que integram o estudo. Além do mapeamento, houve o cadastro dos

cuidadores de nascentes e atividades de educação ambiental, comunicação social e sensibilização junto aos moradores envolvidos com o projeto. Ademais, das 345 nascentes mapeadas, foi realizado Plano de Ação abrangendo 30 nascentes de cada bacia hidrográfica que integra o estudo. Esse Plano elencou os procedimentos e ações necessários para a conservação e proteção desses sistemas ambientais, como serviços e obras de limpeza com capina, contenção de terra, plantio de mudas nativas, construção de pequenas estruturas como *decks*, entre outros. Nesse sentido, no ano de 2016, segunda fase do projeto Valorização de Nascentes Urbanas, fundamentou-se em executar as ações de conservação e proteção das nascentes que obtiveram Plano de Ação na fase anterior (CBH Velhas, 2018).

No ano de 2017 foi iniciado a terceira fase intitulada como "Elaboração de Diagnóstico de Nascentes Urbanas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, em Belo Horizonte/MG". A terceira fase do projeto Valorização de Nascentes Urbanas consistiu em cadastrar e diagnosticar 607 nascentes presentes nas sub-bacias do Córrego Vilarinho, do Ribeirão Isidoro e área de contribuição direta do Ribeirão Onça, também conhecida como Baixo Onça. Além disso, a terceira fase visou analisar a qualidade da água de 120 das nascentes cadastradas, além de propor ações de proteção ou conservação e recuperação das 607 nascentes que compõem o estudo (CBH Velhas, 2018). Os resultados da Elaboração de Diagnóstico de Nascentes Urbanas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, em Belo Horizonte/MG mostraram que a maior parte das nascentes que compõem o estudo estão localizadas em áreas de significativa interferência antrópica, comprometendo a vazão e qualidade da água. Em contrapartida, foram mapeadas nascentes que são protegidas pelos moradores ou grupo das comunidades locais (CBH Velhas, 2018).

De acordo com Cáceres *et al.* (2018), o projeto Valorização de Nascentes Urbanas desenvolveu um papel importante para que as nascentes pudessem ganhar significativa visibilidade para a comunidade, permitindo que as áreas em que esses sistemas ambientais se inserem possibilitassem o convívio e práticas pedagógicas acerca da proteção de nascentes. Entretanto, Cáceres *et al.* (2018) afirmam que o projeto apresenta desafios relevantes, como a continuidade de manter a proteção e o cuidado das áreas das nascentes. Nesse sentido, os autores indicam a necessidade de ampliar o grupo de pessoas que devem estar envolvidas na proteção dessas áreas. Além disso, em relação à educação ambiental, muitos moradores, alvos do estudo, não compreenderam o porquê da necessidade de realizar intervenções nas áreas das nascentes, apesar de aprovarem as ações que foram executadas no ambiente. Assim, o estudo supracitado enfatiza que as práticas pedagógicas acerca da proteção de nascentes devem ser trabalhadas

para que a comunidade envolvida esteja à par e ciente dos processos que envolvem a proteção das áreas em que esses sistemas ambientais se inserem, principalmente, nos ambientes localizados fora de instituições de ensino por não estarem vinculados à uma instiuição que já desenvolve práticas pedagógicas.

Além do projeto Valorização de Nascentes Urbanas, a Prefeitura de Belo Horizonte, sob a coordenação da Secretaria Municipal de Educação, criou no ano de 2016 o "Programa de Educação Ambiental EcoEscola BH". Este Programa visa fortalecer, incentivar, certificar e divulgar ações de educação socioambiental das escolas municipais de Belo Horizonte. Um dos eixos de atuação do EcoEscola BH é o "PLANTAR BH". Este eixo é realizado em parceria com a Fundação de Parque Municipais e Zoobotânica e tem o objetivo de preservar o meio ambiente por meio do plantio de árvores nas escolas de Belo Horizonte (PBH, 2018). Como uma das iniciativas desse Programa, no ano de 2018, foram desenvolvidas ações em conjunto com escolas da rede pública para desenvolvimento de atividades de proteção de nascentes e educação ambiental acerca da temática desses sistemas ambientais. (PBH, 2018). De acordo com Costa e Braga (2022), apesar do projeto EcoEscola BH ter sido encerrado, existiram outros programas, influenciados pelo EcoEscola BH, que foram desenvolvidos para dar continuidade à outras ações voltadas para a proteção do meio ambiente.

Outra iniciativa que corroborou para a proteção de nascentes na capital mineira foi a recuperação de uma nascente localizada na Escola Municipal Jardim Felicidade no ano de 2017. Essa iniciativa faz parte do Projeto de Preservação de Nascentes Urbanas, o qual é desenvolvido pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e CBH Rio das Velhas, a partir dos Subcomitês das Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Arrudas e Onça, e com o suporte da Escola de Arquitetura da UFMG, a qual formata o projeto paisagístico das nascentes que integram o Projeto (PBH, 2018). Ainda, a PBH aborda que a primeira etapa do Projeto de Preservação de Nascentes Urbanas promoveu ações em nove nascentes pré-selecionadas em conjunto com atividade de educação ambiental e realização de campanhas de amostragem da qualidade da água coletadas nas nascentes.

De forma adicional, a Prefeitura de Belo Horizonte, no ano de 2017, criou outro projeto com o objetivo de cadastrar as nascentes presentes na capital mineira (PBH, 2017). Essa iniciativa ocasionou na elaboração do Projeto de Lei (PL) nº 440/17, o qual teve o objetivo de criar o Cadastro Único de Nascentes de Belo Horizonte (CADUN-BH). Esse Projeto reforçou que é importante trabalhar nos padrões de ocupação em áreas de importância hídrica, as quais contém nascentes e olhos d'água, sistemas ambientais de significativa importância para a manutenção

das dinâmicas fluviais do município (CBH Velhas, 2018). Além disso, a PBH ressalta que o cadastramento das nascentes na capital mineira é necessário para a sua própria proteção, visto que para proteger esses sistemas ambientais é de suma importância mapeá-las e caracterizá-las. Nesse sentido, o Cadastro Único de Nascentes de Belo Horizonte visa abastecer um sistema de informações que resultam em ações conservacionistas e precisas (PBH, 2017).

Ao encontro do projeto que visou o cadastro das nascentes presentes na capital mineira e do Projeto de Lei (PL) nº 440/17, no ano de 2019 a Prefeitura de Belo Horizonte publicou o Cadastro Único de Nascentes (Cadun-BH) (PBH, 2023). O Cadun-BH é um programa elaborado para registrar, em um único banco de dados, todas as nascentes presentes em Belo Horizonte. Esse banco de dados é atualizado e desenvolvido pela própria prefeitura do município por meio de trabalho de campo em conjunto com análises espaciais realizadas em gabinete. Ainda, o Cadastro Único de Nascentes apresenta dados não só de nascentes, mas também de brejos, cursos d'água ou represas, categorizados ou não como Área de Preservação Permanente.

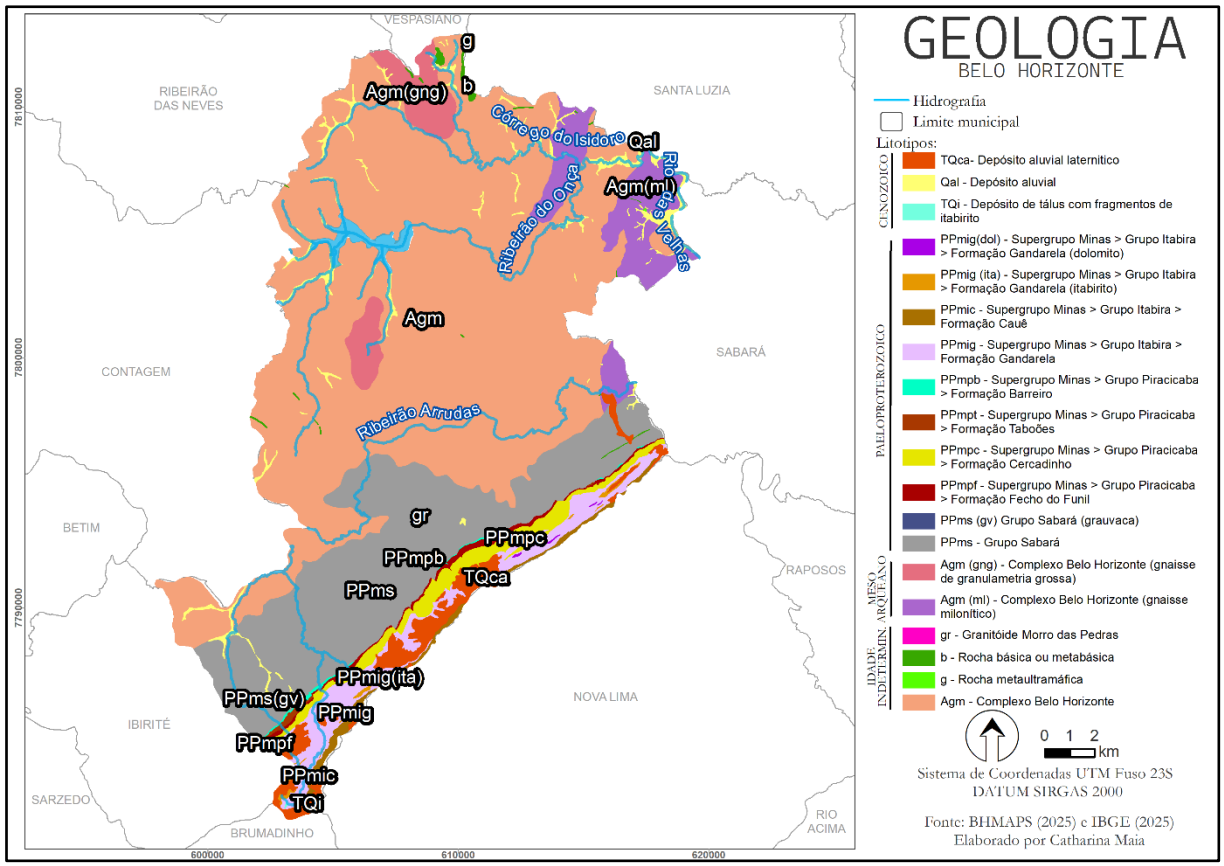
Ademais, a Secretaria de Meio Ambiente da PBH aponta que são realizadas vistorias contínuas para a identificação de novos pontos ou a própria validação da situação das nascentes que já integram o Cadastro Único de Nascentes (PBH, 2023). É válido enfatizar que, de acordo com a Prefeitura de Belo Horizonte, o Cadun-BH não incorpora dados de outros projetos, como o Projeto Valorização de Nascentes Urbanas e o Projeto de Elaboração de Diagnóstico de Nascentes Urbanas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, em Belo Horizonte/MG. Dessa forma, entende-se que o Cadastro Único de Nascentes apresenta dados exclusivos da Prefeitura de Belo Horizonte (EMAIL PBH, 2023). O ANEXO A - Avaliação Técnica nº 0137/24 se encarregou de esclarecer sobre a integração de dados que compõe o Cadun-BH.

Existem iniciativas que também não partem de um projeto ou de um programa específico. Na Vila Acaba Mundo, uma das comunidades mais antigas da capital mineira, onde a mobilização dos moradores, em parceria com a PBH e outras instituições, possibilitou a preservação de uma nascente localizada na comunidade. Além disso, uma equipe designada pela PBH atua na conscientização da população local sobre a importância da conservação ambiental. Essa equipe também estruturou um espaço nas proximidades da nascente destinado a atendimentos médicos e à realização de atividades comunitárias (PBH, 2017).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, compreende uma área de aproximadamente 331 km², na qual reside uma população de cerca de 2,3 mi (IBGE, 2022). A capital mineira está situada na borda sul do Cráton do São Francisco, especificamente, no setor ocidental próximo ao contato com o Sistema Orogenético Mantiqueira/Faixa Móvel Araçuaí (Silva *et al.*, 2011). Segundo o mapeamento apresentado por PBH (2024) na escala 1:30.000, as porções sul e oeste de Belo Horizonte são marcadas pela ocorrência das rochas metassedimentares do Supergrupo Minas (predomínio de quartzitos, itabiritos, filitos e xistos). Já a porção central e norte de Belo Horizonte é marcada por rochas friáveis do Complexo Belo Horizonte (granitos, gnaisses, migmatitos) que ocupam 70% da área do município (Silva *et al.*, 1995). A Figura 3-1 apresenta a compartimentação do contexto geológico de Belo Horizonte.

Figura 3-1 – Contexto geológico de Belo Horizonte.

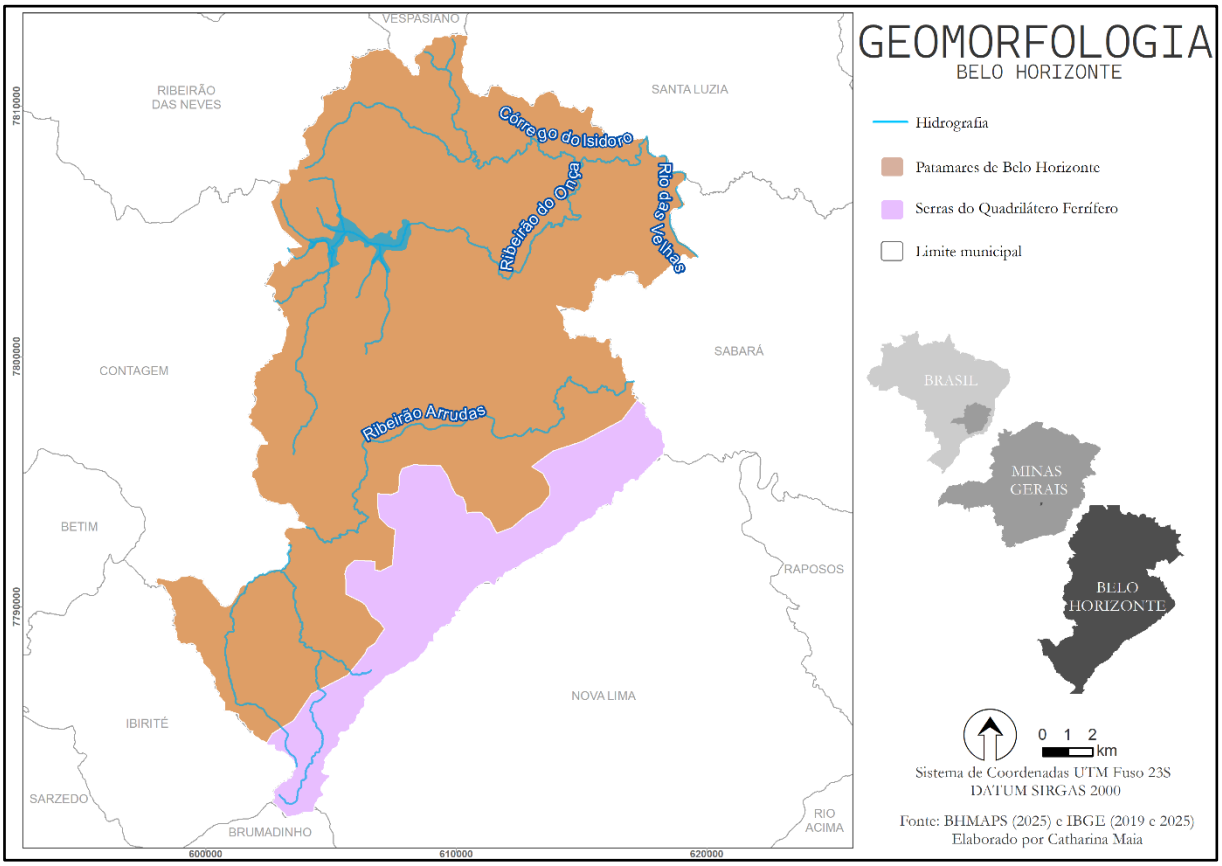


Fonte: Elaborado pela autora.

As ocorrências de rochas metassedimentares do Supergrupo Minas nas porções sul e oeste do município de Belo Horizonte sustentam o relevo íngreme da Serra do Curral e dos morros dissecados do entorno que marcam a borda norte do Quadrilátero Ferrífero (Silva *et al.*, 1995). Em relação às unidades geomorfológicas, o município apresenta os Patamares de Belo

Horizonte, presentes ao sul da Depressão Alto-Médio São Francisco, e, as Serras do Quadrilátero Ferrífero, presentes na porção norte do Quadrilátero Ferrífero (IBGE, 2019). A seguir, a Figura 3-2 apresenta a distribuição das unidades geomorfológicas em Belo Horizonte.

Figura 3-2 – Compartimentos Geomorfológicos de Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os Patamares de Belo Horizonte são compostos por sequência de colinas com vertentes convexas e topos planos a arqueados. Essa configuração é marcada pela forte incisão da rede hidrográfica, corroborando para a dissecação da superfície e formação de vales de fundo chato (Silva *et al.*, 1995; Santos, 2001). Ainda, grande parte da Depressão possui altitude variando entre 800 e 900 metros (IBGE, 2019).

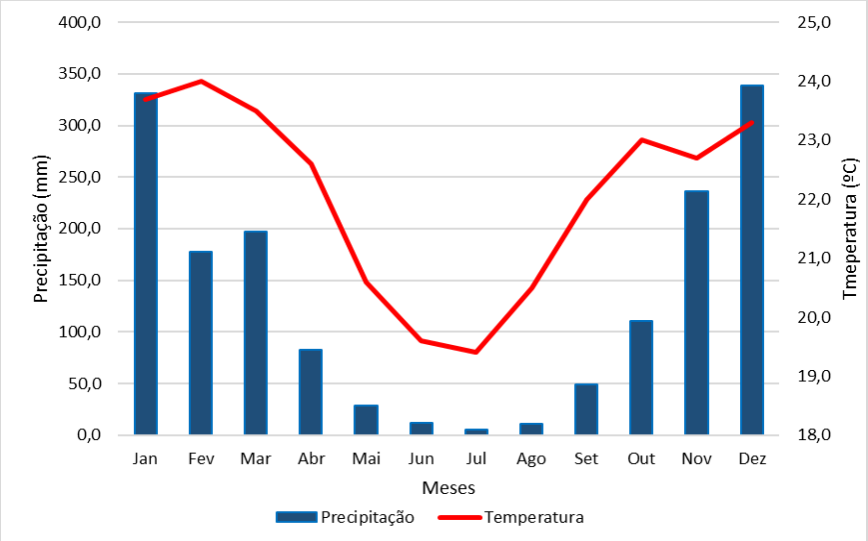
Em relação às bordas serranas do Quadrilátero Ferrífero, na porção sul e oeste do município, as vertentes são íngremes e possuem direção SW-NE, havendo forte controle litoestrutural do relevo e da hidrografia (Silva *et al.*, 1995). Nesse sentido, os mantos de intemperismo não são muito profundos e é notável a presença de afloramentos de rocha, vales encaixados e altitudes superiores a 1000 metros (Costa, 2002).

A feição geomorfológica mais marcante da unidade Serras do Quadrilátero Ferrífero é a Serra do Curral, que delimita e marca o limite sul-sudeste de Belo Horizonte. A Serra do Curral

representa uma barreira orográfica à circulação atmosférica, resultando em chuvas diferenciadas no clima sub-quente semi-úmido do município, o qual possui duas estações bem definidas: verões quentes e úmidos e invernos frios e secos (Assis, 2012). Esse contexto condiciona a presença de vegetação de campos rupestres e cerrados. A vegetação original de Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado é suprimida, restando vestígios de vegetação secundária ou cobertura plantada em 22% da área do município (Ferreira *et al.*, 2005).

A seguir, o Gráfico 3-1 apresenta o climograma de Belo Horizonte, indicando o comportamento e a dinâmica da temperatura e da precipitação anual na capital mineira.

Gráfico 3-1 - Climograma de Belo Horizonte (1991-2020).



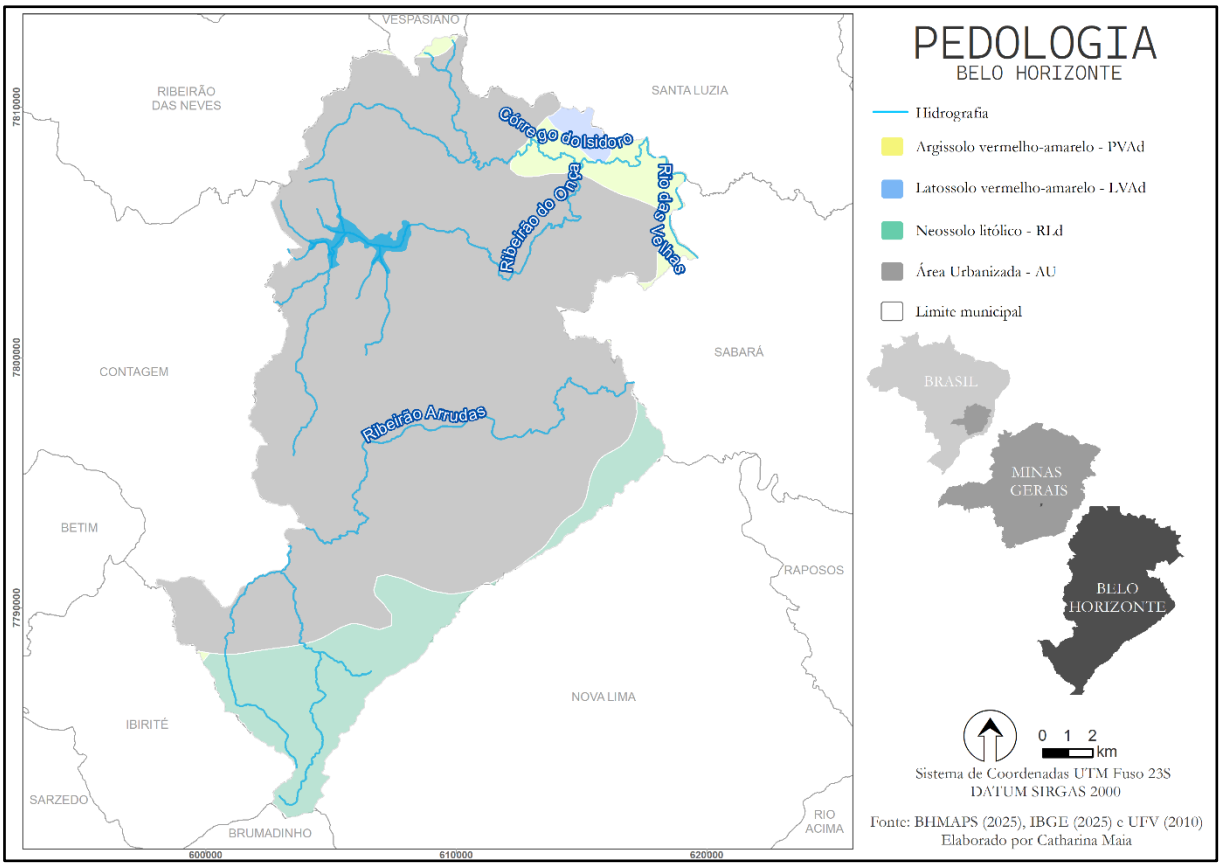
Fonte: INMET (2024).

Conforme o Gráfico 3-1, a concentração de chuvas no verão ocorre por aproximadamente seis meses, a saber: outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Já o período de seca no inverno ocorre nos meses restantes: abril, maio, junho, julho e agosto. Conforme o climograma, o mês de julho apresentou menor temperatura e precipitação, os meses de dezembro e janeiro registraram maiores precipitações, e, o mês de fevereiro apresentou maior temperatura. Assim, esse contexto ressalta que a dinâmica climática do município é marcada por duas estações bem definidas: concentração de chuva no verão e seca no inverno (Assis, 2012).

O quadro geológico-geomorfológico e climatológico do município resultou no predomínio de Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Argissolos Vermelhos Eutróficos e, Latossolos Vermelho-Amarelos (UFV *et al.*, 2010). É importante ressaltar que não há estudos específicos que abordem de forma detalhada as particularidades das formações pedológicas em Belo

Horizonte. Nesse contexto, a base pedológica de maior precisão disponível, em escala 1:650.000, pode não captar características pedológicas locais importantes, o que limita a representação das variações existentes no território. Assim, embora o município apresente uma significativa diversidade geológica e geomorfológica, a escassez de dados detalhados sobre o quadro pedológico tem resultado na adoção de classes mais generalistas. A seguir, a Figura 3-3 apresenta a distribuição das características pedológicas no município de Belo Horizonte.

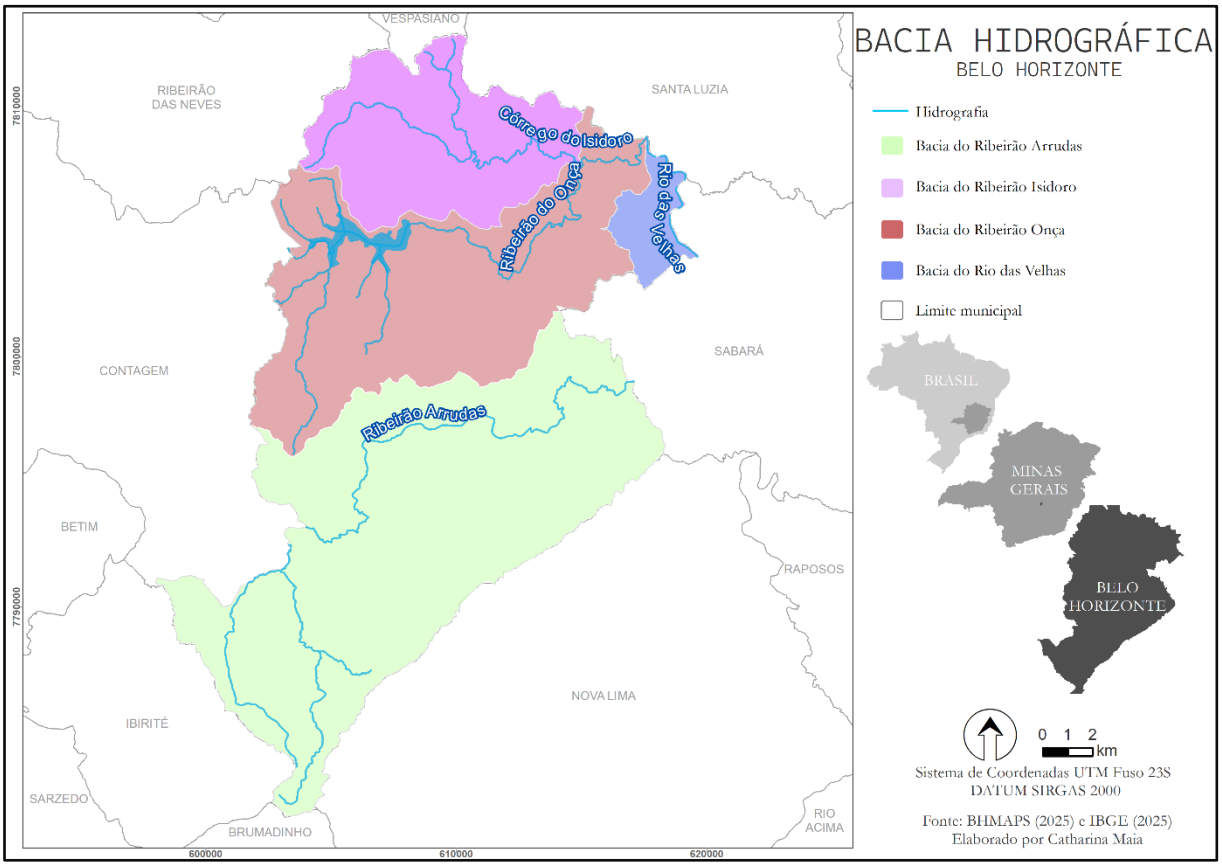
Figura 3-3 – Classes de solo em Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora.

O município de Belo Horizonte é drenado pelas bacias do ribeirão Arrudas, na parte central e sul, ribeirões do Onça e Isidoro, na parte norte, e rio das Velhas parte nordeste (PBH, 2024). A seguir, a Figura 3-4 apresenta as bacias hidrográficas na capital mineira.

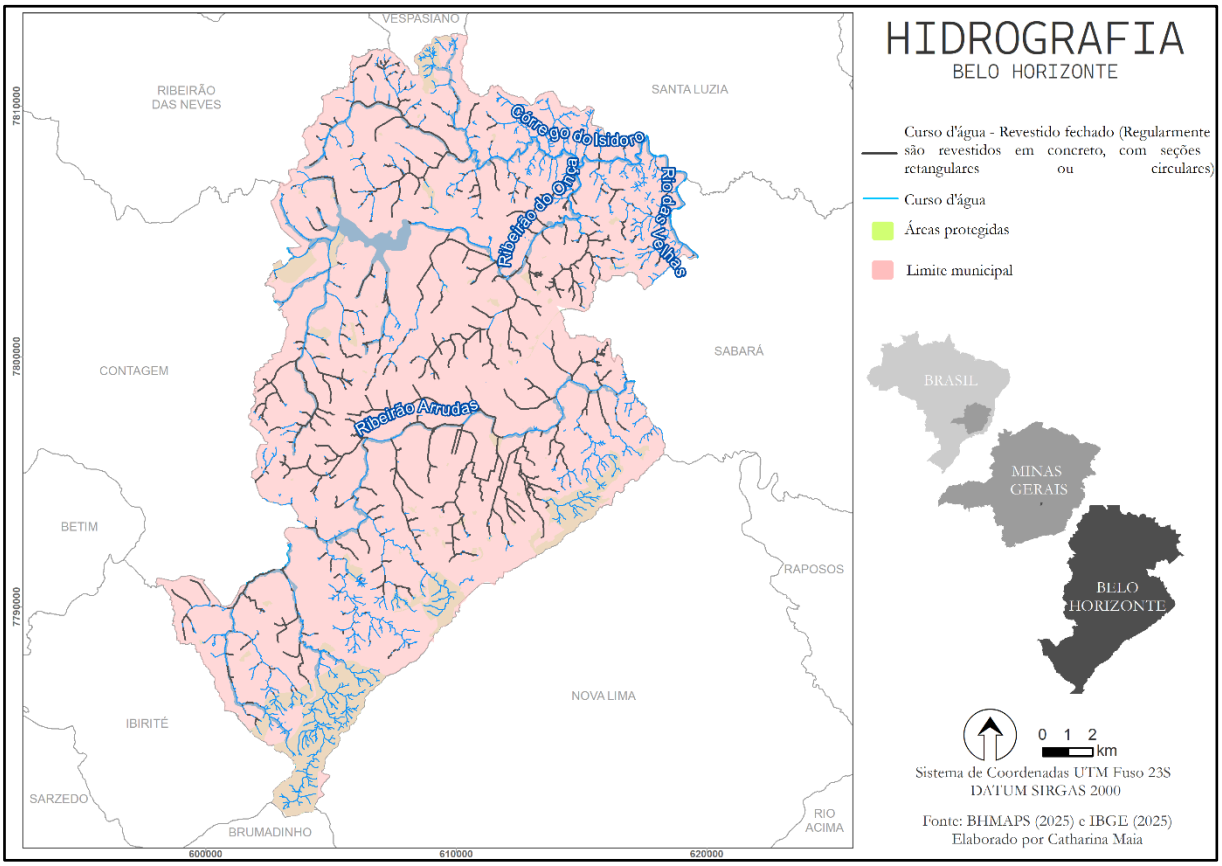
Figura 3-4 – Bacias Hidrográficas em Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora.

Grande parte desses cursos d'água e de seus afluentes encontram-se retificados e tamponados por iniciativas que buscaram evitar ou minimizar os impactos das inundações e "encaixar" a malha hidrográfica nos sistemas viário e de saneamento do município (Ferreira *et al*., 2005). A evolução do processo de urbanização resultou em duas realidades distintas quanto ao estado dos sistemas hídricos: predomínio de sistemas bastante impactados ou suprimidos e um conjunto de sistemas, menos frequentes, que se manteve menos impactado ou com condições próximas das originais. A seguir, a Figura 3-5 destaca a rede hidrográfica de Belo Horizonte.

Figura 3-5 – Hidrografia de Belo Horizonte.

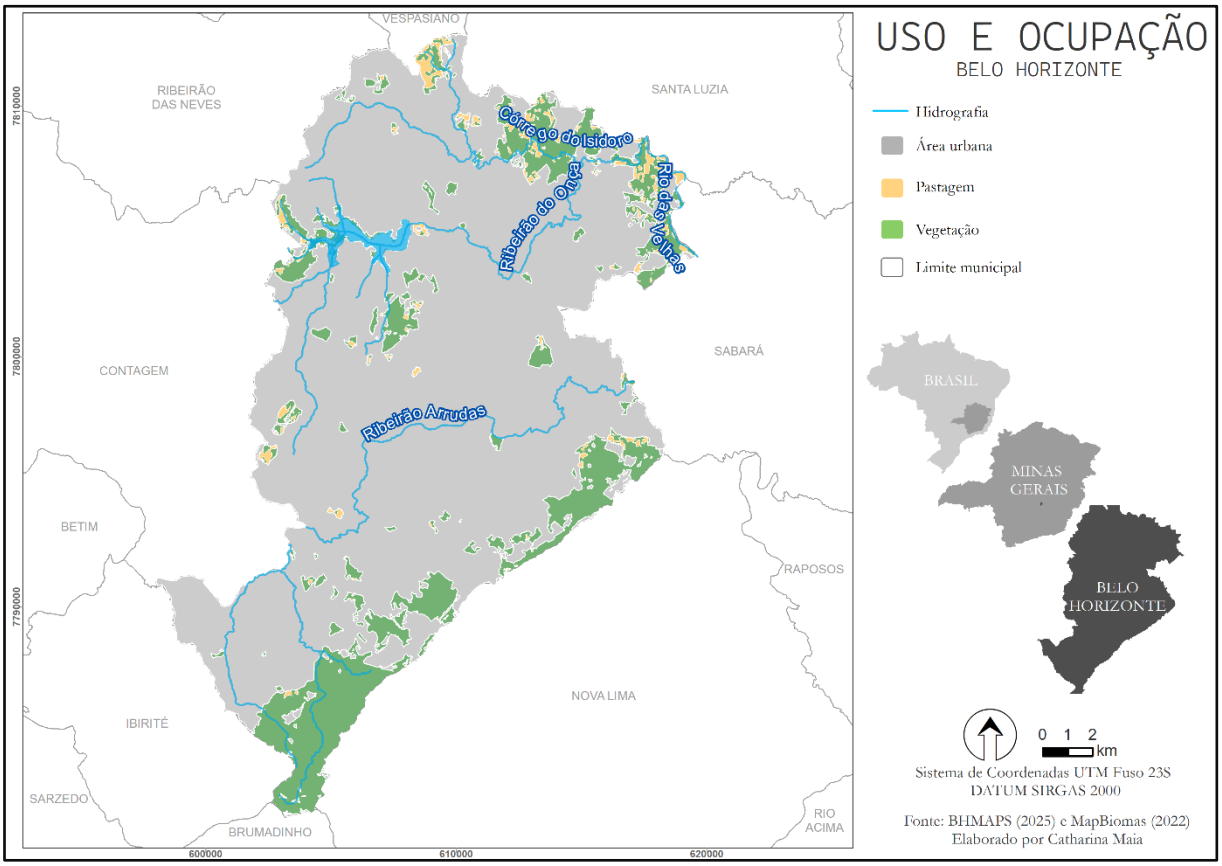


Fonte: Elaborado pela autora.

As nascentes são particularmente sensíveis à poluição, funcionando como indicadores das condições das águas superficiais, por representarem o contato primário entre o sistema hídrico subterrâneo e o ambiente externo (Maia *et al.*, 2021). Por essa razão, alterações significativas no meio onde estão inseridas tendem a gerar impactos imediatos sobre sua condição ambiental. Além disso, as nascentes funcionam como zonas de transição entre as águas subterrâneas e superficiais por meio do processo de exfiltração, incorporando, assim, propriedades físico-químicas características do aquífero de origem (Felippe; Magalhães Júnior, 2016).

Nesse contexto, o ambiente local em que a nascente se insere desempenha papel crucial, uma vez que suas condições podem interferir diretamente nas características originais da água. Isso ocorre porque o primeiro contato da água subterrânea com a superfície ocorre no ambiente nascente, ou seja, na área em que o fluxo hídrico subterrâneo se manifesta como curso d'água. A Figura 3-6 apresenta o uso e ocupação da terra de Belo Horizonte.

Figura 3-6 – Uso e ocupação da terra de Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Felippe (2009), o fato da mancha urbana ocupar mais de 80% da área de Belo Horizonte impacta diretamente na descaracterização ou até a supressão de diversas nascentes. Diante dessa situação, grande parte das áreas que não são ocupadas no município limitam-se, sumariamente, às Unidades de Conservação e parques urbanos. Existem iniciativas que procuraram combater os impactos provocados pela urbanização de Belo Horizonte, principalmente, em áreas protegidas. Entretanto, é importante ressaltar que existem diversas nascentes que resistem aos impactos da cidade, contudo, esses sistemas ambientais ficam comprometidos pela ausência de um aparato legal mais restritivo e que atenda as suas especificidades. Assim, em relação ao contexto de nascentes, é necessário que a proteção desses sistemas ambientais seja realizada independente dos fragmentos da cidade, em áreas protegidas ou não.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o objetivo de investigar a qualidade ambiental de nascentes situadas fora de Unidades de Conservação e parques urbanos no município de Belo Horizonte, o presente estudo fundamenta-se em procedimentos de gabinete e de atividades de campo que serão analisados e relacionados para a interpretação e elaboração dos resultados deste projeto. A revisão literária nacional e internacional acerca das produções acadêmicas, reportagens, vídeos e notícias de destaque sobre nascentes, em especial daquelas situadas fora de áreas protegidas no município de Belo Horizonte, envolveu as bases conceituais sobre o tema a fim de definir o conceito de nascente utilizado neste trabalho, além de levantar as diferentes tipologias utilizadas em diversas pesquisas e as iniciativas legais para a implantação de ações e de programas de proteção acerca das nascentes.

O presente capítulo está dividido em três seções que tratam das etapas metodológicas alicerces deste trabalho, as quais consistem, respectivamente, dos seguintes tópicos:

1. **Definição da população de nascentes objeto do estudo:** consistiu em definir a população de nascentes investigada neste estudo. Para isso foram, inicialmente, levantadas as bases de dados georreferenciadas existentes, em seguida, foi realizado tratamento estatístico para a seleção de um grupo representativo. Por fim, foram realizadas atividades de campo para verificar a viabilidade de acesso e as condições das nascentes selecionadas;
2. **Obtenção dos dados primários:** foram realizadas campanhas de campo para a caracterização das nascentes urbanas, além disso, foi aplicado o Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes (PAAN), elaborado por Moura (2020), e entrevistas semiestruturadas; e
3. **Análise e Interpretação dos dados primários:** foram realizadas análises estatísticas e das entrevistas a fim de agrupar e classificar os resultados. Após esse processo foram realizadas as discussões e considerações finais acerca dos resultados e objetivos deste estudo.

4.1 Definição da população de nascentes objeto do estudo

A presente seção se encontra dividida em três itens. O primeiro item trata da aquisição de dados geoespaciais para definir o banco de dados de nascentes localizadas no município de Belo Horizonte. Os seis itens seguintes tratam dos critérios utilizados para o agrupamento de

nascentes objeto deste projeto e dos processamentos metodológicos aliados às análises estatísticas utilizadas para obter o resultado final da população de nascentes alvo deste estudo. Por fim, o último item trata da seleção de nascentes final e factível para a realização desta pesquisa.

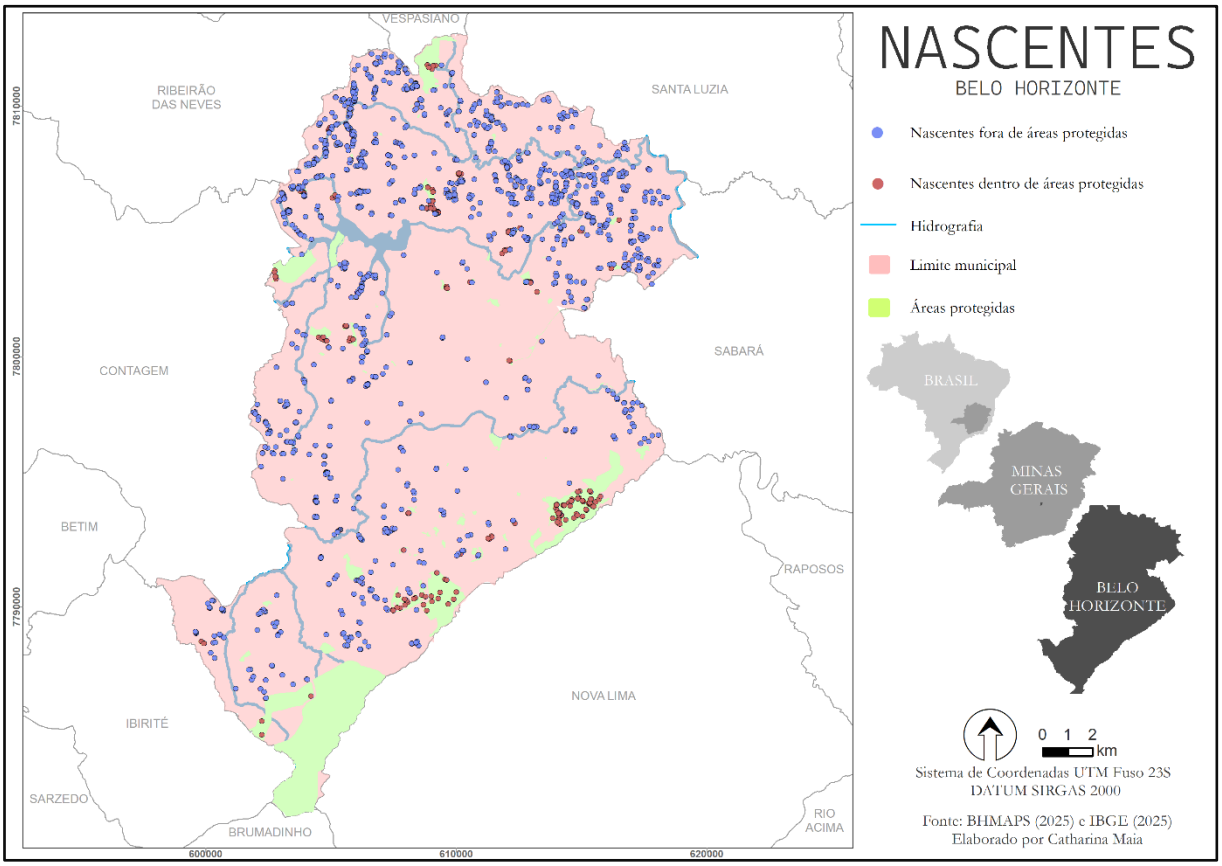
4.1.1 Aquisição de dados geoespaciais de nascentes em Belo Horizonte

A etapa de aquisição de dados geoespaciais consistiu em reunir, em uma única base cartográfica, os mapeamentos de nascentes realizados no município de Belo Horizonte a partir de atividades de campo. As bases de dados georreferenciadas utilizadas foram:

1. Cadastro de nascentes do projeto Valorização de Nascentes Urbanas (CBH Velhas, 2017): este projeto contemplou duas fases de mapeamento. Na primeira fase, realizada no ano de 2012, foram cadastradas 345 nascentes nas Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Onça e Arrudas. A outra fase, realizada no ano de 2017, mapeou 607 novas nascentes presentes nas sub-bacias do Córrego Vilarinho, do Ribeirão Isidoro e área de contribuição direta do Ribeirão Onça, também conhecida como Baixo Onça; e
2. Cadastro Único de Nascentes da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (Cadun-BH) (PBH, 2023): este cadastro é atualizado constantemente e desenvolvido pela própria prefeitura da cidade, os dados foram acessados em janeiro de 2024. Neste acesso a base continha 1189 nascentes mapeadas em toda a área urbana de Belo Horizonte, sendo 1000 fora de áreas protegidas (Unidades de Conservação e parques urbanos).

A Figura 4-1 apresenta a espacialização da base cartográfica resultante, discriminando as nascentes situadas dentro e fora de Unidades de Conservação e parques urbanos de Belo Horizonte.

Figura 4-1 - Nascentes dentro e fora de áreas protegidas em Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.2 Seleção de critério para o agrupamento de nascentes

Em paralelo à etapa inicial de gabinete foram elencados critérios para estabelecer grupos de nascentes com características ambientais comuns. A definição dos critérios que resultaram no agrupamento de nascentes baseou-se em diversas produções acadêmicas, como os trabalhos de Felippe (2009), Macedo e Magalhães Júnior (2011), Felippe (2013), Sampaio e Augustin (2014) e Ferreira e Magalhães Júnior (2018).

Estes estudos destacam cinco (5) critérios para caracterizar as nascentes. Dentre os critérios estabelecidos foram apontados os fatores físicos que caracterizam as nascentes, dentre os quais destacam-se os aspectos geológicos, morfológicos, pedológicos e hidrográficos. Devido ao fato de este projeto trabalhar com nascentes fora de áreas protegidas em Belo Horizonte, além dos fatores físicos apontados pelos autores, também foi considerado, enquanto dimensão socioeconômica, o critério de rendimento médio mensal disponível por setor censitário, de acordo com o IBGE (2010), visto que a dimensão socioeconômica é do interesse do trabalho para investigar nascentes em localidades com diversos contextos sociais (Gomes *et al.*, 2021).

As bases cartográficas dos critérios elencados foram trabalhadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) por meio do *software ArcGIS*, versão 10.8 e *QGIS*, versão 3.36.3. A seguir, o Quadro 4-1 apresenta os dados cartográficos, com respectiva fonte e escala de precisão, que foram levantados para a definição estratégica da população de nascentes alvo deste estudo e a Figura 4-2 apresenta a espacialização e dos critérios para a caracterização da população de nascentes.

Quadro 4-1 - Bases cartográficas de estudo para a definição da população de nascentes.

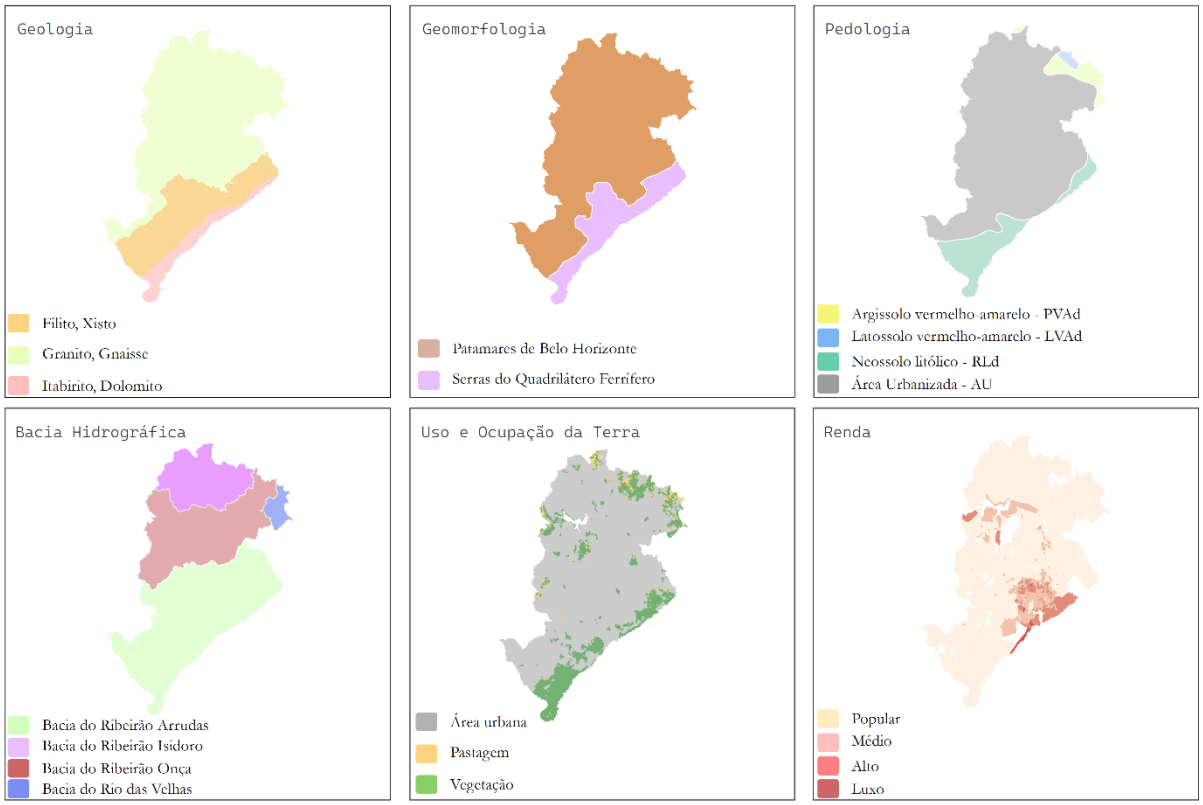
BASE GEOESPACIAL	FONTE	ANO	ESCALA
Pedologia	Departamento de Solos (UFV)	2010	1:650.000
Geologia	Serviço Geológico do Brasil	2004	1:1.000.000
Geomorfologia	IBGE	2019	1:250.000
Bacia Hidrográfica	BH Map	2024	-
Uso e Cobertura da Terra	MapBiomas	2022	1:100.000
Renda[1]	IBGE	2010	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à base geoespacial de geologia, é válido ressaltar que existem cartas geológicas de diferentes precisões que trabalharam a geologia de Belo Horizonte, a carta com maior precisão, mas que engloba somente cerca de ¼ do território, tem a escala de 1:25.000 (CPRM, 2020). Por outro lado, a prefeitura de Belo Horizonte disponibiliza em seu acervo digital a camada geológica com escala de 1:30.000, abrangendo todo o município (PBH, 2024). Para a seleção das nascentes trabalhadas nesta pesquisa, optou-se pela utilização da carta geológica de maior abrangência, representada pela escala de 1:1.000.000 (CPRM, 2004), a qual apresenta uma compartimentação mais generalizada. Essa abordagem permitiu uma seleção mais estratégica de grupos representativos que pudesse representar a geologia do território belorizontino como um todo.

[1] A classificação da renda segue critério utilizado pelo Instituto de Pesquisas Econômicas e Administrativas (IPEAD, 2018), o qual classifica a renda em quatro faixas por setor censitário: Popular (inferior a 5 SM), Médio (igual ou maior a 5 SM e menos que 8,5 SM), Alto (igual ou maior a 8,5 SM e menor que 14,5 SM) e Luxo (igual ou superior a 14,5 SM).

Figura 4-2 – Critérios para caracterização da população de nascentes.

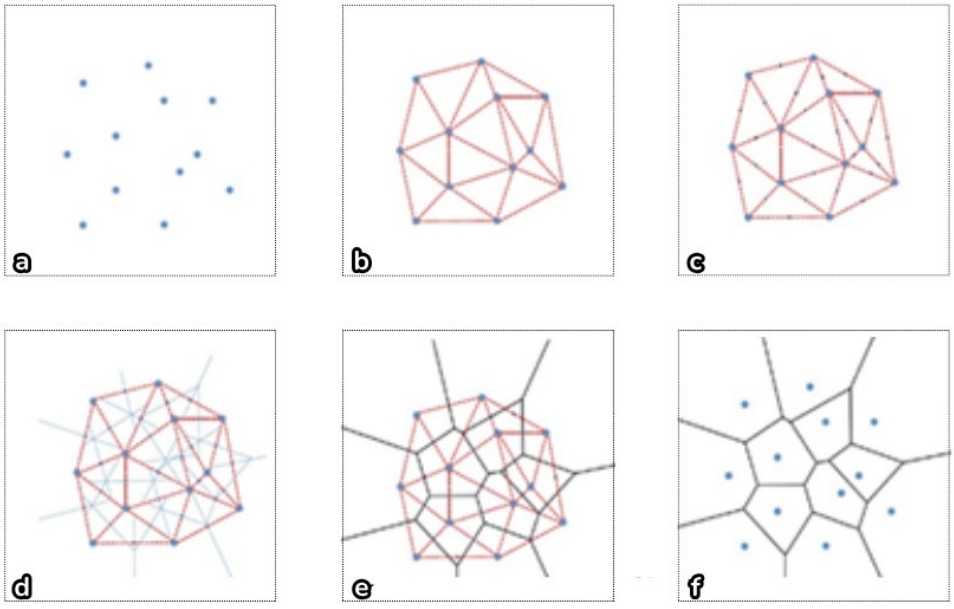


Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.3 Análise espacial a partir do Diagrama de Voronoi

Após o estabelecimento da base única de nascentes de Belo Horizonte, foi realizada a análise espacial a partir do Digrama de Voronoi (Rezende *et al.*, 2000; Moroni *et al.*, 2023). Segundo Moura (2003), o método de análise espacial a partir do Diagrama de Voronoi permite determinar as principais áreas de influência a partir da localização de pontos de interesse no espaço, onde são estabelecidas relações de acordo com o conjunto de dados disponíveis. Nesses estudos, ao considerar que em um plano existem pontos que estão mais próximos de uma determinada fonte geradora do que de outra, os resultados obtidos pelo referido método permitem estabelecer polígonos cujas distâncias correspondem ao menor valor possível. A Figura 4-3 apresenta o modelo esquemático da construção do Diagrama de Voronoi.

Figura 4-3 – Modelo esquemático da construção do Diagrama de Voronoi.



Dado um conjunto de pontos em um determinado espaço geográfico: (a) estes são conectados ao ponto vizinho mais próximo por meio de um segmento de reta (b), na qual a partir da construção de bissetrizes (c), estes serão unidos (d) e conectados formando um polígono (e) capaz de delimitar a área de influência dos pontos no espaço (f).

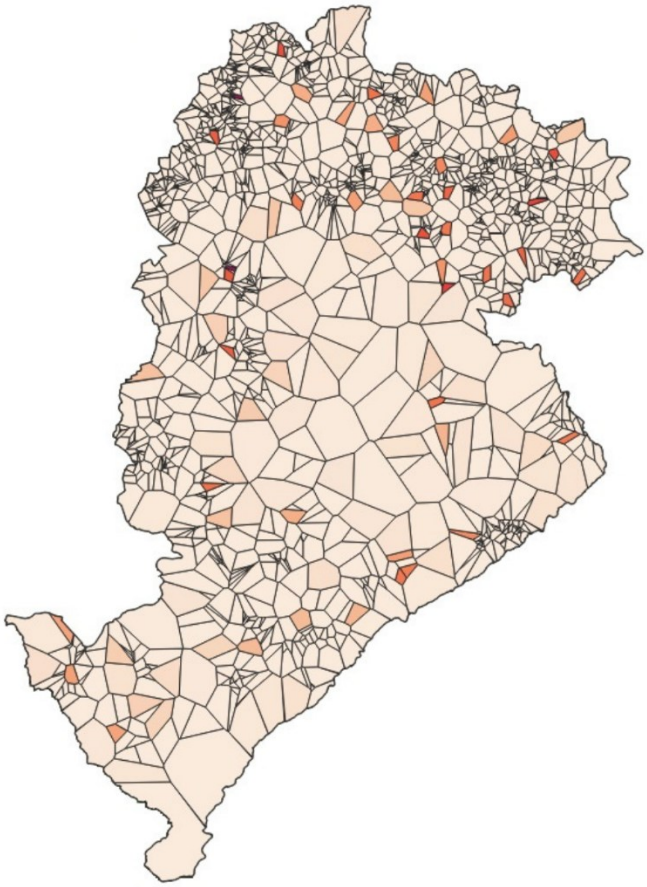
Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Moroni *et al.* (2023), a configuração do método de Voronoi é dependente da seguinte condição: sendo **S** um conjunto de **n** pontos, tal que, dois pontos $\mathbf{P_i}$ (um determinado ponto no espaço) e $\mathbf{P_J}$ (um ponto no espaço diferente de P_i), ambos pertencentes ao conjunto S e sendo que, $\mathbf{H\ (P_i\ ,P_J)}$ o plano que contém P_i e P_J, os resultados do Diagrama de Voronoi (**Vor(i)**) é dado pelo seguinte modelo:

$$Vor(i) = \bigcap_{i \neq j} H(P_i P_j)$$

Diante do exposto, houve o processamento da ferramenta *Create Thiessen Polygons* em ambiente SIG, a qual gerou os polígonos de Voronoi a partir da base cartográfica elaborada (vide item Seleção de critério para o agrupamento de nascentes) das nascentes mapeadas no município de Belo Horizonte, incluindo as localizadas em áreas protegidas. A seguir, a Figura 4-4 apresenta o resultado do Diagrama de Voronoi obtido a partir das distâncias entre as nascentes mapeadas na cidade.

Figura 4-4 – Diagrama de Voronoi das nascentes de Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.4 Área média de influência das nascentes

A partir dos polígonos de Voronoi foi calculada a área média de influência das nascentes mapeadas no município de Belo Horizonte. Esse processo foi realizado para obter a área média de influência de cada nascente que integra a base cartográfica, o resultado é dado pela seguinte fórmula:

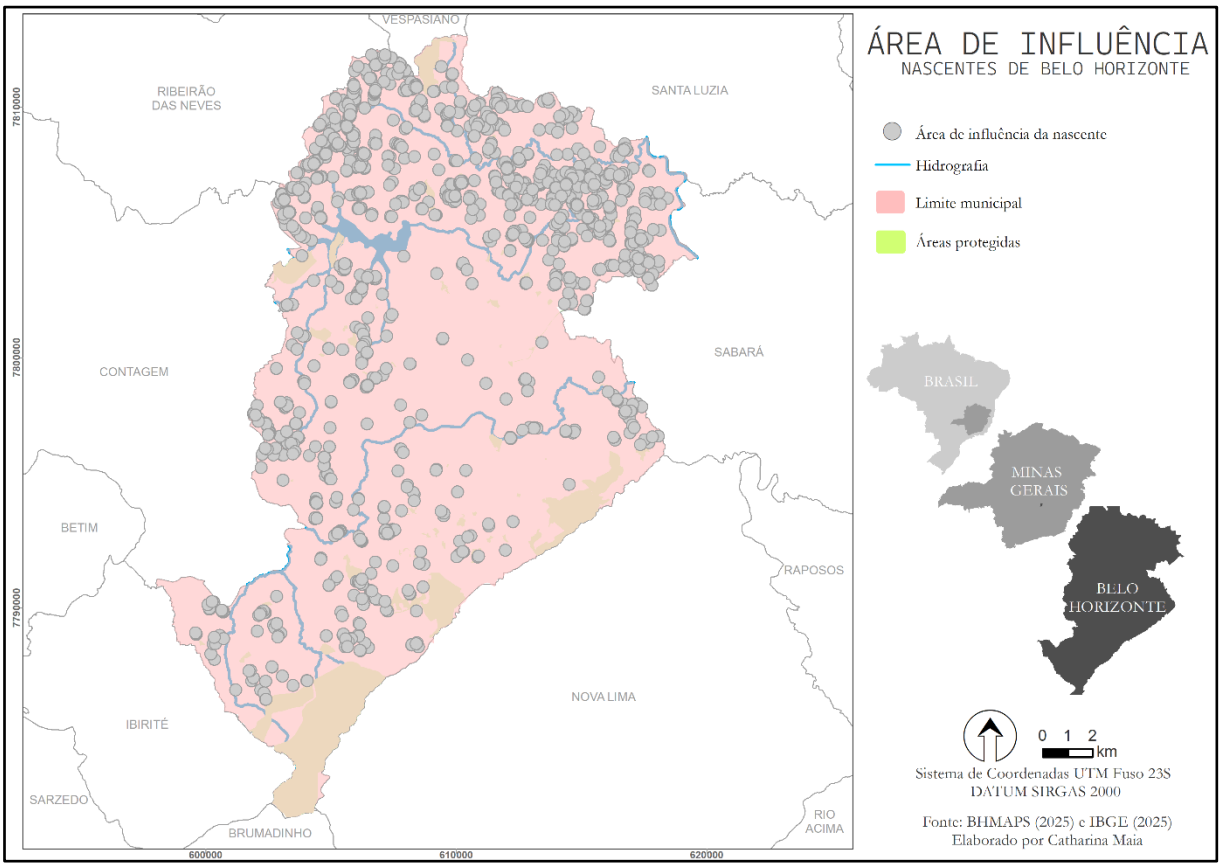
$$\bar{x} = \frac{\Sigma\ \bar{x}\ Vor(i)}{N}$$

Dessa maneira, a área média ($\bar{x}$) corresponde ao somatório das áreas de Voronoi (Vor(i)) resultante do cada nascente dividido pelo número de nascentes (N) que compõe a base cartográfica. Nesse sentido, aplicando-se a fórmula, obteve-se a área média de influência de 0,18km² por nascente mapeada no município de Belo Horizonte. Assim, foi extraído o raio equivalente a área média de influência obtida, utilizando a fórmula que calcula a área de um círculo:

$$A = \pi . r^2$$

O raio obtido a partir do valor da área média de influência das nascentes equivaleu-se a 0,23km. Em seguida, com o raio médio de influência obtido, foi aplicado o processamento da ferramenta *Buffer*, o qual foi responsável por criar o polígono que envolve a feição vetorial em formato de ponto das nascentes. Desse modo, a Figura 4-5 apresenta a espacialização das áreas equivalentes de influência das nascentes mapeadas na cidade.

Figura 4-5 – Área de influência das nascentes fora de áreas protegidas em Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.5 Extração de classes por maior abrangência

Após a consolidação das áreas de influência das nascentes, restringiu-se a base cartográfica de nascentes compreendendo somente os polígonos das nascentes localizadas fora de Unidades de Conservação e de parques urbanos em Belo Horizonte. Em seguida, foi aplicada a ferramenta *Extract by Location* em ambiente SIG com o objetivo de extrair as classes mais representativas de cada critério. Assim, por exemplo, no caso de uma área de influência de uma nascente que possui 80% de sua área na unidade de relevo Patamares de Belo Horizonte e 20% em Serras do Quadrilátero Ferrífero, adota-se a classe de Patamares de Belo Horizonte para representar a

variável de Geomorfologia dessa nascente.

4.1.6 Análise espacial a partir da Variância de Dummy

Após a extração de critérios por maior abrangência de cada nascente, foi realizada a Análise de Variância *Dummy* (V_d). Esta análise é um tipo de artifício criado para representar um critério com duas ou mais classes de forma numérica, que é o caso de todos os critérios elencados; o critério de geomorfologia, por exemplo, possui duas classes: Patamares de Belo Horizonte e Serras do Quadrilátero Ferrífero. Além disso, uma variável Dummy assume os valores de zero (0) ou um (1) para indicar a ausência ou a presença da classe analisada (Garavaglia *et al.*, 1998). Nos casos em que o critério apresenta mais de três (3) classes, é necessário aplicar a seguinte fórmula:

$$V_d = N - 1$$

Esta fórmula indica que, para obter a Variância de *Dummy*, é preciso subtrair uma unidade do total de classes (N) que existem para cada critério trabalhado. Em paralelo a esse processo, é necessário eleger uma das classes para ser a "categoria de controle" visto que a fórmula se aplica ao comparar a categoria de controle com as demais que compõem o mesmo critério (Garavaglia *et al.*, 1998). Nesse sentido, têm-se como exemplo a Tabela 4-1 que apresenta o valor de zero (0) ou um (1) para indicar a ausência ou a presença do critério de rendimento médio mensal disponível por setor censitário para quatro (4) nascentes hipotéticas.

Tabela 4-1- Variável Dummy para quatro nascentes hipotéticas

RENDA	LUXO	ALTA	MÉDIA	BAIXA
Nascente 1	1	0	0	0
Nascente 2	0	1	0	0
Nascente 3	0	0	1	0
Nascente 4	0	0	0	1

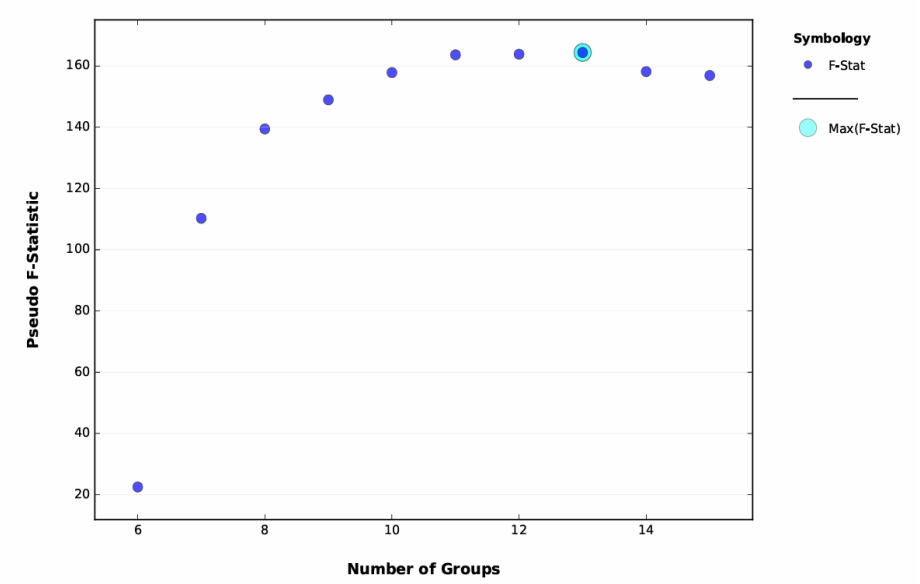
Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 4-1 apresenta as classes que existem para o critério de rendimento médio mensal disponível por setor censitário. Nesse sentido, as classes que assumiram valor zero (0) ou (1) indicam a ausência ou presença, respectivamente, em comparação às outras classes que apresentam o critério na área de influência da nascente. A Análise de Variância *Dummy* foi aplicada para todos os critérios elencados a fim de obter um banco de dados aplicável para a identificação de grupos estratégicos de nascentes fora de áreas protegidas em Belo Horizonte.

4.1.7 Definição de grupos de nascentes situadas fora de áreas protegidas em Belo Horizonte

Após o tratamento das informações das classes de cada critério a partir da Análise de Variância de *Dummy*, foi possível processar a ferramenta *Grouping Analysis* em ambiente SIG. Essa ferramenta objetiva estabelecer agrupamentos que identificam elementos estratégicos baseados nas classes e nas relações espaciais, estas entendidas como nível de similaridade, atribuídas a cada nascente. Essa identificação de elementos estratégicos é de suma importância para entender padrões e tendências espaciais das nascentes alvo da pesquisa. Ao processar a ferramenta *Grouping Analysis* optou-se por utilizar a restrição espacial de vizinhos mais próximos (*Nearest Neighbors*), além disso, foram realizados diversos testes com diferentes números de agrupamentos possíveis para obter um resultado que pudesse determinar um conjunto amostral ideal para estudar as nascentes situadas fora de áreas protegidas em Belo Horizonte. Definiu-se, a partir disso, oito (8) agrupamentos para o conjunto amostral de nascentes para obter um resultado satisfatório pelas análises estatísticas realizadas pela ferramenta *Grouping Analysis*. O Gráfico 4-1 apresenta o relatório emitido ao processar a ferramenta em questão, utilizando os critérios supracitados de restrição espacial e total de agrupamentos.

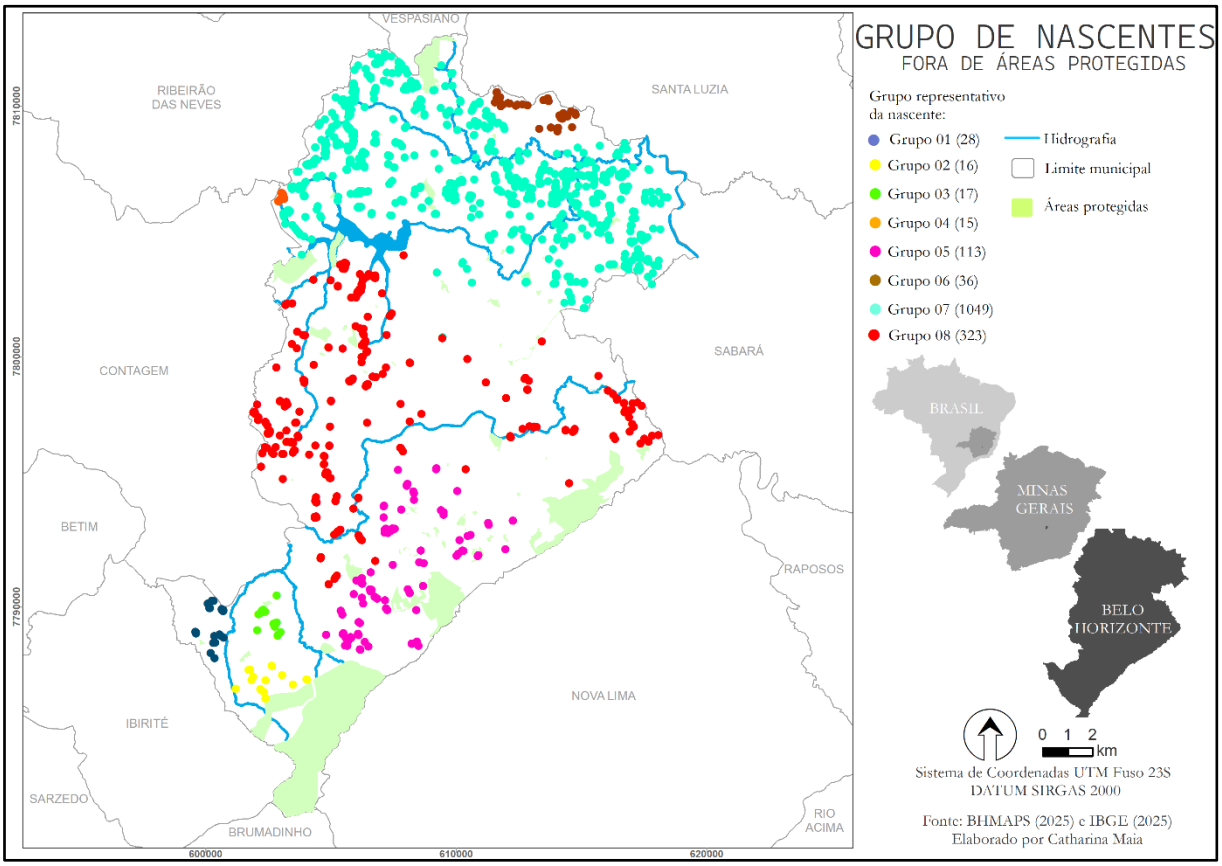
Gráfico 4-1 - Gráfico gerado pelo processamento do Grouping Analysis.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o Gráfico 4-1, a estabilização do valor *Pseudo F-Statistic* a partir de oito grupos indica que a organização do conjunto amostral de nascentes neste número de agrupamentos responde de forma satisfatória. A Figura 4-6 apresenta a distribuição dos oito (8) agrupamentos das nascentes alvo do estudo no município de Belo Horizonte.

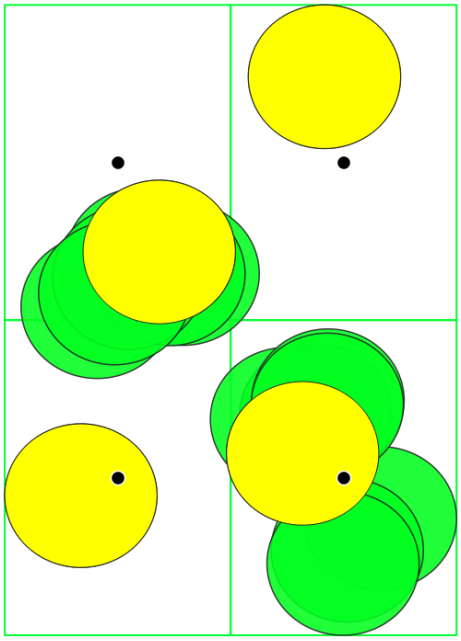
Figura 4-6 – Grupos de nascentes.



Fonte: Elaborado pela autora.

Devido as limitações de recursos e tempo viável para tornar este projeto factível, foram elencadas quatro (4) nascentes de cada um dos 8 agrupamentos, totalizando um conjunto amostral de 32 nascentes fora de áreas protegidas para serem investigadas em Belo Horizonte. Nesse sentido, as quatro (4) nascentes de cada agrupamento poderiam ser elencadas de forma aleatória visto que compõem o mesmo grupo. Entretanto, para obter um grupo mais seletivo, foi gerado, a partir do processamento da ferramenta *Grid Index to Features* em ambiente GIS, quatro (4) quadrantes de área equivalente e que englobassem todas as áreas de influência das nascentes que pertencem ao mesmo grupo. Por fim, foram selecionadas as áreas de influência das nascentes que estavam mais próximas do ponto central de cada quadrante, o qual foi gerado a partir do processamento da ferramenta *Find Centroids* em ambiente GIS. A Figura 4-7 apresenta o exemplo das áreas de influência, e, respectivas nascentes selecionadas de um dos oito (8) agrupamentos.

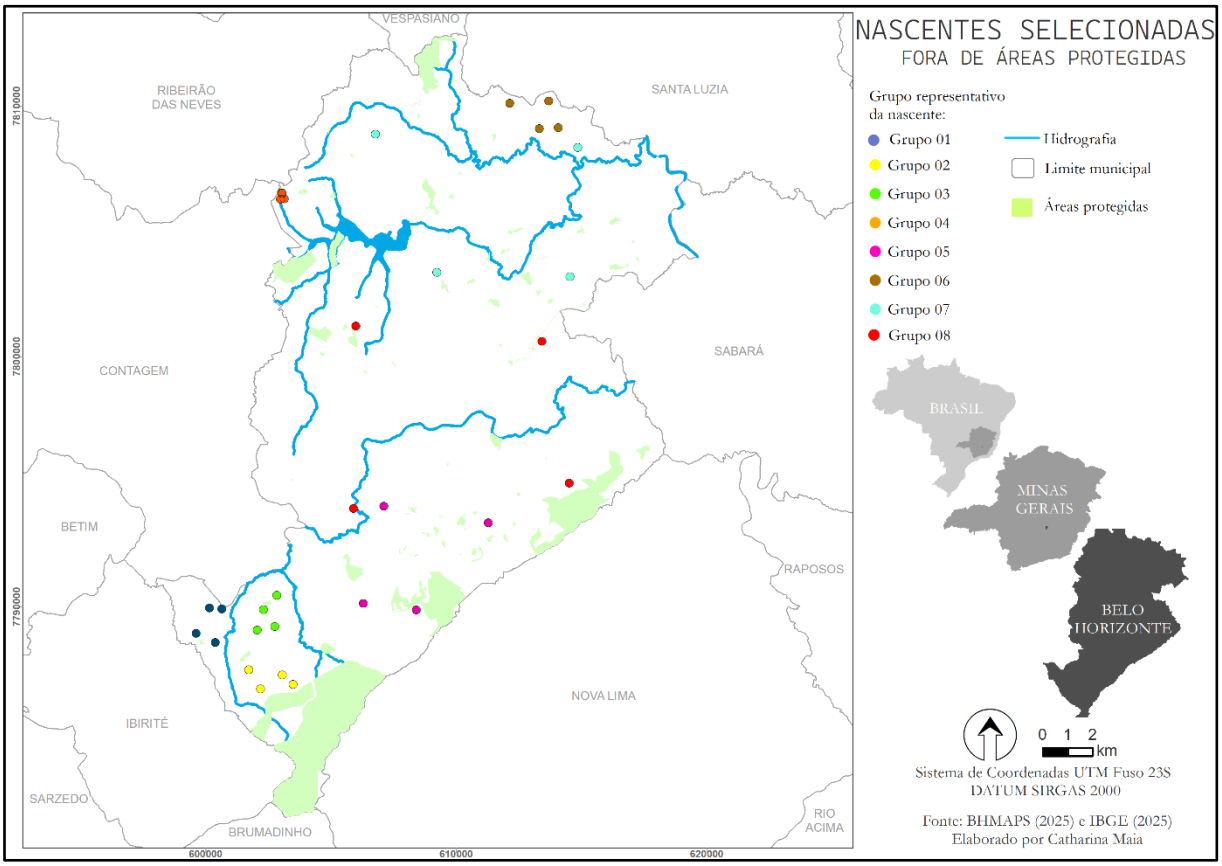
Figura 4-7 – Nascentes selecionadas a partir dos centróides. População de nascentes em verde, quadrante com contorno verde, centróide pontos pretos e nascentes selecionadas em amarelo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a conclusão do processo de seleção, obteve-se o conjunto amostral das nascentes situadas fora de áreas protegidas para serem trabalhadas nesta pesquisa. A Figura 4-8 apresenta a espacialização das nascentes selecionadas.

Figura 4-8 – Nascentes selecionadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.8 Seleção de nascentes e campanhas de campo

Após a definição da população de nascentes previamente selecionadas, foram realizados campos de reconhecimento para certificar a factibilidade de trabalhar com o conjunto amostral especificado em gabinete. Desse modo, foi utilizado o dispositivo móvel *AvenzaMaps* para auxiliar na localização das nascentes em campo. Foram realizadas cinco (5) campanhas de campo durante o primeiro semestre de 2024 voltadas para reconhecimento e seleção das nascentes a serem trabalhadas na pesquisa.

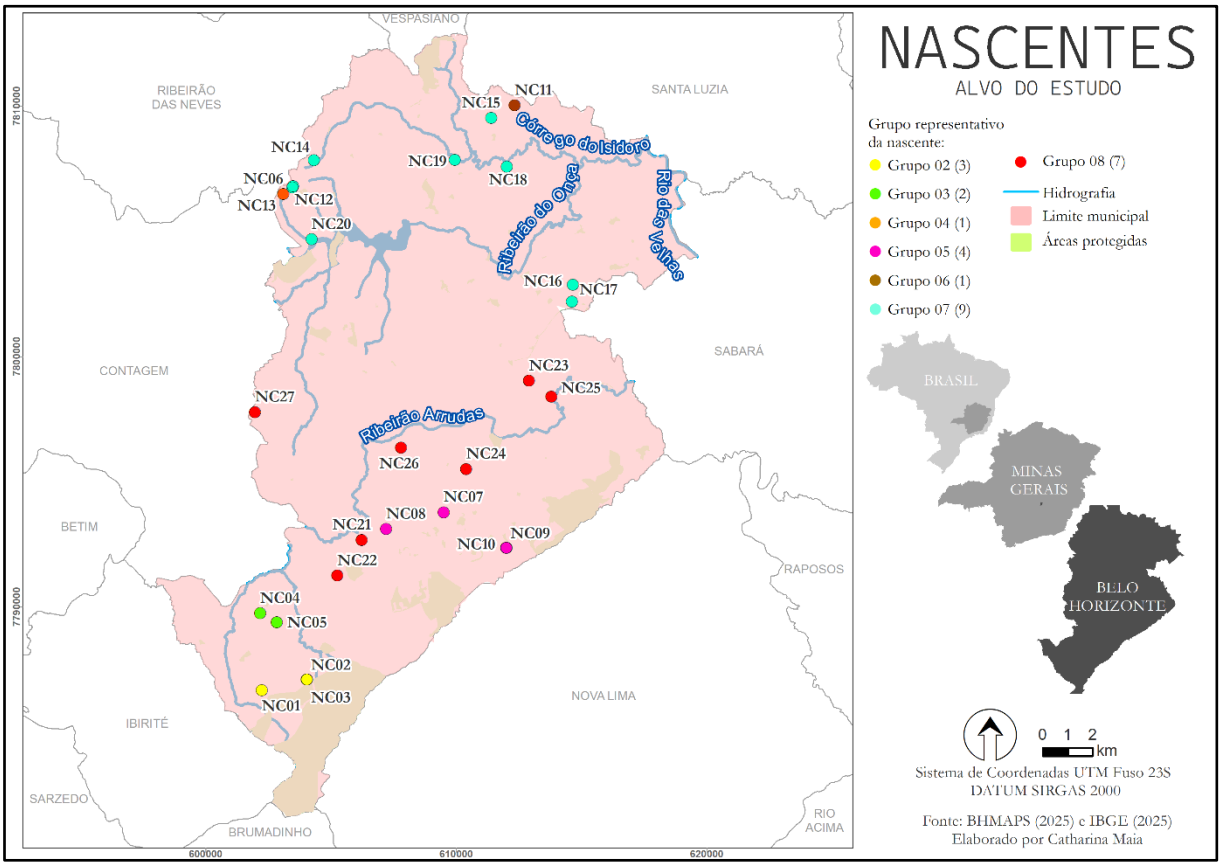
Devido a falta de precisão do mapeamento e a desatualização do *status* de grande parte das nascentes, foi possível reconhecer *in loco* somente quatro (4) nascentes dentre as selecionadas na etapa anterior. Essa situação ocorreu, pois, devido a alteração acelerada do uso da terra e do aumento do adensamento na cidade, muitas nascentes que tinham sido registradas, tanto pelo Projeto Valorização das Nascentes quanto pelo Cadastro Único de Nascentes, foram suprimidas ou altamente descaracterizadas. Além disso, embora a Prefeitura de Belo Horizonte supervise o cadastro de nascentes, o mapeamento em si depende da precisão e dos procedimentos adotados para assegurar sua coerência com o contexto local. Assim, ainda que o Cadun-BH se

apresente como um banco de dados relativamente robusto em comparação a grande parte dos acervos editáveis que são disponíveis de municípios brasileiros, não há garantia de que todas as informações nele contidas reflitam a realidade atual de Belo Horizonte. Nesse sentido, optou-se por partir de um reconhecimento de campo ideal para um reconhecimento que fosse operacional. Assim, após o segundo campo de reconhecimento, foram realizados outros dois (2) campos direcionados para as nascentes que obtinham maior probabilidade de serem encontradas *in loco*. Para isso, contou-se com técnicas de sensoriamento remoto para monitorar as áreas de interesse por meio de imagens de satélite, além das imagens disponíveis pelo *Street View*, as quais foram fundamentais para acompanhar o histórico de muitas nascentes presentes em Belo Horizonte (vide Figura 2-7).

Além disso, em relação às nascentes mapeadas em instituições públicas, escolas ou em comércios, optou-se por entrar em contato com o estabelecimento antes de ir ao local a fim de levantar informações que auxiliassem no aumento ou na diminuição da probabilidade de encontrar a nascente na área de interesse. Ademais, outro aspecto de suma importância é o fato de muitas nascentes serem encontradas devido as trocas de informações obtidas com diversos moradores. Nesse sentido, a partir do campo de reconhecimento operacional, foi possível definir um conjunto amostral composto por 27 nascentes, representando sete dos oito agrupamentos definidos na pesquisa.

De acordo com a metodologia proposta neste trabalho para a definição do grupo de nascentes, com exceção do Grupo 01, existe pelo menos uma nascente pertencente a cada um dos oito (8) grupos restantes que foram previamente definidos. O Grupo 07 foi o que concentrou maior quantidade, totalizando nove (9) nascentes que integram o espaço amostral alvo deste trabalho. A Figura 4-9 a seguir apresenta o mapa com espacialização das nascentes trabalhadas.

Figura 4-9 – Espacialização das nascentes trabalhadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a seleção das nascentes foco desta pesquisa, foram realizadas campanhas de campo correspondentes à estação seca, no mês de julho de 2024, e à estação chuvosa, no mês de dezembro do mesmo ano.

4.2 Obtenção dos dados primários

A presente seção se encontra dividida em três itens. O primeiro item trata da etapa de caracterização das nascentes selecionadas em campo, já o segundo item consiste na obtenção dos resultados a partir da aplicação dos índices de qualidade ambiental e da água. Os dois primeiros itens envolvem técnicas de geoprocessamento, levantamento em campo e análises laboratoriais para avaliar a qualidade ambiental e hídrica das nascentes. Por fim, o último item trata das entrevistas semiestruturadas foram aplicadas em campo.

4.2.1 Caracterização de nascentes

A caracterização visa levantar as tipologias de nascentes alvos deste estudo. Assim, será aplicado um protocolo de caracterização baseado no estudo realizado por Moura (2020). É

importante ressaltar que o protocolo de caracterização de nascentes é uma etapa acessório do Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes, o qual foi idealizado por Moura (2020) e que também será aplicado neste estudo. O protocolo de caracterização reúne os principais critérios para caracterizar as nascentes visto que se baseou em uma consulta feita por especialistas, por meio do método *Delphi*. Este método consiste em firmar um processo de comunicação coletivo ao permitir que um grupo de indivíduos consiga lidar com um problema complexo. No caso da elaboração do PAAN, o problema complexo tratava-se de elencar os critérios mais relevantes para a caracterização e avaliação ambiental de nascentes. Ainda, os protocolos de caracterização e avaliação consideram parâmetros de estado, pressão e respostas das nascentes, também nomeado como modelo Estado-Pressão-Resposta (E-P-R) (Moura, 2020). Em resumo, o método E-P-R é entendido como:

> ações antrópicas desempenham determinadas pressões (P) no meio ambiente, acarretando em possíveis mudanças no estado (E) do meio ambiente, podendo alterar, negativamente, a sua qualidade. Assim, cabe à sociedade responder (R) a essas mudanças, por meio de políticas ambientais, econômicas e programas para reduzir ou mitigar danos causados (Moura; Felippe, 2024, p. 134)

Tendo em vista o contexto de grande parte das nascentes estudadas neste trabalho, optou-se, de forma prévia, por adicionar outro critério de caracterização, o qual refere-se à condição de naturalidade das nascentes. Assim, para compreender a configuração das nascentes estudadas, por meio de técnicas de campo, foi indicado se a nascente é natural ou antropogênica, esta última de acordo com a definição de Felippe (2009). A seguir o Quadro 4-2 apresenta os critérios do protocolo de caracterização serão aplicados às nascentes deste estudo.

Quadro 4-2 - Critérios do protocolo de caracterização de nascentes

PROTOCOLO DE CARACTERIZAÇÃO DE NASCENTES	
Critério	**Técnica**
Tipo de uso e ocupação da terra na APP	Geoprocessamento
Morfologia da nascente	Geoprocessamento
Usos da água da nascente	Levantamento em campo
Tipo de exfiltração	Levantamento em campo
Sazonalidade da nascente	Levantamento em campo
Condição de naturalidade	Levantamento em campo

Fonte: Adaptado de Moura e Felippe (2024).

4.2.2 Obtenção do Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes e Índice de Qualidade da Água

Existem diferentes tipos de protocolos e índices que podem ser aplicados para avaliar a

qualidade ambiental dos sistemas hídricos, como os de Callisto *et al.* (2002), Gomes (2005), Pinto *et al.* (2012) e Pinto (2019). No entanto, como apontam Moura e Felippe (2024), grande parte das propostas são adaptadas de protocolos de qualidade de outros elementos de sistemas hídricos, como cursos d'água, lagos, entre outros, para avaliar a qualidade ambiental de nascentes, e, além disso, são avaliações sumariamente simplistas por considerar somente os aspectos que envolvem o estado qualitativo da água para avaliar a qualidade ambiental desses sistemas ambientais.

Diante desse contexto, Moura (2020) elaborou o Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes. Este Protocolo integra um percurso metodológico que consiste em seis (6) etapas, sendo que a primeira é uma etapa acessório e já descrita no primeiro item desta seção, para aplicação de um Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes. A seguir, são elencadas as etapas, com exceção da etapa acessório, referentes ao percurso metodológico correspondente ao PAAN:

1. Preenchimento do Protocolo de Avaliação de Nascentes;
2. Categorização dos Parâmetros de Avaliação Ambiental;
3. Cruzamento dos 12 Parâmetros;
4. Integração dos Indicadores; e
5. Monitoramento e Avaliação Periódica.

As etapas supracitadas envolvem técnicas de geoprocessamento, levantamento em campo e análises laboratoriais. Como já abordado, não será descrito neste item os procedimentos referentes à etapa 1 visto que já foram apresentados no item anterior acerca da caracterização e tipologias de nascentes. É válido ressaltar que, tendo em vista o contexto deste trabalho, a aplicação do PAAN pode ser adaptada, incorporando novos indicadores ou, caso existam alterações substanciais, o próprio Índice de Qualidade Ambiental derivado da aplicação do PAAN é passível de ser adequado para refletir o contexto em que as nascentes alvo deste estudo se inserem.

A seguir serão descritos os procedimentos respectivos à cada etapa, com exceção da etapa acessório, que contempla o Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes, conforme Moura (2020):

1. **Preenchimento do Protocolo de Avaliação de Nascentes**: esta etapa refere-se aos

critérios elencados por especialistas para avaliar as nascentes objeto deste estudo (Moura; Felippe, 2024). A seguir, o Quadro 4-3 apresenta cada um dos critérios e à sua respectiva correspondência com os parâmetros de Estado-Pressão-Resposta. Nota-se que, para tornar a compreensão do PAAN mais entendível, cada critério corresponde a um código identificador.

Quadro 4-3 - Critérios dos parâmetros E-P-R.

PARÂMETRO	CÓDIGO	CRITÉRIO
PRESSÃO (P)	A	Assoreamento na nascente
	B	Degradação na APP da nascente
	C	Acesso de pessoas, animais domésticos e criações à nascente
	D	Intervenções diretas com modificação das características morfológicas da nascente
ESTADO (E)	E	Coliformes Termotolerantes na água
	F	DBO na água (oxigênio dissolvido)
	G	Eutrofização na água
	H	Óleo e graxas na água
RESPOSTA (R)	I	Existência de programas de educação ambiental voltados para a população que utiliza a nascente
	J	Articulação entre população e entidades de regulação
	K	Existência de programas/projetos do governo para a proteção/recuperação das nascentes
	L	Combate e/ou controle de processos erosivos na APP

Fonte: Adaptado de Moura e Felippe (2024).

2. **Categorização dos Parâmetros de Avaliação Ambiental**: após o preenchimento do protocolo de avaliação das nascentes, esta etapa consiste em indicar um valor, de 1 a 3, variando-se em ruim, médio e bom, respectivamente, para cada um dos critérios avaliados na etapa anterior. A seguir, o Quadro 4-4 apresenta os preceitos que devem ser considerados para valorar os critérios.

Quadro 4-4 - Valor para ser indicado aos critérios dos parâmetros E-P-R.

CÓDIGO	INDICAÇÃO DE VALOR			FONTE
	RUIM (1)	**MÉDIO (2)**	**BOM (3)**	
A	Muito material agradacional (> 70% da área da nascente)	Quantidade mediana de material agradacional (30-70% da área da nascente)	Pouco material agradacional (<30% da área da nascente)	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
B	Muito degradada (> 70% da área degradada)	Medianamente degradada (30-70% da área degradada)	Pouco degradada (< 30% da área degradada)	Painel de Especialistas (Moura, 2020)

CÓDIGO	INDICAÇÃO DE VALOR			FONTE
	RUIM (1)	**MÉDIO (2)**	**BOM (3)**	
C	Constante	Pouco constante	Raro	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
D	Muitas intervenções	Médias intervenções	Poucas intervenções	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
E	< 100 UFC	0-100 UFC	0 UFC	CONAMA, n. 274/2000
F	> 2mgL O2	2-5 mgL O2	>5 mgL O2	CONAMA, n. 357/2005
G	≥ 0,033 mg/L Pb	0,01-0,033 mg/L Pb	≤0,01 mg/L Pb	CONAMA, n. 357/2005
H	Presente	Iridescência	Ausente	CONAMA, n. 357/2005
I	Poucos programas	Média quantidade de programas	Muitos programas	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
J	Inexistente	Pouco vigente	Vigente	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
K	Inexistente	Pouco vigente	Vigente	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
L	Inexistente	Pouco vigente	Vigente	Painel de Especialistas (Moura, 2020)

Fonte: Adaptado de Moura e Felippe (2024).

3. **Cruzamento dos 12 Parâmetros**: esta etapa consiste em realizar cruzamentos de primeira e de segunda ordem de acordo com os valores indicados para os critérios na etapa anterior. Antes de apresentar o procedimento que deve ser realizado para cada um dos cruzamentos, é preciso apontar que os critérios que correspondem a cada um dos

parâmetros de Estado-Pressão-Resposta foram organizados em pares, de acordo com o Quadro 4-5.

Quadro 4-5 - Organização dos critérios E-P-R em pares.

PARÂMETRO	CÓDIGO	PAR	CRITÉRIO DO PAR	FONTE
PRESSÃO (P)	A	AB	Morfodinâmica da nascente	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
	B			
	C	CD	Contato com a nascente	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
	D			
ESTADO (E)	E	EF	Poluição microbiológica na nascente	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
	F			
	G	GH	Poluição bioquímica na nascente	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
	H			
RESPOSTA (R)	I	IJ	Governança	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
	J			
	K	KL	Recuperação ambiental de nascentes	Painel de Especialistas (Moura, 2020)
	L			

Fonte: Adaptado de Moura (2020).

Após a organização dos critérios de cada parâmetro de E-P-R em pares, foram realizados os cruzamentos de primeira e de segunda ordem, os quais serão descritos a seguir:

- Cruzamento de primeira ordem: este cruzamento deve considerar uma matriz (3x3) para indicar o resultado do cruzamento entre os valores dos critérios que compõem cada par do parâmetro de E-P-R. Para ilustrar esse procedimento têm-se como exemplo a seguinte situação: foi indicado o valor três (3) e o valor um (1) para os critérios de Assoreamento na nascente (A) e Degradação na APP da nascente (B), respectivamente, na anterior do PAAN. O valor indicado para estes dois critérios, A e B, serão cruzados pelo fato de comporem um par do parâmetro de Pressão. Este cruzamento deve ser baseado na matriz 3x3 apresentada na Figura 4-10.

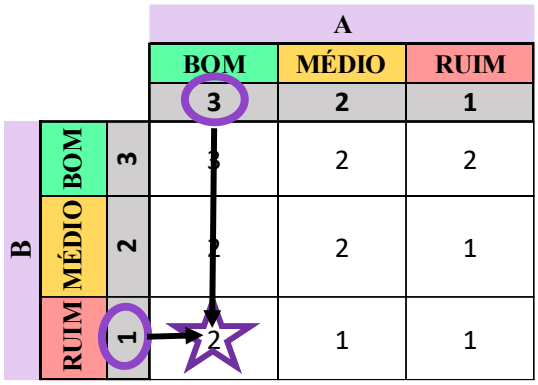
Figura 4-10 – Matriz 3x3 – Cruzamento de primeira ordem.

		BOM	MÉDIO	RUIM
		3	2	1
BOM	3	3	2	2
MÉDIO	2	2	2	1
RUIM	1	2	1	1

Fonte: Adaptado de Moura e Felippe (2024)

Assim, como o critério de Assoreamento na nascente (A) apresenta valor três (3) e o critério de Degradação na APP da nascente (B) apresenta valor um (1), o cruzamento dos valores A e B resultam, de acordo com a matriz (3x3), no valor dois (2), ilustrada na Figura 4-11 a seguir.

Figura 4-11 – Matriz 3x3 – Resultado do cruzamento de primeira ordem.



Fonte: Elaborado pela autora.

O procedimento do cruzamento de primeira ordem deve ser aplicado a todos os pares que compõem os parâmetros de Estado-Pressão-Resposta. Realizado o cruzamento de primeira ordem, é preciso, em seguida, executar o cruzamento de segunda ordem.

- Cruzamento de segunda ordem: este cruzamento deve considerar outra matriz (3x3) para indicar o resultado do cruzamento entre os valores dos pares que compõem cada parâmetro de E-P-R. Para ilustrar esse procedimento têm-se como exemplo a continuidade da situação apresentada no cruzamento de primeira ordem: após o cruzamento de primeira ordem será obtido um valor correspondente de cada par que compõe os parâmetros de Estado-Pressão-

Resposta. Assim, têm-se como exemplo o resultado dois (2) para o par AB e três (3) para o par CD. Estes dois pares contemplam o parâmetro de Pressão, portanto, deve-se realizar o cruzamento entre os valores destes dois pares, de acordo com a matriz 3x3 apresentada na Figura 4-12.

Figura 4-12 – Matriz 3x3 – Cruzamento de segunda ordem.

		BOM	MÉDIO	RUIM
		3	2	1
BOM	3	5	4	3
MÉDIO	2	4	3	2
RUIM	1	3	2	1

Fonte: Adaptado de Moura e Felippe (2024).

Assim, como o par (AB) apresenta valor dois (2) e par (CD) apresenta valor três (3), o cruzamento dos valores AB e CD resultam, de acordo com a matriz (3x3), no valor quatro (4), ilustrada na Figura 4-13.

Figura 4-13 – Matriz 3x3 – Resultado do cruzamento de segunda ordem.

			AB		
		BOM	MÉDIO	RUIM	
		3	2	1	
CD	BOM	3	5	4	3
	MÉDIO	2	4	3	2
	RUIM	1	3	2	1

Fonte: Elaborado pela autora.

O procedimento do cruzamento de segunda ordem deve ser aplicado entre todos os pares que compõem cada um dos parâmetros de Estado-Pressão-Resposta. Realizado o cruzamento de primeira ordem, é preciso, em seguida, executar a integração dos indicadores.

4. **Integração dos indicadores**: realizado o cruzamento de segunda ordem, cada nascente irá obter um valor para cada parâmetro de E-P-R. Estes valores devem ser integrados e dispostos de forma crescente. Para ilustrar esse procedimento têm-se como exemplo

uma nascente que, após realizado o cruzamento de segunda ordem, obteve o resultado um (1) para Estado, três (4) para Pressão e cinco (5) para Resposta. Assim, o valor de cada parâmetro de E-P-R deve ser integrado e disposto de forma crescente, ou seja, para o exemplo citado têm-se o resultado 145. Este resultado corresponde ao Índice de Qualidade Ambiental da Nascente (IQAN) e deve ser interpretado de acordo com a Figura 4-14.

Figura 4-14 – Valores do Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes.

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

PIOR INDICADOR **MELHOR INDICADOR**

Fonte: Adaptado de Moura e Felippe (2024).

De acordo com Moura e Felippe (2024), a Figura 4-14 indica que dentre as 35 possíveis combinações, o pior cenário de qualidade ambiental é indicado pela combinação 111 e o melhor cenário indicado pela combinação 555. Assim, a integração e disposição dos valores resultantes de cada parâmetro E-P-R determinará a qualidade ambiental da nascente estudada.

5. **Monitoramento e Avaliação Periódica**: a última etapa que compõe o Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes corresponde ao monitoramento periódico da nascente. Este monitoramento deve condizer com o resultado indicado pelo Índice de Qualidade Ambiental da Nascente a fim de elaborar estratégias de proteção específicas e que condizem com o contexto de cada nascente.

De acordo com Moura e Felippe (2024), o Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes, produto do PAAN possui caráter integrativo, qualitativo, acessível, sistêmico e holístico para caracterizar e categorizar as nascentes. Assim, os autores supracitados apontam que o PAAN e respectivo índice apresentam-se como ferramenta eficiente, não só para categorizar e caracterizar as nascentes, mas também por contribuir para uma gestão e planejamento de estratégicas de proteção das nascentes de forma eficaz.

O PAAN foi aplicado em todas as nascentes definidas no tópico Seleção de nascentes e campanhas de campo. Foram realizadas duas coletas: uma na estação seca e outra na estação chuvosa, respeitando a sazonalidade climática de Belo Horizonte. Ademais, as análises

laboratoriais previstas para no PAAN seguirão as normas padronizadas e adotadas no Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Além disso, este trabalho contou com a aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA). Criado pela *National Sanitation Foundation* em 1970, o IQA é atualmente o principal índice utilizado no Brasil para mensurar a qualidade da água destinada ao abastecimento público, por meio de um único valor. No entanto, é importante ressaltar que o IQA não leva em consideração todas as variáveis necessárias para avaliar a potabilidade da água, como a presença de protozoários patogênicos e substâncias tóxicas, como metais pesados e pesticidas. Portanto, embora seja uma ferramenta útil para o monitoramento ambiental, o IQA não deve ser utilizado como parâmetro definitivo para o consumo humano direto(Von Sperling, 2005; ANA, 2024).

A classificação do IQA pode variar conforme a sua localização. No caso do município de Belo Horizonte, por exemplo, considera-se as classificações adotadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) (Minas Gerais, 2025). O Quadro 4-6 a seguir apresenta os valores de classificação do IQA conforme os critérios do IGAM.

Quadro 4-6 – Classificação do IQA.

VARIÁVEL	CLASSES	DESCRIÇÃO
Excelente	90 < IQA ≤ 100	Águas apropriadas para tratamento convencional visando ao abastecimento público
Bom	70 < IQA ≤ 90	
Médio	50 < IQA ≤ 70	
Ruim	25 < IQA ≤ 50	Águas impróprias para tratamento convencional visando ao abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados
Muito Ruim	0 < IQA ≤ 25	

Fonte: Elaborado pela autora.

O IQA considera nove (9) critérios, que são fundamentais para avaliar a qualidade do corpo hídrico. Esses critérios são:

1. Oxigênio Dissolvido;
2. Coliformes Termotolerantes;
3. pH;
4. DBO;

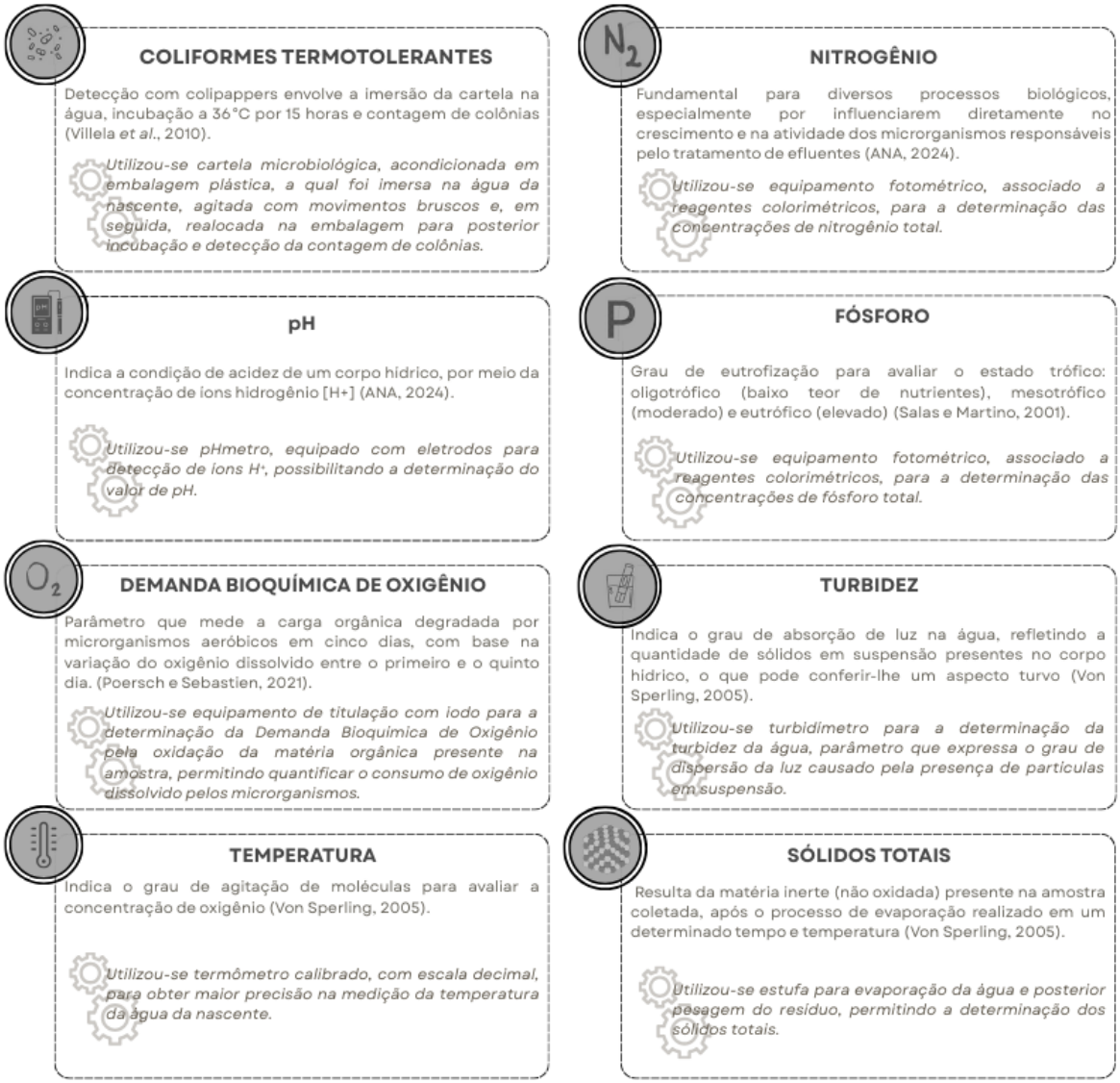
5. Temperatura;
6. Nitrogênio Total;
7. Fósforo Total;
8. Turbidez; e
9. Sólidos Totais.

É importante destacar que o IQA considera exclusivamente critérios quantitativos, sendo, portanto, um índice complementar para as análises e discussões presentes neste estudo. Essa abordagem se justifica pelo fato de o IQA não contemplar outros critérios, como os de Resposta e Pressão, que são abordados pelo Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes, e que são essenciais para uma compreensão mais abrangente dos desafios relacionados à proteção dos sistemas ambientais. Contudo, os resultados do IQA também oferecem suporte para a análise das variações nos valores de Estado das nascentes entre as estações de amostragem

Em relação às variáveis que compõem o Índice de Qualidade da Água, apenas três (3) integram o parâmetro de Estado do Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes, quais sejam: Coliformes, DBO e Fósforo. Já as variáveis de pH, Temperatura, Nitrogênio, Turbidez e Sólidos Totais foram mensuradas exclusivamente para obter os resultados do IQA. No entanto, é relevante ressaltar que a análise conjunta de todas as variáveis que compõem os índices trabalhados nesta pesquisa (IQAN e IQA) são de suma importância para trabalhar os resultados da qualidade ambiental das nascentes objeto deste estudo.

A Figura 4-15 apresenta os critérios que foram analisados em laboratório e que compõem os índices trabalhados nesta pesquisa.

Figura 4-15 – Análises de laboratório.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.3 Entrevistas semiestruturadas

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com moradores para que se posicionem sobre as questões da pesquisa, particularmente em relação à proteção das nascentes. De acordo com Manzini (2004), as entrevistas semiestruturadas resultam em obtenção informações de forma mais desprendida visto que os entrevistados não estão presos a alternativas e não é feita a medição para que uma resposta seja apontada em determinado tempo. Nesse sentido, os entrevistados ficam mais livres para respostas mais espontâneas, as quais são de suma valia para agregar conhecimento à pesquisa (Boni; Quaresma, 2005).

Ainda, em relação às entrevistas, é válido ressaltar que a dinâmica foi adaptada às particularidades desta pesquisa. Nesse sentido, foi realizada entrevista com os moradores ou

transeuntes que possuem relação com a nascente trabalhada, seja por morar no bairro em que a nascente se encontra ou por ser um transeunte que reconhece e possui certa relação com o local, seja pelo trabalho ou por outra circunstância, por exemplo. Ademais, a entrevista semiestruturada contou com questões previamente definidas (Boni, 2005). No caso desta pesquisa, foram elaboradas questões que envolvem a proteção de nascentes fora de áreas protegidas em Belo Horizonte. Desse modo, são elencadas as questões orientadoras às entrevistas desta pesquisa:

1) Existe algum acesso até à nascente? Se sim, quem costuma frequentar?

2) Quais são os usos desta nascente? Exemplo: consumo, recreação, educação ambiental, entre outros.

3) Você enxerga pontos positivos e/ou negativos pela presença desta nascente?

4) Você conhece alguma iniciativa de proteção desta nascente?

5) Você percebe algum tipo de ameaça para a proteção desta nascente? Exemplo: lançamento de lixo, maus cuidados, entre outros.

É válido ressaltar que foram apresentados aos entrevistados o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), o qual pode ser consultado no APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Neste Termo é apresentado diversos aspectos em relação à entrevista, em especial acerca do objetivo da pesquisa e garantia de que a participação dos entrevistados seja voluntária, livre de custos ou de benefícios financeiros. Ademais, é válido destacar que as informações são publicadas de forma anônima, assegurando a inexistência de qualquer tipo de risco associado à participação na entrevista.

4.3 Análise e interpretação dos dados primários

A etapa final deste trabalho consiste em analisar e interpretar os dados levantados e obtidos em gabinete, laboratório e em campo. Tendo em vista o objetivo de investigar os fatores que influenciam na qualidade ambiental e da água das nascentes objeto deste estudo, a análise e interpretação dos dados primários se darão a partir de cinco etapas, as quais são:

1. **Análise dos fatores ambientais das nascentes estudadas**: esta etapa visou classificar os resultados obtidos pelo protocolo de caracterização de nascentes para identificar padrões e agrupamentos relativamente homogêneos. Além disso, ademais do protocolo de caracterização, foram avaliados outros critérios que retratam o contexto ambiental de

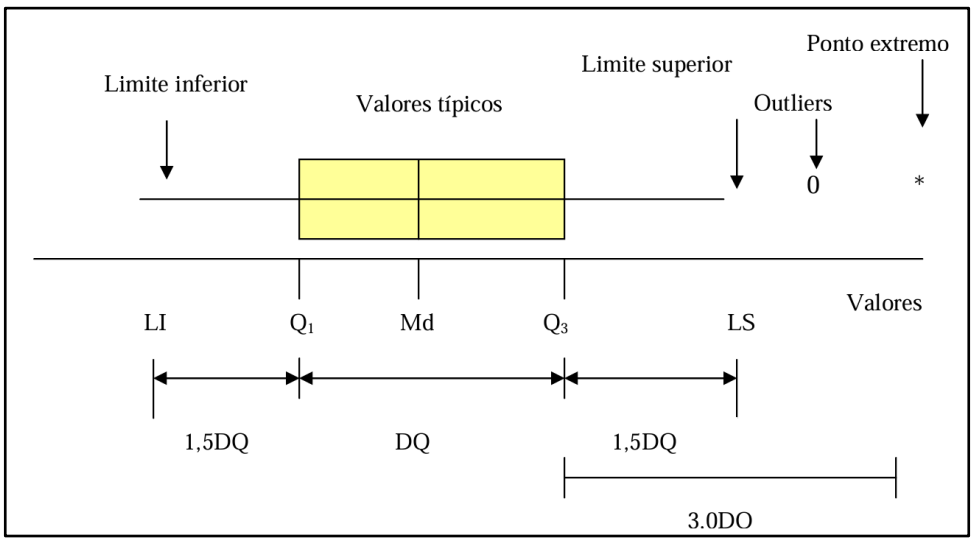
nascentes urbanas. Assim, os resultados obtidos pelas entrevistas, principalmente, em relação aos usos desses sistemas ambientais foram de suma importância para incorporar outras variáveis que impactam diretamente nas condições ambientais desses sistemas;

2. **Relação entre fatores ambientais e qualidade ambiental e da água das nascentes estudadas**: coube à esta etapa a organização e classificação dos resultados obtidos pela aplicação do PAAN e respectivo Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes, e dos resultados obtidos pelo Índice de Qualidade da Água. Dessa forma, por meio de análises estatísticas e com base nos dados obtidos na literatura, foram identificados os fatores ambientais, estruturados sob duas dimensões: socioterritorial e ambiental, que influenciam na qualidade ambiental e da água das nascentes trabalhadas. As análises estatísticas foram conduzidas por meio da construção de *boxplots* (ou diagramas de caixa), elaborado por meio do *software* JASP, que é ferramenta visual amplamente utilizada na estatística para representar a distribuição de uma variável quantitativa (Medri, 2011). Essa técnica baseia-se em um resumo de cinco números que evidenciam a posição, dispersão e assimetria dos dados, sendo eles:

    - X_1: menor valor observado
    - Q1, Q2 e Q3: primeiro, segundo (mediana) e terceiro quartis
    - X_n: maior valor observado

    A Figura 4-16 apresenta a representação gráfica do *boxplot*, ilustrando a distribuição dos dados e suas repectivas medidas-resumo.

Figura 4-16 – Representação gráfica do *boxplot*.



Fonte: Adaptado de Medri (2011).

A caixa do *boxplot*, delimitada entre o primeiro (Q1) e o terceiro quartil (Q3), representa 50% da amostra, ou seja, a faixa interquartil dos dados. A linha localizada dentro da caixa indica o valor da mediana (Q2), que corresponde ao ponto central da distribuição. O limite superior da caixa representa o percentil de 75% (Q3), enquanto o limite inferior corresponde ao percentil de 25% (Q1). Já as linhas verticais que se estendem a partir da caixa, conhecidas como "bigodes", indicam os valores mínimos e máximos da amostra, desde que não sejam considerados valores extremos. Os pontos situados fora desses limites são chamados de *outliers* (ou valores atípicos), por se distanciarem significativamente da distribuição central dos dados, sendo, portanto, representados separadamente no gráfico por pontos (Medri, 2011). Ademais, além das análises conduzidas pelo diagrama de caixa, foi aplicado um índice que integra os indicadores trabalhados (IQAN e IQA) em um único valor representativo, permitindo uma avaliação simultânea e sintética da qualidade ambiental e hídrica das nascentes analisadas. Para isso, foi utilizada a norma euclidiana (ou distância euclidiana ao ponto de origem), que permite combinar os dois índices em uma escala única e comparável, desde que previamente normalizados (Moyses, 2022). Essa abordagem possibilita uma análise mais técnica e objetiva, permitindo o ranqueamento das nascentes com base em um indicador integrado de desempenho. É importante ressaltar que a identificação das correlações entre os critérios analisados só foi possível porque o Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes foi tratado de forma quantitativa, ainda que sua concepção original seja qualitativa e hierárquica. Essa adaptação metodológica permitiu aplicar técnicas estatísticas de correlação, possibilitando a indicação dos fatores que atuam como condicionantes mais significativos da qualidade ambiental das nascentes. Contudo, tal procedimento representa uma limitação do estudo, já que implica a simplificação de um índice originalmente descritivo em uma escala numérica. Ainda assim, essa abordagem se justifica por viabilizar a análise comparativa e fornecer subsídios quantitativos que fortalecem a compreensão das relações entre os critérios ambientais avaliados.

3. **Análise de criticidade de proteção das nascentes estudadas**: coube à esta etapa cruzar as informações obtidas pelas entrevistas e dos índices trabalhados (IQAN e IQA) para definir os sistemas ambientais prioritários de conservação e de recuperação ambiental. A partir dessa análise, foram propostas diretrizes que visam subsidiar a definição de

nascentes prioritárias para proteção, com base tanto nas contribuições da literatura quanto nos dados primários produzidos ao longo deste estudo; e

4. **Discussão e compreensões sobre os resultados**: esta etapa visou discutir, a partir do cruzamento entre as informações obtidas pelos dados primários e pela literatura, os resultados obtidos a fim de apontar avanços e lacunas que existem acerca da proteção de nascentes fora de áreas protegidas em Belo Horizonte.

5 FATORES AMBIENTAIS DE NASCENTES FORA DE ÁREAS PROTEGIDAS EM BELO HORIZONTE

As nascentes alvo deste trabalho coexistem com diversas perturbações que impactam o ambiente e promovem a descaracterização das condições naturais de uso e ocupação da terra. Entre elas destacam-se grandes construções, canalização de rios, modificações na topografia, impermeabilização do solo e supressão da vegetação. Diante desse contexto, o presente capítulo visa elencar e descrever os fatores que influenciam na qualidade ambiental das nascentes fora de áreas protegidas no município de Belo Horizonte.

A definição dos fatores que influenciam a qualidade ambiental de nascentes nesta pesquisa fundamenta-se em diversas produções acadêmicas que buscam compreender as características responsáveis por compor o quadro ambiental desses sistemas. Destacam-se, entre elas, os trabalhos de Felippe (2009), Macedo e Magalhães Júnior (2011), Felippe (2013), Sampaio e Augustin (2014), Ferreira e Magalhães Júnior (2018) e Gomes *et al.* (2021). Cabe destacar que muitos estudos voltados à qualidade ambiental de nascentes têm como foco principal as propriedades físicas e químicas da água, como evidenciam as pesquisas de Felippe e Magalhães Júnior (2012), Soares (2015), Felippe e Magalhães Júnior (2014), Belizario (2015), Silveira *et al.* (2019) e Cembranel *et al.* (2019). Esses estudos, em grande parte, utilizam o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), desenvolvido por Gomes *et al.* (2006), o qual se baseia em diferentes critérios macroscópicos voltados para a propriedade física da água para a análise ambiental de nascentes.

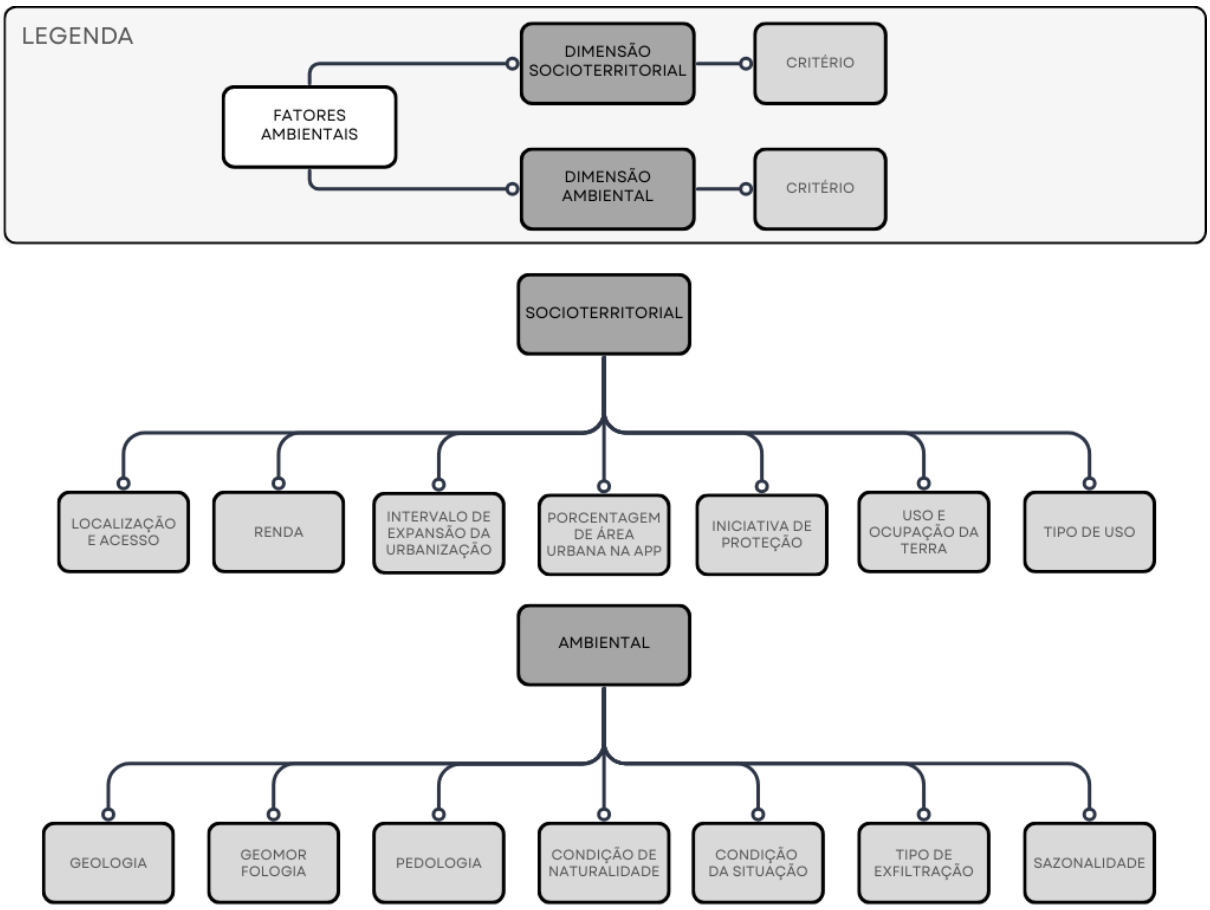
Contudo, a presente pesquisa, ao adotar o Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes, propõe uma abordagem mais ampla, que vai além da avaliação dos aspectos físicos e das propriedades hídricas. O objetivo central é incorporar, além dos critérios físico-químicos da água, fatores relacionados às dimensões socioeconômicas e às especificidades dos contextos urbanos. Essa abordagem busca considerar as diversas variáveis que impactam a qualidade ambiental das nascentes, especialmente em áreas urbanizadas, onde a preservação e a recuperação desses sistemas se mostram desafiadoras.

Nesse sentido, a análise dos fatores ambientais permite avaliar como a pressão imposta pela urbanização tem afetado tanto o estado ambiental quanto a qualidade da água das nascentes. Desse modo, busca-se compreender as respostas exigidas por essas transformações no

ambiente, com vistas a subsidiar a reformulação de políticas ambientais e econômicas voltadas à mitigação dos danos causados a esses sistemas hídricos (Moura, 2020).

Para a definição dos fatores, foram consideradas dimensões socioterritorial e ambiental que influenciam a qualidade ambiental das nascentes estudadas. Tais dimensões incorporam critérios responsáveis por caracterizar as nascentes. A Figura 5-1 apresenta o diagrama com as subdivisões das dimensões e respectivos critérios que serão trabalhados neste capítulo para caracterizar o quadro ambiental das nascentes.

Figura 5-1 – Diagrama dos fatores ambientais.



Fonte: Elaborado pela autora.

Já a Tabela 5-1 apresenta o número de nascentes correspondentes a cada uma das variáveis consideradas nos critérios adotados para a caracterização das nascentes alvo desta pesquisa.

Tabela 5-1 – Quantidade de nascentes por variável.

DIMENSÃO	CRITÉRIO	VARIÁVEL	QUANTIDADE DE NASCENTE
	Localização e Acesso	Logradouro	17

DIMENSÃO	CRITÉRIO	VARIÁVEL	QUANTIDADE DE NASCENTE
SOCIOTERRITORIAL		Propriedade Privada	10
	Renda	Luxo	0
		Alto	2
		Média	25
		Popular	0
	Intervalo de expansão da urbanização	2018 - 2025	1
		2007 - 2017	2
		1999 – 2006	7
		1977 – 1998	9
		1950 – 1976	5
		1935 - 1949	2
		1918 - 1934	1
	Porcentagem de área urbana na APP	0 – 25	0
		26 - 50	6
		51 – 75	10
		76 – 100	11
	Iniciativa de proteção	Existente	22
		Existente exclusivo	2
		Inexistente	3
	Uso e ocupação da terra	Área urbana	11
		Rocha	1
		Vegetação de baixo porte	11
		Vegetação de médio porte	4
	Tipos de Uso[2]	Paisagismo	12
		Recreação	10
		Consumo	11
		Criação de Peixes	6
		Lavagem de automóvel	8
		Dessedentação de animais	4
		Atividades domésticas	8
		Irrigação	2
		Descarte de material	1
		Educação ambiental	3
AMBIENTAL	Geologia	Filito, Xisto	9
		Granito, Gnaisse	16

[2] Para cada nascente analisada é possível identificar mais de um tipo de uso.

DIMENSÃO	CRITÉRIO	VARIÁVEL	QUANTIDADE DE NASCENTE
		Quartzito	2
	Geomorfologia da vertente[3]	Superfície plana	2
		Esporão	1
		Vale	21
		Encosta	3
	Pedologia	Área urbanizada	25
		Neossolo litólico	2
	Condição de naturalidade	Antropogênica	16
		Natural	11
	Forma	Área úmida	3
		Canalizada	14
		De corte	2
		Fissural	1
		Represado	5
		De poço	2
	Tipo de exfiltração	Pontual	17
		Múltipla	5
		Difusa	5
	Sazonalidade	Perene	25
		Intermitente	2

Fonte: Elaborado pela autora.

A estrutura deste capítulo está dividida em duas seções: a primeira apresenta os critérios que compõem a dimensão socioterritorial e a segunda apresenta os critérios que integram a dimensão ambiental. Além disso, o APÊNDICE B – Ficha de Caracterização de Nascente - apresenta as características gerais das nascentes que foram trabalhadas nesta pesquisa. As fichas de caracterização permitem a melhor visualização dos fatores característicos das nascentes situadas fora de áreas protegidas em Belo Horizonte alvo deste estudo.

[3] A classificação da morfologia das vertentes foi realizada a partir do *plugin r.geomorphon*, disponível no ambiente SIG QGIS. Esse recurso possibilita a geração de mapas contendo os dez tipos de formas de relevo mais comumente reconhecidas: *flat*, *peak*, *ridge*, *shoulder*, *hollow*, *slope*, *spur*, *footslope*, *valley* e *pit*. Tais formas, podem ser traduzidas como: superfície plana, pico, crista/divisor, patamar/ombro, depressão, encosta, esporão, sopé, vale e depressão fechada, entre outras possibilidades a depender do contexto geomorfológico adotado.

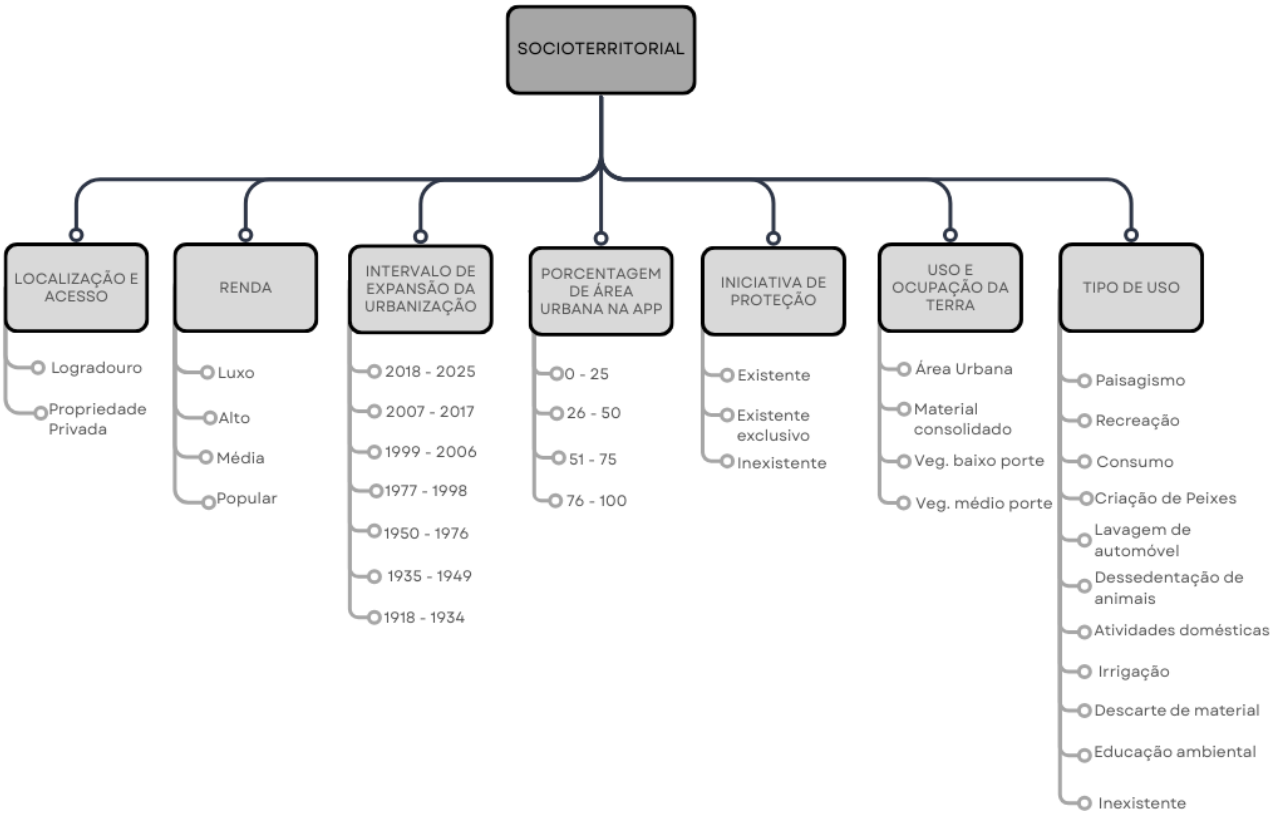
5.1 Dimensão socioterritorial

A dimensão socioterritorial é composta por sete (7) fatores, a saber:

1. Localização e acesso;
2. Renda;
3. Intervalo de expansão da urbanização;
4. Porcentagem de área urbana na APP;
5. Iniciativa de proteção;
6. Uso e ocupação da terra; e
7. Tipo de uso.

A Figura 5-2 apresenta um diagrama com as variáveis que compõem os critérios da dimensão socioterritorial.

Figura 5-2 – Diagrama da dimensão socioterritorial.



Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, serão indicadas e descritas as variáveis resultantes da dimensão socioterritorial para as nascentes foco desta pesquisa.

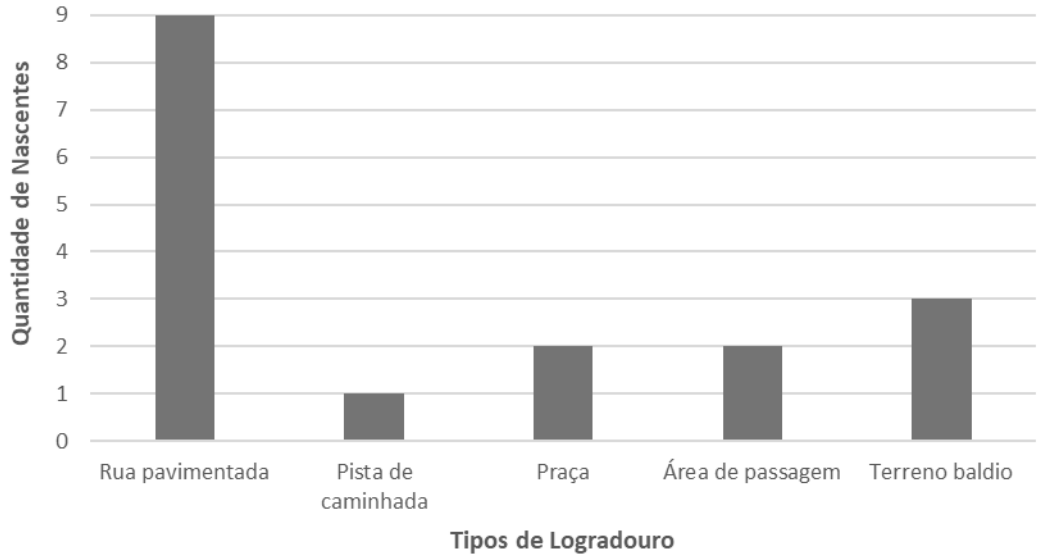
Em relação ao critério de localização e acesso, observa-se que, dentre as 27 nascentes alvo deste estudo, 62% encontram-se em logradouros, ou seja, espaços públicos que podem obter circulação de pessoas ou de uso coletivo, como praças e ruas. A Figura 5-3 apresenta um mosaico com exemplos de nascentes de logradouro que fizeram parte do espaço amostral deste trabalho.

Figura 5-3 – Exemplo de nascentes de logradouro.

Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, o Gráfico 5-1 apresenta a quantidade de nascentes conforme os tipos de logradouro que foram identificados para o espaço amostral desta pesquisa.

Gráfico 5-1 – Quantidade de nascentes conforme tipo de logradouro.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os dados representados, o tipo de logradouro que concentra o maior número de nascentes é a "rua pavimentada", abrangendo nove (9) das 17 nascentes localizadas em logradouros. Entre os demais tipos observados, apenas dois podem ser classificados como espaços de lazer: pista de caminhada e praça. Ambos apresentam indícios de manutenção e intervenções pontuais, realizadas tanto pelo poder público quanto por iniciativas da própria comunidade, com o objetivo de assegurar o uso recreativo e coletivo dessas áreas.

A categoria "área de passagem pública" foi identificada em dois casos específicos, ambos localizados na Vila Acaba Mundo em Belo Horizonte, onde a circulação se dá exclusivamente por pedestres. Já para o tipo "terreno baldio" refere-se a áreas públicas desprovidas de infraestrutura urbana, como pavimentação ou edificações, caracterizando-se ainda pela ausência de manutenção regular. Em ambos os casos, áreas de passagem e terrenos baldios, destaca-se a falta de intervenções por parte do poder público, apesar do acesso ser livre à população.

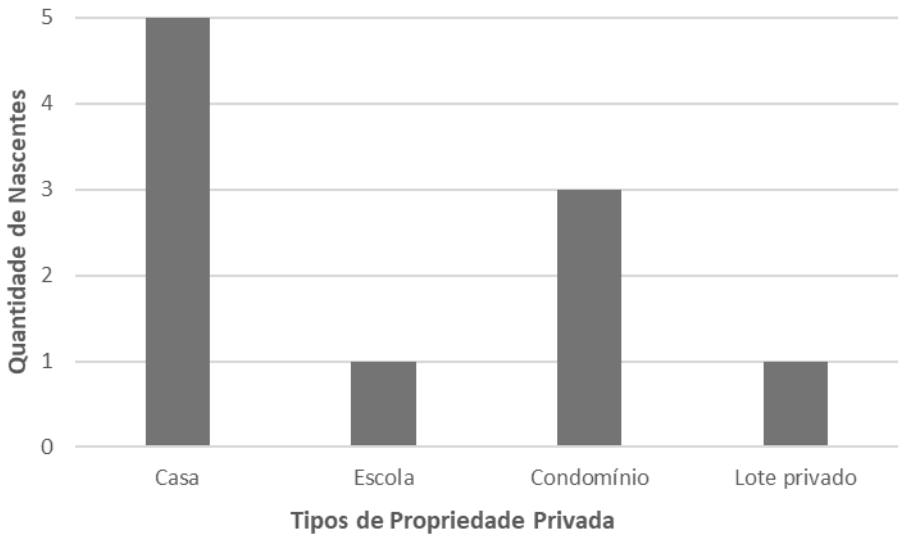
Além das nascentes localizadas em logradouros públicos, também foram analisadas nascentes situadas em propriedades privadas, como residências, condomínios, escolas e lotes privados. No entanto, essas nascentes foram abordadas em menor número, principalmente devido às dificuldades de acesso. A Figura 5-4 apresenta um mosaico com exemplos de nascentes situadas em ambientes distintos dos logradouros, que integraram o espaço amostral deste estudo.

Figura 5-4 – Exemplo de nascentes de propriedade privada.

Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, o Gráfico 5-2 apresenta a quantidade de nascentes conforme os tipos de propriedade privada que foram identificadas para o espaço amostral desta pesquisa.

Gráfico 5-2 – Quantidade de nascentes conforme tipo de propriedade privada.



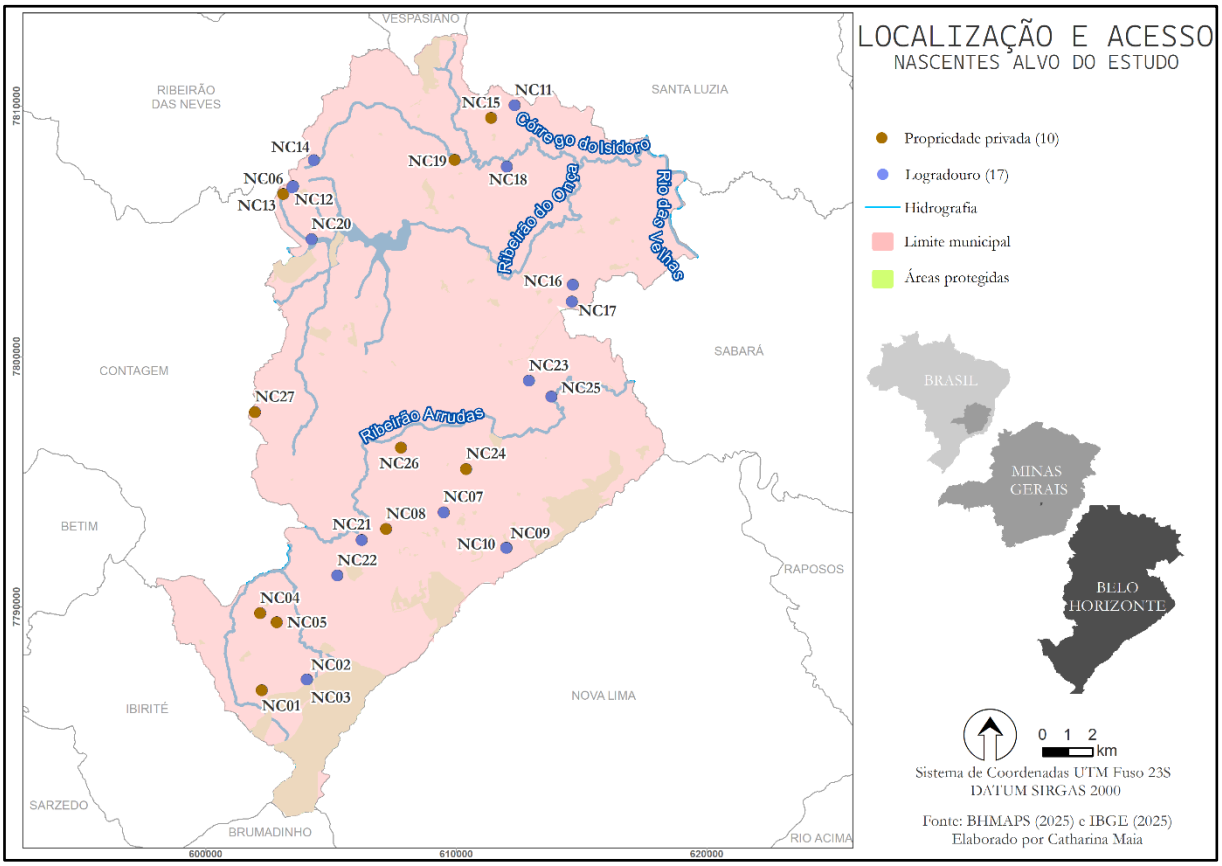
Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme os dados representados, o tipo de propriedade privada com maior concentração de nascentes é a categoria “casa”, que abrange metade das dez (10) nascentes localizadas em áreas privadas. Entre os demais tipos observados, apenas dois se diferenciam do uso residencial: escola e lote privado. Apesar do número significativo de nascentes situadas em propriedades privadas, observa-se que muitos desses sistemas naturais não contam com ações de manejo ambiental, técnicas adequadas de conservação ou acompanhamento da prefeitura municipal para sua preservação. Em grande parte dos casos, a manutenção dessas áreas depende exclusivamente da iniciativa dos(as) próprios(as) proprietários(as).

No espaço amostral considerado, há apenas um caso de nascente localizada em “escola” e outro em “lote privado”. No primeiro, não existe programa oficial de revitalização promovido pelo poder público. A manutenção do espaço é resultado de esforços pontuais da equipe escolar, mas, atualmente, trata-se de uma área de acesso restrito e sem uso pedagógico voltado à educação ambiental, por exemplo. Já no caso do lote privado, a situação se assemelha à de terrenos baldios isolados na cidade: a presença da nascente impede a realização de obras de grande porte, e, na ausência de um projeto específico de preservação, o local permanece sem manutenção adequada e com acesso restrito à população.

A Figura 5-5 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes localizadas em logradouros públicos e em propriedades privadas trabalhadas nesta pesquisa.

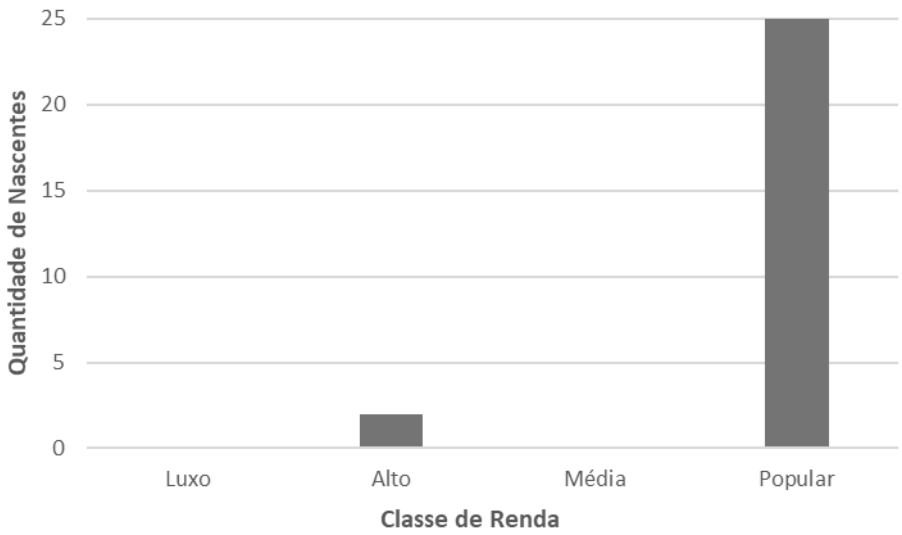
Figura 5-5 – Nascentes de logradouro e de propriedade privada.



Fonte: Elaborado pela autora.

No tocante ao critério de renda, o Gráfico 5-3 apresenta a quantidade de nascentes de acordo com a classe de renda identificada para suas respectivas localizações.

Gráfico 5-3 – Quantidade de nascente conforme tipo de renda.

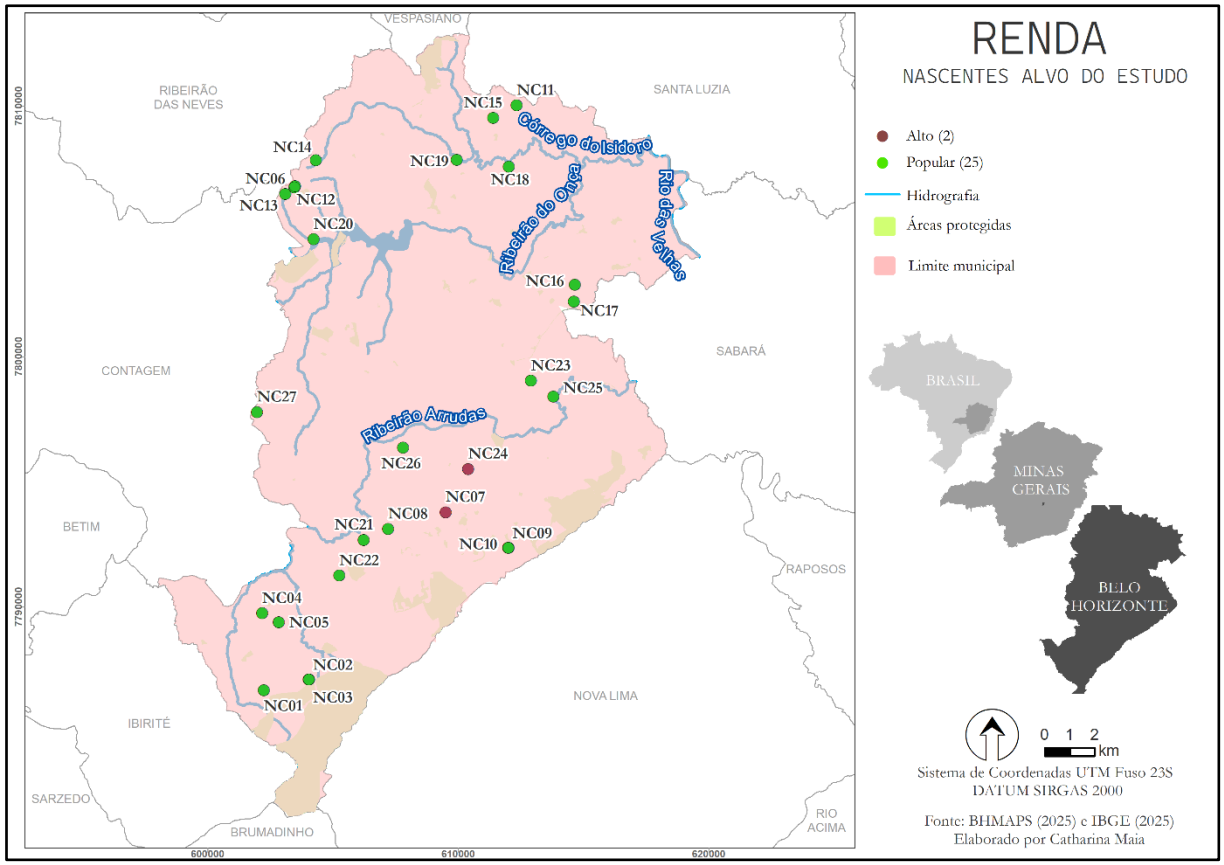


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-6 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta

pesquisa de acordo com renda.

Figura 5-6 – Nascentes conforme renda.



Fonte: Elaborado pela autora.

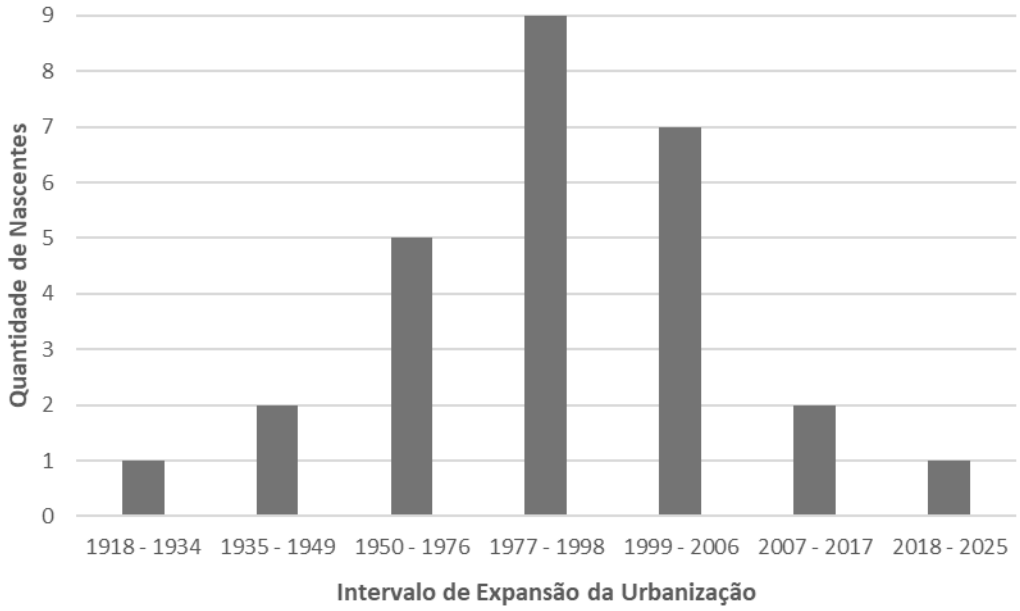
Conforme os dados representados, a classe de renda popular concentra o maior número de nascentes, abrangendo 25 das 27 nascentes analisadas (92,5%). Apenas duas (2) nascentes estão situadas em áreas de renda alta, enquanto nenhum dos casos está associado às categorias média ou luxo, conforme a classificação do IBGE (2010).

Dessa forma, observa-se que o fator renda não apresentou diversidade significativa entre as nascentes analisadas, refletindo, em grande parte, o perfil socioeconômico do território de Belo Horizonte, cuja predominância é de renda popular. Assim, embora se trate de uma variável importante para compreender as dinâmicas urbanas e ambientais, o critério de renda, neste estudo, não contempla todas as faixas de estratificação socioeconômica que o município de Belo Horizonte apresenta.

Em relação ao intervalo de expansão da urbanização, buscou-se identificar por quanto tempo uma nascente esteve exposta aos impactos desse processo. Com base nos dados disponibilizados pela prefeitura, foi possível detectar a presença e a expansão da mancha urbana

em sete (7) intervalos distintos, que registram o histórico da urbanização desde o ano de 1918 (PBH, 2025). O Gráfico 5-4 apresenta a quantidade de nascentes conforme o intervalo de urbanização identificado para suas respectivas localizações.

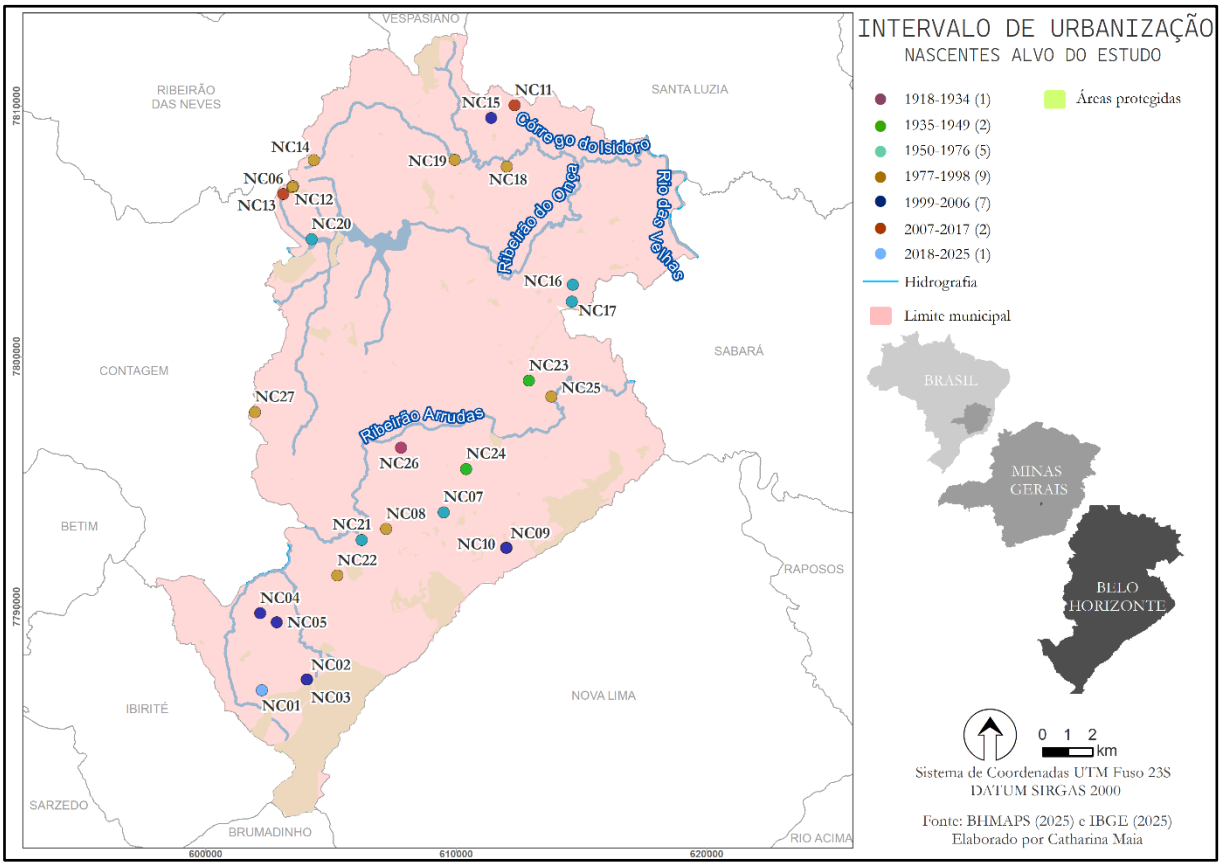
Gráfico 5-4 – Quantidade de nascente conforme intervalo de urbanização.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-7 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com o intervalo de expansão da urbanização.

Figura 5-7 – Nascentes conforme intervalo de expansão da urbanização.



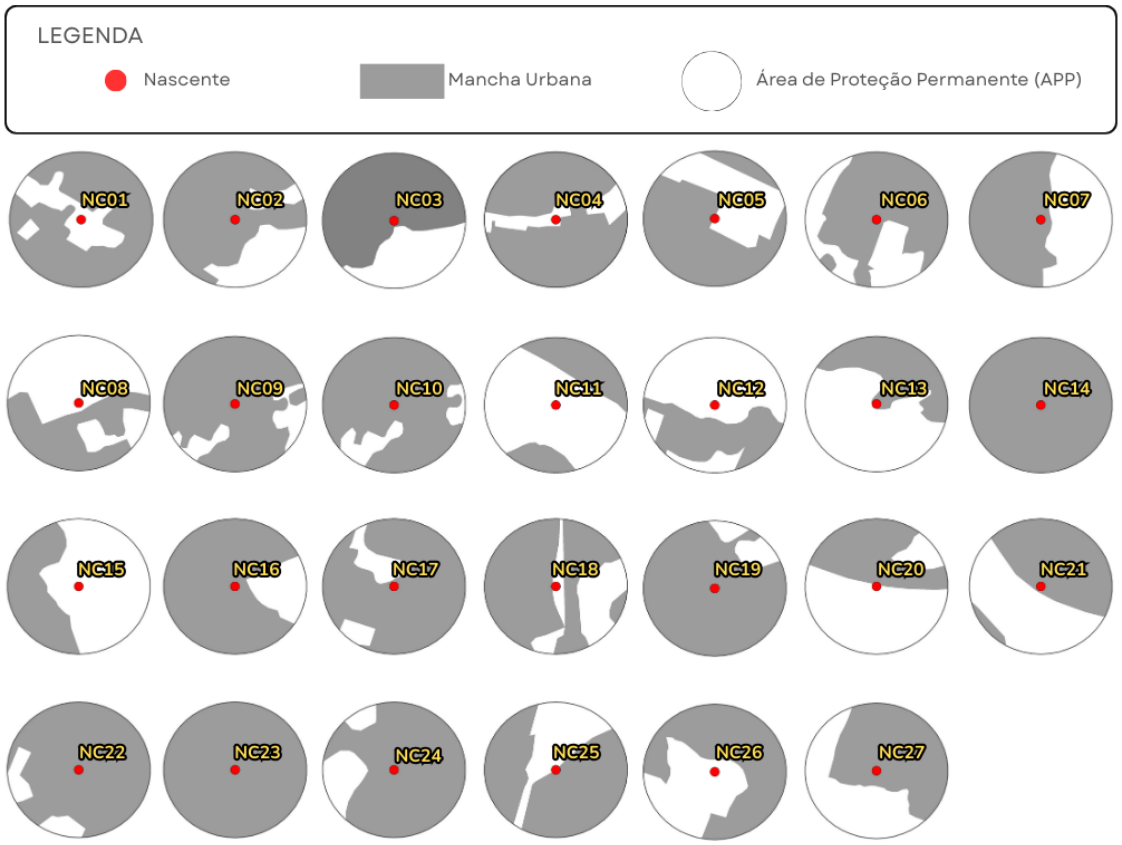
Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os dados apresentados, a maioria das nascentes analisadas foi impactada pela expansão da mancha urbana entre 1950 e 2006. Observa-se, ainda, a existência de uma nascente que permaneceu sob influência da urbanização por um período mais longo (1918 – 1934), bem como outra que passou a ser impactada mais recentemente (2018 – 2025). Entendendo que a presença da mancha urbana corrobora para a transformação do ambiente em detrimento de grandes construções, é compreensível inferir que as nascentes com maior tempo de exposição à mancha urbana estejam comprometidas em relação a sua preservação. No entanto, é fundamental destacar que tal inferência requer maior aprofundamento e compreensão empírica, uma vez que os impactos da expansão urbana podem variar conforme o modo como essa ocupação se desenvolve. Caso a expansão siga normas mais restritivas e comprometidas com a conservação de áreas verdes e sistemas hídricos, a maior exposição temporal de uma nascente à mancha urbana não implica, necessariamente, em pior qualidade ambiental desse sistema.

Apesar de as nascentes serem legalmente reconhecidas como Áreas de Proteção Permanente (APPs), muitas dessas zonas já se encontram significativamente comprometidas em decorrência do processo de urbanização e da expansão da malha urbana. Nesse contexto, torna-se

fundamental compreender em que medida as APPs associadas a esses sistemas ambientais foram afetadas pela expansão da mancha urbana. A Figura 5-8 ilustra a ocupação da área urbana nas APPs das nascentes analisadas nesta pesquisa.

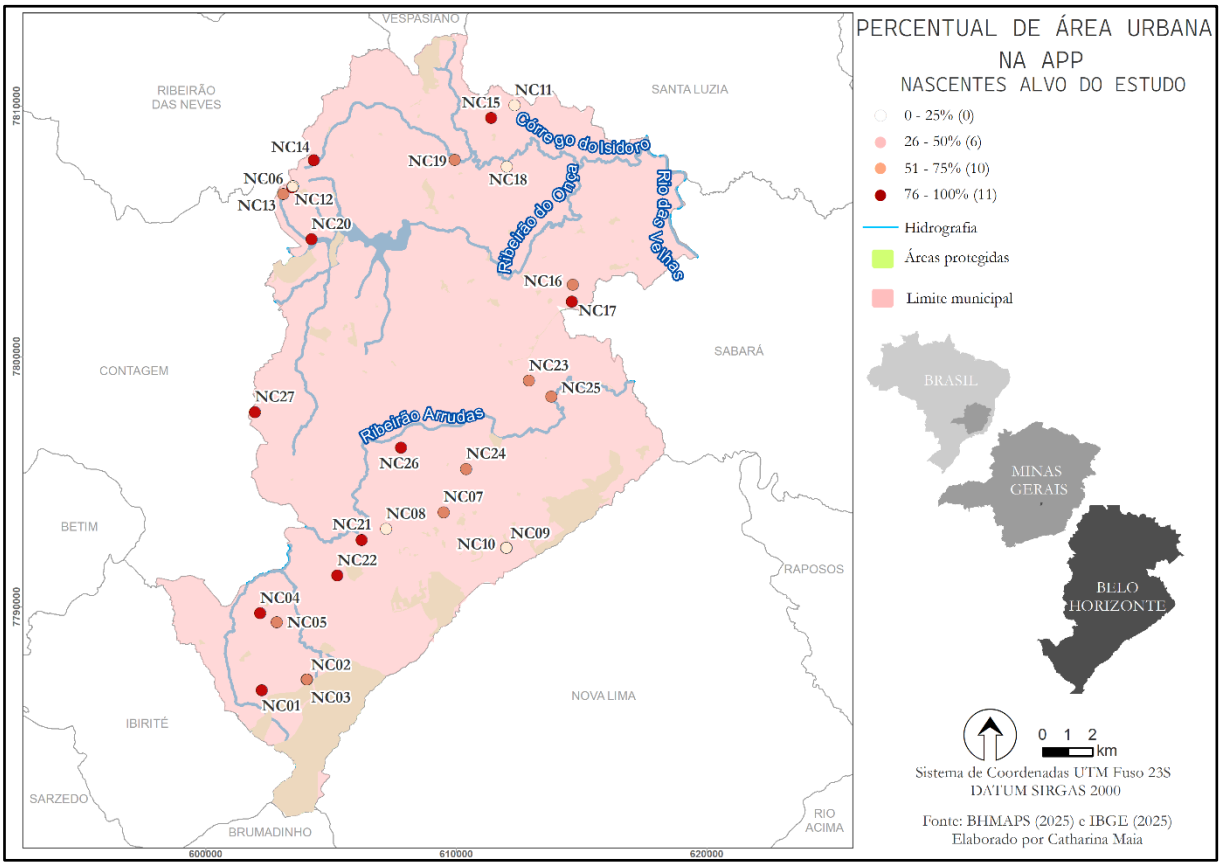
Figura 5-8 – Ocupação de área urbana na APP.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-9 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com o percentual da presença de mancha urbana na APP.

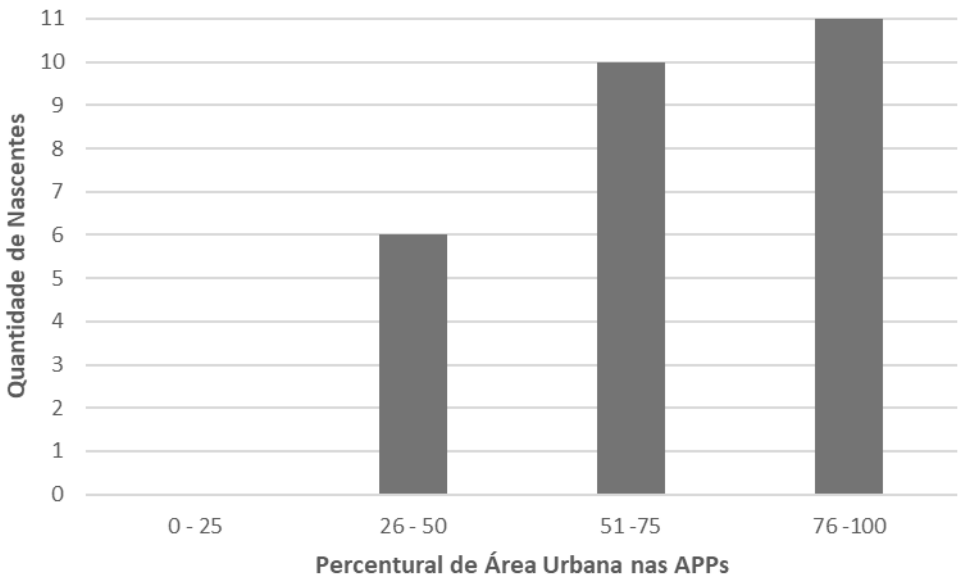
Figura 5-9 – Nascentes conforme o percentual da presença de mancha urbana na APP.



Fonte: Elaborado pela autora.

Já o Gráfico 5-5 apresenta a quantidade de nascentes conforme a presença de mancha urbana, distribuída em nos seguintes intervalos percentuais: 0–25%, 26–50%, 51–75% e 76–100%.

Gráfico 5-5 – Quantidade de nascente conforme percentual de área urbana na APP.



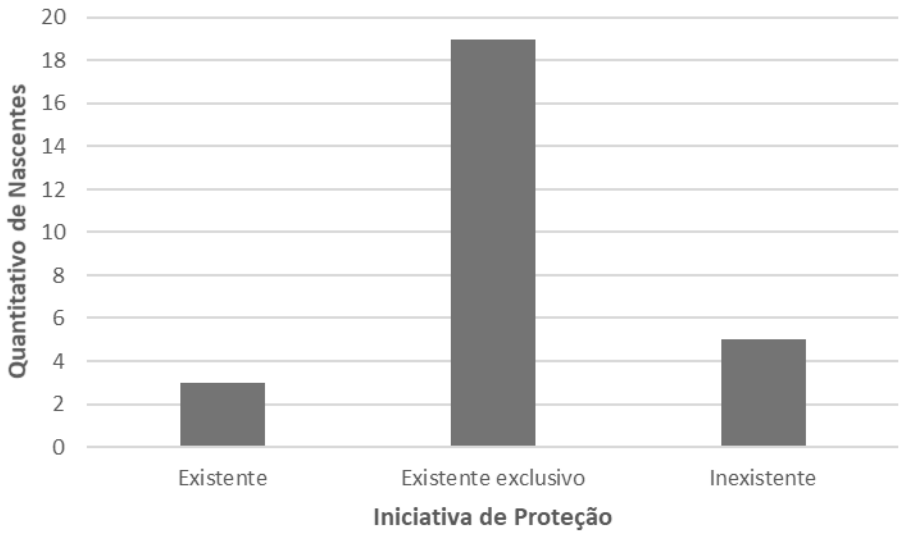
Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Figura 5-8 e o Gráfico 5-6, não há nenhuma nascente cuja APP tenha menos de 25% de sua extensão impactada pela mancha urbana. Além disso, observa-se que a maior parte do espaço amostral apresenta comprometimento pela presença da mancha urbana superior a 50% da APP. Entre os sistemas ambientais analisados, o menor percentual de ocupação urbana na APP foi registrado na nascente NC09, com 29,34%. Por outro lado, duas nascentes, NC12 e NC21, apresentaram cobertura total da APP pela mancha urbana, atingindo 100% de ocupação.

Apesar de a preservação das APPs de nascentes estar prevista em normativas legais (Brasil, 2002), grande parte das áreas analisadas encontra-se severamente comprometida. Esse cenário pode estar relacionado ao fato de que as diretrizes mais restritivas voltadas à proteção dessas áreas só foram estabelecidas a partir de 2002, ou seja, mais de um século após a fundação do município de Belo Horizonte. À época da promulgação da legislação, cerca de 78% do território belo-horizontino já se encontrava ocupado pela mancha urbana, o que indica que a maioria das nascentes analisadas já havia sido impactada pela urbanização antes mesmo da vigência das normas de proteção.

A maioria das nascentes alvo desta pesquisa não está contemplada por programas específicos de preservação. Entretanto, identificam-se sistemas ambientais que permanecem protegidos em razão de iniciativas oriundas da própria população. Nesse contexto, as ações de proteção foram categorizadas em três modalidades: Existente (iniciativas do governo e da população), Existente exclusiva (ações promovidas exclusivamente por uma das partes: governo ou população) e Inexistente (ausência de qualquer iniciativa, seja governamental ou popular). O Gráfico 5-6 ilustra a quantidade de nascentes em função dessas categorias de proteção.

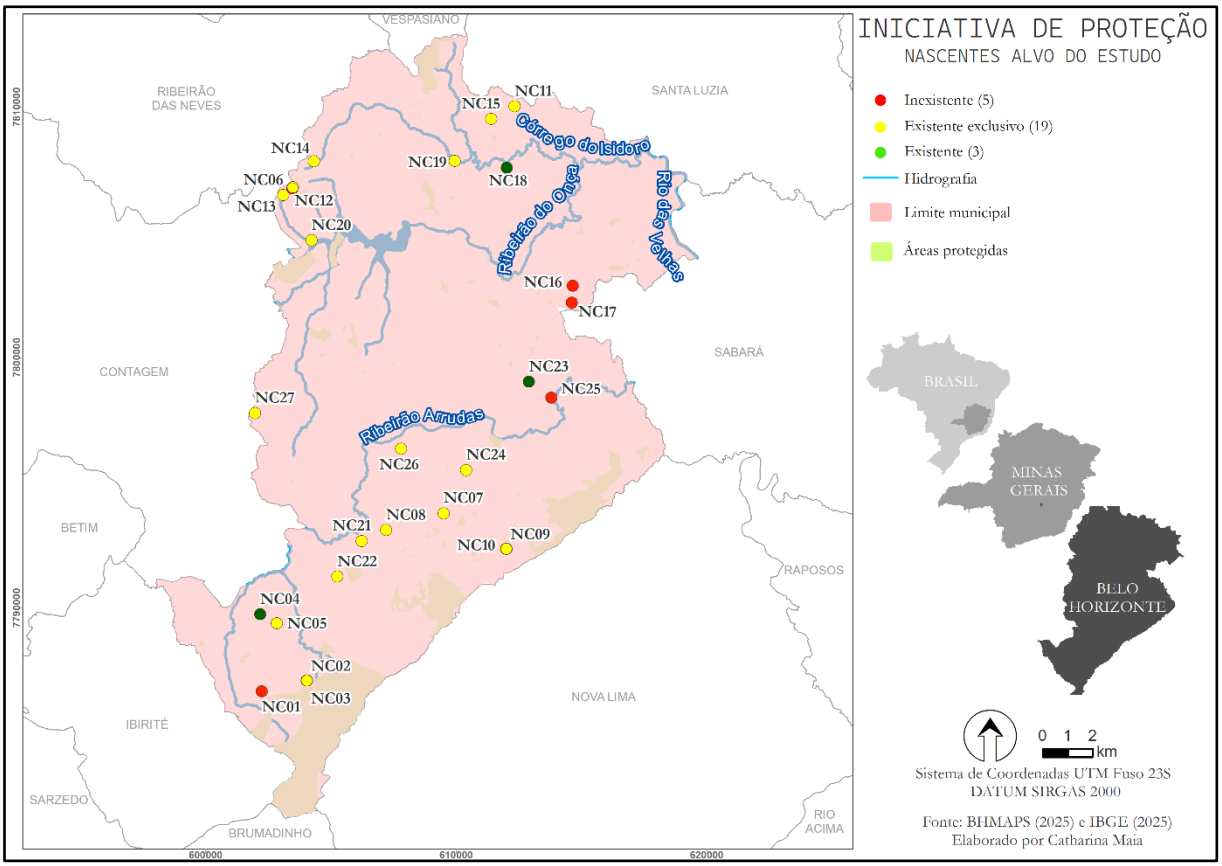
Gráfico 5-6 – Quantidade de nascente conforme tipo de iniciativa de proteção.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-10 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com a iniciativa de proteção.

Figura 5-10 – Nascentes conforme iniciativa de proteção.

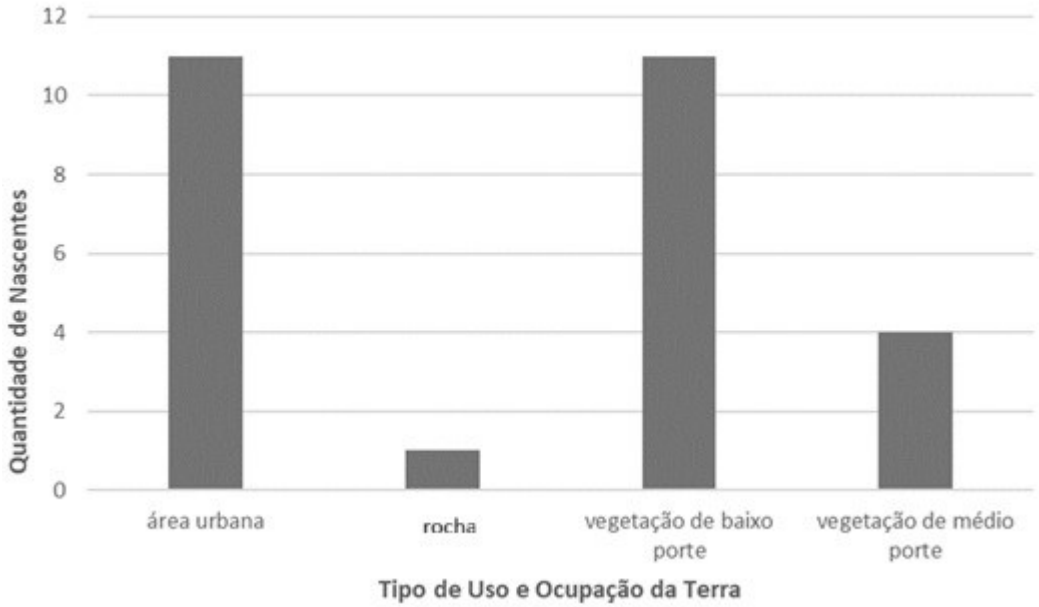


Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme os dados analisados, 19 nascentes apresentam iniciativas de proteção de caráter exclusivo, representando mais de 70% da amostra. Observa-se, contudo, que a maioria dessas ações é conduzida unicamente pela população local, consistindo, em grande parte, na manutenção básica da área e na prevenção do descarte inadequado de resíduos. No que se refere à atuação conjunta, apenas duas nascentes contam com iniciativas articuladas entre a comunidade e o poder público. Por outro lado, três nascentes não apresentam qualquer tipo de ação voltada à proteção.

No tocante ao uso e ocupação da terra na área em que a nascente se localiza, têm-se mapeado as seguintes classes: área urbana, rocha, vegetação de baixo e médio porte. O Gráfico 5-7, apresenta a quantidade de nascentes de acordo com o tipo de uso identificado em suas respectivas áreas.

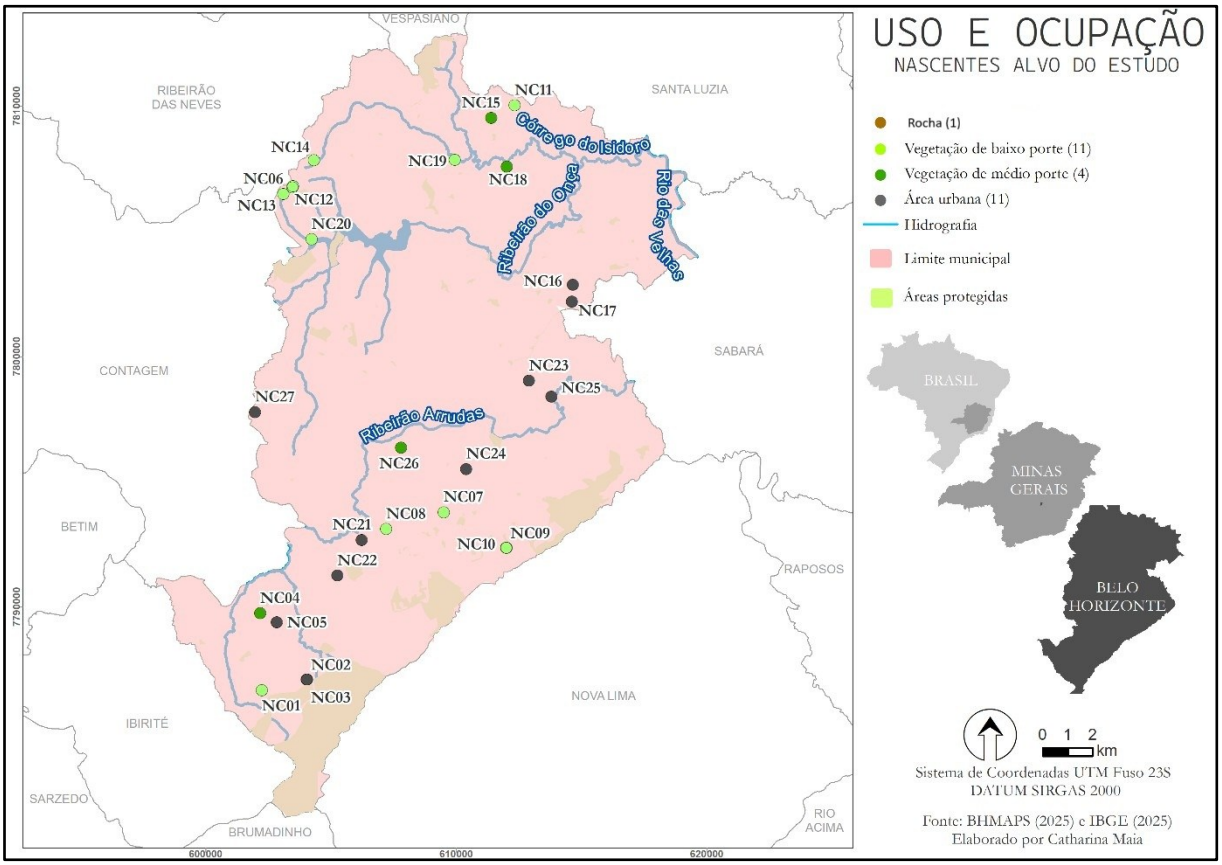
Gráfico 5-7 – Quantidade de nascente conforme tipo de uso e ocupação da terra.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-11 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com o percentual da presença de mancha urbana na APP.

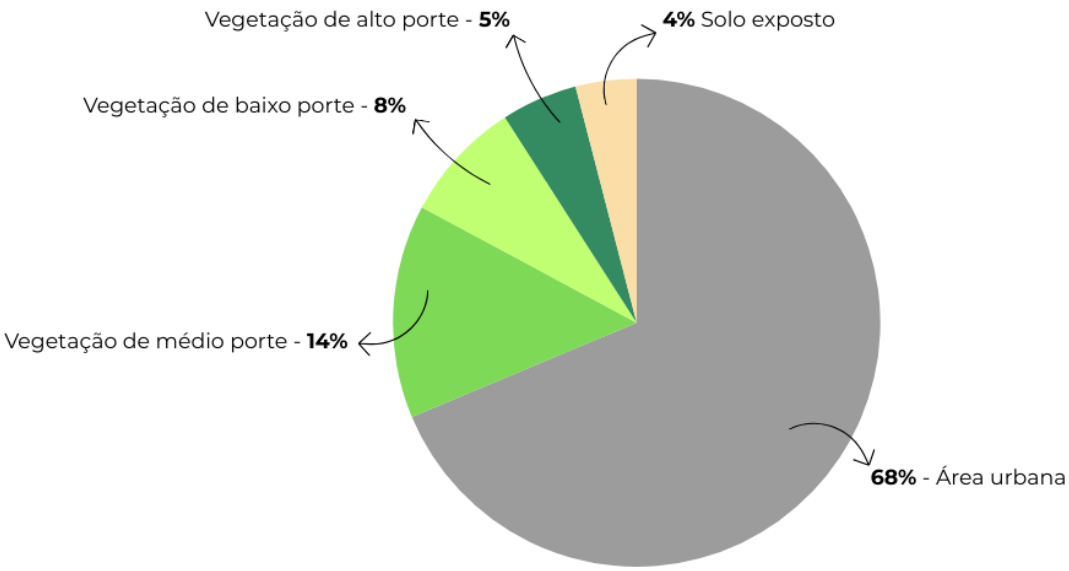
Figura 5-11 – Nascentes conforme tipo de uso e ocupação da terra.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o Gráfico 5-7, as classes "área urbana" e "vegetação de baixo porte" estão presentes na maioria das nascentes analisadas. Em seguida, destacam-se as classes "vegetação de médio porte" e "rocha", as quais têm ocorrência menos significativa, especialmente a rocha, que foi identificado em apenas uma nascente. No que se refere ao uso e ocupação da terra nas APPs das nascentes, o Gráfico 5-8 apresenta o percentual da área total correspondente a cada classe identificada.

Gráfico 5-8 – Percentual de nascente conforme tipo de ocupação na APP.



Fonte: Elaborado pela autora.

Embora as classes de vegetação estejam presentes na maioria das nascentes analisadas, o maior percentual de cobertura das APPs corresponde à área urbana. Esse cenário evidencia que, apesar de serem legalmente reconhecidas como áreas de proteção, tais zonas já se encontram significativamente alteradas em decorrência do processo de urbanização e da expansão da malha urbana. Ainda que grande parte das APPs esteja comprometida, observa-se a existência de áreas com potencial de recuperação, especialmente onde há presença de cobertura vegetal, seja nativa ou em estágio de regeneração secundária. Ademais, é importante ressaltar que o porte da vegetação não deve ser considerado, por si só, um indicativo direto da qualidade ambiental visto que essa condição é dependente da composição vegetal, condicionada pelo clima e as características ecológicas naturais do local. Segundo o Inventário Florestal de Minas Gerais, ainda podem ser encontradas no município formações vegetais nativas e reflorestadas pertencentes às fitofisionomias típicas dos biomas Cerrado e Mata Atlântica. Dessa forma, os remanescentes desses biomas podem refletir as condições naturais das áreas onde se localizam as nascentes estudadas (Scolforo; Carvalho; Oliveira, 2008).

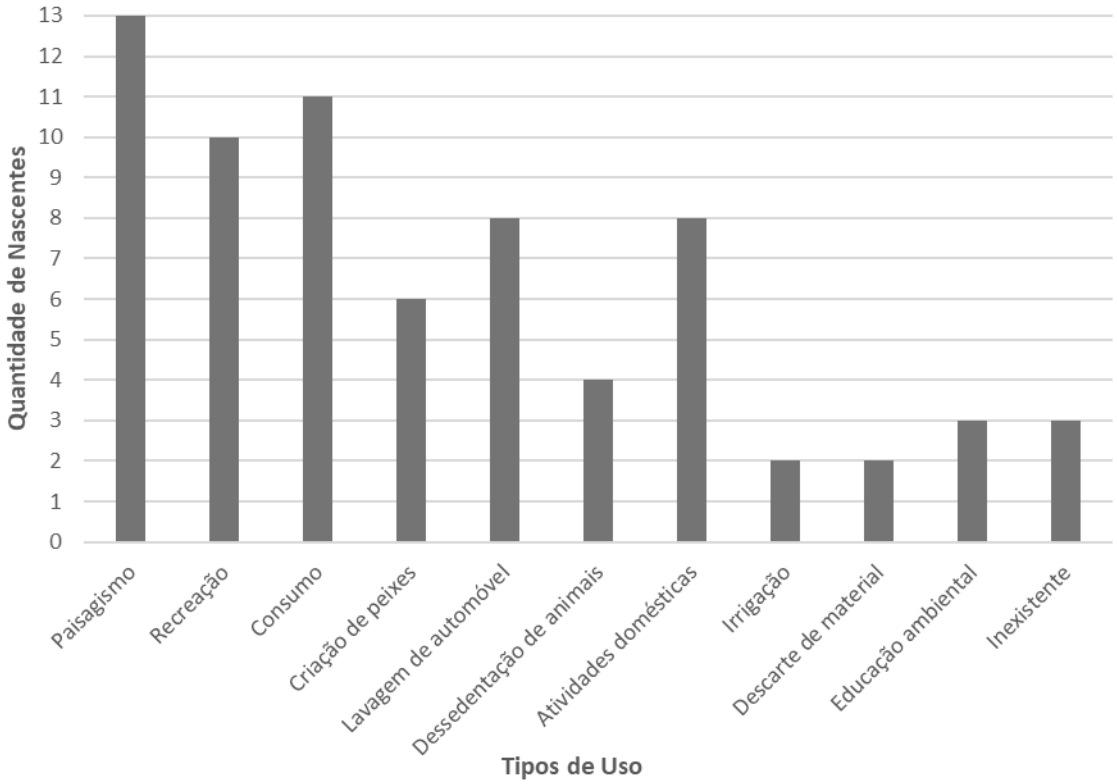
Por fim, ainda sob a dimensão socioterritorial, foi possível mapear os diferentes tipos de uso das nascentes a partir das entrevistas semiestruturadas realizadas no âmbito desta pesquisa. Apesar de existir uma seção que trata especificamente das entrevistas realizadas para este trabalho, esta seção irá tratar dos tipos de uso que foram mapeados nas entrevistas visto que é um fator que pode influenciar na qualidade ambiental de nascentes presentes em contextos urbanos. Em relação as nascentes que não puderam ser realizadas entrevistas com a população, foram estipulados usos de acordo com o que foi possível de constatar no decorrer dos trabalhos

de campo realizados na área. De forma geral, durante as entrevistas foi possível mapear pelo menos onze (11) tipos de usos relacionados aos sistemas ambientais, a saber:

1. Paisagismo,
2. Recreação,
3. Consumo,
4. Criação de peixes,
5. Lavagem de automóvel,
6. Dessedentação de animais,
7. Atividades domésticas,
8. Irrigação,
9. Descarte de material, e
10. Educação ambiental;
11. Inexistente.

A seguir, o Gráfico 5-9 indica a quantidade de nascentes por tipo de uso mapeado.

Gráfico 5-9 – Quantidade de nascente conforme tipo de uso.



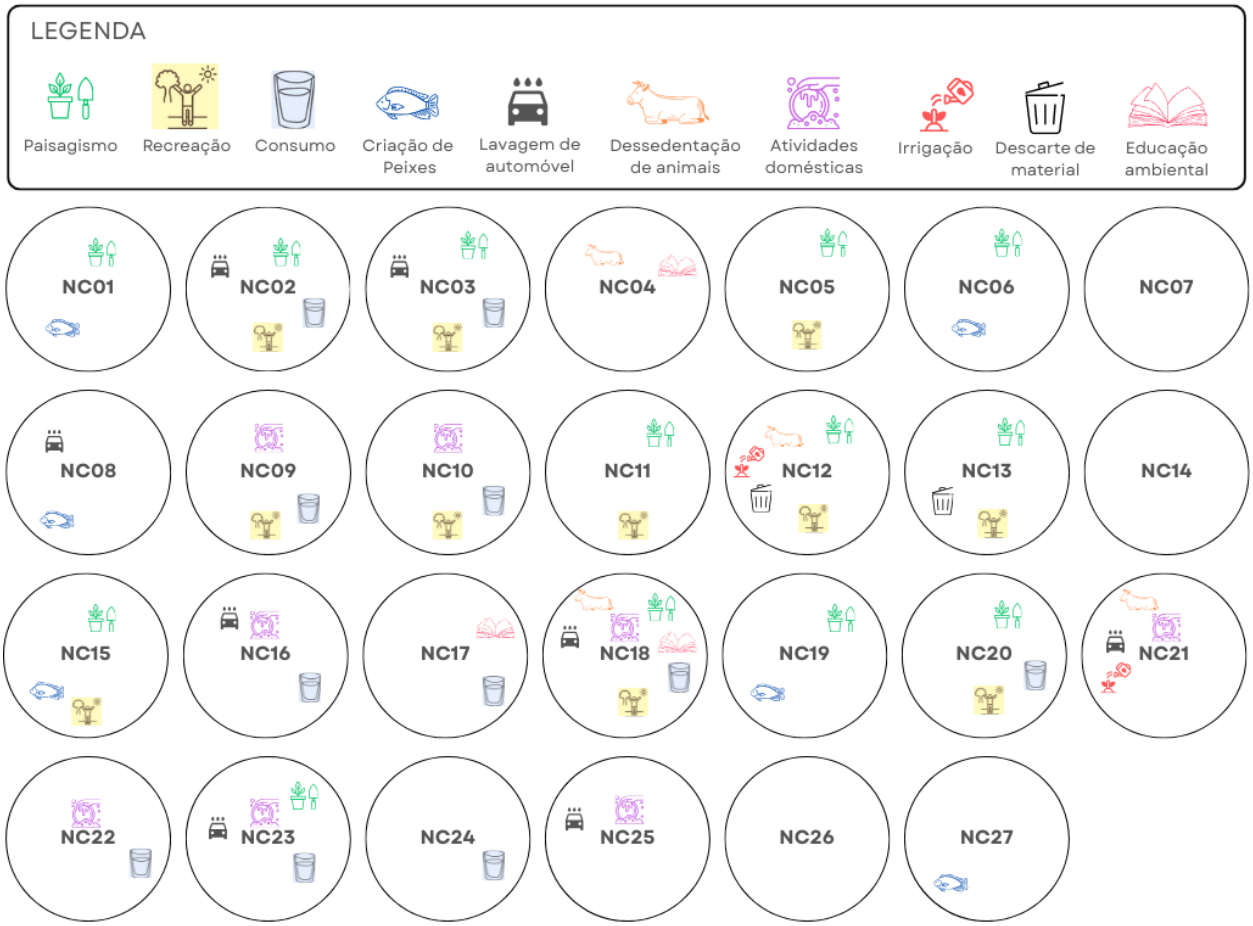
Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os dados representados, o tipo de uso que concentra o maior número de nascentes é o paisagismo, presente em 13 das 27 nascentes analisadas no espaço amostral. Entre os demais usos identificados, recreação e consumo também se destacam por sua expressiva frequência. Por outro lado, os usos com menor incidência são irrigação e descarte de material.

No caso específico do descarte de material, é importante ressaltar que o despejo de resíduos não está relacionado diretamente à presença da nascente, mas sim à condição dos locais onde essas nascentes estão inseridas. Tais áreas, em sua maioria públicas, carecem de manutenção regular por parte do poder público, sendo frequentemente mantidas por iniciativas isoladas da própria comunidade, que busca assegurar o uso coletivo e recreativo desses espaços.

A Figura 5-12 indica os usos mapeados por cada uma das nascentes que integram o espaço amostral desta pesquisa.

Figura 5-12 – Tipos de usos mapeados.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Figura 5-12, a nascente NC18 apresentou maior diversidade de usos, indicando o total de sete (7) tipos de uso. Por outro lado, três (3) nascentes não apresentaram nenhuma forma de uso: NC07, NC14 e NC26. Ademais, onze (11) sistemas ambientais indicaram pelo menos três (3) tipos de uso, sendo que, Paisagismo, Consumo e Recreação foram os usos mais indicados dentre as nascentes trabalhadas.

A pluralidade de usos atribuída a um sistema ambiental, especialmente em contextos urbanos onde a população convive com as nascentes da cidade, é um aspecto relevante na caracterização desses espaços. Isso evidencia que os sistemas ambientais urbanos não se limitam apenas ao fornecimento de água ou ao uso para consumo direto, mas também abrigam práticas ligadas ao lazer, à educação e ao bem-estar coletivo.

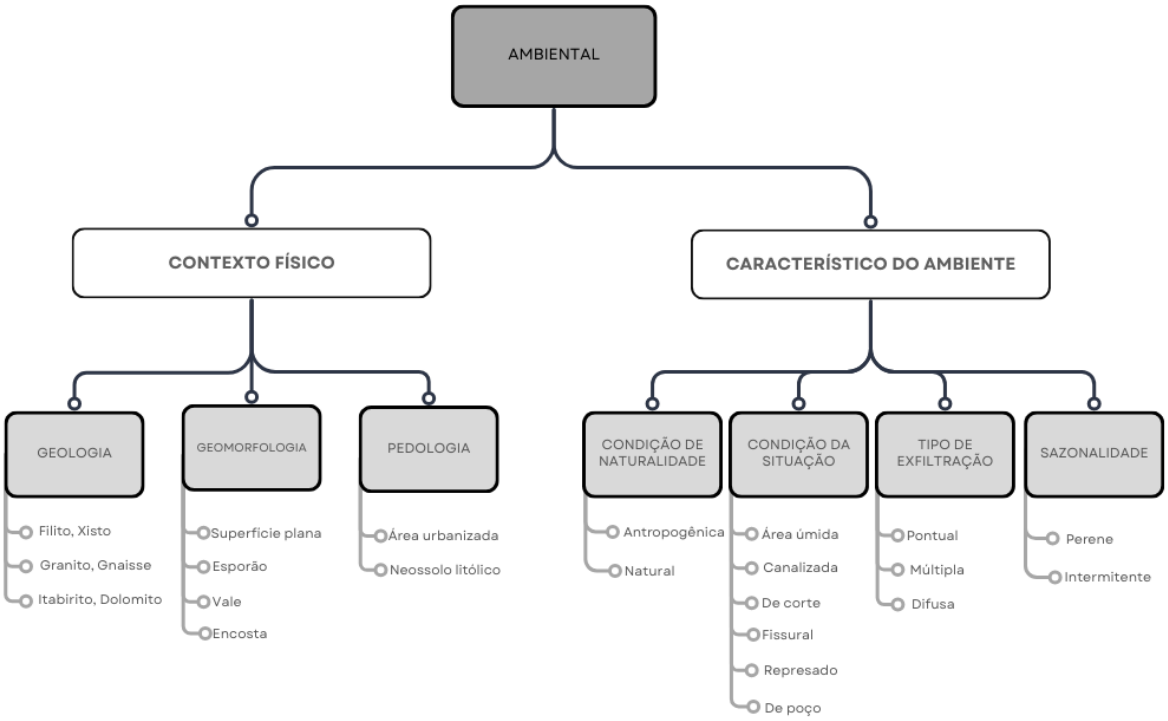
5.2 Dimensão ambiental

A dimensão ambiental é composta por sete (7) fatores, a saber:

1. Geologia;
2. Geomorfologia;
3. Pedologia;
4. Condição de naturalidade;
5. Condição da situação;
6. Tipo de exfiltração; e
7. Sazonalidade.

Entre esses fatores, alguns são inerentes ao contexto físico da nascente, enquanto outros são característicos do ambiente no qual ela está inserida. A Figura 5-13 apresenta um diagrama com a subdivisão desses fatores, distinguindo aqueles relacionados ao contexto físico e aqueles associados às características ambientais do entorno.

Figura 5-13 – Diagrama da dimensão ambiental.



Fonte: Elaborado pela autora.

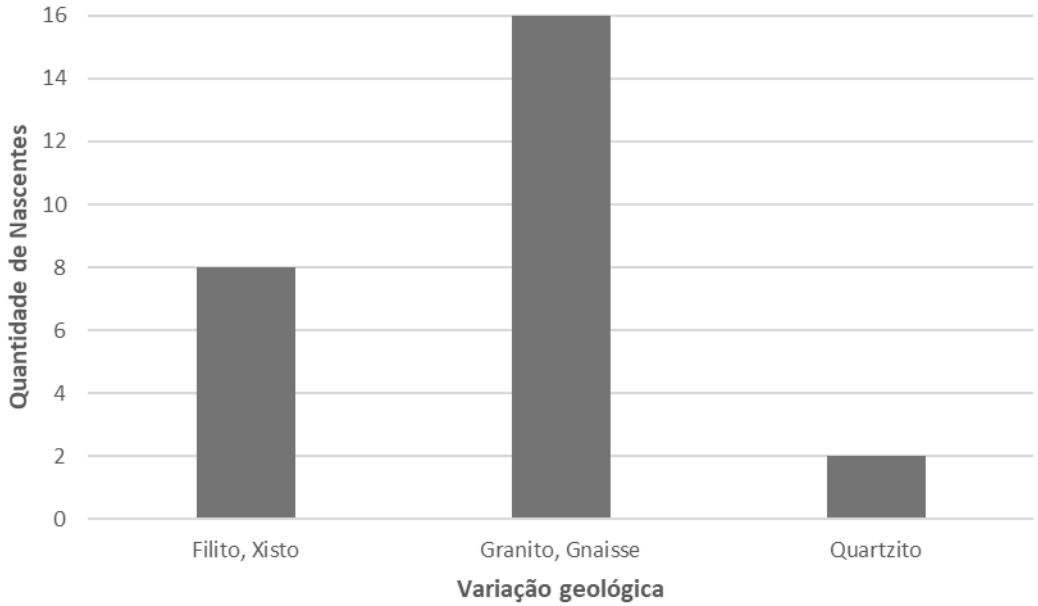
A presente seção está dividida em dois itens, os quais descrevem as variáveis resultantes dos critérios que compõem a dimensão ambiental. O primeiro item aborda aquelas relacionadas ao contexto físico das nascentes, enquanto o segundo trata das variáveis associadas às características ambientais das nascentes.

5.2.1 Contexto físico

Em termos geológicos, foram investigadas nascentes do Supergrupo Minas (filito-xisto e

quartzito) e do Complexo Belo Horizonte (granito-gnaisse). O Gráfico 5-10 apresenta a quantidade de nascentes conforme variação geológica identificada para o espaço amostral desta pesquisa.

Gráfico 5-10 – Quantidade de nascente conforme variação geológica.

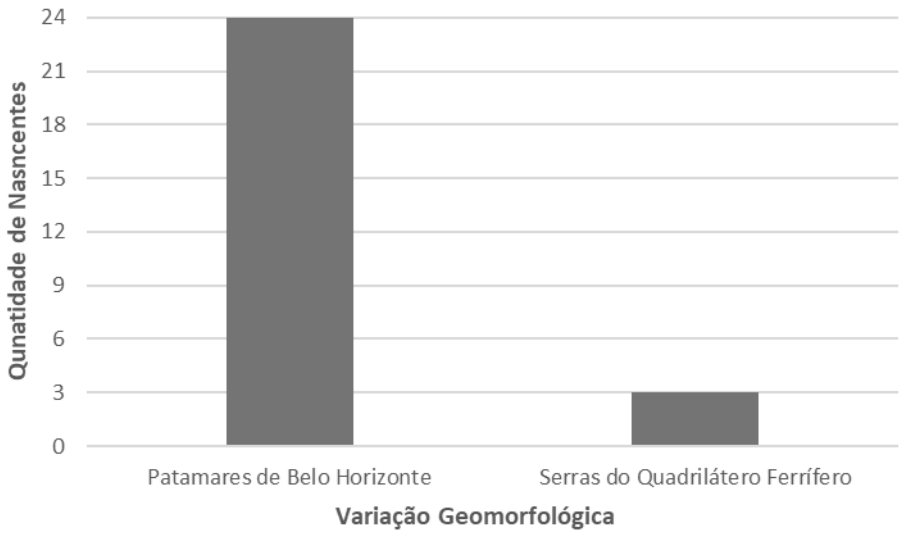


Fonte: Elaborado pela autora.

Grande parte das nascentes alvo do estudo pertencem ao Complexo Belo Horizonte (60%) e localizam-se na porção central e norte do município. Já as nascentes associadas ao Supergrupo Minas (40%) situam-se na porção sul e oeste. A maior quantidade de nascentes que foram trabalhadas pertencem a regional do Barreiro (porção norte da capital mineira), a qual está sob rochas que pertencem ao Complexo Belo Horizonte.

Em relação à geomorfologia, foram trabalhadas nascentes pertencem a unidade das Serras do Quadrilátero Ferrífero e dos Patamares de Belo Horizonte. O Gráfico 5-11 apresenta a quantidade de nascentes conforme variação geomorfológica identificada para o espaço amostral desta pesquisa.

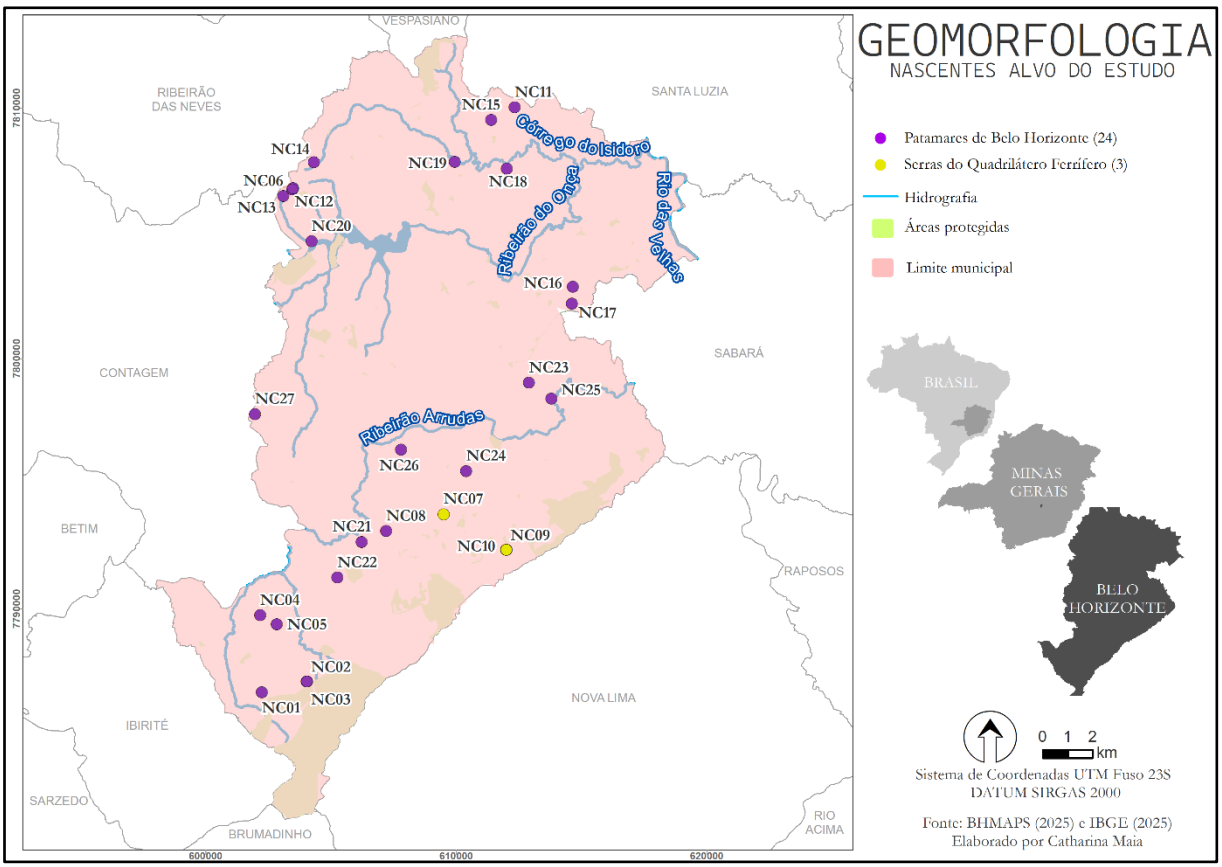
Gráfico 5-11 – Quantidade de nascente conforme variação geomorfológica.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-14 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com a variação geomorfológica a vertente.

Figura 5-14 – Nascentes conforme geomorfologia.



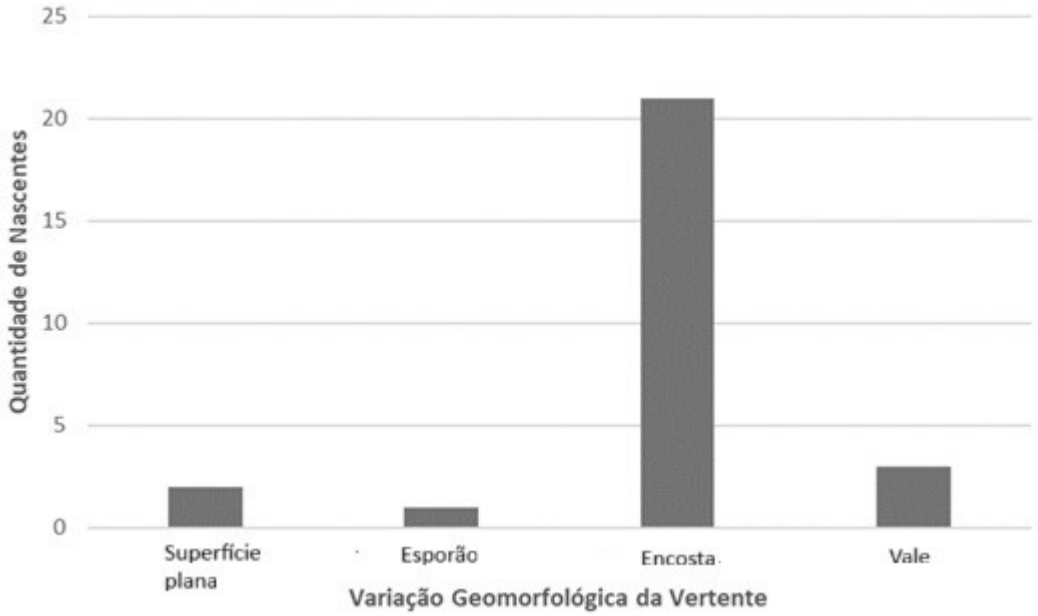
Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o Gráfico 5-11, somente três (3) nascentes pertencem a unidade das Serras do

Quadrilátero Ferrífero. O restante das nascentes alvo do trabalho estão inseridas na unidade dos Patamares de Belo Horizonte. Esta unidade é marcada pela forte incisão da rede hidrográfica, corroborando para a dissecação da superfície e formação de vales de fundo chato (Silva *et al.*, 1995; Santos, 2001). Esse contexto, favorável para originar nascentes, é diferente do contexto das Serras do Quadrilátero Ferrífero, no qual há forte controle litoestrutural do relevo e da hidrografia (Silva *et al.*, 1995), apresentando mantos de intemperismo rasos e forte presença de afloramentos de rocha, vales encaixados (Costa, 2002).

Já o Gráfico 5-12 apresenta a quantidade de nascentes conforme variação geomorfológica da vertente das nascentes identificadas para o espaço amostral desta pesquisa.

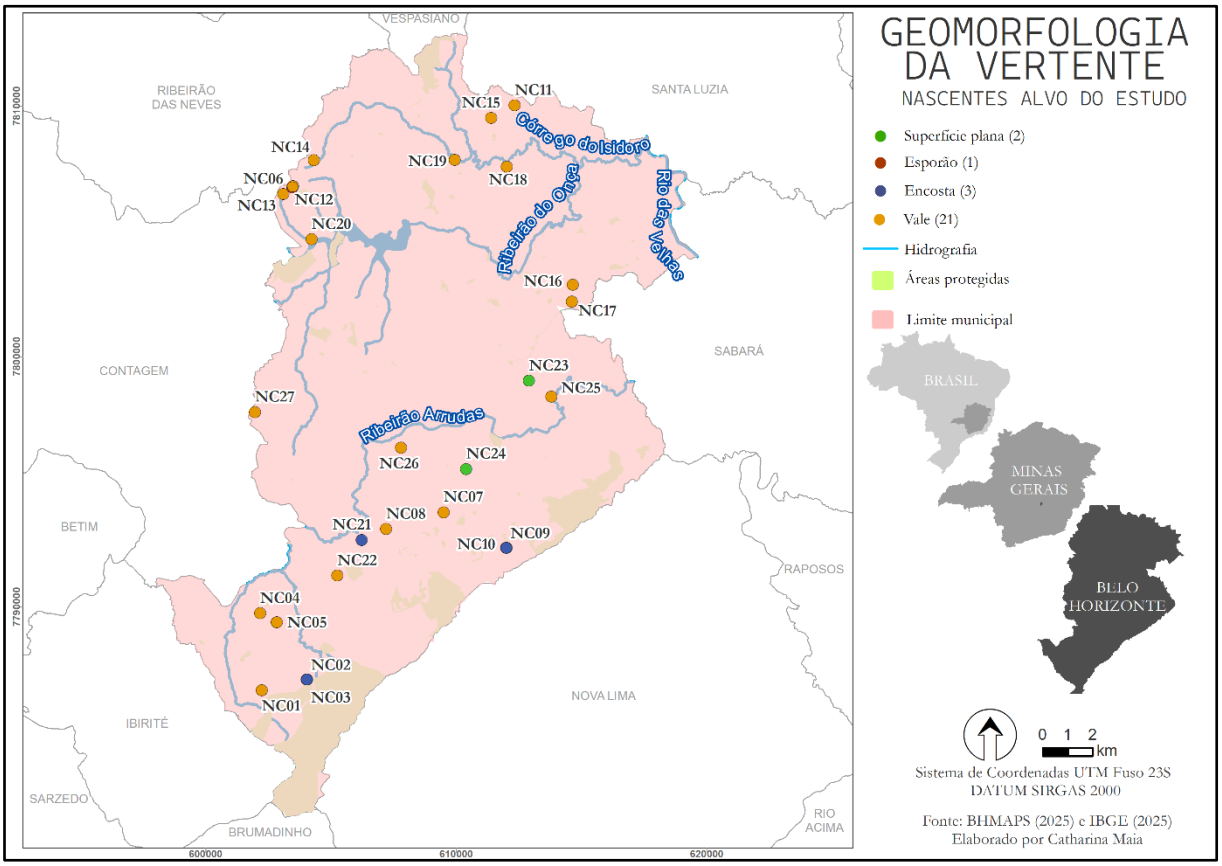
Gráfico 5-12 – Quantidade de nascente conforme variação geomorfológica da nascente.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-15 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo a variação geomorfológica da vertente.

Figura 5-15 – Nascentes conforme variação geomorfológica da vertente.



Fonte: Elaborado pela autora.

Existem diversas metodologias para a realização do mapeamento geomorfológico, todas baseadas na premissa de que as formas do relevo condicionam os processos de movimentos de massa nas vertentes. Essas formas podem ser representadas por atributos topográficos extraídos de Modelos Digitais de Elevação (MDE), os quais compreendem tanto o Modelo Digital de Superfície (MDS) quanto o Modelo Digital de Terreno (MDT). A partir desses modelos, é possível aplicar diferentes índices morfométricos com o objetivo de obter parâmetros como declividade e planos de curvatura das vertentes (Flores, 2014).

Os tipos de unidade de relevo que correspondem à menor unidade taxonômica geomorfológica se constituem por um conjunto de formas que compartilham a mesma elevação, gênese e morfoestrutura. Essas unidades geneticamente homogêneas podem ser classificadas em grupos, conforme o grau de inclinação, a origem e a idade. As formas do relevo, por sua vez, são compostas pelos elementos que estruturam as vertentes e são fundamentais para a compreensão do contexto das nascentes analisadas, pois revelam aspectos morfológicos em escala de detalhe. Tais elementos podem ser discriminados em: alta vertente; vertente propriamente dita (com subdivisões em planar, convexa e côncava); depressão e plana (Ross, 1990).

De acordo com o Gráfico 5-12, as nascentes analisadas estão associadas a diferentes formas de vertente, incluindo vertentes planas, convexas e côncavas. Vertentes convexas foram observadas em apenas uma nascente (NC12). Esse tipo de forma, em geral, favorece o escoamento difuso e o surgimento de pequenas feições erosivas, sendo menos propício à formação de nascentes. Diante disso, a presença da nascente NC12 pode ser considerada um caso atípico (*outlier*), não representando um padrão significativo para as demais ocorrências analisadas. Além disso, tal resultado pode estar relacionado à qualidade e ao método de geração dos dados utilizados no MDE, que influenciam diretamente na caracterização das formas de relevo.

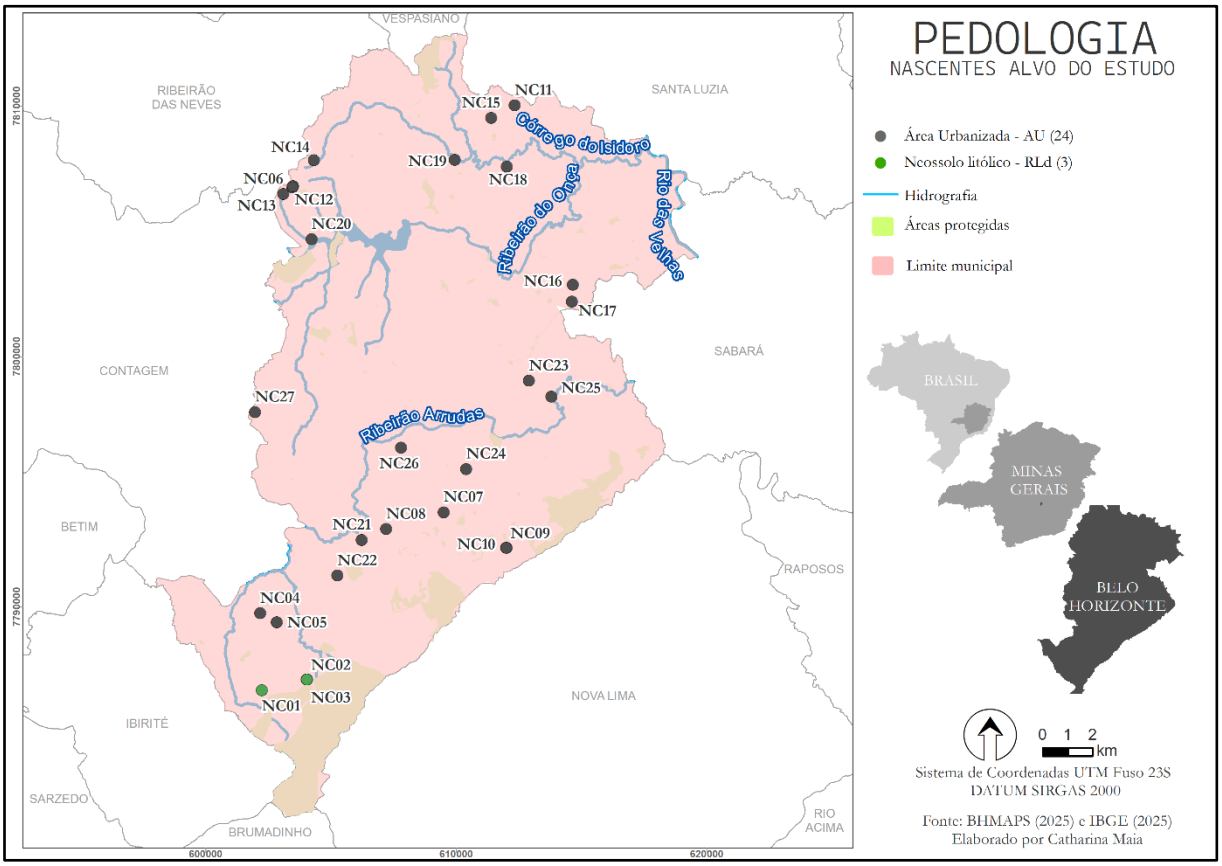
Por sua vez, as vertentes côncavas são mais favoráveis à concentração de águas pluviais, possibilitando maior acúmulo e infiltração, o que as torna contextos propícios para o surgimento de nascentes. Já as vertentes planas ou retilíneas, assim como as áreas planas, apresentam declividade suave, similar ao perfil de uma rampa, favorecendo o escoamento superficial. Essa configuração foi a mais frequente entre as nascentes analisadas, com 21 ocorrências, e está geralmente associada à formação de feições erosivas mais lineares.

Em contextos urbanos, é comum que vertentes originalmente mais declivosas tenham sido modificadas por intervenções antrópicas para viabilizar a construção de edificações. Nessas áreas, o terreno é frequentemente terraplanado e, quando necessário, estruturas como muros de arrimo são construídas para estabilizar as encostas e para garantir a construção segura das edificações (Miyazaki, 2021).

O critério para o tipo de cobertura pedológica não se destacou, uma vez que somente três (3) das 27 nascentes estudadas apresentaram cobertura pedológica do tipo Neossolo Litólico, enquanto os demais sistemas ambientais estudados apresentaram cobertura do tipo Área Urbanizada. Dessa forma, devido à falta de estudos mais detalhados e à existência de classes genéricas, o critério pedológico não teve uma influência significativa no mapeamento das características em relação ao contexto físico das nascentes analisadas.

A Figura 5-16 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com a pedologia.

Figura 5-16 – Nascentes conforme pedologia.



Fonte: Elaborado pela autora.

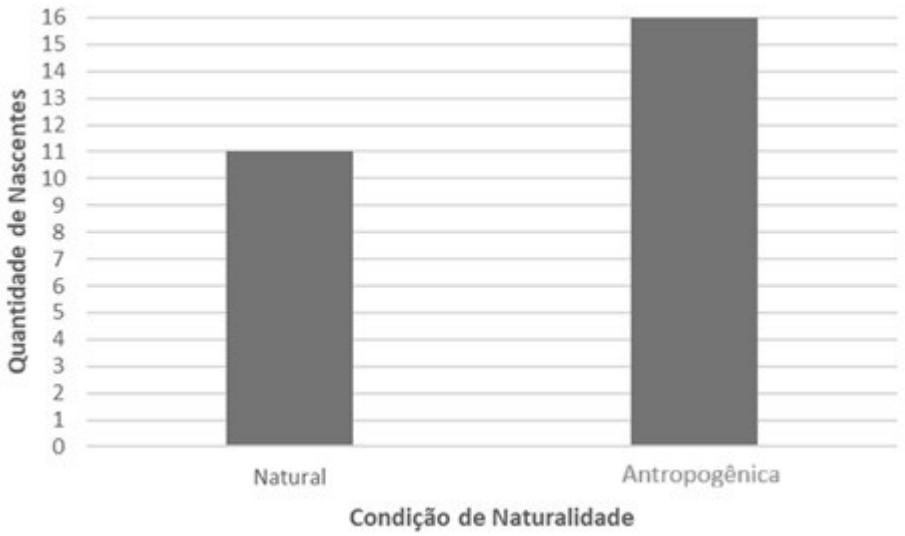
5.2.2 Característico do ambiente

Em relação às características do ambiente, têm-se as seguintes variáveis:

1. Condição de naturalidade;
2. Condição da situação;
3. Tipo de exfiltração; e
4. Sazonalidade.

No tocante à condição de naturalidade desses sistemas ambientais, o Gráfico 5-13 apresenta a quantidade de nascentes conforme a condição de naturalidade identificada no espaço amostral desta pesquisa.

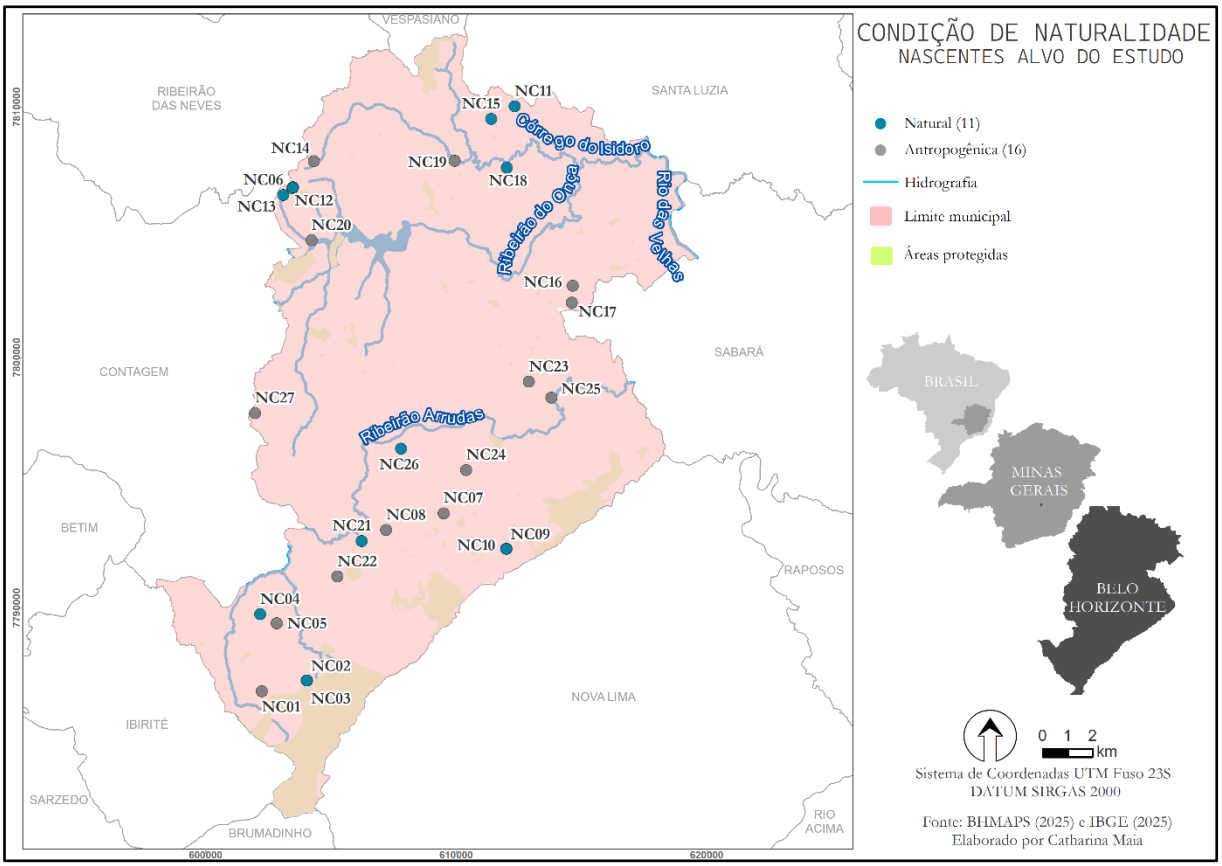
Gráfico 5-13 – Quantidade de nascente conforme condição de naturalidade.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-17 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com a condição de naturalidade.

Figura 5-17 – Nascentes conforme condição de naturalidade.

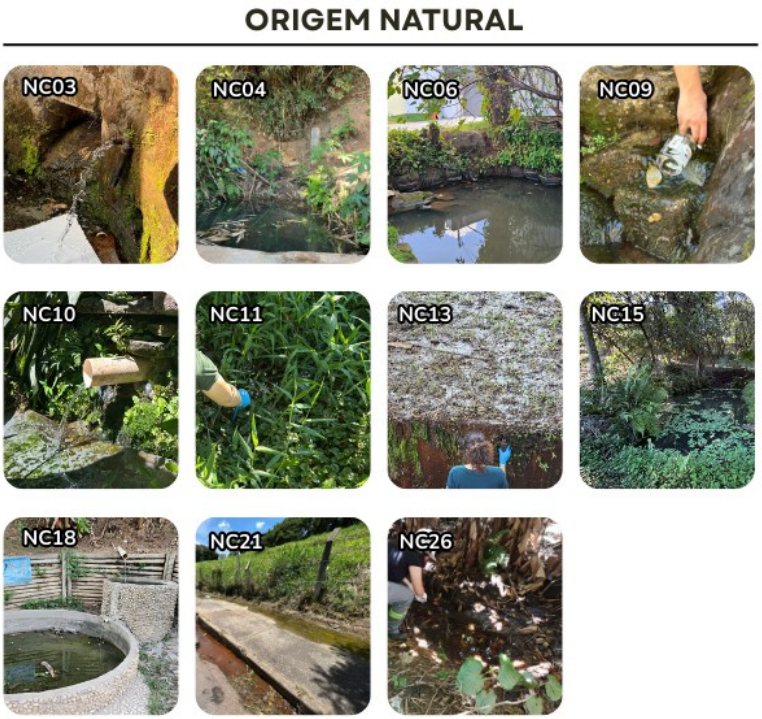


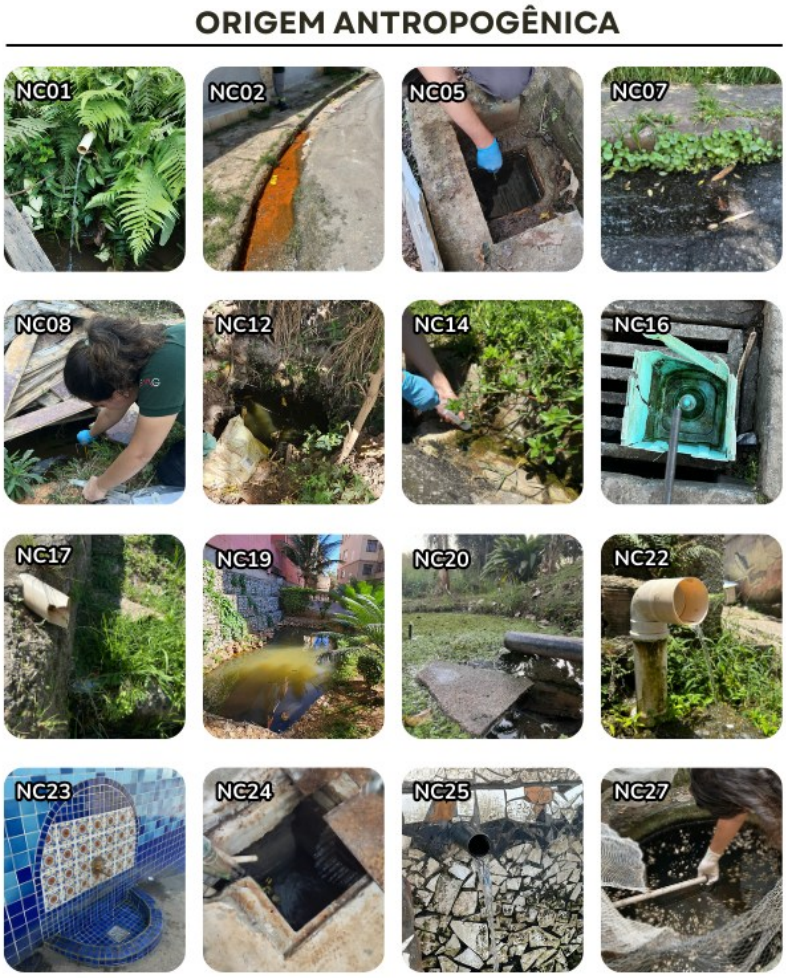
Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que 16 das 27 nascentes analisadas apresentam origem antropogênica. É válido

ressaltar que a maior quantidade de nascentes antropogênicas é, de certa forma, esperada, visto que em contextos urbanos altamente densificados, como é o caso de Belo Horizonte, as nascentes de origem natural tornam-se mais raras pela descaraterização e pelo revolvimento das condições naturais. A Figura 5-18 apresenta o mosaico das nascentes consideradas antropogênicas e naturais foco desta pesquisa.

Figura 5-18 – Nascentes de origem natural e antropogênica.





Fonte: Elaborado pela autora.

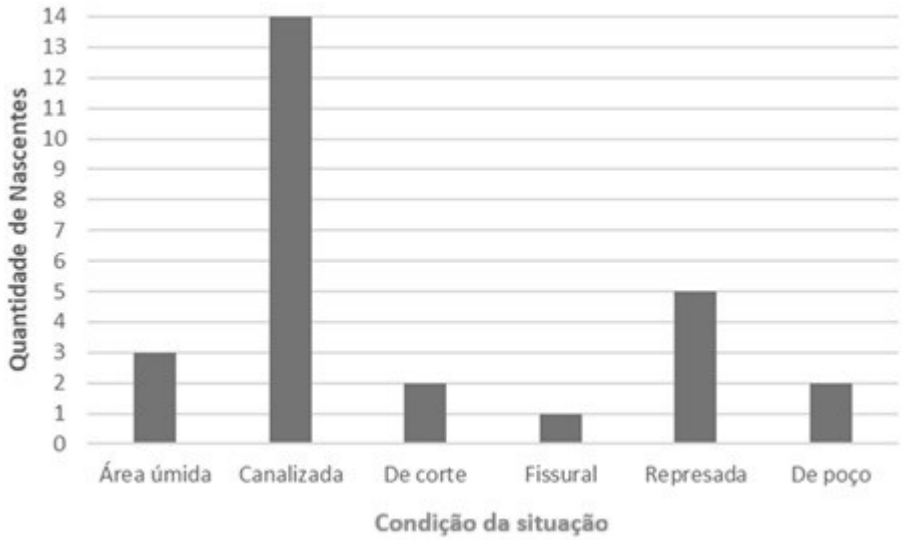
A condição de naturalidade das nascentes não é definida exclusivamente pelas observações empíricas realizadas em campo, mas também pelas informações oriundas das entrevistas e dos relatos de moradores locais. Considerando-se que Belo Horizonte é um município cuja dinâmica de uso e ocupação da terra passou por intensos processos de alteração, a memória acerca da condição original das nascentes tende a ser comprometida. Dessa forma, torna-se imprescindível o cruzamento entre distintas fontes de informação — dados de campo, análises técnicas e o conhecimento empírico da população residente — a fim de possibilitar a identificação mais precisa da origem e das transformações sofridas por esses sistemas ambientais.

Além disso, é relevante destacar que, ainda que algumas nascentes tenham origem natural, muitas delas passaram por processos de canalização ou sofreram alterações em sua morfologia em decorrência da urbanização. Assim, no contexto de grandes centros urbanos, como Belo Horizonte, a ocorrência de nascentes inseridas em áreas compatíveis com sua condição natural é

cada vez mais rara, o que reforça a importância de abordagens integradas na caracterização desses ambientes.

Os sistemas ambientais trabalhados podem ser classificados em seis (6) tipos em relação à sua forma: área úmida, canalizada, de corte, fissural, represada e de poço. O Gráfico 5-14 apresenta a quantidade de nascentes conforme a variação das formas identificadas para o espaço amostral desta pesquisa.

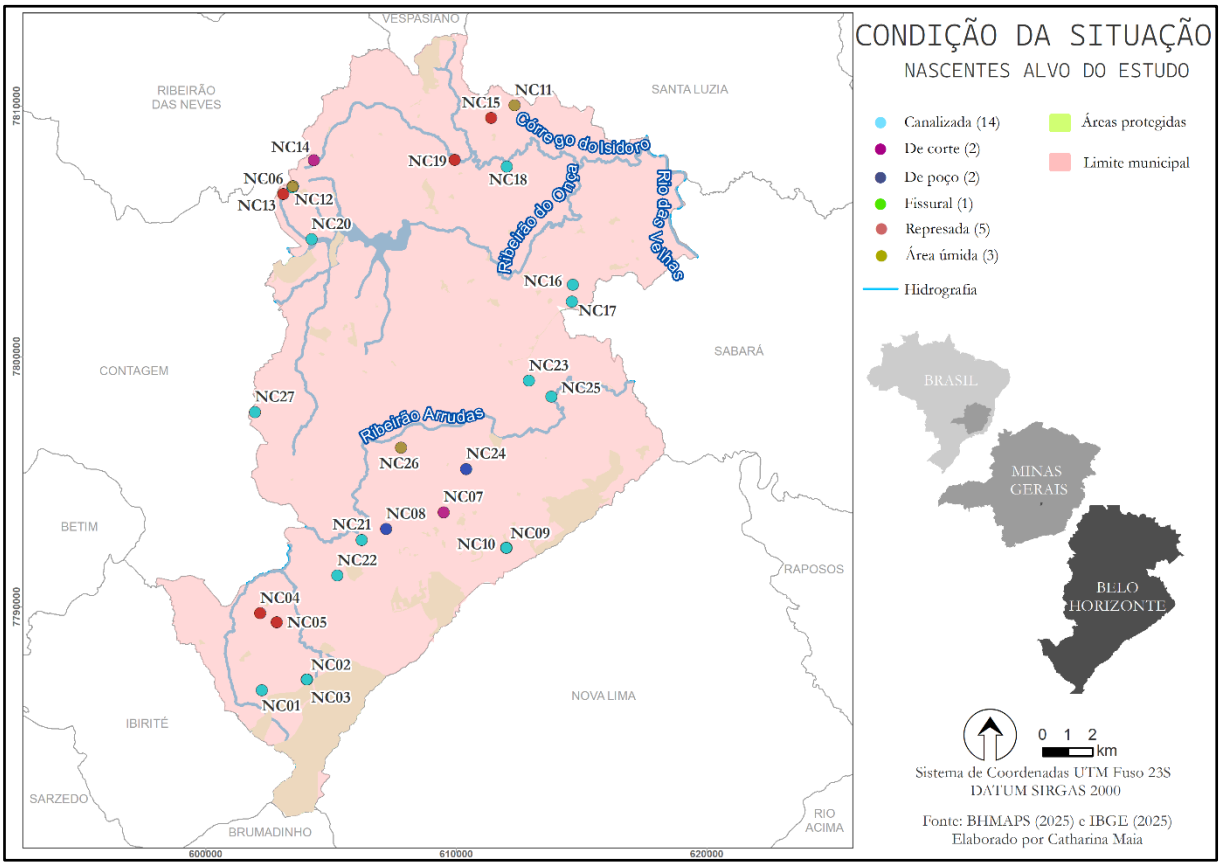
Gráfico 5-14 – Quantidade de nascente conforme condição da situação.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-19 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com a sua situação local.

Figura 5-19 – Nascentes conforme a condição da situação.



Fonte: Elaborado pela autora.

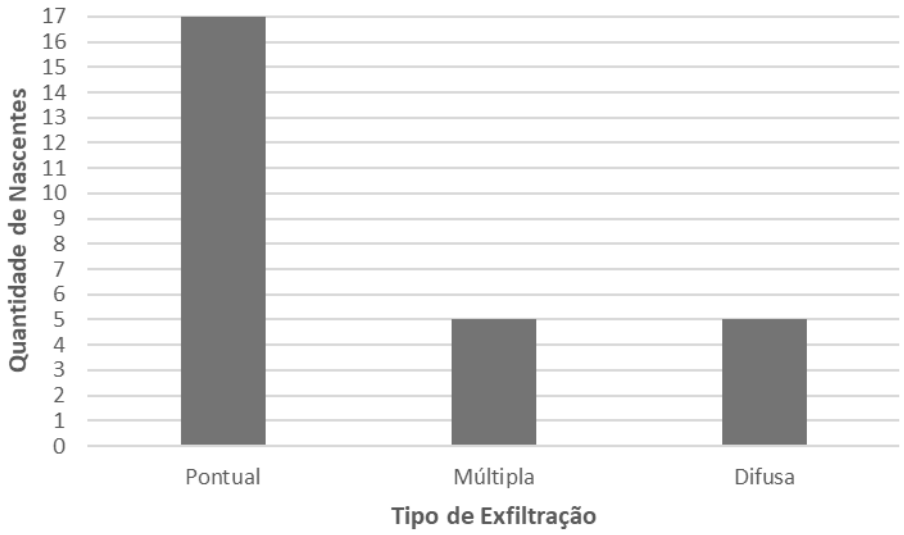
Em termos de situação, o maior número de nascentes é do tipo canalizada, presente em 14 das 27 nascentes analisadas no espaço amostral. As nascentes consideradas antropogênicas foram as que apresentaram maior diversidade em relação a situação do sistema ambiental, abarcando cinco (5) dos seis (6) tipos mapeados. Ademais, tanto para nascentes naturais e antropogênicas, a situação que predominou foi a do tipo canalizada, a qual integra 51,8% das nascentes trabalhadas. A Figura 5-20 apresenta o mosaico com os tipos de situação de nascentes que fizeram parte do espaço amostral deste trabalho.

Figura 5-20 – Tipos de condição da situação da nascente.

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao tipo de exfiltração os sistemas ambientais foco desta pesquisa foram classificados em três (3) tipos: pontual, múltiplo e difuso. O Gráfico 5-15 apresenta a quantidade de nascentes conforme a variação dos tipos de exfiltração.

Gráfico 5-15 – Quantidade de nascente conforme tipo de exfiltração.

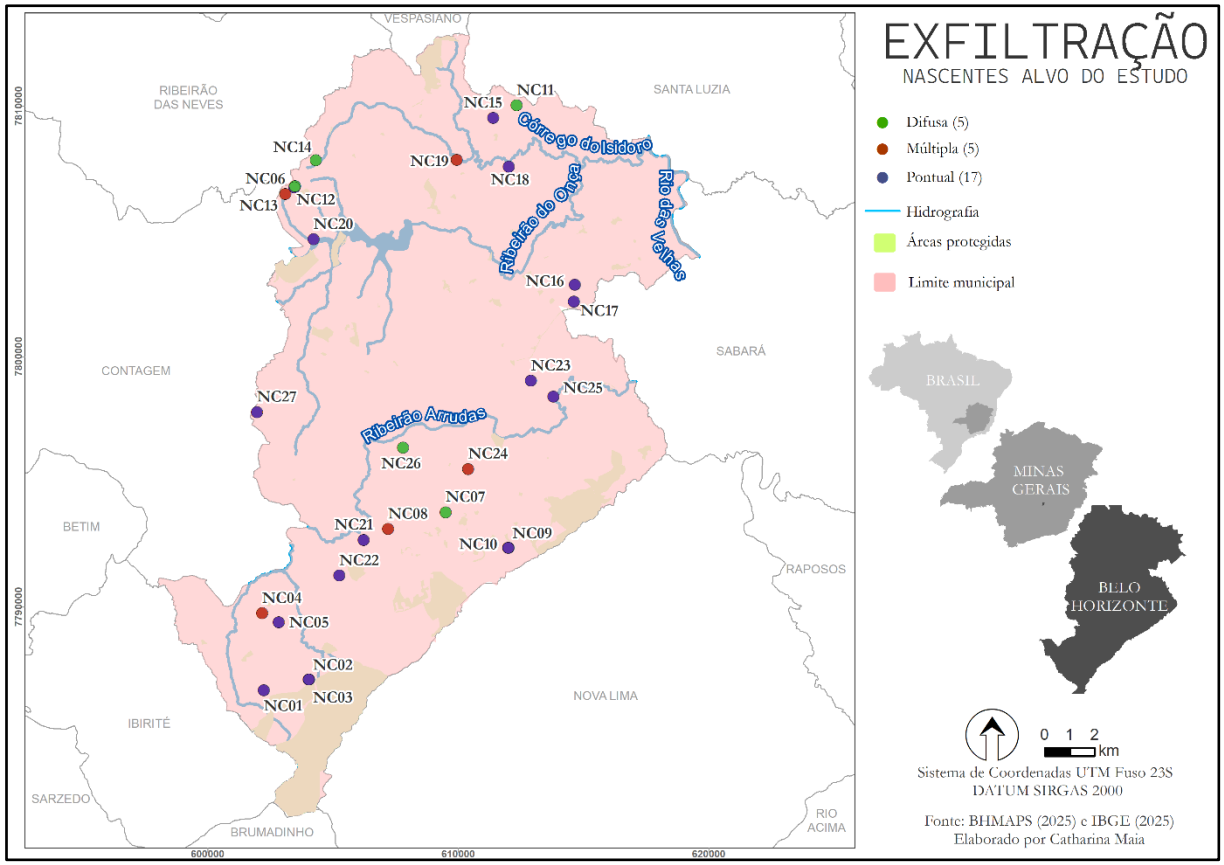


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 5-21 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta

pesquisa de acordo com tipo de exfiltração.

Figura 5-21 – Nascentes conforme o tipo de exfiltração.

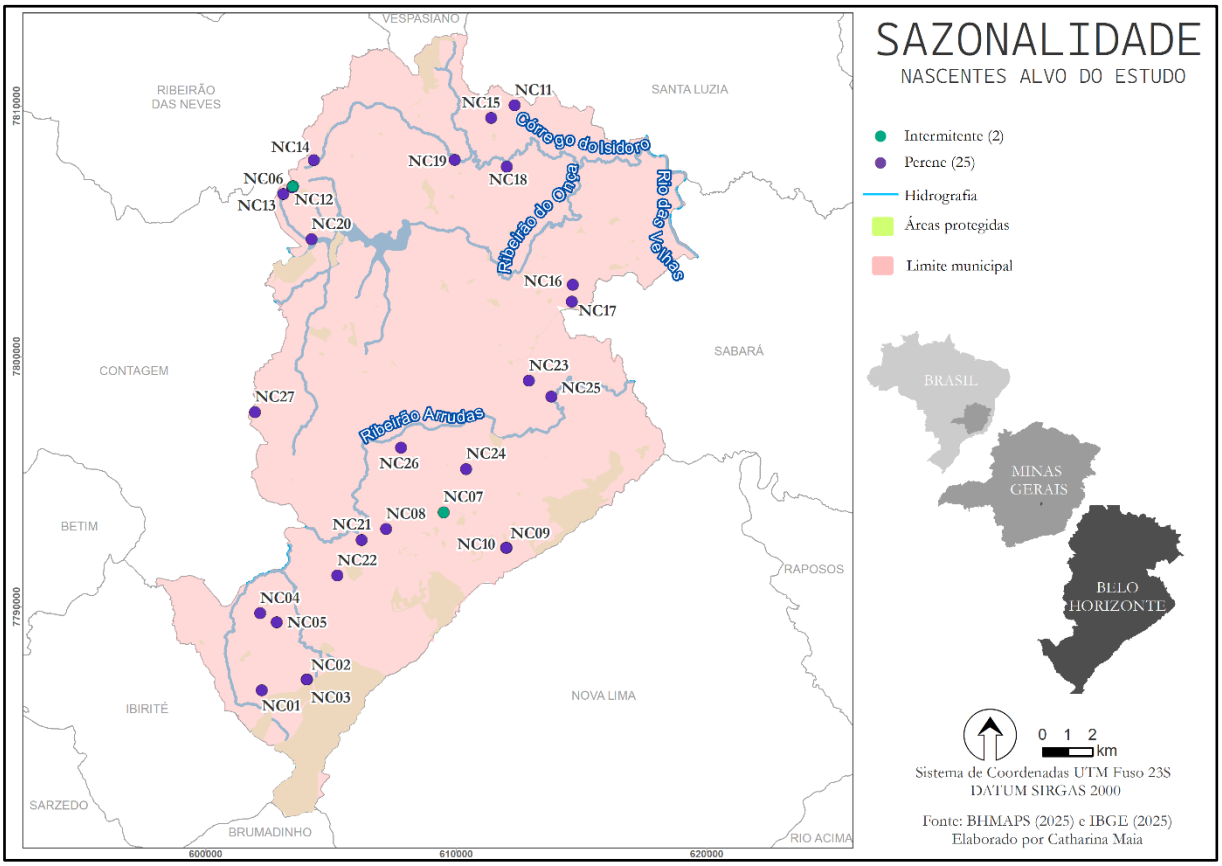


Fonte: Elaborado pela autora.

Grande parte das nascentes trabalhadas foi classificada como pontual. Dentre as nascentes pontuais, 77,7% são sistemas ambientais canalizados, ou seja, houve uma intervenção física para que o fluxo hídrico se direcionasse por uma única saída. Assim, a classificação do tipo de exfiltração como pontual não deveu-se majoritariamente por condições naturais, mas pelas alterações físicas que o sistema ambiental foi sujeito. Além do tipo de exfiltração pontual, foram identificadas exfiltrações do tipo múltipla e difusa. As primeiras foram reconhecidas de forma geral para os contextos de nascentes represadas e de poço; já as difusas foram identificadas majoritariamente para os sistemas ambientais naturais brejosos e antrópicos advindos pelo corte da superfície pavimentada.

No tocante à sazonalidade, as nascentes foram analisadas nas estações seca e chuvosa. Com base nas campanhas de campo, o regime hídrico dos sistemas ambientais foi classificado como perene ou intermitente. A Figura 5-22 apresenta o mapa com a distribuição espacial das nascentes trabalhadas nesta pesquisa de acordo com a sazonalidade.

Figura 5-22 – Nascentes conforme sazonalidade.



Fonte: Elaborado pela autora.

Não se observou uma expressiva diversidade quanto ao tipo de regime hídrico entre os sistemas ambientais analisados, uma vez que 25 nascentes apresentam regime do tipo perene. Tal predominância pode ser atribuída ao fato de que a maioria das campanhas de reconhecimento ocorreram durante o período seco. Dessa forma, considerando que essas nascentes apresentam fluxos em condições de estiagem, é possível inferir que há aumento das vazões no período chuvoso.

6 QUALIDADE AMBIENTAL E HÍDRICA DE NASCENTES FORA DE ÁREAS PROTEGIDAS EM BELO HORIZONTE

Este capítulo está estruturado em duas seções. A primeira explora os critérios que integram a qualidade ambiental dos sistemas ambientais estudados, e, a segunda seção consiste em compreender os resultados da qualidade hídrica das nascentes estudadas.

Foram realizadas diferentes análises químicas com as coletas de água das nascentes alvo deste estudo durante os trabalhos de campo nas estações seca e chuvosa. O resultado das análises químicas foram fundamentais para obter as respostas dos índices de Qualidade Ambiental da Nascente e Qualidade da Água. A Tabela 6-1 apresenta o resultado das análises químicas e dos índices trabalhados nesta pesquisa.

Tabela 6-1 – Resultados IQAN e IQA.

Nascente	Altitude (m)	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	Temp. (°C)	Colif. Totais	pH	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Turb. (NTU)	STD (mg/L)	IQAN	IQA
NC01	995,7	☀	25	8400	6,2	4,8	3,8	7,557	0,009	2,09	57,51	112	55
		💧	NA[1]										
NC02	1010	☀	23	240	6,4	1,6	1,5	2,876	0,024	20,84	33,06	222	52
		💧	19,5	160	6,5	2,0	0	6,032	0,096	29,24	34,56	122	53
NC03	1013	☀	22	0	6,1	6,0	4,5	3,693	0,024	0,43	18,7	224	82
		💧	20	0	6,5	5,6	0,4	5,118	0,026	0,22	22,35	224	86
NC04	966,8	☀	22,5	4320	5,8	1,1	0,1	4,812	0,119	22,71	14,95	222	39
		💧	21	5040	5,8	0,4	0,4	5,501	0,104	10,2	15,89	222	35
NC05	971,6	☀	20,5	10560	6,6	1,0	1,7	2,372	0,014	1,3	66,06	233	47
		💧	23	5440	6,6	2,1	0	6,079	0,004	1,23	74,1	233	49
NC06	849,9	☀	19,5	4240	6,4	3,9	2,5	6,385	0,024	4,21	57,91	233	54
		💧	20,4	6800	6,3	2,4	0,75	6,06	0,011	5,33	79,3	233	48
NC07	919,3	☀	NA[1]										
		💧	21,5	7280	6,4	3,7	0,61	5,729	0,011	2,86	85,84	223	54
NC08	904	☀	24	320	6,7	2,5	2	7,014	0,012	5,49	43,52	223	57
		💧	29,5	2400	7,1	6,3	0,6	6,31	0,044	3,31	80,52	222	67
NC09	1036	☀	21,5	0	6,5	4,8	3	3,693	0,004	0,98	42	234	82
		💧	20,5	880	7,1	4,0	0,8	5,984	0,016	0,57	48,2	233	63
NC10	1037	☀	22,5	80	6	5,0	4,7	4,436	0,004	0,9	20,3	224	68
		💧	21	480	6	4,6	0,4	4,436	0,047	0,11	23,79	222	65
NC11	759,8	☀	24	23120	6,3	0,2	0	5,071	0,794	6,77	100	123	29
		💧	24	15040	6,7	1,5	1,1	6,791	0,281	4,53	113,7	223	39

Nascente	Altitude (m)	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	Temp. (°C)	Colif. Totais	pH	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Turb. (NTU)	STD (mg/L)	IQAN	IQA
NC12	841	☀	22	160	6,8	7,3	2,3	5,033	0,001	21,64	50,79	222	73
		💧	26	14720	7	2,4	2,2	6,376	0,001	23,25	65,56	223	46
NC13	843,7	☀	22	2720	7,1	5,1	2,3	4,302	0,178	44,15	31,79	223	57
		💧						NA[1]					
NC14	817,4	☀	22	3280	7,5	5,9	4,3	7,664	0,001	12,44	79,45	113	61
		💧	32	11360	8,9	6,85	2,4	5,966	0,001	9,42	109,2	113	56
NC15	774,9	☀	21	6400	6,9	3,5	1,7	6,818	0,053	1,38	63,96	233	52
		💧	23	10000	6,9	2,4	1,5	6,214	0,084	4,45	83,39	233	47
NC16	771	☀	21	0	6,3	4,1	1	8,096	0,001	0,77	145,6	124	75
		💧	24	400	6,4	3,5	1,95	6,732	0,001	1,29	168,7	123	60
NC17	818,1	☀	22	0	6,8	6,6	5,6	7,257	0,001	0,03	74,27	125	88
		💧	26,5	1200	6,7	4,8	0	6,738	0,001	1,08	99,22	123	67
NC18	740,5	☀	24	80	6,9	5,5	4,7	7,415	0,019	0,52	85,07	224	72
		💧	24	6240	6,9	5,9	2,35	6,901	0,055	1,17	108,1	222	61
NC19	758,7	☀	21	2880	7	1,9	0,2	7,445	0,053	9,2	123	223	48
		💧	26	9280	7	5,95	2,35	6,414	0,06	6,34	122,8	223	59
NC20	807,6	☀	22	21680	6,1	3,3	2,7	5,033	0,053	0,04	30,26	222	46
		💧	22	5440	5,8	2,85	0,25	3,758	0,012	0,32	25,42	223	50
NC21	881,3	☀	24	560	6,7	2,8	2,1	7,71	0,006	0,73	163,6	223	57
		💧	24	1360	6,7	1,95	0,15	6,791	0,001	0,49	180,4	223	52
NC22	932,1	☀	23,5	720	5,7	3,5	2,8	7,909	0,017	0,54	88,1	123	55
		💧	21,5	1360	5,8	2,75	0,35	6,557	0,001	0,45	97,63	123	52
NC23	834,3	☀	23	0	6,1	3,7	3,4	6,777	0,063	0,04	73,9	233	71
		💧	23	0	6,1	3,0	0,3	6,918	0,035	0,33	90,26	233	70

Nascente	Altitude (m)	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	Temp. (°C)	Colif. Totais	pH	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Turb. (NTU)	STD (mg/L)	IQAN	IQA
NC24	878,3	☀	24	0	6	7,2	4,1	7,428	0,001	1,39	71,62	224	85
		💧	22,5	480	6,5	5,8	0,15	6,753	0,001	1,04	96,02	223	71
NC25	811,8	☀	24	2080	6,5	6,9	5,5	7,651	0,009	1,08	98,39	124	66
		💧	24	5120	6,2	5,1	0,1	6,209	0,001	0,17	120,9	123	61
NC26	869,4	☀	21	2960	7,3	6,1	5	7,656	0,084	14,85	182	234	58
		💧	23	9840	7,2	5,25	0,95	6,801	0,132	10,15	192,1	234	56
NC27	898,2	☀	23	4000	6,3	3,9	3	7,765	0,05	0,04	121,7	223	54
		💧	23,5	20720	6,4	3,5	0,05	6,935	0,268	0,85	130,6	223	47

NA[1]: Não Aplicável.

Fonte: Elaborado pela autora.

6.1 Qualidade Ambiental

A integração dos parâmetros Estado-Pressão-Resposta (E-P-R) que compõem o Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes é essencial para a avaliação do *status* qualitativo das nascentes (Moura; Felippe, 2024). Segundo a metodologia do IQAN, o resultado final sempre reflete o valor mais crítico. No entanto, é importante ressaltar que, embora cada parâmetro apresente um valor distinto, o objetivo da avaliação da qualidade ambiental das nascentes é analisar o conjunto desses parâmetros de forma integrada.

A presente seção está dividida em três itens. O primeiro item trata de descrever os resultados do parâmetro de Estado. Já o segundo item consiste em compreender os parâmetros de Pressão e Resposta. Por fim, o terceiro item apresenta os resultados obtidos pela aplicação do IQAN. Os resultados dos parâmetros avaliados no Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes podem ser consultados no Quadro 6-1.

Quadro 6-1 – Resultados dos parâmetros E-P-R.

LEGENDA					
PARÂMETRO (PAR.)	COD.	CRITÉRIO	INDICAÇÃO DE VALOR		
			RUIM (1)	MÉDIO (2)	BOM (3)
PRESSÃO (P)	A	Assoreamento na nascente	> 70% da área de mat. agradacional	30-70% da área de mat. agradacional	<30% da área de mat. agradacional
	B	Degradação na APP	> 70% da área degradada	30-70% da área degradada	< 30% da área degradada
	C	Acesso de pessoas, animais domésticos e criações	Constante	Pouco constante	Raro
	D	Intervenções diretas c/ alteração das caract. morfológicas	Muitas intervenções	Médias intervenções	Poucas intervenções
ESTADO (E)	E	Coliformes Termotolerantes na água	≥ 100 UFC	0-100 UFC	0 UFC
	F	DBO na água (oxigênio dissolvido)	< 2mgL O2	2-5 mgL O2	> 5 mgL O2
	G	Eutrofização na água	≥ 0,072 mg/L	0,028 -0,072 mg/L	≤ 0,028 mg/L
	H	Óleo e graxas na água	Presente	Iridescência	Ausente
RESPOSTA (R)	I	Existência de programas de educação ambiental	Poucos/Inexistentes programas	Média quantidade de programas	Muitos programas
	J	Articulação entre população e entidades de regulação	Inexistente	Pouco vigente	Vigente
	K	Existência de projetos do governo para a proteção/recuperação	Inexistente	Pouco vigente	Vigente

	L	Combate e/ou controle de processos erosivos na APP	Inexistente	Pouco vigente	Vigente

ESTAÇÃO SECA

PAR.	ID	NC01	NC02	NC03	NC04	NC05	NC06	NC07	NC08	NC09	NC10	NC11	NC12	NC13	NC14	NC15	NC16	NC17	NC18	NC19	NC20	NC21	NC22	NC23	NC24	NC25	NC26	NC27
P	A							NÃO APLICÁVEL																				
	B																											
	C																											
	D																											
E	E																											
	F																											
	G																											
	H																											
R	I																											
	J																											
	K																											
	L																											
RESULT. FINAL		112	222	224	222	233	233		223	234	224	123	222	223	113	233	124	125	224	223	222	223	123	233	224	124	234	223

ESTAÇÃO CHUVOSA

PAR.	ID	NC01	NC02	NC03	NC04	NC05	NC06	NC07	NC08	NC09	NC10	NC11	NC12	NC13	NC14	NC15	NC16	NC17	NC18	NC19	NC20	NC21	NC22	NC23	NC24	NC25	NC26	NC27
P	A	NÃO APLICÁVEL												NÃO APLICÁVEL														
	B																											
	C																											
	D																											
E	E																											
	F																											

ESTAÇÃO CHUVOSA																											
PAR.	ID	NC01	NC02	NC03	NC04	NC05	NC06	NC07	NC08	NC09	NC10	NC11	NC12	NC13	NC14	NC15	NC16	NC17	NC18	NC19	NC20	NC21	NC22	NC23	NC24	NC25	NC26	NC27
	G																											
	H																											
R	I																											
	J																											
	K																											
	L																											
RESULT. FINAL			**122**	**224**	**222**	**233**	**233**	**223**	**222**	**233**	**222**	**223**	**223**		**113**	**233**	**123**	**123**	**222**	**223**	**223**	**223**	**123**	**233**	**223**	**123**	**234**	**223**

Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.1 Parâmetro de Estado

As análises químicas apresentadas na Tabela 6-1 referem-se exclusivamente ao parâmetro de Estado. Em relação aos parâmetros de Pressão e Resposta, não foram observadas alterações significativas nos resultados das diferentes estações analisadas para todas as nascentes. No entanto, para os critérios do parâmetro de Estado, foi possível identificar que os resultados de Coliformes, DBO e Eutrofização tiveram impacto direto na variação do valor da qualidade ambiental em diversas nascentes. O Quadro 6-2 apresenta os critérios do parâmetro de Estado que apresentaram alterações entre as estações seca e chuvosa nas nascentes estudadas.

Quadro 6-2 – Indicador de alteração no parâmetro de Estado. O círculo sem preenchimento indica ausência de alteração, enquanto o círculo com preenchimento indica presença de alteração.

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	IQAN	CRITÉRIOS DO PARÂMETRO DE ESTADO			
			Coliformes Totais	DBO	Eutrofização	Óleos e graxas
NC01	☀ 💧		NA[1]			
NC02	☀ 💧	222 122	○	○	●	○
NC03	☀ 💧	224 224	○	○	○	○
NC04	☀ 💧	222 222	○	○	○	○
NC05	☀ 💧	233 233	○	○	○	○
NC06	☀ 💧	233 233	○	○	○	○
NC07	☀ 💧		NA[1]			
NC08	☀ 💧	223 222	○	●	●	○
NC09	☀ 💧	234 233	●	●	○	○
NC10	☀ 💧	224 222	●	●	●	○
NC11	☀ 💧	123 223	○	○	●	○

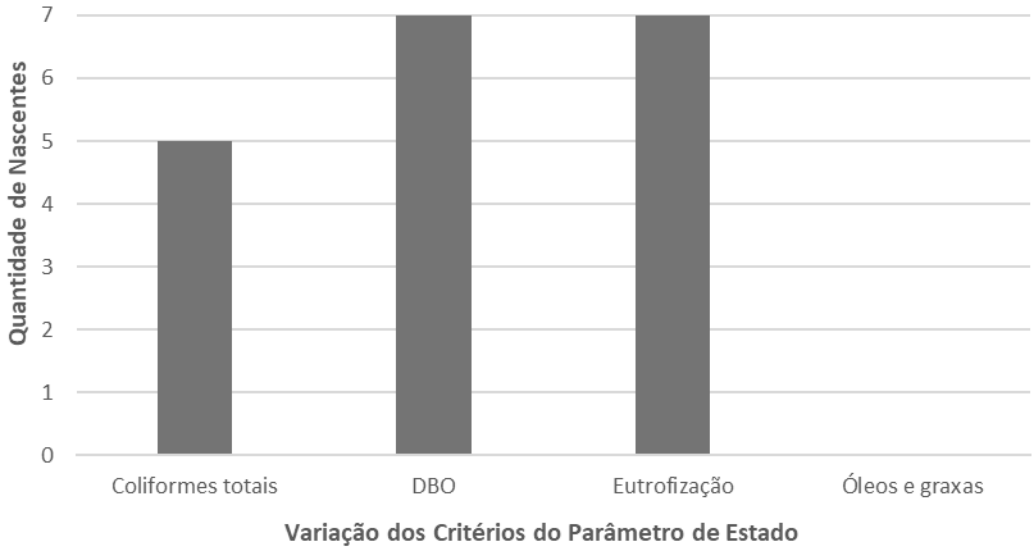
Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	IQAN	CRITÉRIOS DO PARÂMETRO DE ESTADO			
			Coliformes Totais	DBO	Eutrofização	Óleos e graxas
NC12	☀ 💧	222 223	○	○	●	○
NC13	☀ 💧			NA¹		
NC14	☀ 💧	113 113	○	○	○	○
NC15	☀ 💧	233 233	○	○	○	○
NC16	☀ 💧	124 123	●	○	○	○
NC17	☀ 💧	125 123	●	●	○	○
NC18	☀ 💧	224 222	●	○	●	○
NC19	☀ 💧	223 223	○	○	○	○
NC20	☀ 💧	222 223	○	●	●	○
NC21	☀ 💧	223 223	○	○	○	○
NC22	☀ 💧	123 123	○	○	○	○
NC23	☀ 💧	233 233	○	○	○	○
NC24	☀ 💧	224 223	○	●	○	○
NC25	☀ 💧	124 123	○	●	○	○
NC26	☀ 💧	234 234	○	○	○	○
NC27	☀ 💧	223 223	○	○	○	○

NA¹: Não Aplicável.

Fonte: Elaborado pela autora.

Já o Gráfico 6-1 apresenta a quantidade de nascentes que sofreram alteração em relação aos critérios que compõem o parâmetro de Estado.

Gráfico 6-1 – Quantidade de nascente conforme variação do parâmetro Estado.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o Quadro 6-2 e o Gráfico 6-1, os critérios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Eutrofização foram os que mais indicaram alterações de resultado para o parâmetro de Estado. Ainda, para as doze (12) nascentes que indicaram modificação do resultado de Estado, cinco (5) sofreram alterações suficientemente significativas para modificar a classe em que se encontravam na estação seca. Com exceção da nascente NC11, todos esses sistemas ambientais apresentaram uma classificação melhor na estação seca em comparação com a estação chuvosa.

Em relação aos coliformes totais, a detecção é essencial para identificar potenciais agentes patológicos, em especial aos que se reproduzem ativamente em 24 horas entre 44,5 e -45,5 ºC (Freitas *et al.*, 2001). Isso ocorre porque os coliformes termotolerantes demonstram uma resistência equivalente ou até superior a diversos agentes patológicos. Dessa forma, a presença desses coliformes nas nascentes indica uma perda na qualidade da água, uma vez que sua presença pode inibir outros componentes essenciais para a preservação do sistema ambiental (Moura, 2020).

De acordo com a Quadro 6-2, as cinco (5) nascentes que apresentaram alteração no parâmetro de Estado devido à variação na concentração de coliformes termotolerantes entre as estações analisadas tiveram um desempenho inferior no IQAN. Ainda, entre essas cinco (5) nascentes, uma (1) teve sua classificação alterada exclusivamente pela modificação na concentração deste

elemento. Esse foi o caso da nascente NC16, que registrou uma piora na classificação, de 124 para 123.

Dezoito (18) nascentes apresentaram piora na qualidade da água devido ao aumento na concentração de coliformes totais. Vale destacar que, durante a estação seca, não foram detectados coliformes nas nascentes NC17, NC09, NC24 e NC16, ou seja, partia-se de uma condição inicial isenta desse indicador. Em termos absolutos, considerando apenas as nascentes que apresentaram variação, o maior incremento foi observado na NC27 (+16.720), enquanto o menor ocorreu na NC16 (+400).

Diversos fatores podem estar associados ao aumento de coliformes totais, especialmente considerando o contexto ambiental e antrópico em que essas nascentes estão inseridas. Dentre as principais causas, destacam-se:

- Atividades de piscicultura;
- Lançamento inadequado de esgoto;
- Acúmulo de matéria orgânica; e
- Descarte irregular de resíduos.

Dentre as nascentes com piora na qualidade da água, sete (7) são utilizadas diretamente para consumo humano. Essa situação é extremamente crítica, sobretudo diante da ausência de fiscalização e de monitoramento sistemático da qualidade desses sistemas ambientais. Tal carência pode favorecer o consumo de água imprópria, visto que, sem a emissão de laudos que atestem as propriedades químicas e os parâmetros de potabilidade, geralmente a população acaba se guiando apenas por critérios visuais, muitas vezes considerando a água minimamente incolor como segura para o consumo, por exemplo.

Se tratando de contextos urbanos, é importante ressaltar que fatores como a piscicultura e o acúmulo de matéria orgânica, embora possam contribuir para o aumento de coliformes totais, não necessariamente indicam mau uso ou negligência. No caso da matéria orgânica, o acúmulo pode ocorrer de forma natural, resultando em poluição difusa. Já a piscicultura representa uma tentativa da população de obter algum tipo de benefício direto a partir do recurso hídrico, mesmo que a existência nascente não seja destinada a esse fim (Felippe, 2013; Felippe e Magalhães Jr. 2013).

Em relação à DBO, conforme apresentado no Quadro 6-2, seis (6) das sete (7) nascentes que

apresentaram variação no parâmetro de Estado devido à flutuação da DBO entre as estações analisadas tiveram desempenho inferior no IQAN. Além disso, entre as sete (7) nascentes que registraram alterações na concentração de OD ao longo dos cinco dias de análise, duas (2) apresentaram variações simultâneas nos níveis de OD e coliformes totais, combinação que foi suficiente para rebaixar sua classificação no IQAN. No caso da nascente NC09, observou-se uma redução de 234 para 233 pontos, enquanto a nascente NC17 teve queda de 125 para 123 pontos. Ressalta-se que nenhuma nascente teve sua classificação no IQAN alterada exclusivamente em função da variação da DBO entre as estações analisadas.

A DBO pode variar em função de fatores como a temperatura da água, o pH e a presença de substância tóxicas, que impactam a sobrevivência e a atividade dos microrganismos aeróbios. Dessa forma, a variação desses fatores afeta diretamente a taxa de consumo de oxigênio pelos microrganismos (Poersch; Sebastien, 2021). Quanto maior a concentração de matéria orgânica, menor será a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Em contextos urbanos, a presença de efluentes nas nascentes favorece o aumento do consumo de oxigênio pelos microrganismos (Valente *et al.*, 1997).

Para detectar e mensurar o grau de eutrofização de uma nascente, é fundamental avaliar o seu estado trófico a partir da concentração de fósforo, que pode ser classificado como oligotrófico (baixa concentração de nutrientes e baixa produtividade primária), mesotrófico (concentração média de nutrientes e produtividade primária) e eutrófico (alta concentração de nutrientes e alta produtividade primária). De acordo com o Quadro 6-2, quatro (4) das seis (6) nascentes que apresentaram alteração no parâmetro de Estado devido à variação na concentração de fósforo entre as estações analisadas tiveram um desempenho inferior no IQAN. Ainda, entre as seis (6) nascentes com alteração na concentração de fósforo, duas (2) sofreram modificações exclusivamente na concentração deste elemento, o que foi suficiente para alterar a sua classificação do IQAN: no caso da nascente NC02, houve uma piora (de 222 para 122), enquanto na NC11, observou-se uma melhora (de 123 para 223).

Tucci (2008) destaca que a ausência de sistemas adequados de coleta e tratamento de esgoto pode levar à eutrofização dos corpos hídricos, ampliando significativamente os riscos ambientais e os impactos à saúde pública. Embora esse processo possa ocorrer naturalmente, sua evolução tende a se dar ao longo de décadas, de forma gradual e relativamente equilibrada. No entanto, a intensificação das atividades antrópicas acelera esse processo de maneira artificial, resultando em efeitos adversos como a redução do oxigênio dissolvido na água e o aumento da

taxa de decomposição da matéria orgânica, fatores que comprometem severamente a sobrevivência da vida aquática (Boavida, 2001).

Segundo Valente *et al.* (1997), a eutrofização torna os ambientes aquáticos inadequados para atividades recreativas, ao criar condições propícias à proliferação de organismos patogênicos e à disseminação de doenças. No presente estudo, a análise do estado trófico de treze (13) nascentes, com base na concentração de fósforo, indicou baixa disponibilidade de nutrientes e, consequentemente, baixa produtividade primária em pelo menos uma das estações analisadas. Dentre essas treze nascentes, sete (7) são utilizadas para fins recreativos, o que exige atenção quanto ao monitoramento e à preservação de suas condições ecológicas. A Figura 6-1 apresenta um mosaico com exemplos de registros fotográficos obtidos na área do entorno de nascentes classificadas como oligotróficas, nas quais a presença de resíduos descartados de forma inadequada sugere como uma possível contribuição de fonte poluidora e agente potencializador do processo de eutrofização.

Figura 6-1 – Resíduos presentes no entorno de nascentes.

Fonte: Elaborado pela autora.

No tocante a óleos e graxas, estes podem ter origens animal, mineral ou vegetal. A presença dessas substâncias pode derivar de diversas fontes poluidoras, como despejos e resíduos

industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina e o sistema viário, especialmente em áreas urbanas (Kich; Bockel, 2017). De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, essas substâncias não devem estar presentes em águas de classe I (Brasil, 2005). A presença de óleos e graxas nas nascentes pode causar impactos negativos, como o aumento da DBO devido ao processo de decomposição. Para esta pesquisa, foi realizada uma análise macroscópica da presença de óleos e graxas nas nascentes, classificada como presente, iridescência ou ausente. É válido ressaltar que, entre os critérios que compõem o parâmetro de Estado, não houve variação no valor do critério de óleos e graxas entre as duas estações de campo analisadas. A única nascente em que foi observada a presença dessas substâncias foi a NC02. Nas demais nascentes do espaço amostral que compõe esta pesquisa, não foi detectada a presença de óleos e graxas. A Figura 6-2 apresenta a nascente NC02 com detalhes suficientes para observar a presença dessas substâncias na água.

Figura 6-2 – Presença de óleo e graxa no corpo hídrico da nascente.

Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.2 Parâmetros de Pressão e Resposta

Não foram observadas alterações significativas nos resultados entre as estações analisadas para todas as nascentes em relação aos parâmetros de Pressão e Resposta. Contudo, é importante destacar que os critérios que integram cada um dos parâmetros supracitados indicaram resultados relevantes tratando-se de nascentes presentes em contextos urbanos e fora de áreas protegidas em Belo Horizonte.

De acordo com o Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes, o parâmetro de Pressão é o resultado entre o cruzamento dos critérios que tratam da Morfodinâmica e do Contato da nascente (Moura, 2020). Os critérios que tratam da Morfodinâmica apresentam análises

macroscópica (degradação da APP) e microscópica (assoreamento da nascente). Em relação à degradação da APP, somente quatro (4) nascentes alvo desta pesquisa apresentaram a área urbana como uso de ocupação da terra em menos de 50% da área correspondente à APP, são elas: NC11, NC12. NC13 e NC15. É relevante apontar que a APP (gerada a partir do raio de 50 m em que a nascente se localiza, de acordo com Brasil (2002), obtém precisão de acordo com a posição geográfica da nascente que foi mapeada em campo. Nesse sentido, os resultados das áreas de APP correspondentes a cada nascente podem variar, pois, o mapeamento da área de preservação depende da acurácia inferida para a localização da nascente em campo, além do fato de existir outras nascentes com outros tipos de exfiltração diferente da pontual.

De acordo com o PAAN, o critério de assoreamento da nascente está incluído no parâmetro de Pressão**.** No entanto, é importante destacar que, segundo Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2025), os indicadores de pressão dizem respeito aos riscos potenciais de degradação que afetam o estado ambiental das nascentes, como ocupações irregulares, atividades poluidoras próximas, entre outros fatores. Já o assoreamento, por se tratar de uma alteração efetiva do meio físico causada por processos como erosão ou uso inadequado da ocupação da terra, está mais adequadamente relacionado aos critérios associados ao impacto, uma vez que representa uma consequência direta da ocupação e uso da terra e da água.

Em relação ao critério de assoreamento na nascente, não houve alterações significativas suficientes para alterar o resultado entre as estações de campo analisadas visto que, de forma geral, para os sistemas ambientais de logradouro e de propriedade privada não se observou a presença de materiais e/ou resíduos diretamente na área da nascente. Embora os critérios que integram o contato para o parâmetro de Pressão não apresentarem alterações significativas suficientes para alterar o resultado entre as estações de campo analisadas, é importante ressaltar que as condições de acesso e os tipos de intervenção na morfologia da nascente são critérios que podem influenciar na qualidade ambiental desses sistemas presentes em contextos urbanos, como foi abordado no capítulo anterior.

O parâmetro de Resposta é o resultado entre o cruzamento dos critérios que tratam da Governança e da Recuperação Ambiental (Moura, 2020). A aplicação das entrevistas semiestruturadas foram cruciais para ponderar os resultados de cada um dos critérios que integram o parâmetro de Resposta. Por se tratar de uma análise predominantemente macroscópica, grande parte das nascentes alvo desta pesquisa indicaram ausência ou pouca vigência de Governança e de programas e/ou projetos de Recuperação Ambiental. Além disso, para os critérios de Recuperação Ambiental considerou-se, além dos projetos e programas

específicos para a preservação das nascentes da cidade, o próprio cadastro da nascente realizado pela prefeitura. Contudo, observa-se que os projetos e programas envolvendo a Governança e a Recuperação Ambiental das nascentes enfrentam diversos desafios, especialmente no que diz respeito à continuidade e viabilidade integral das ações destinadas à recuperação e preservação desses sistemas ambientais.

À título de exemplo, destaca-se o trabalho realizado pelo projeto hidroambiental *"*Valorização de Nascentes Urbanas*"* na nascente NC04. O projeto desenvolveu atividades voltadas à orientação dos moradores para a preservação da área da nascente, incentivando práticas como o plantio de vegetação adequada e a limpeza regular do entorno. Além disso, parte do fluxo hídrico da nascente foi transposto para a construção de uma bica na via pública, a fim de proporcionar acesso à água para a população. No entanto, análises realizadas tanto por esta pesquisa quanto pelo próprio projeto indicaram que a água da nascente é imprópria para o consumo humano, embora possa ser utilizada para fins paisagísticos, irrigação e dessedentação de animais (CBH Velhas, 2018). A Figura 6-3 apresenta a área onde se encontra a bica associada à nascente NC04.

Figura 6-3 – Água da nascente transposta para construção de bica.

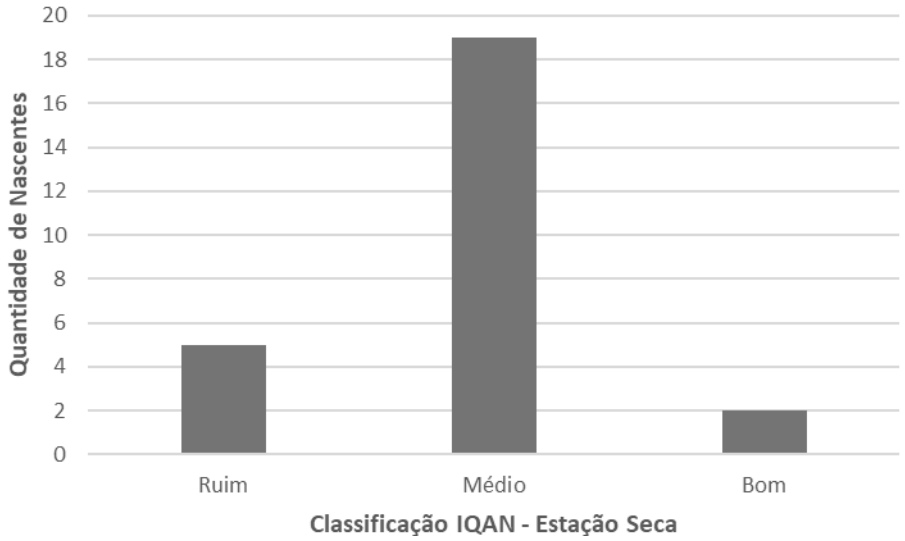
Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.3 Panorama do IQAN

É importante destacar que, de maneira geral, o resultado do IQAN se manteve relativamente estável entre as duas estações analisadas. O Gráfico 6-2 e Gráfico 6-3 detalham a distribuição

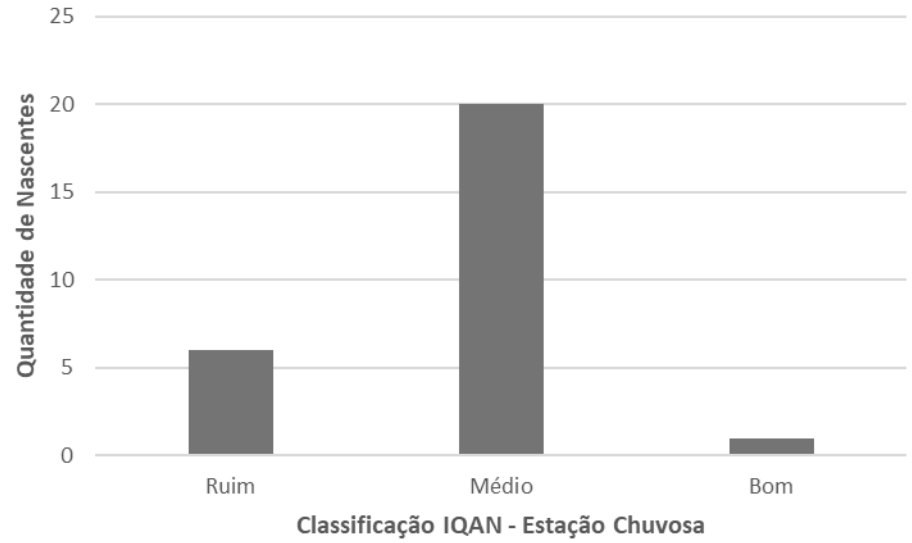
total das nascentes em cada classe do IQAN para os períodos seco e chuvoso, respectivamente.

Gráfico 6-2 – Quantidade de nascente conforme classificação do IQAN (período seco).



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 6-3 – Quantidade de nascente conforme classificação do IQAN (período chuvoso).



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao adotar o resultado mais conservador entre as duas estações, de acordo com os Gráfico 6-2 e Gráfico 6-3, observa-se que apenas uma (1) nascente obteve resultado bom, dezoito (18) tiveram resultado médio e oito (8) apresentaram resultado ruim. A nascente NC01 obteve o pior desempenho no IQAN, com o valor de 112, enquanto as nascentes NC09 e NC26 apresentaram os melhores resultados, com valores de 234.

Em relação às nascentes que apresentaram os melhores resultados para o IQAN, NC09 e NC26, é possível apontar dois (2) fatores comuns sobre o seu contexto ambiental, são eles:

1. Condição de Naturalidade; e
2. Isolamento geográfico.

No que tange à condição de naturalidade, ambas nascentes possuem origem natural. Portanto, os impactos provenientes do contexto urbano não suprimiram ou descaracterizaram significativamente as condições ambientais desses sistemas. Quanto ao geográfico, a água da nascente NC09 é exfiltrada diretamente do leito rochoso para a superfície, através de fissuras na rocha. Embora o curso d'água originado pela NC09 e a área do entorno em que essa nascente se encontra já tenham sido fortemente impactados, especialmente pelo descarte de resíduos diretamente no rio, a exfiltração hídrica dessa nascente permanece isolada, preservando as propriedades *in natura* da água. Da mesma forma, a exfiltração da nascente NC26 está também livre de impactos urbanos, uma vez que a área onde ela se localiza está completamente isolada dos impactos advindos da cidade. Assim, as possíveis perturbações do entorno não são suficientes para comprometer a qualidade hídrica da NC26.

Em relação às nascentes que apresentaram os piores resultados para o IQAN, são elas: NC01, NC02, NC11, NC14, NC16, NC17, NC22 e NC25, é possível identificar três (3) fatores comuns em seu contexto ambiental, a saber:

1. Condição de Naturalidade;
2. Condição de Acesso; e
3. Tipo de uso.

No que diz respeito à condição de naturalidade, 87,5% das nascentes com os piores resultados no IQAN têm origem antropogênica, ou seja, sua formação está diretamente vinculada a intervenções humanas no ambiente urbano. Além disso, 75% desses sistemas ambientais estão localizados em logradouros, o que significa que não há qualquer barreira que restrinja o acesso ou a circulação da população sobre essas nascentes. Por fim, 75% dessas nascentes possuem o consumo direto como tipo de uso, o que pode indicar uma maior pressão sobre esses sistemas. A Tabela 6-2 apresenta os resultados do IQA para os sistemas ambientais que obtiveram os piores desempenhos no IQAN.

Tabela 6-2 – IQA das nascentes com pior desempenho no IQAN.

Nascente	Índice de Qualidade da Água	
	Estação seca	Estação chuvosa
NC01	55	NA[1]
NC02	52	53

NC11	29	39
NC14	61	56
NC16	75	60
NC17	88	67
NC22	55	52
NC25	66	61

NA[1]: Não Aplicável.

Fonte: Elaborado pela autora.

Adotando-se o valor mais conservador para o IQA das nascentes com o pior desempenho no IQAN, seis (6) nascentes apresentaram resultado médio e duas (2) apresentaram resultado ruim. Embora o Índice de Qualidade da Água não avalie diretamente a potabilidade da água, os resultados do IQA indicam que a água dessas nascentes não é recomendável para consumo.

Diante da atual conjuntura político-econômica global, torna-se essencial considerar a interdependência entre economias em diferentes estágios de desenvolvimento, a fim de garantir a preservação das espécies e a sobrevivência humana no planeta (Basso, 2022). Nesse contexto, destacam-se as diretrizes estabelecidas pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), fundada em 1961, que orientam princípios e normativas voltadas à promoção do desenvolvimento econômico em escala global (OCDE, 2025).

A primeira agenda da OCDE voltada à temática ambiental foi lançada na década de 1970, ocasião em que foram instituídos planos de trabalho, bem como o Comitê e a Diretoria de Meio Ambiente. A partir dessa agenda, surgiram normas pioneiras relacionadas à avaliação de impactos ambientais, aplicáveis a projetos, planos e programas com potencial significativo de interferência no meio ambiente (Basso, 2022). Antes da inclusão formal do conceito de impacto ambiental, as diretrizes da OCDE já se voltavam para o monitoramento das pressões, do estado e das respostas ambientais, com o intuito de subsidiar políticas integradas que conciliem desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

Diante desse contexto, é fundamental compreender a dimensão específica que o impacto ambiental abrange visto que se refere à mudança resultante de uma intervenção antrópica no meio ambiente, entendido como a diferença entre a situação ambiental atual e a situação futura provável, caso determinada ação seja implementada. Trata-se, portanto, de uma medida da alteração potencial ou real que determinada atividade pode provocar sobre os elementos naturais e suas inter-relações (Sanchez, 2020).

Assim, embora os indicadores de pressão, estado e resposta, conforme propostos pelo modelo P-E-R (Pressão–Estado–Resposta), ofereçam um panorama relevante sobre as condições ambientais e os esforços de gestão, eles não capturam, de forma direta, a dimensão do impacto em si. Isso porque esses indicadores analisam o sistema ambiental em sua configuração presente ou histórica, sem necessariamente projetar ou avaliar as consequências futuras específicas de uma ação planejada.

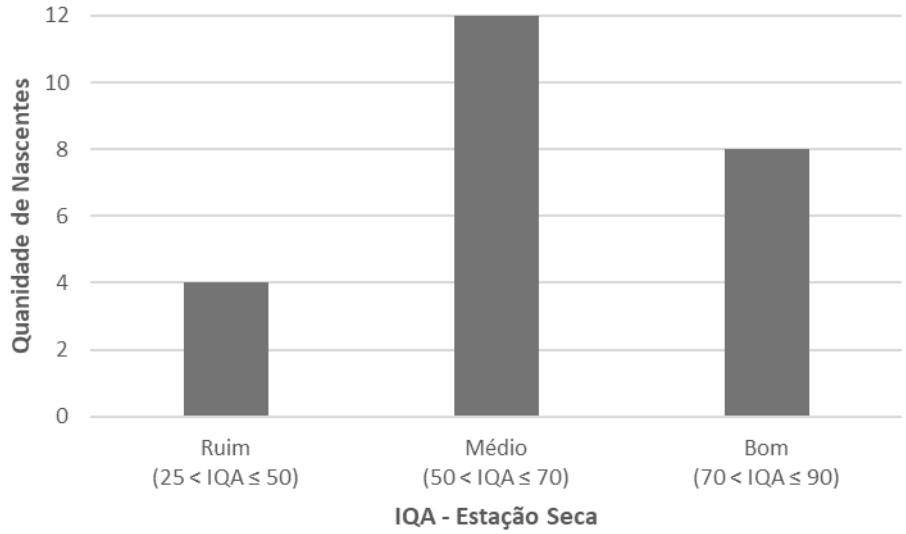
O impacto ambiental, por sua vez, exige uma abordagem prospectiva, voltada à identificação, previsão e avaliação dos efeitos potenciais de uma intervenção antes de sua ocorrência, o que o distingue conceitual e metodologicamente das demais dimensões analisadas. Desse modo, têm-se como exemplo, a construção de edificações próximas à uma nascente, representando uma pressão sobre o ambiente. A alteração da qualidade da água ou a redução da vazão podem ser indicadores do estado após essa intervenção. No entanto, a avaliação do impacto ambiental consiste em prever, ainda na fase de planejamento, como e em que grau essa construção poderá comprometer a integridade da nascente no futuro, o que demanda instrumentos específicos de análise e previsão. Nesse sentido, este trabalho reconhece a necessidade de ampliar e aprofundar a abordagem sobre a dimensão do impacto ambiental, especialmente em se tratando de nascentes desprotegidas e sensíveis a alterações no meio em que se inserem.

Dada essa sensibilidade, torna-se evidente a importância de adotar uma abordagem multiescalar, que abarque desde análises pontuais até interpretações mais amplas do contexto urbano (Felippe, 2013), de modo a integrar, de forma articulada, os parâmetros de pressão, impacto-estado e resposta. Tal abordagem é essencial para compreender as múltiplas dinâmicas que afetam esses sistemas hídricos em áreas densamente urbanizadas.

6.2 Qualidade Hídrica

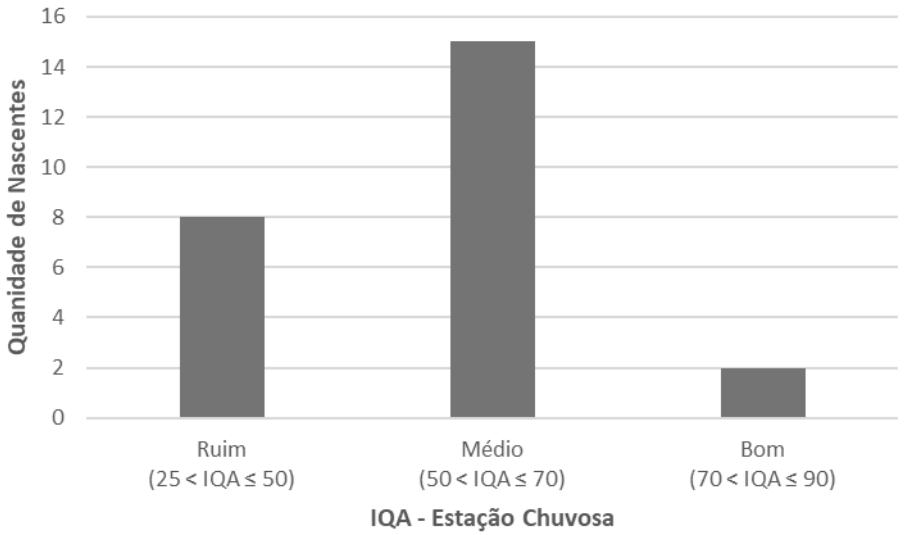
Os Gráfico 6-4 e Gráfico 6-5 apresenta a quantidade de nascentes trabalhadas conforme os resultados de IQA, com base na classificação adotada pelo IGAM, nas estações seca e chuvosa, respectivamente.

Gráfico 6-4 – Quantidade de nascente conforme classificação do IQA (período seco).



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 6-5 – Quantidade de nascente conforme tipo de uso (período chuvoso).



Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir serão discutidos apenas os resultados dos critérios que não foram abordados na seção anterior, os quais também integram o Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes.

A medição do pH é fundamental para indicar a condição de acidez de um corpo hídrico, por meio da concentração de íons hidrogênio [H+]. Sua escala varia de 0 a 14, sendo 7 considerado o valor neutro, valores abaixo de 7 representando pH ácido e acima de 7 pH básico. O pH revela a condição de proteção da vida aquática, e suas alterações podem intensificar os efeitos de substâncias tóxicas e comprometer a atividade de elementos aos processos de oxirredução da matéria orgânica, prejudicando os organismos presentes no ambiente aquático. Além disso, uma maior concentração de íons hidrogênio [H+] pode estar associada à proliferação de algas, o que

reduz a concentração de oxigênio na água e acelera o processo de eutrofização Von Sperling, 2005; ANA, 2024). Ainda, fatores como a presença de matéria orgânica, o tipo de litologia, o tipo de solo e o local por onde a água percorre também influenciam significativamente os valores de pH (Bueno *et al.*, 2005; Souza, 2005; Lopes *et al.*, 2010; Almeida, 2015).

Conforme apresentado na Tabela 6-3, seis (6) nascentes registraram pH ácido em pelo menos uma das estações avaliadas: NC08, NC09, NC13, NC14, NC19 e NC26. Isso indica que, de forma geral, as nascentes analisadas possuem pH básico. Contudo, é importante destacar que o valor do pH pode variar devido a diferentes condições ambientais, como o tipo de solo e a variação no aporte de matéria orgânica e nutrientes, que podem ser responsáveis pela acidez de um corpo hídrico (D'Oliveira, 2017). De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como seu padrão de potabilidade, o pH da água deve estar compreendido entre 6,0 e 9,5 para ser considerado adequado ao consumo (Brasil, 2017). A Tabela 6-3 apresenta os valores de pH das nascentes que são utilizadas para consumo direto pela população.

Tabela 6-3 – Resultado do pH para as nascentes utilizadas para consumo.

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	pH	IQA
NC02	☀	6,4	52
	💧	6,5	53
NC03	☀	6,1	82
	💧	6,5	86
NC09	☀	6,5	82
	💧	7,1	63
NC10	☀	6	68
	💧	6	65
NC16	☀	6,3	75
	💧	6,4	60
NC17	☀	6,8	88
	💧	6,7	67
NC18	☀	6,9	72
	💧	6,9	61
NC20	☀	6,1	46
	💧	5,8	50
NC22	☀	5,7	55
	💧	5,8	52
NC23	☀	6,1	71

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	pH	IQA
NC24	💧	6,1	70
	☀	6	85
	💧	6,5	71

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme os dados da Tabela 6-3, apesar de serem utilizadas para consumo, as nascentes NC20 e NC22 apresentaram, em pelo menos uma das estações analisadas, valores de pH inferiores ao mínimo exigido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, configurando-se, portanto, como impróprias para o consumo humano. É importante destacar que essa classificação se baseia exclusivamente no critério de pH. Para que a água seja considerada potável, é necessário que todos os parâmetros de qualidade definidos na legislação sejam atendidos. Contudo, mesmo isoladamente, o pH fora do intervalo estabelecido já é suficiente para indicar a inadequação dessas nascentes ao uso direto pela população.

Diversas características físico-químicas de um corpo hídrico podem influenciar a temperatura da água. A vida aquática, de forma geral, tolera variações de temperatura dentro de certos limites. No entanto, quando esses limites são excedidos, o crescimento e a reprodução dos organismos aquáticos podem ser comprometidos. O aumento da temperatura acelera as reações químicas e biológicas, além de reduzir a concentração de oxigênio na água. Conforme apresentado na Tabela 6-4, não foram observados valores de temperatura que indicassem anomalias nas nascentes deste estudo. Contudo, é importante ressaltar que essa variável deve ser analisada em conjunto com outras, especialmente o oxigênio dissolvido (Von Sperling, 2005; ANA, 2024).

Foi possível realizar a coleta e análise da água de 24 nascentes durante as duas campanhas de campo, correspondentes às estações seca e chuvosa. Dentre essas, seis (6) nascentes não apresentaram variação nos valores de temperatura entre as coletas realizadas. No entanto, dezoito (18) nascentes apresentaram oscilações nos valores de temperatura entre as duas estações analisadas. Diante desse cenário, a Tabela 6-4 apresenta a variação de temperatura registrada em cada uma das campanhas de campo, bem como a variação dos respectivos valores de oxigênio dissolvidos associados a essas nascentes.

Tabela 6-4 – Variação da temperatura e do oxigênio dissolvido.

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	Temperatura (°C)	Variação da Temperatura Variação positiva: ⬆ Variação negativa: ⬇		Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Variação do Oxigênio Dissolvido (mg/L) Variação positiva: ⬆ Variação negativa: ⬇	
NC02	☀ 💧	23 19,5	-3,5	⬇	1,6 2	0,4	⬆
NC03	☀ 💧	22 20	-2	⬇	6 5,6	-0,4	⬇
NC04	☀ 💧	22,5 21	-1,5	⬇	1,1 0,4	-0,7	⬇
NC05	☀ 💧	20,5 23	2,5	⬆	2 2,1	0,1	⬆
NC06	☀ 💧	19,5 20,4	0,9	⬆	3,9 2,4	-1,5	⬇
NC08	☀ 💧	24 29,5	5,5	⬆	2,5 6,3	3,8	⬆
NC09	☀ 💧	21,5 20,5	-1	⬇	4,8 4	-0,4	⬇
NC10	☀ 💧	22,5 21	-1,5	⬇	5 4,6	-0,4	⬇
NC12	☀ 💧	22 26	-4	⬆	7,3 2,4	-4,9	⬇
NC14	☀ 💧	22 32	10	⬆	5,9 6,85	0,95	⬆
NC15	☀ 💧	21 23	2	⬆	3,5 2,4	-1,1	⬇
NC16	☀ 💧	21 24	3	⬆	4,1 3,5	-0,6	⬇
NC17	☀ 💧	22 26,5	4,5	⬆	6,6 4,8	-1,8	⬇
NC19	☀ 💧	21 26	5	⬆	1,9 5,95	4,05	⬆
NC22	☀ 💧	23,5 21,5	-2	⬇	3,5 2,75	-0,75	⬇
NC24	☀ 💧	24 22,5	-1,5	⬇	7,2 5,8	-1,4	⬇
NC26	☀ 💧	21 23	2	⬆	6,1 5,25	-0,85	⬇
NC27	☀ 💧	23 23,5	0,5	⬆	3,9 3,5	-0,4	⬇

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Tabela 6-4, os dados das nascentes analisadas não permitem afirmar que o aumento da temperatura resulta, necessariamente, em menor concentração de OD. Apesar da relação inversa teoricamente prevista entre essas variáveis, tal comportamento pode ser explicado por fatores como o aumento da atividade fotossintética, maior aeração natural durante o período chuvoso ou variações na carga orgânica (Von Sperling, 2005). Ademais, condições específicas do ambiente urbano também podem interferir nessa relação, influenciando os padrões observados entre temperatura e oxigênio dissolvido.

No tocante a presença de nitrogênio em corpos hídricos pode ocorrer de diferentes formas, como o lançamento de efluentes ou a deposição atmosférica do nitrogênio pelas águas pluviais. De acordo com a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, o valor aceitável de nitrito é de até 10 mg/L em corpos hídricos destinados ao consumo humano (Brasil, 2017). Embora o nitrogênio seja um elemento indispensável, sua alta concentração pode ser tóxica para a saúde humana, causando doenças graves e infecciosas, como a metahemoglobinemia (também conhecida como "síndrome do bebê azul"), além de acelerar o processo de eutrofização (Von Sperling, 2005; ANA, 2024). Conforme apresentado na Tabela 6-4, nenhuma das nascentes analisadas neste estudo ultrapassou o limite de 10 mg/L, sendo o valor mais alto registrado igual a 8,09 mg/L para a nascente NC16. No entanto, é importante ressaltar que a potabilidade da água depende de diversos fatores, não se limitando apenas à concentração de compostos de nitrogênio. Assim, embora todas as nascentes apresentem níveis de nitrito dentro dos valores aceitáveis para consumo humano, isso por si só não garante que as águas sejam potáveis, uma vez que outros parâmetros de potabilidade também precisam ser considerados.

A Resolução do CONAMA 357/2005 estabelece que, para águas da classe II, o limite máximo de turbidez é de 20 NTU. De acordo com a Tabela 6-4, as nascentes NC02**,** NC04 e NC12 foram as únicas a apresentarem valores de turbidez superiores ao limite estabelecido em pelo menos uma das estações analisadas. No entanto, é importante observar que, apesar dessa situação, a nascente NC02 obteve um IQA médio em ambas as estações, a NC04 obteve IQA ruim para as duas estações analisadas e a nascente NC12 apresentou IQAs bom e ruim para as estações seca e chuvosa, respectivamente. Isso indica que, embora essas três nascentes tenham ultrapassado o limite de turbidez estabelecido pelo CONAMA, as nascentes NC02 e NC12 ainda apresentaram condições que indicam que, em pelo menos uma das estações analisadas, a água seria adequada para tratamento convencional visando ao abastecimento público.

A turbidez da água pode variar em função de diversos fatores, estando diretamente relacionada

à presença de sólidos em suspensão provenientes de esgotos e da erosão do solo. De maneira geral, a turbidez expressa a redução da intensidade de um feixe de luz ao atravessar a água. Quanto maior a concentração de partículas em suspensão, maior será a turbidez (Garcia *et al.*, 2018). No presente estudo, as nascentes analisadas apresentaram, em sua maioria, baixos níveis de turbidez, o que pode indicar a ausência de poluição recente. No entanto, é importante ressaltar que, mesmo com baixos valores, a turbidez não é capaz de revelar, por si só, a presença de efluentes ou contaminantes invisíveis. Assim, como os demais parâmetros que compõem IQA, a turbidez deve ser interpretada em conjunto com outras variáveis, não sendo suficiente de forma isolada para determinar a potabilidade ou qualidade ambiental da água.

Por fim, de acordo com a Tabela 6-1, a nascente NC21 presentou o maior valor de STD na estação chuvosa (180,4 mg/L), enquanto a NC04 registrou o menor valor de STD na estação seca (14,95 mg/L). Apesar de NC03 ter apresentado o menor valor de STD, o resultado do seu Índice de Qualidade da Água foi classificado como ruim para ambas as estações analisadas. Já para a NC21, obteve-se um IQA médio para as estações seca e chuvosa.

A alta concentração de sólidos totais dissolvidos pode causar danos à vida aquática, favorecer o processo de eutrofização e contribuir para o assoreamento do corpo hídrico. A Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) não estabelece um valor limite específico para a presença de STD, uma vez que a análise exclusiva dos sólidos totais dissolvidos não fornece uma visão completa da qualidade dos componentes físico-químicos do corpo hídrico como um todo (Von Sperling, 2005).

De acordo com Lopes *et al.* (2010), a aplicação do IQA deve considerar as características intrínsecas da bacia hidrográfica na qual as nascentes estão inseridas, a fim de compreender as variações e interferências de origem natural que possam influenciar os resultados da qualidade hídrica. Nessa perspectiva, a análise dos dados e a definição de estratégias de monitoramento devem ser baseadas nas condições ambientais específicas de cada nascente. No presente estudo, dentre as 24 nascentes que apresentaram variação nos resultados entre as estações analisadas, quatorze (14) mantiveram a mesma tendência de classificação nos índices IQA e IQAN, sendo classificadas como inalteradas (11) ou com piora (3). Embora existam divergências entre os dois índices, decorrentes da diferença nos pesos atribuídos aos parâmetros, não foram identificadas discrepâncias na categorização final da qualidade da água. Assim, não se verificaram casos em que uma nascente tenha sido classificada em classes qualitativas opostas nos dois índices, ou seja, inexiste resultado em que uma nascente fosse classificada como "ruim" no IQA e "boa" no IQAN, ou vice-versa.

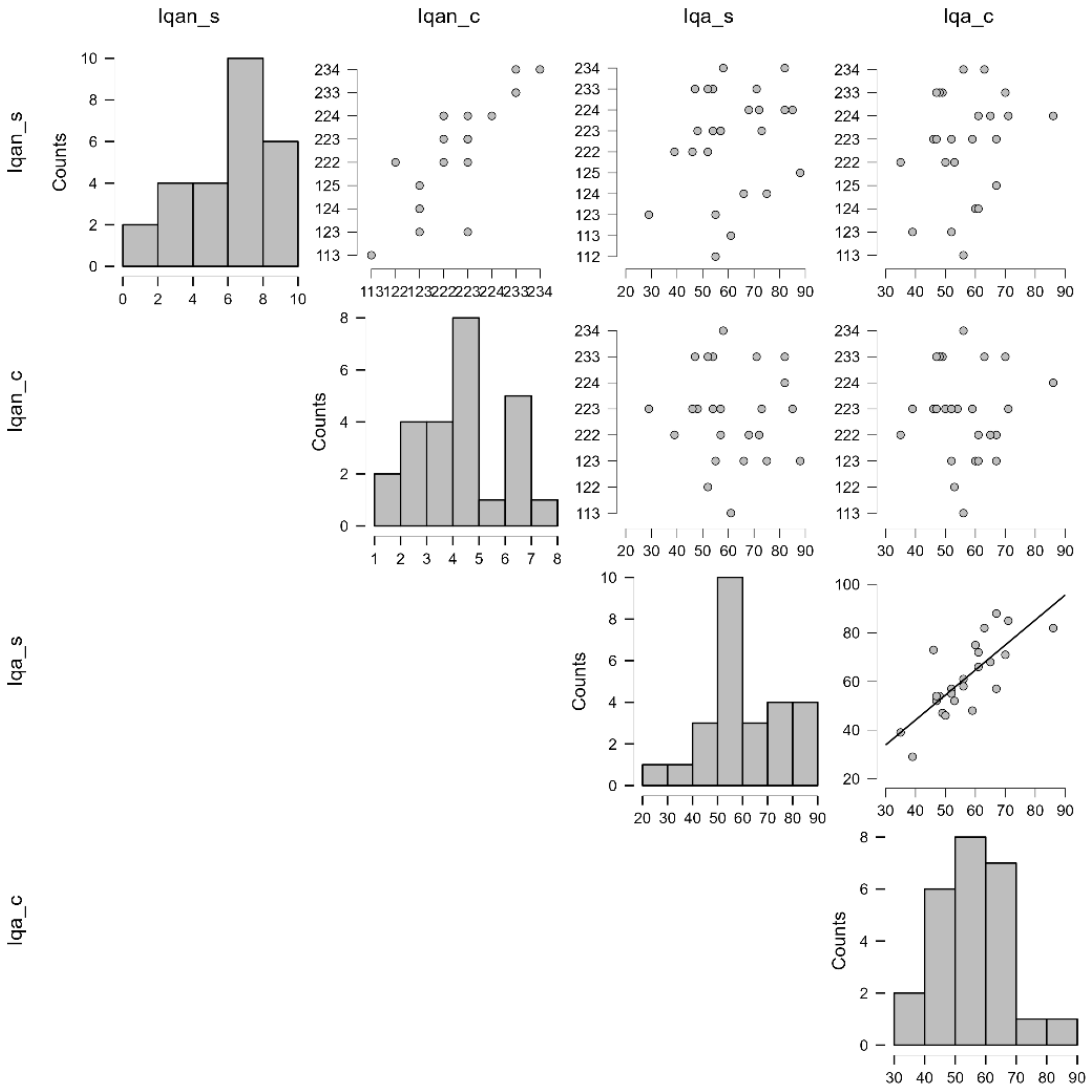
7 FATORES CONDICIONANTES DA QUALIDADE AMBIENTAL E DA ÁGUA DAS NASCENTES URBANAS

Após a apresentação dos resultados referentes aos fatores que compõem a qualidade ambiental e da água das nascentes analisadas nesta pesquisa, este capítulo tem como objetivo integrar os dados obtidos por meio de análises estatísticas, a fim de identificar o comportamento e a influência de cada critério estudado.

Para isso, o capítulo está organizado em três seções: a primeira aborda a análise dos resultados relacionados aos critérios que compõem a dimensão socioterritorial; já a segunda trata dos critérios que integram a dimensão ambiental; e, por fim, a terceira seção apresenta uma síntese interpretativa dos critérios analisados, destacando aqueles que condicionam a qualidade ambiental e da água das nascentes.

Anterior à apresentação dos resultados referentes aos critérios que compõem a qualidade ambiental e da água das nascentes, é fundamental compreender a relação entre os próprios índices utilizados para representar essas dimensões. O mosaico de gráficos a seguir (Figura 7-1) ilustra a correlação entre os resultados obtidos nas estações seca e chuvosa para o Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes e o Índice de Qualidade da Água.

Figura 7-1 – Correlação entre IQAN e IQA: em que S refere-se ao período de seca e C ao período chuvoso.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os gráficos apresentados, observa-se a ausência de uma correlação direta entre os resultados obtidos pelos índices IQAN e IQA, uma vez que os dados demonstram uma dispersão significativa, sem indicar uma relação proporcional, positiva ou negativa, entre os valores. Essa ausência de correlação reforça que os dois índices refletem aspectos distintos das nascentes avaliadas. O IQA é voltado exclusivamente para a análise da qualidade físico-química e microbiológica da água, enquanto o IQAN contempla uma abordagem mais abrangente, incorporando variáveis ambientais e socioterritoriais que indicam pressões e impactos sobre as nascentes e seu entorno. Assim, os índices respondem a dimensões diferentes da qualidade ambiental, o que justifica a divergência e a falta de correlação entre os seus resultados.

As variáveis analíticas que compõem o Índice de Qualidade da Água estão, em sua maioria,

associadas a parâmetros que indicam o grau de poluição de um corpo hídrico, especialmente no que se refere à presença de matéria orgânica e organismos patogênicos. Embora o IQA não contemple todos os critérios necessários à avaliação da potabilidade da água, seus indicadores estão alinhados com padrões de qualidade exigidos para o consumo humano (Leitão *et al*., 2015). Ademais, Silva e Jardim (2006) destacam que índices voltados especificamente para a qualidade da água podem apresentar limitações ao considerarem variáveis que refletem apenas a condição momentânea do corpo hídrico. Assim, análises baseadas em recortes temporais restritos podem gerar interpretações distorcidas da real qualidade da água.

Lopes *et al.* (2010) indicam que os índices utilizados para avaliar a qualidade da água devem considerar as características naturais da bacia hidrográfica onde o corpo hídrico está inserido, a fim de evitar interpretações equivocadas e a adoção de medidas inadequadas. Por outro lado, Silva e Jardim (2006) e Magalhães Júnior (2007) ressaltam as vantagens de se utilizar índices integradores, como o IQA, que condensam diversas variáveis em um único valor. Essa abordagem é especialmente útil em diagnósticos iniciais voltados ao planejamento de ações de controle ambiental. No entanto, conforme argumentam Almeida e Schwarzbold (2003), metodologias excessivamente generalistas podem mascarar ou ignorar especificidades locais. Assim, para uma compreensão mais precisa e contextualizada da qualidade da água, é fundamental que os parâmetros adotados estejam adaptados às condições ambientais específicas da área estudada. Por sua vez, o Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes incorpora parâmetros que avaliam as dimensões de pressão, estado e resposta do ambiente em que as nascentes estão inseridas. Diferentemente do IQA, o IQAN não se limita à análise das propriedades físico-químicas e microbiológicas da água, pois considera também variáveis relacionadas ao contexto ambiental e a resposta às pressões decorrentes do uso e ocupação da terra. Segundo Moura (2020), o IQAN adota critérios que buscam assegurar a dinâmica do sistema ambiental, condição essencial para a manutenção e integridade dos fluxos que originam e sustentam os sistemas hídricos. Assim, ao contrário do IQA, o IQAN abrange múltiplas dimensões da qualidade ambiental, reconhecendo a complexidade dos fatores que afetam as nascentes (Moura; Felippe, 2022). No entanto, é importante destacar que, embora o IQAN contemple variáveis além daquelas diretamente ligadas à qualidade da água, a ênfase entre os parâmetros de pressão e de resposta deve ser ajustada conforme o objetivo da análise. Se o foco for a identificação de impactos e processos de degradação, a dimensão de pressão deve ser priorizada; se o interesse estiver na gestão e na conservação do ambiente, a dimensão de resposta deve assumir maior relevância (Moura; Felippe, 2022).

De modo geral, a ausência de correlação entre o IQAN e o IQA evidencia que a utilização isolada de apenas um desses índices é insuficiente para avaliar adequadamente a condição ambiental das nascentes. Esse resultado reforça a necessidade de uma abordagem integrada, que considere múltiplos indicadores capazes de abranger diferentes dimensões, físicas, ambientais e sociais, do meio em que as nascentes estão inseridas (Moura; Felippe., 2022). Tal abordagem é fundamental para subsidiar ações de controle e gestão ambiental mais eficazes, além de orientar a tomada de decisões com base em variáveis transdisciplinares, que reflitam a complexidade desses sistemas ambientais.

A seguir, são apresentados os resultados das análises de correlação entre os índices trabalhados e os critérios que integram as dimensões socioterritorial e ambiental das nascentes investigadas neste estudo. As relações entre os índices de qualidade (IQAN e IQA) e os diversos critérios considerados foram representadas por meio de *boxplots*.

Cabe destacar que, embora esta pesquisa tenha se debruçado sobre nascentes significativamente representativas e específicas para a compreensão dos sistemas ambientais situados fora de áreas protegidas no município de Belo Horizonte, as correlações discutidas baseiam-se no levantamento de todos os critérios mapeados para os fatores ambientais selecionados. Adicionalmente, é importante observar que alguns critérios apresentam baixa representatividade devido ao número reduzido de nascentes que os contemplam. Ainda assim, optou-se por não agrupar categorias distintas, a fim de evitar a distorção dos resultados ou a produção de interpretações que não correspondam à realidade observada. Dessa forma, é válido ressaltar que a ausência e a presença de correlação entre os critérios e os índices trabalhados são conferidas pela forma que os resultados comportam. Assim, caso os resultados apresentem relativa estabilidade entre si, isso indica ausência de correlação. Por outro lado, variações significativas entre os resultados sugerem a existência de correlação entre os parâmetros analisados. A Figura 7-2, a seguir, apresenta de forma geral quais critérios demonstraram presença ou ausência de correlação em relação aos índices de qualidade analisados (IQAN e IQA).

Figura 7-2 – *Status* da correlação entre IQAN/IQA e critérios: o círculo sem preenchimento indica ausência de correlação, enquanto o círculo com preenchimento indica presença de correlação entre o índice analisado e os critérios correspondentes.

DIMENSÃO	**CRITÉRIO**	***STATUS* DE CORRELAÇÃO**	
		IQAN	**IQA**
DIMENSÃO SOCIOTERRITORIAL	Localização e Acesso	●	○
	Renda	○	○
	Intervalo de expansão da urbanização	●	○
	Porcentagem de área Urbana na APP	○	○
	Iniciativa de proteção	●	○
	Uso e ocupação da terra	●	○
	Tipos de Uso	●	○
DIMENSÃO AMBIENTAL	Geologia	○	○
	Geomorfologia	○	●
	Pedologia	○	○
	Condição de naturalidade	○	○
	Condição da situação	●	●
	Tipo de exfiltração	○	○
	Sazonalidade	○	○

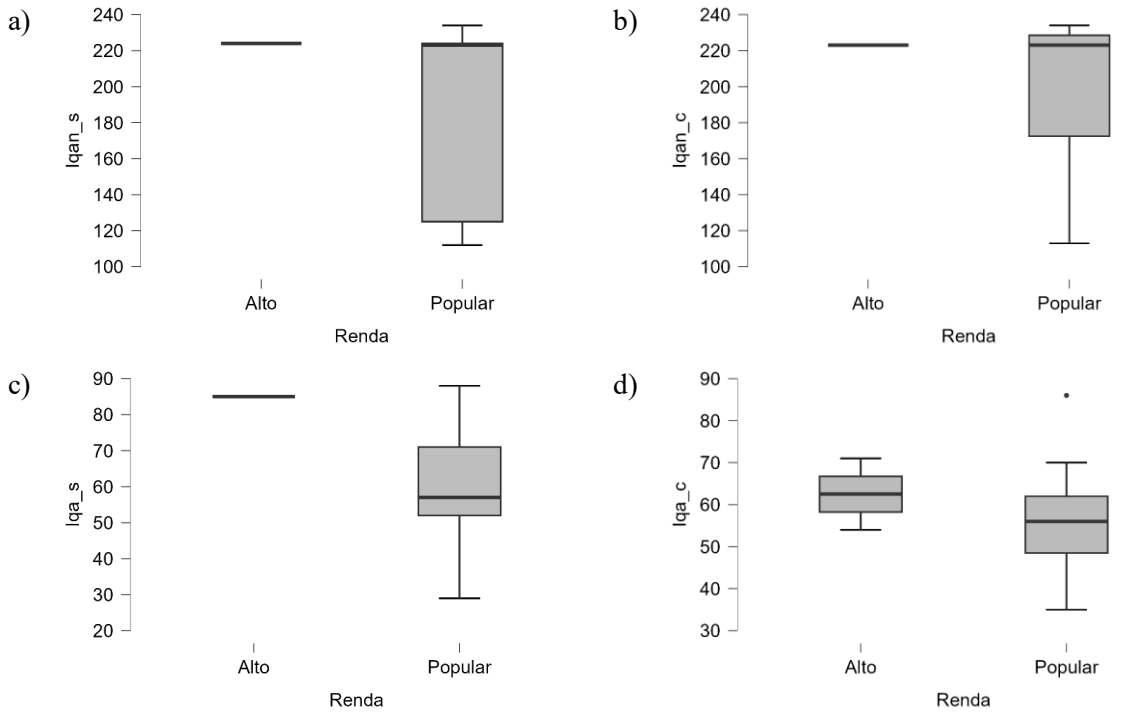
Fonte: Elaborado pela autora.

7.1 Dimensão socioterritorial

No que diz respeito aos critérios de renda e de porcentagem de área urbana na APP, não foi possível identificar correlações significativas. As variáveis associadas a esses critérios não apresentaram oscilações relevantes nas medianas, e a quantidade reduzida de nascentes enquadradas nas categorias analisadas comprometeu a representatividade de parte dos dados.

Para o critério de renda, o IQAN, nas duas estações avaliadas, mostrou que o intervalo de variação das nascentes classificadas como de renda popular foi mais restrito durante a estação chuvosa. Ainda assim, a mediana permaneceu elevada em ambas as estações. Em relação ao IQA, observou-se uma redução nos valores durante a estação chuvosa, embora os dados para as áreas de renda popular tenham indicado medianas mais baixas na estação seca e mais elevadas na estação chuvosa. No entanto, o intervalo de variação foi amplo e, de forma geral, os valores permaneceram altos. O mosaico de gráficos da Figura 7-3 apresenta os *boxplots* de correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e o critério de renda.

Figura 7-3 – Correlação entre renda e IQAN na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).

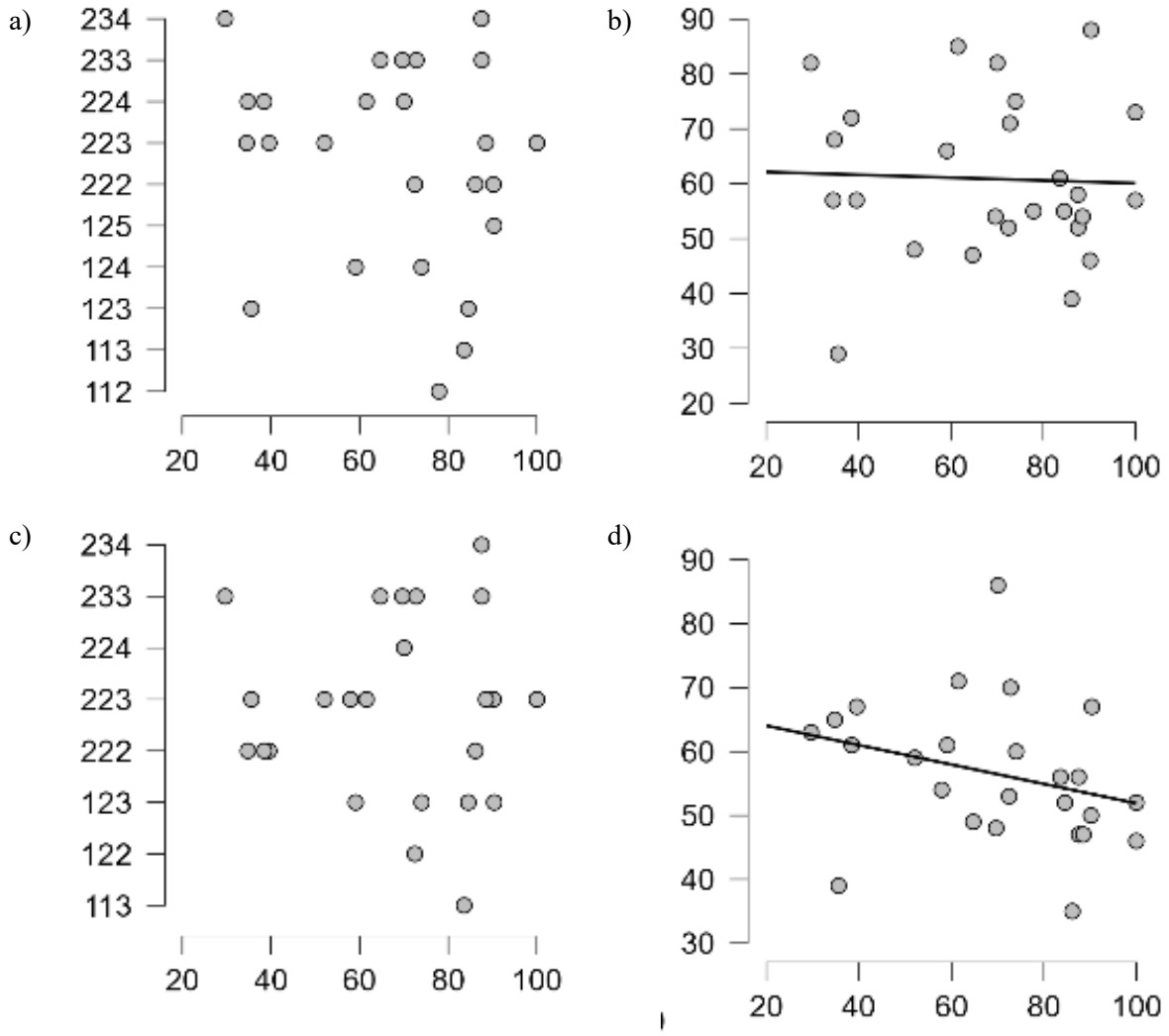


Fonte: Elaborado pela autora.

No que se refere ao critério de porcentagem de área urbana na APP, tanto o IQA quanto o IQAN apresentaram valores bastante dispersos, sem indicar qualquer padrão de correlação entre os índices analisados. O mosaico de gráficos da Figura 7-4 ilustra essa dispersão, evidenciando a

ausência de relação consistente entre o critério de área urbana na APP e os índices de qualidade ambiental e da água.

Figura 7-4 – Correlação entre IQAN/IQA e área urbana na APP na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

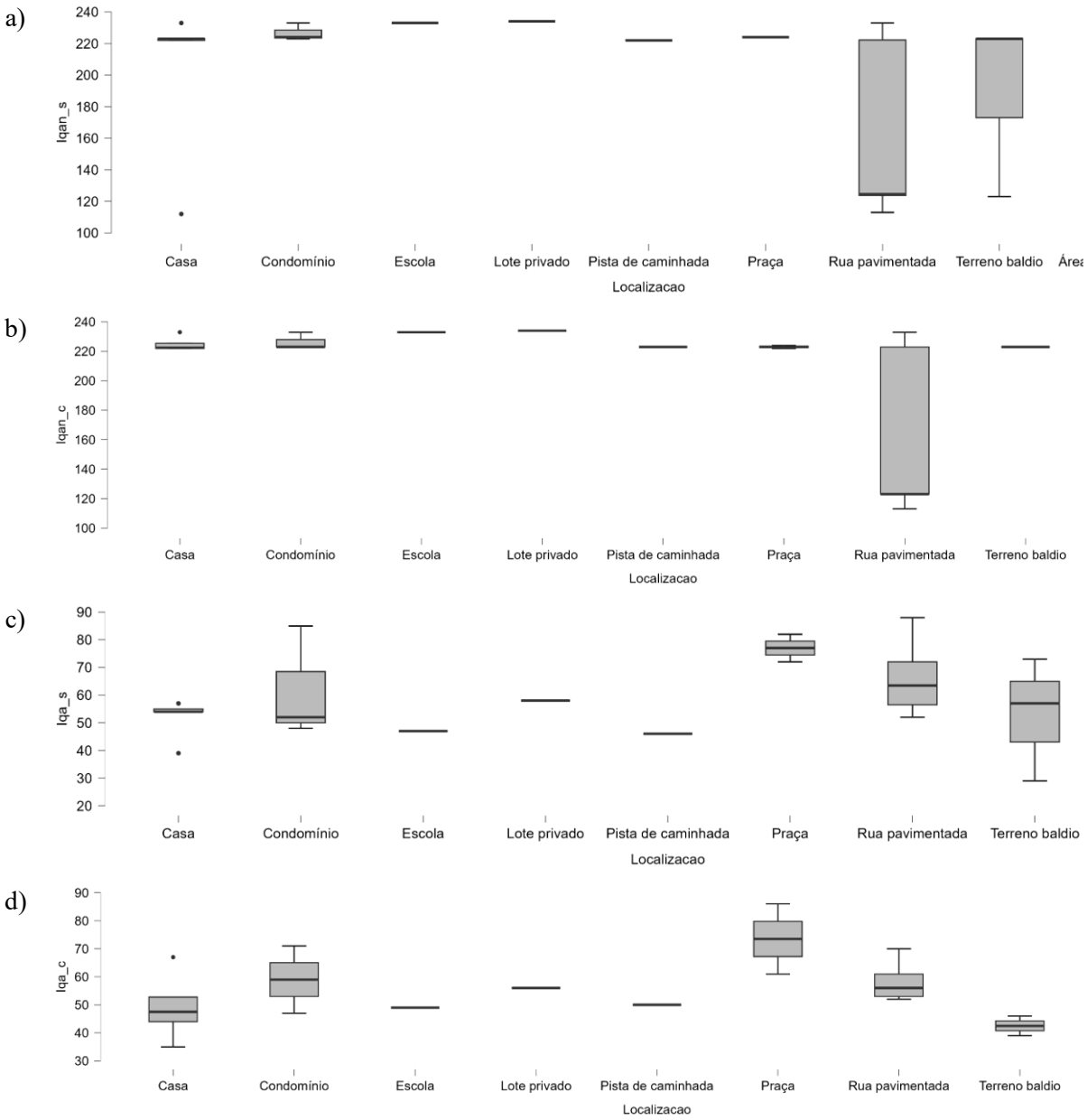
Em relação aos demais critérios que compõem a dimensão socioterritorial, nenhum demonstrou influência conjunta sobre os dois índices analisados; a influência ocorreu apenas sobre o Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes. Esse resultado indica que, de modo geral, os critérios da dimensão socioterritorial não impactam diretamente o Índice de Qualidade da Água, uma vez que estão associados a fatores externos às propriedades físico-químicas e microbiológicas da água.

Quanto aos critérios de localização e acesso, intervalo de expansão da urbanização e uso e ocupação da terra, é fundamental que sejam interpretados de maneira integrada, pois fornecem

indicativos importantes sobre o contexto territorial em que as nascentes se inserem. A localização e acesso e o intervalo de expansão urbana correspondem a uma abordagem mais ampla, de caráter macroscópico. Por isso, ainda que esses critérios não revelem diretamente a condição ambiental *in situ* da nascente, as pressões exercidas pelo entorno configuram fatores determinantes para sua qualidade e conservação.

Em áreas urbanas, aspectos como localização e formas de acesso a esses sistemas ambientais influenciam significativamente na preservação ou modificação de suas propriedades naturais, podendo reforçar ou comprometer sua integridade ambiental. O mosaico de gráficos da Figura 7-5 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e o critério de localização e acesso.

Figura 7-5 – Correlação entre IQAN/IQA e localização/acesso na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao IQAN, tanto na estação seca quanto na chuvosa, observa-se que as nascentes situadas em propriedades privadas, como casas, condomínios, escolas e lotes privados, apresentaram as maiores medianas de qualidade ambiental. Esses ambientes, por serem mais controlados e, em alguns casos, com maior presença de cobertura vegetal remanescente ou manejo adequado, tendem a preservar melhor as características naturais das nascentes.

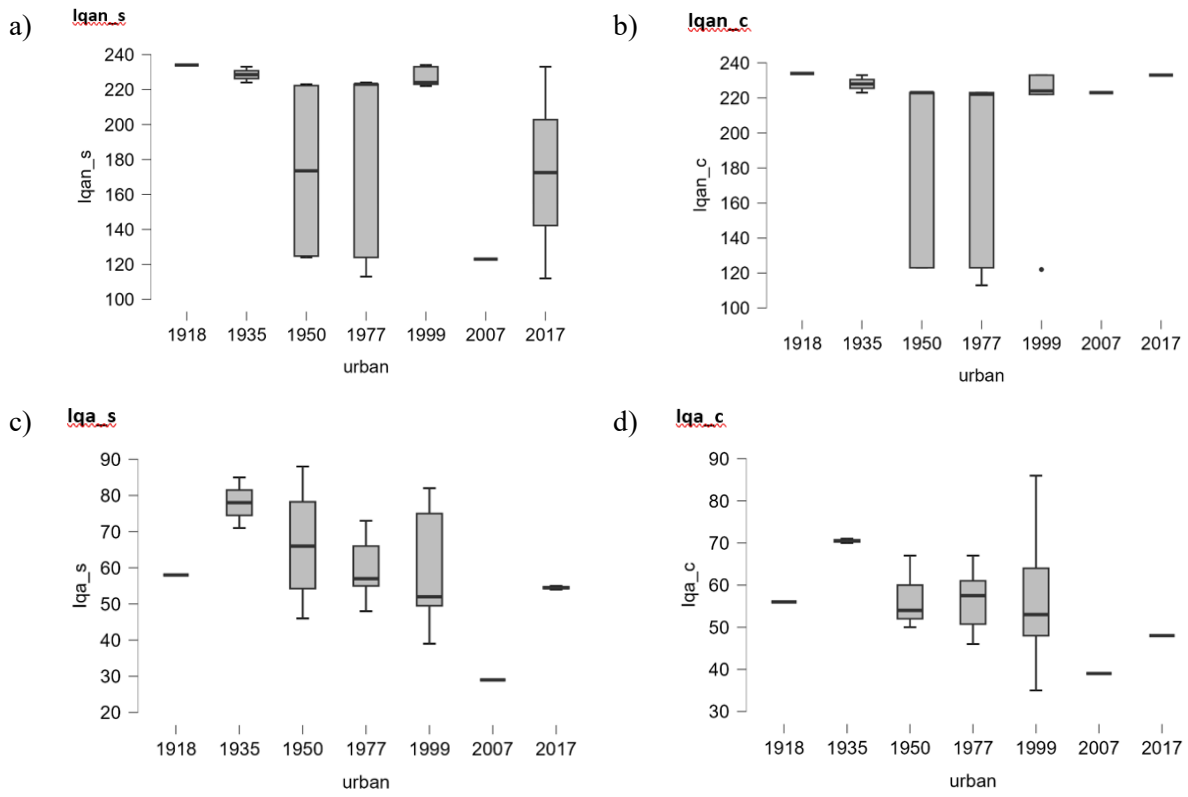
Em contraste, nascentes localizadas em logradouros públicos, como pistas de caminhada, praças, ruas pavimentadas, terrenos baldios e áreas de passagem, apresentaram medianas mais baixas em ambas as estações. Dentre essas categorias, destaca-se a "rua pavimentada", que, apesar de ter sido a de maior representatividade, apresentou as menores medianas do IQAN, sugerindo que a urbanização intensiva está associada à maior degradação ambiental desses sistemas. Por outro lado, escolas e lotes privados se destacaram positivamente, com valores mais elevados e consistentes de IQAN, o que reforça a importância da gestão localizada e do controle do uso do solo no entorno imediato das nascentes.

No que se refere ao IQA, as diferenças entre os tipos de localização não apresentaram um padrão definido. A mediana mais alta foi observada para as nascentes situadas em praças, tanto na estação seca quanto na chuvosa. Entretanto, ao comparar propriedades privadas e logradouros, não foi possível identificar uma tendência clara, havendo um equilíbrio entre as medianas das diferentes variáveis. Isso sugere que, ao contrário do IQAN, o IQA é menos sensível às características territoriais imediatas, podendo ser influenciado por outros fatores, como a presença de poluentes pontuais ou difusos e as condições hidrológicas locais.

Os impactos do contexto urbano, especialmente aqueles relacionados à impermeabilização do solo, descarte inadequado de resíduos, retirada de águas subterrâneas, substituição da cobertura vegetal, construções, canalização de rios e formação de ilhas de calor, contribuem para a descaracterização das nascentes, além de alterarem sua vazão, reduzirem a qualidade da água e, em casos extremos, levarem ao seu desaparecimento (Felippe; Magalhães Júnior, 2009). Além disso, existem situações em que os impactos causados pela urbanização são significativos o suficiente para se tornarem irreversíveis, sobretudo quando há grande revolvimento e descaracterização do ambiente, resultando no soterramento das nascentes e no aumento da carga sedimentar (Soares *et al*., 2010).

Diante desse contexto, é possível inferir que nascentes expostas há mais tempo aos impactos associados à urbanização tendem a apresentar piores indicadores de qualidade ambiental e hídrica. O mosaico de gráficos da Figura 7-6 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e o critério de intervalo de expansão da urbanização.

Figura 7-6 – Correlação entre IQAN/IQA e intervalo de urbanização na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o IQAN, as áreas urbanizadas nos períodos mais antigos (1918 e 1935) apresentaram elevados valores de qualidade ambiental e baixa variabilidade, o que sugere que essas regiões mantiveram boas condições ambientais mesmo após décadas de ocupação urbana. Esse cenário pode estar relacionado à presença de políticas de conservação ou ao fato de se tratarem de áreas específicas que sofreram menor pressão antrópica. Em contraste, as nascentes urbanizadas entre 1950 e 1977 exibiram maior variabilidade e redução nas medianas de qualidade ambiental, o que indica uma degradação mais acentuada, possivelmente vinculada ao crescimento urbano desordenado característico desse período.

A partir de 1999, observa-se uma recuperação parcial da qualidade ambiental, com maior concentração dos dados e medianas mais elevadas. Já os dados de 2017 apresentam ampla dispersão, refletindo a coexistência de áreas bem preservadas e outras já impactadas pela urbanização recente. De forma geral, não houve variações significativas entre as estações seca e chuvosa, com exceção das nascentes impactadas pelo processo de urbanização recente (2007 e 2017), que apresentaram melhora na qualidade ambiental durante o período chuvoso.

Com base nesses resultados, é possível inferir, em um primeiro momento, que: nascentes localizadas em áreas urbanizadas há mais tempo tendem a apresentar qualidade ambiental mais elevada e estável; nascentes associadas aos períodos de urbanização intensa e desordenada (1950–1977) mostram pior qualidade e maior variabilidade; e nascentes mais recentes (como as de 2017) revelam uma condição mista, com sinais de conservação e degradação, o que pode refletir a heterogeneidade dos processos urbanos ainda em curso.

Esse cenário contraria a suposição de que nascentes com menor qualidade ambiental estariam, necessariamente, associadas a áreas com maior tempo de urbanização. No entanto, é importante destacar que as nascentes com maior tempo de urbanização representam apenas 11% da amostra, enquanto 77% concentram-se nos períodos de urbanização referentes aos anos de 1950 a 1999. Dessa forma, torna-se mais adequado basear a análise nas categorias com maior representatividade. No caso do critério de intervalo de urbanização, os dados mais expressivos indicam que os impactos urbanos exerceram influência negativa sobre a qualidade ambiental das nascentes com maior tempo de urbanização, especialmente daquelas afetadas durante os períodos de crescimento urbano acelerado e pouco planejado.

Em relação ao IQA, os resultados indicam, de forma geral, pouca variação entre as duas estações analisadas. Entre os anos de 1950 e 1977, período com maior número de nascentes alvo deste estudo, observou-se mediana elevada e menores intervalos de variação, o que sugere boa qualidade da água mesmo em meio à urbanização. Já para as nascentes mais antigas, os valores de IQA também se mantiveram altos, indicando que, apesar da longa ocupação urbana, a qualidade da água não foi severamente comprometida.

Os remanescentes dos biomas presentes no município de Belo Horizonte, os quais consistem em fitofisionomias pertencentes aos biomas Cerrado e Mata Atlântica, podem refletir as condições naturais das áreas onde se localizam as nascentes analisadas (Scolforo; Carvalho; Oliveira, 2008). Existem tipos de espaços verdes na cidade, como parques florestais e urbanos, que ainda abrigam fragmentos da flora nativa e da biodiversidade faunística local (Magalhães, 2013).

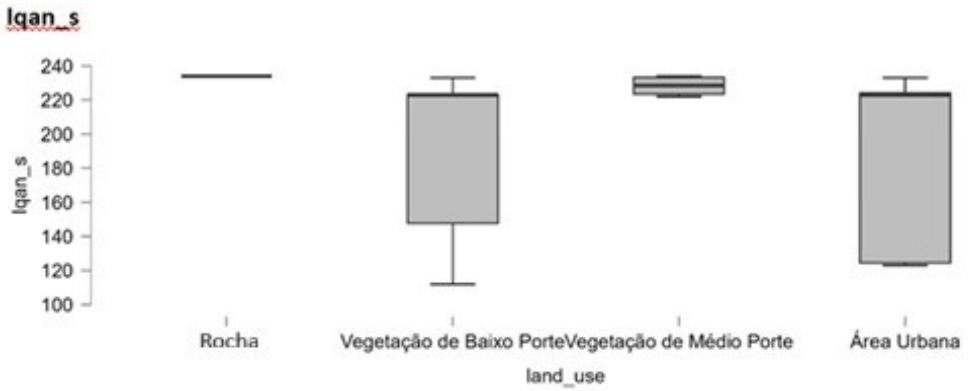
Nascentes presentes fora de áreas protegidas e que mantêm cobertura vegetal remanescente tendem a apresentar maior resiliência frente aos impactos provocados pela expansão urbana. Contudo, esses sistemas ainda podem sofrer degradação ambiental e perda na qualidade da água quando há alterações nas áreas de recarga e nos ambientes naturais de infiltração em seu entorno. A substituição da vegetação nativa por usos da terra incompatíveis com as características

ecológicas da região compromete diretamente a integridade das nascentes, desencadeando processos de degradação progressiva (Marmontel; Rodrigues, 2015).

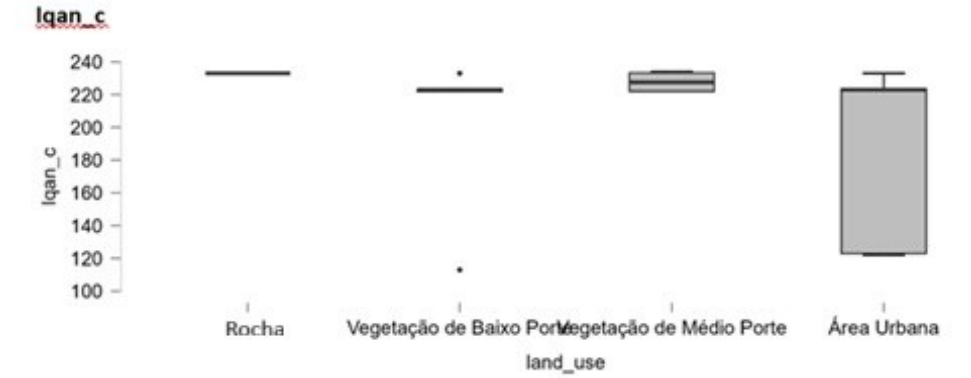
Dessa forma, o uso e ocupação da terra nas imediações da nascente faz-se como critério essencial para a avaliação da qualidade ambiental e hídrica desses sistemas. Além disso, o critério de uso e ocupação da terra, neste estudo, é considerado uma análise de caráter microscópico, pois contempla as condições locais e *in situ* das nascentes. O mosaico de gráficos da Figura 7-7 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e o uso e ocupação da terra nas áreas de ocorrência das nascentes trabalhadas.

Figura 7-7 – Correlação entre IQAN/IQA e uso e ocupação da terra na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).

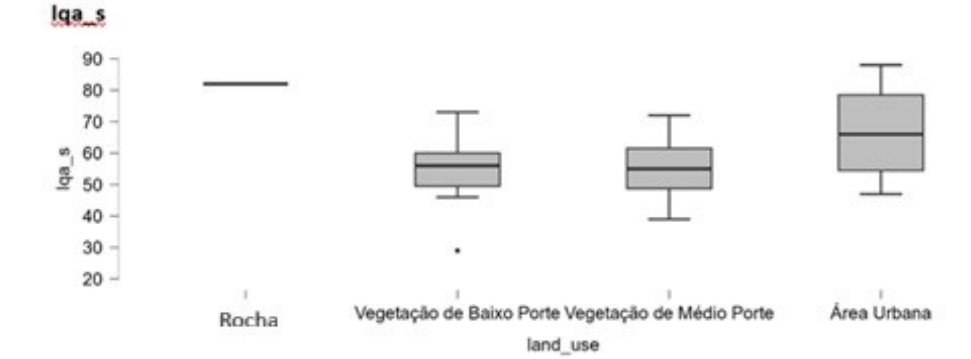
a)



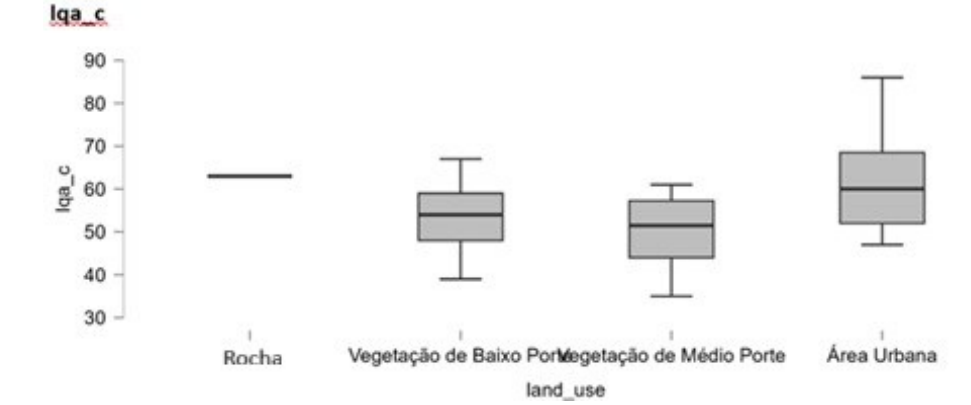
b)



c)



d)



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao IQAN, observou-se que as variáveis de uso e ocupação da terra caracterizadas por vegetação de baixo porte, rocha e vegetação de médio porte apresentaram os maiores valores de qualidade ambiental. Embora a cobertura por rocha e vegetação de médio porte tenha demonstrado baixa representatividade na amostra, essas tipologias indicaram valores elevados de IQAN. A vegetação de baixo porte, por sua vez, apresentou uma variação sutil entre as estações seca e chuvosa, com redução no intervalo de variação durante o período chuvoso, mantendo, de forma geral, altos níveis de qualidade ambiental.

Diante desse cenário, infere-se que as nascentes situadas em áreas com uso e ocupação da terra distinto de áreas urbanas apresentaram melhor qualidade ambiental. A presença de cobertura vegetal ou de rocha, neste caso, está associada a condições mais favoráveis para a manutenção da qualidade ambiental das nascentes. Quanto à área urbana, presente em onze (11) nascentes analisadas (40,7% do espaço amostral), verificou-se grande dispersão nos resultados; no entanto, a mediana manteve-se elevada em ambas as estações, indicando que, apesar do processo de urbanização, algumas nascentes ainda preservam alta qualidade ambiental.

Por sua vez, como o IQA é composto exclusivamente por parâmetros físico-químicos e biológicos da água, ele não considera diretamente variáveis de uso e ocupação da terra. Diante desse contexto, observou-se que a mediana dos valores referentes ao uso e ocupação da terra permaneceu relativamente estável, o que sugere uma menor sensibilidade do IQA às variações nas condições locais das nascentes entre as estações analisadas.

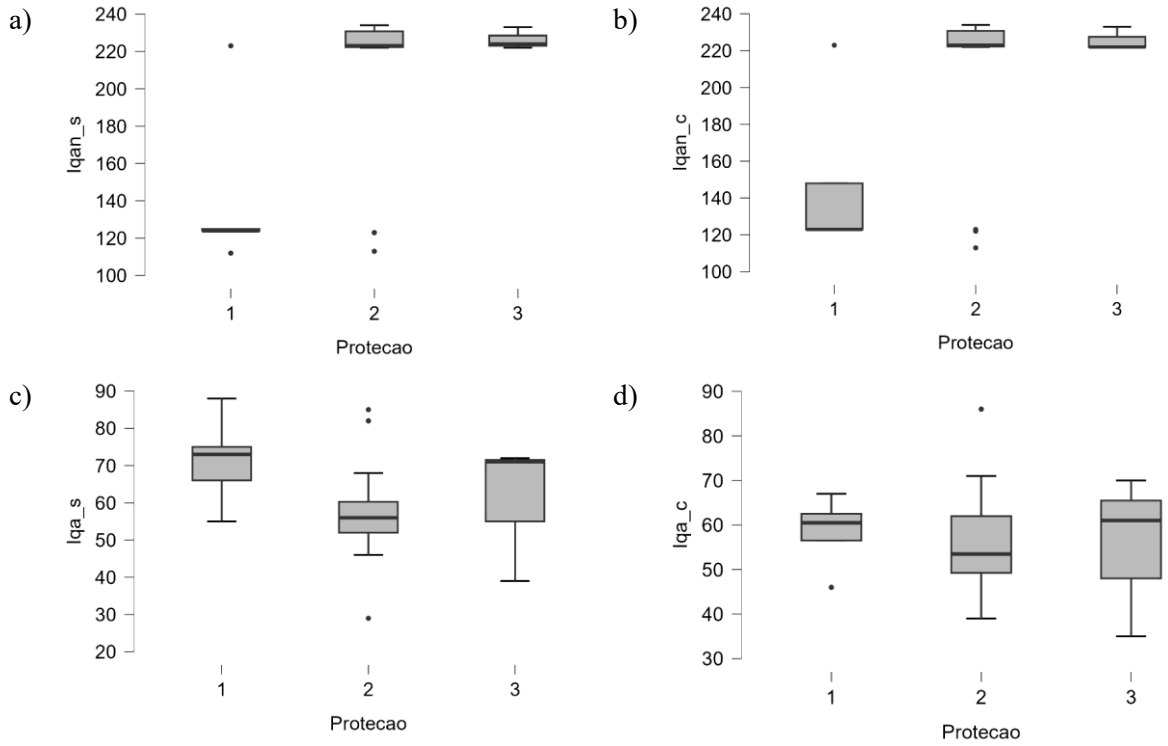
Por fim, ainda em relação a dimensão socioterritorial, os critérios de iniciativa de proteção e tipos de uso integram uma análise de caráter microscópico. Isso pode ser afirmado, porque tratam de contextos específicos relacionados ao ambiente imediato onde as nascentes estudadas estão inseridas.

Existem diferentes tipos de técnicas de preservação e recuperação de nascentes, sendo as mais comuns relacionadas à conservação do solo (plantio em curva de nível, prevenção de queimadas, plantio em consórcio, usos de restos culturais, ou também conhecido como palhada) e ao próprio cercamento de nascentes (construção de cercas, construção e manutenção do aceiro). Tratando-se de contextos urbanos, essas técnicas, geralmente, são empregadas para mitigar ou cessar impactos associados à disposição de resíduos, lançamento de efluentes, retirada da cobertura vegetal, construção de edificações próximas aos sistemas ambientais e contaminação do corpo hídrico (Conegundes, 2018).

A remoção da cobertura vegetal nas áreas em que as nascentes se encontram pode levar ao seu completo desaparecimento ou significativa redução do seu fluxo hídrico, devido ao rebaixamento do nivel freático e à consequente diminuição do fluxo superficial. A recomposição da vegetação nessas áreas tem o potencial de restaurar o corpo hídrico e seu volume, especialmente em locais anteriormente ocupados por pastagens ou atividades agrícolas. No entanto, quando o substrato natural foi submetido a alterações intensas, métodos convencionais de restauração ecológica podem se mostrar ineficazes, uma vez que o ambiente alterado pode não oferecer as condições necessárias para o desenvolvimento da vegetação. Nesse caso, é mais adequado iniciar o processo com medidas de reabilitação ecológica, que visam preparar o ambiente para, posteriormente, possibilitar a aplicação de técnicas de restauração. Por outro lado, quando o ambiente não sofreu alterações significativas em seu substrato natural, é possível aplicar diretamente estratégias de restauração, já que as condições ambientais ainda são favoráveis para recuperação (Brancalion *et al.*, 2015).

Compreende-se, assim, que ambientes voltados à preservação têm como foco principal a manutenção e o aprimoramento das condições naturais existentes, enquanto os ambientes em processo de recuperação requerem intervenções técnicas direcionadas à restauração de suas funções ecológicas. Nesse contexto, a implementação de iniciativas de proteção torna-se essencial para garantir tanto a preservação quanto a recuperação das áreas em que se localizam as nascentes, contribuindo para a manutenção da qualidade ambiental e dos serviços ecossistêmicos potenciais associados a esses sistemas. O mosaico de gráficos da Figura 7-8 apresenta os *box-plots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e as iniciativas de proteção das nascentes trabalhadas. Os tipos de iniciativa de proteção discriminam-se da seguinte forma: 01 (inexistência de proteção por parte do governo ou da população), 02 (existência exclusiva de iniciativa de proteção por parte do governo ou da população) e 03 (existência de proteção, tanto por parte do governo, quanto por parte da população).

Figura 7-8 – Correlação entre IQAN/IQA e iniciativa de proteção na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao IQAN, observou-se que as nascentes localizadas em áreas mais protegidas apresentaram, de maneira consistente, valores elevados de qualidade ambiental, enquanto aquelas situadas em áreas menos protegidas apresentaram valores mais baixos. Durante a estação chuvosa, foi registrado um aumento na variabilidade dos valores de IQAN para as nascentes menos protegidas, o que sugere uma maior instabilidade ambiental nesse período. No entanto, mesmo com essa variação ampliada, a mediana dessas nascentes permaneceu baixa, indicando que o nível de proteção continua sendo um fator determinante para a qualidade ambiental. De forma geral, não foram observadas diferenças significativas entre as estações do ano, mantendo-se altos os valores de IQAN nas nascentes mais protegidas em ambas as estações.

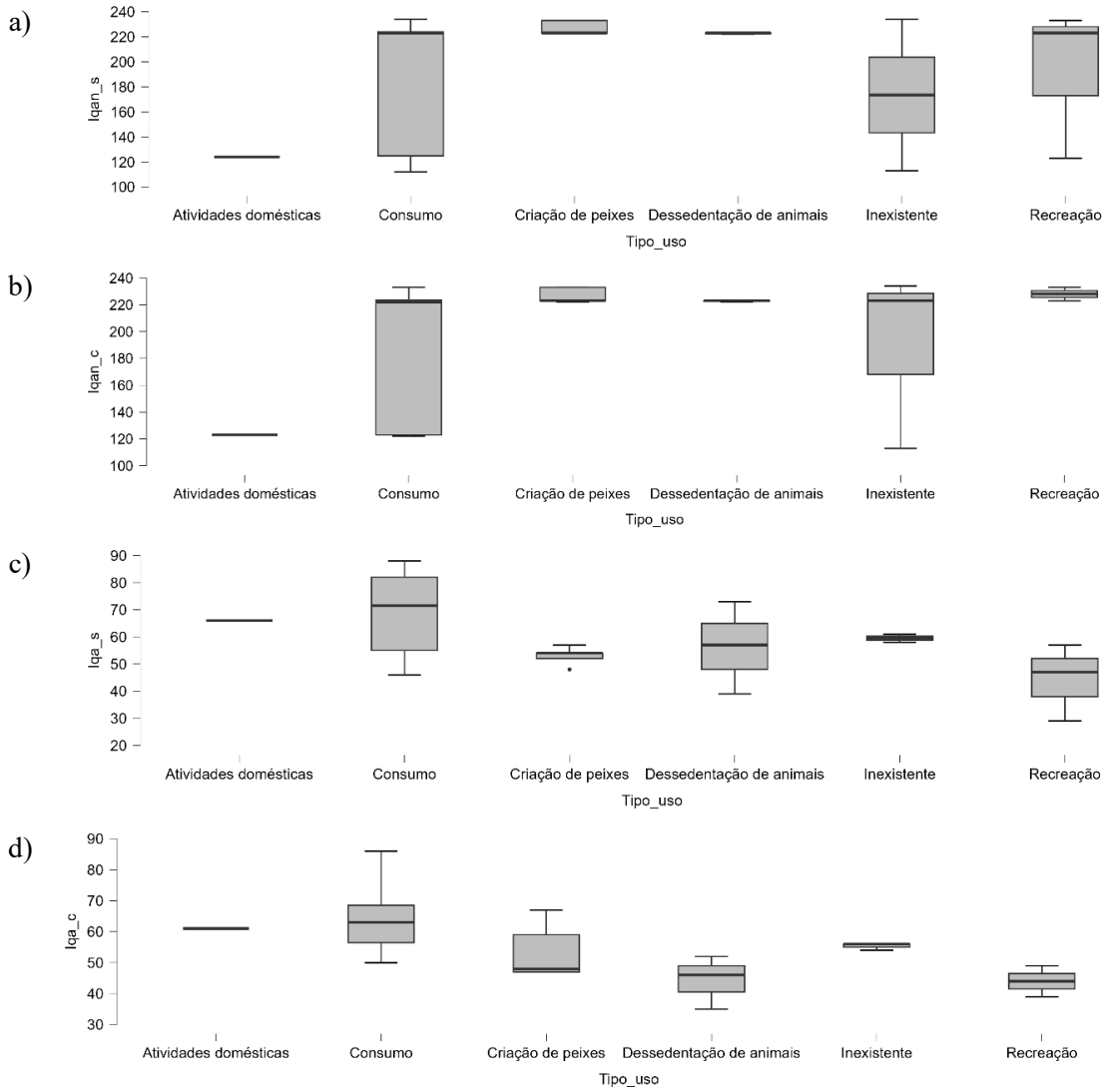
No que diz respeito ao IQA, tanto as nascentes mais protegidas quanto aquelas com menor grau de proteção apresentaram, de modo geral, valores relativamente altos em ambas as estações do ano. Ainda que a mediana do IQA tenha sido mais elevada nas nascentes com maior nível de proteção, sugerindo uma tendência à melhor qualidade hídrica nessas áreas, observou-se também maior amplitude nos valores para essa mesma categoria. Isso indica que, mesmo em áreas protegidas, há variabilidade considerável na qualidade da água, possivelmente influenciada por fatores pontuais ou sazonais. Dessa forma, os resultados apontam que o IQA

apresenta menor sensibilidade às condições do entorno imediato das nascentes, não sendo um indicador suficiente, por si só, para avaliar o grau de proteção ambiental. Essa limitação reforça a importância de associar o IQA a outros indicadores, como o IQAN, que demonstrou maior capacidade de refletir os efeitos das condições ambientais locais sobre a qualidade das nascentes.

Em relação aos tipos de uso, é importante compreender que a proteção de uma nascente não deve, por si só, estar condicionada aos usos a ela atribuídas. Essa perspectiva se alinha à concepção biocêntrica, segundo a qual a natureza possui um valor intrínseco e não deve ser preservada apenas em função de sua utilidade, principalmente, para fins humanos (concepção antropocêntrica). Nesse sentido, o biocentrismo defende a independência dos sistemas naturais frente a valores instrumentais, reconhecendo que a natureza deve ser protegida por seu próprio valor intrínseco (Oliveira, 2017).

Ao se levantar os tipos de uso associados às nascentes analisadas nesta pesquisa, é fundamental destacar que a ausência de usos não determina o grau de importância ou de "nobreza" desses sistemas ambientais. No entanto, considerando-se o contexto urbano, onde a população coexiste com tais sistemas, a presença de usos pode refletir a percepção de importância atribuída pela comunidade àquela nascente. Assim, o mapeamento de usos está mais relacionado à forma como a população se apropria e valoriza esses ambientes do que à sua funcionalidade em si. O mosaico de gráficos da Figura 7-9 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e os tipos de uso mapeados para as nascentes trabalhadas.

Figura 7-9 – Correlação entre IQAN/IQA e tipo de uso na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

No que diz respeito ao IQAN, observou-se que os usos associados ao consumo humano, criação de peixes, dessedentação de animais e recreação apresentaram medianas elevadas em ambas as estações analisadas, indicando melhor qualidade ambiental das nascentes vinculadas a esses tipos de uso. Em contraste, as atividades domésticas se destacaram por apresentarem as menores medianas nas duas estações, sugerindo possível associação entre esse tipo de uso e condições ambientais menos favoráveis. O uso para consumo, apesar de apresentar um intervalo de variação mais amplo, manteve a mediana elevada, sinalizando que, embora existam oscilações nos dados, a qualidade ambiental, de modo geral, permanece alta nesses casos. Na estação chuvosa, observou-se um aumento na mediana da classe “inexistente” (nascentes sem usos associados), enquanto o intervalo de variação para recreação sofreu redução, mantendo, ainda assim, uma

mediana alta, o que sugere estabilidade da qualidade ambiental mesmo com menor dispersão dos dados.

Em relação ao IQA, não foram identificadas alterações significativas entre as duas estações, com a mediana permanecendo relativamente constante entre todas as classes de uso analisadas. Destaca-se, no entanto, o uso para consumo, que apresentou a maior mediana em ambas as estações. Não obstante, adotando-se o resultado mais conservador entre as duas estações analisadas (seca e chuvosa), nota-se que a maioria das nascentes que conferem consumo como tipo de uso, indicaram resultado médio para o IQA, somente duas nascentes (NC03 e NC24) indicaram resultado bom para a qualidade da água.

7.2 Dimensão ambiental

No que diz respeito aos critérios de geologia, pedologia, condição de naturalidade, tipo de exfiltração e sazonalidade, não foi possível identificar correlações significativas. As variáveis associadas a esses critérios não apresentaram oscilações relevantes nas medianas e a quantidade reduzida de nascentes enquadradas nas categorias analisadas comprometeu a representatividade de parte dos dados.

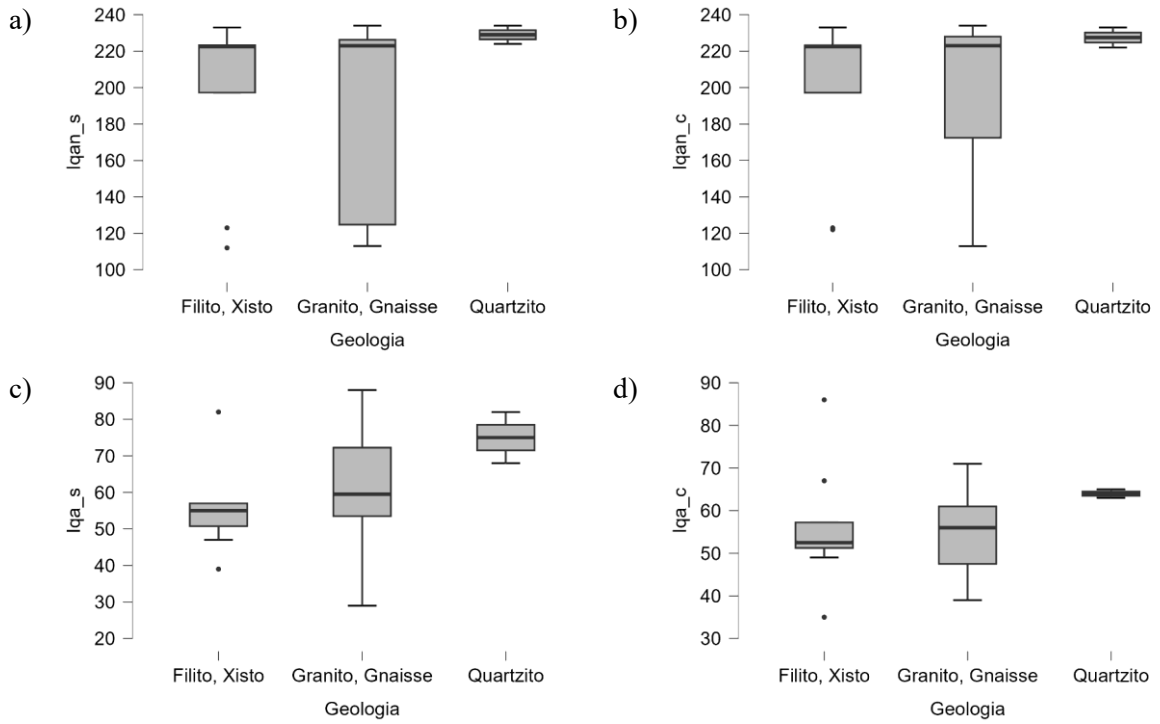
No caso específico da pedologia, não foi possível estabelecer correlações, devido à ausência de estudos mais detalhados na área de estudo e à predominância de classes genéricas de solos. Assim, com o intuito de não gerar interpretações distorcidas ou imprecisas, optou-se por não incluir o critério pedológico na análise das variações de qualidade ambiental e da água das nascentes investigadas.

Em relação ao contexto geológico, as propriedades físico-químicas da água das nascentes refletem condições naturais do ambiente, determinadas pela origem e natureza geológica do aquífero. Nesse sentido, é importante destacar que a qualidade ambiental e hídrica das nascentes não deve ser atribuída exclusivamente às características geológicas, uma vez que essas compõem aspectos naturais consolidados do meio físico.

Ainda assim, as propriedades do material geológico influenciam variáveis como o tempo de residência da água no aquífero, bem como o tempo de reação geoquímica com minerais e matéria orgânica presentes no substrato (Prado *et al.*, 2005.). Dessa forma, embora a natureza geológica do aquífero exerça influência sobre as características físico-químicas da água, ela não é, isoladamente, um fator determinante para compreender padrões de qualidade ambiental ou

hídrica das nascentes. O mosaico de gráficos da Figura 7-10 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e o contexto geológico das nascentes estudadas.

Figura 7-10 – Correlação entre IQAN/IQA e geologia na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

No que se refere ao contexto geológico das nascentes analisadas, observou-se que os domínios litológicos com maior representatividade foram as formações de granito-gnaisse e filito-xisto. Embora o quartzito tenha apresentado menor representatividade (apenas 7% do espaço amostral), essa litologia registrou as maiores medianas de qualidade ambiental nas duas estações avaliadas. Por outro lado, o granito-gnaisse apresentou o maior intervalo de variação dos dados, com uma mediana semelhante à do filito-xisto. De forma geral, todas as unidades geológicas analisadas apresentaram medianas de IQAN relativamente próximas, indicando certa homogeneidade nos resultados quanto à influência do substrato geológico sobre a qualidade ambiental das nascentes.

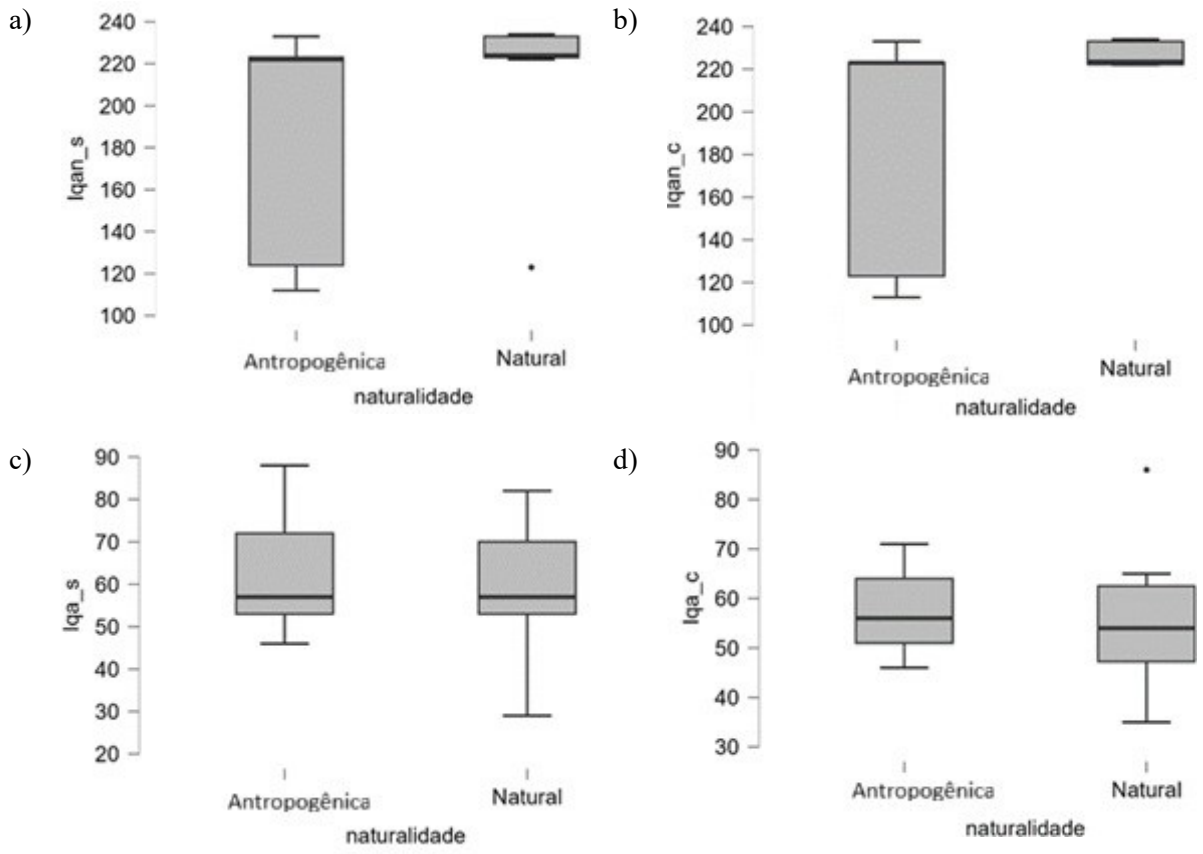
Em relação ao IQA, houve maior variação nas medianas entre as diferentes litologias. Ainda assim, o quartzito manteve-se como a unidade geológica com os maiores valores medianos nas duas estações. O granito-gnaisse apresentou novamente o maior intervalo de variação e uma

mediana semelhante à do filito-xisto, sugerindo que, apesar das diferenças nas formações geológicas, os padrões de qualidade hídrica tendem a ser semelhantes entre os tipos mais comuns na área de estudo.

A origem das nascentes pode estar relacionada tanto a processos naturais quanto a intervenções antrópicas que resultaram na formação desses sistemas ambientais e, assim, elas podem ser classificadas como de origem natural ou antropogênica. O critério de naturalidade, relativo à origem da nascente, pode influenciar diretamente sua qualidade ambiental. Embora a condição de naturalidade não impeça que a água da nascente exfiltre com as características físico-químicas associadas à sua origem, ela pode estar vinculada a modificações típicas de ambientes urbanos. Nessas áreas, intervenções como a remoção ou deposição de materiais interferem no equilíbrio do lençol freático, criando superfícies artificialmente alteradas e rede de fluxos distintos das condições naturais. Tais transformações podem comprometer a dinâmica de exfiltração e afetar a qualidade ambiental das nascentes.

Além disso, ainda são escassos os estudos que abordam as consequências das intervenções antrópicas na morfologia do terreno e sua relação com a formação de nascentes. Pesquisas nessa área são fundamentais para compreender os novos estados do relativo equilíbrio hidrológico decorrentes da origem de nascentes antropogênicas. Nesse contexto, o aprofundamento das investigações sobre a interferência dessas nascentes na dinâmica fluvial pode contribuir para identificar os limiares ambientais afetados por sistemas ambientais formados sob condições específicas, distintas das nascentes de origem natural (Felippe *et al.*, 2014). O mosaico de gráficos da Figura 7-11 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e a condição de naturalidade das nascentes estudadas.

Figura 7-11 – Correlação entre IQAN/IQA e condição de naturalidade na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao IQAN, observou-se que as nascentes de origem antropogênica apresentaram medianas elevadas, porém com ampla variação nos valores, indicando maior heterogeneidade nas condições ambientais associadas. As nascentes de origem natural também exibiram valores altos, ainda que com menor representatividade na amostra. De modo geral, não foram identificadas oscilações significativas entre as estações seca e chuvosa, tampouco uma tendência clara de associação entre os níveis de qualidade ambiental e o tipo de origem das nascentes.

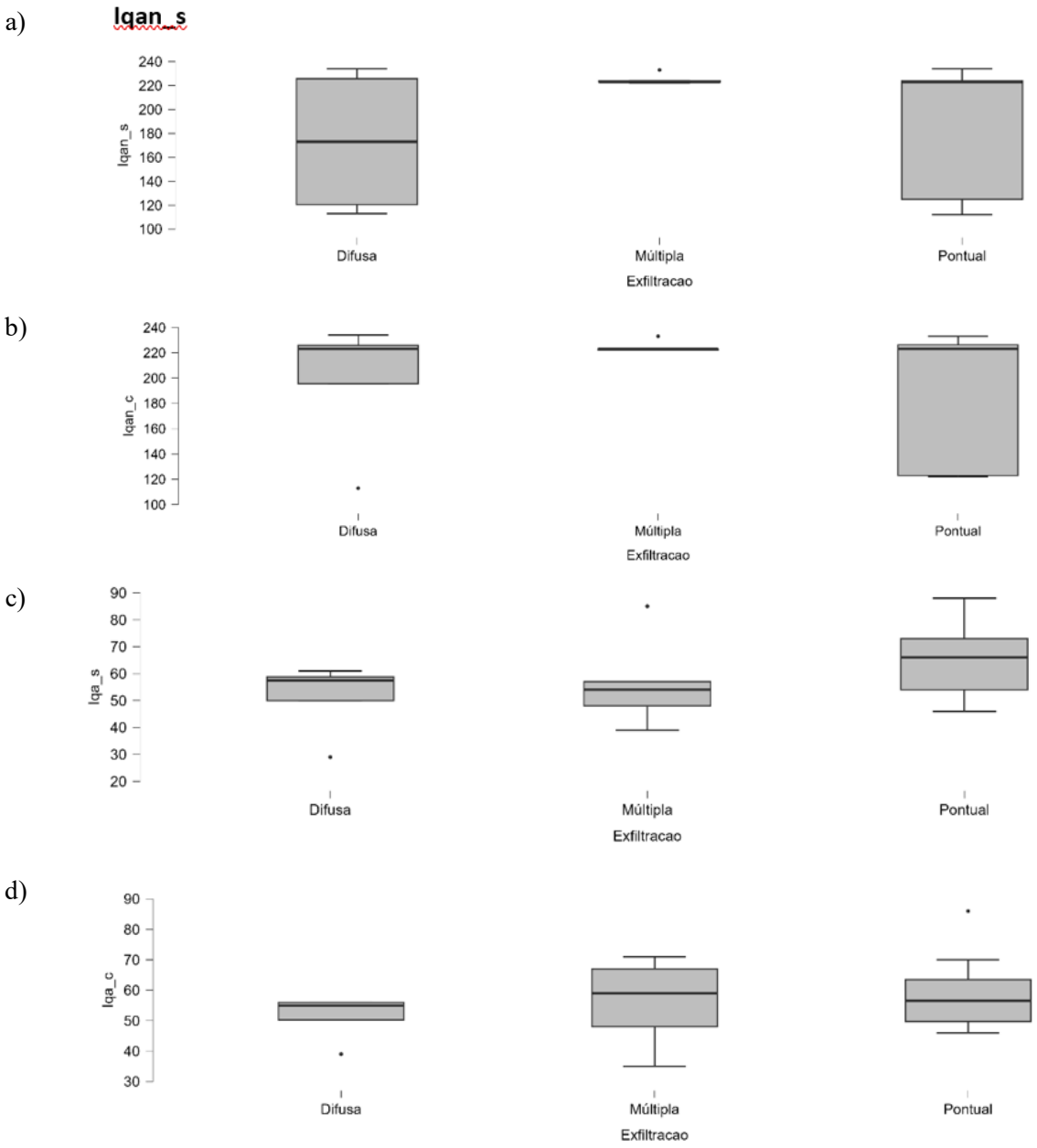
Quanto ao IQA, os resultados seguiram uma tendência semelhante. As medianas e os intervalos de variação se mantiveram relativamente estáveis entre as estações analisadas para ambos os tipos de nascente (natural e antropogênica), não indicando predomínio de uma condição de origem sobre a outra em relação à qualidade hídrica. Esses resultados sugerem que o fator "condição de naturalidade" isoladamente não se mostra determinante para a qualidade ambiental e da água para as nascentes estudadas.

O tipo de exfiltração de uma nascente está diretamente relacionado ao contexto ambiental, sendo determinado, sobretudo, pelas estruturas litológicas e pelas diferenças de pressão que

orientam a forma como a água emerge à superfície (Felippe, 2009). Assim, a forma de exfiltração, por si só, não condiciona a qualidade ambiental ou hídrica da nascente, tampouco serve como indicativo de maior ou menor grau de conservação do ambiente.

É importante destacar que, quando intervenções antrópicas criam condições que favorecem o surgimento de fluxos hídricos conectados à rede de drenagem, ocorre o que se classifica como nascentes antropogênicas (Felippe *et al.*, 2014). Independente da condição de naturalidade de uma nascente, o modo como a água exfiltra, seja de forma pontual, difusa ou múltipla, por exemplo, pode ser resultado tanto de processos naturais quanto de alterações provocadas pela ação humana. O mosaico de gráficos da Figura 7-12 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e o tipo de exfiltração das nascentes estudadas.

Figura 7-12 – Correlação entre IQAN/IQA e tipo de exfiltração na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

No que se refere ao IQAN, as formas de exfiltração do tipo pontual e múltipla apresentaram medianas elevadas nas duas estações do ano, refletindo boas condições ambientais. As exfiltrações pontual e difusa se destacaram por exibirem maior amplitude de variação dos dados em ambos os períodos. No caso da exfiltração difusa, observou-se uma variação mais acentuada durante a estação seca, com uma mediana superior no período chuvoso. Essa oscilação pode estar relacionada à maior retenção de sedimentos e matéria orgânica na estação seca, em decorrência da menor frequência de chuvas, o que favorece o acúmulo desses materiais em áreas com exfiltração mais dispersa.

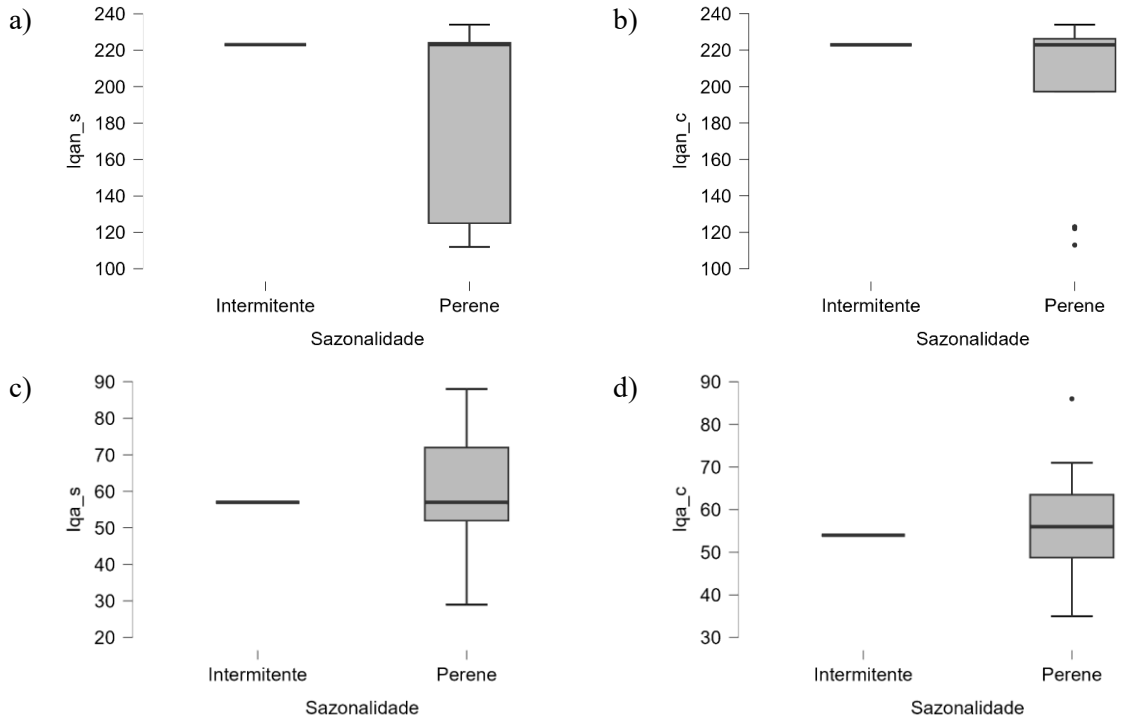
Em relação ao IQA, as medianas permaneceram relativamente estáveis entre os diferentes tipos de exfiltração, sugerindo que esse fator, isoladamente, não constitui um determinante direto da qualidade hídrica. Ainda assim, a exfiltração pontual apresentou a mediana mais alta durante a estação seca, enquanto a múltipla se destacou na estação chuvosa, ambas associadas às maiores amplitudes de variação em seus respectivos períodos.

Considerando que os campos de reconhecimento foram realizados durante o período seco, observou-se uma maior representatividade de nascentes perenes. A presença de corpo hídrico no período de seca indica uma continuidade do fluxo, o que favorece sua identificação também durante a estação chuvosa, quando há aumento do escoamento subterrâneo decorrente da infiltração das águas pluviais (Felippe; Magalhães Júnior, 2015). Diante desse contexto, as nascentes intermitentes tiveram baixa representatividade, correspondendo a apenas 7% do espaço amostral.

Tratando-se de contextos urbanos, os impactos associados à impermeabilização do solo, ao descarte inadequado de resíduos e às alterações na paisagem podem comprometer a vazão e a qualidade da água das nascentes, podendo, em casos mais severos, levar ao seu desaparecimento. A modificação do regime de uma nascente pode ser agravada por interferências antrópicas; entretanto, a identificação e confirmação dessas alterações requerem um processo contínuo de monitoramento e controle do sistema ambiental (Felippe; Magalhães Júnior, 2009; 2015).

Algumas nascentes podem se tornar móveis em razão do rebaixamento do nível freático, causado pela interrupção do contato entre o nível freático e a superfície. Essas nascentes móveis são caracterizadas pela variação das áreas de exfiltração, que passam a depender das oscilações do nível freático (Felippe; Magalhães Júnior, 2015). Em certos contextos, a exfiltração pode cessar completamente quando não há mais áreas de contato entre o lençol freático e a superfície. Embora essas alterações possam estar relacionadas a ações antrópicas, a sazonalidade, isoladamente, não representa um indicativo direto de melhor ou pior qualidade ambiental ou hídrica das nascentes. O mosaico de gráficos da Figura 7-13 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e a sazonalidade das nascentes estudadas.

Figura 7-13 – Correlação entre IQAN/IQA e sazonalidade na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

No que se refere ao IQAN, observou-se baixa representatividade das nascentes intermitentes na amostra, o que limita uma análise mais conclusiva para esse grupo. Ainda assim, as nascentes perenes apresentaram maior amplitude nos dados, especialmente na estação seca, embora ambas, perenes e intermitentes, tenham mantido medianas elevadas nas duas estações do ano. Na estação chuvosa, o intervalo de variação das nascentes perenes foi reduzido, mas a mediana permaneceu alta.

Em relação ao IQA, as medianas entre os diferentes regimes de sazonalidade foram relativamente semelhantes nas duas estações, com destaque para a estação seca, em que se registrou uma mediana ligeiramente mais elevada. Além disso, as nascentes perenes apresentaram maior variação nos dados (amplitude) em ambas as estações.

Por fim, os critérios de geomorfologia, condição de naturalidade e situação apresentaram indícios de correlação com os índices analisados, sendo a geomorfologia correlacionada apenas ao IQA, e a condição de naturalidade e forma, exclusivamente ao IQAN. A seguir, são apresentados os resultados desses critérios.

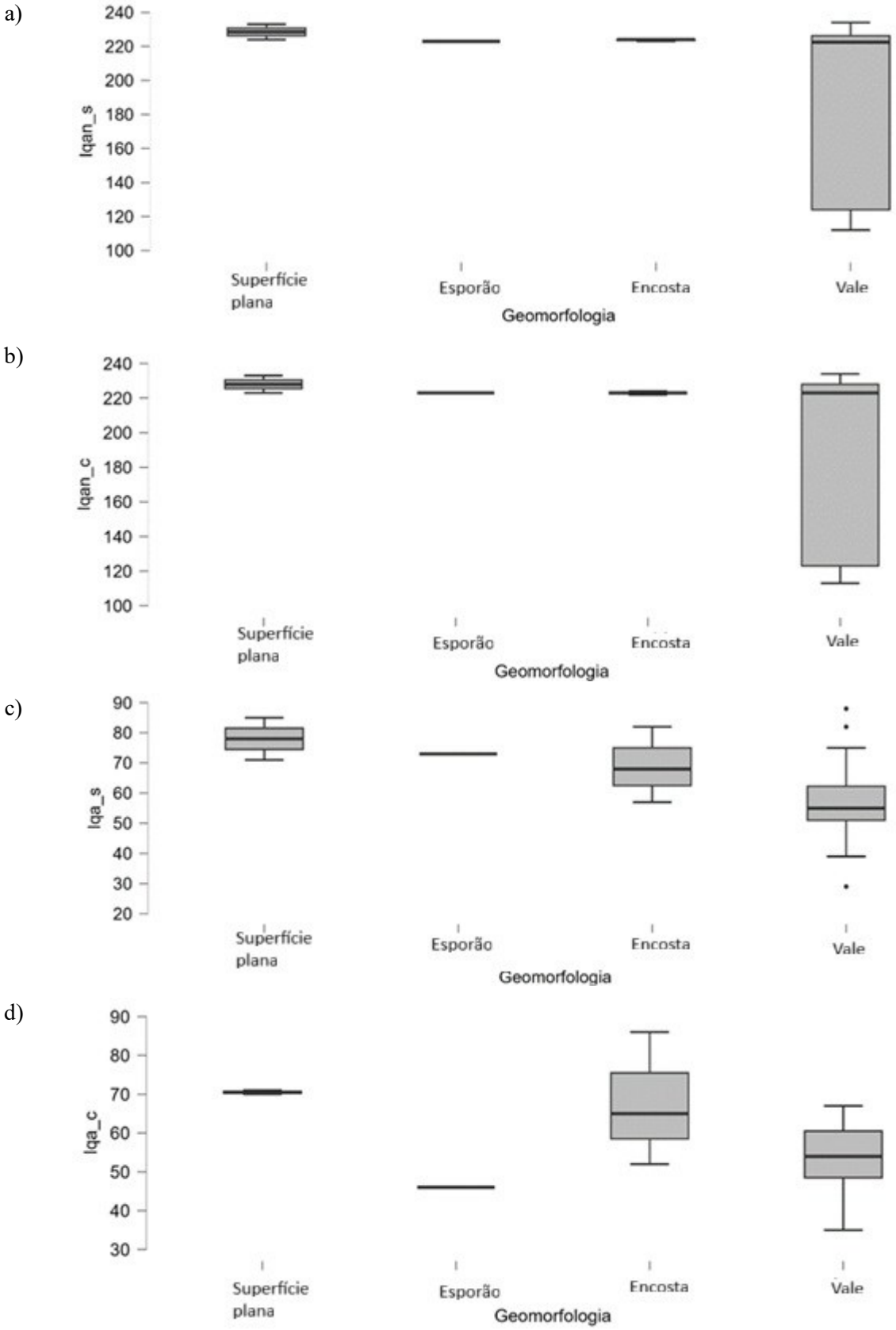
Compreendida como critério do contexto físico, a geomorfologia das nascentes analisadas foi avaliada com base nas formas de vertente onde esses sistemas ambientais se encontram. É importante considerar a geomorfologia em escala de microforma, pois ela estrutura diretamente o funcionamento desses sistemas ambientais (Felippe, 2013). Em áreas urbanas, a compreensão da topografia da vertente adquire ainda mais relevância, uma vez que o processo de transformação da superfície, muitas vezes abrupto, pode modificar significativamente a configuração original do terreno.

Considerar o critério geomorfológico em uma escala ampla, no sentido de abranger o município de Belo Horizonte como um todo, por exemplo, não permite captar as variações específicas das microformas que influenciam diretamente o comportamento das nascentes. Desse modo, é necessário tratar sobre as formas da vertente, as quais podem interferir diretamente na dinâmica de exfiltração da água. Entre essas formas, têm-se, por exemplo, vertentes com conformações côncavas, as quais tendem favorecer exfiltrações do tipo difusa ou múltipla, em função da presença recorrente de mantos de intemperismo rasos, os quais facilitam esse padrão de escoamento (Felippe, 2013).

Além disso, o tipo de vertente pode influenciar os processos de exfiltração em termos de sua renovabilidade, uma vez que formas erosivas estão associadas à retirada, transporte e deposição de sedimentos (Felippe, 2013). O tempo e a intensidade desses processos impactam diretamente a capacidade de renovação da exfiltração, preservando águas de nascentes mais recentes ou antigas. Assim, sobretudo em contextos urbanos, a forma da vertente pode influenciar significativamente a qualidade hídrica, afetando as propriedades físicas e químicas da água.

O tipo de vertente exerce influência sobre os processos de exfiltração, especialmente no que diz respeito à sua capacidade de renovação. A intensidade da atuação de processos erosivos é condicionada pela forma da vertente, e, está diretamente associado à remoção, transporte e deposição de sedimentos, processos que, dependendo de sua intensidade e frequência, impactam diretamente a capacidade de renovação da água exfiltrada. Nesse sentido, vertentes que favorecem uma renovação mais rápida tendem a apresentar águas mais recentes. Dessa forma, sobretudo em ambientes urbanos, a conformação da vertente pode impactar significativamente a qualidade da água, refletindo-se nas suas propriedades físicas e químicas. O mosaico de gráficos da Figura 7-14 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e a geomorfologia das nascentes estudadas.

Figura 7-14 – Correlação entre IQAN/IQA e geomorfologia da nascente na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



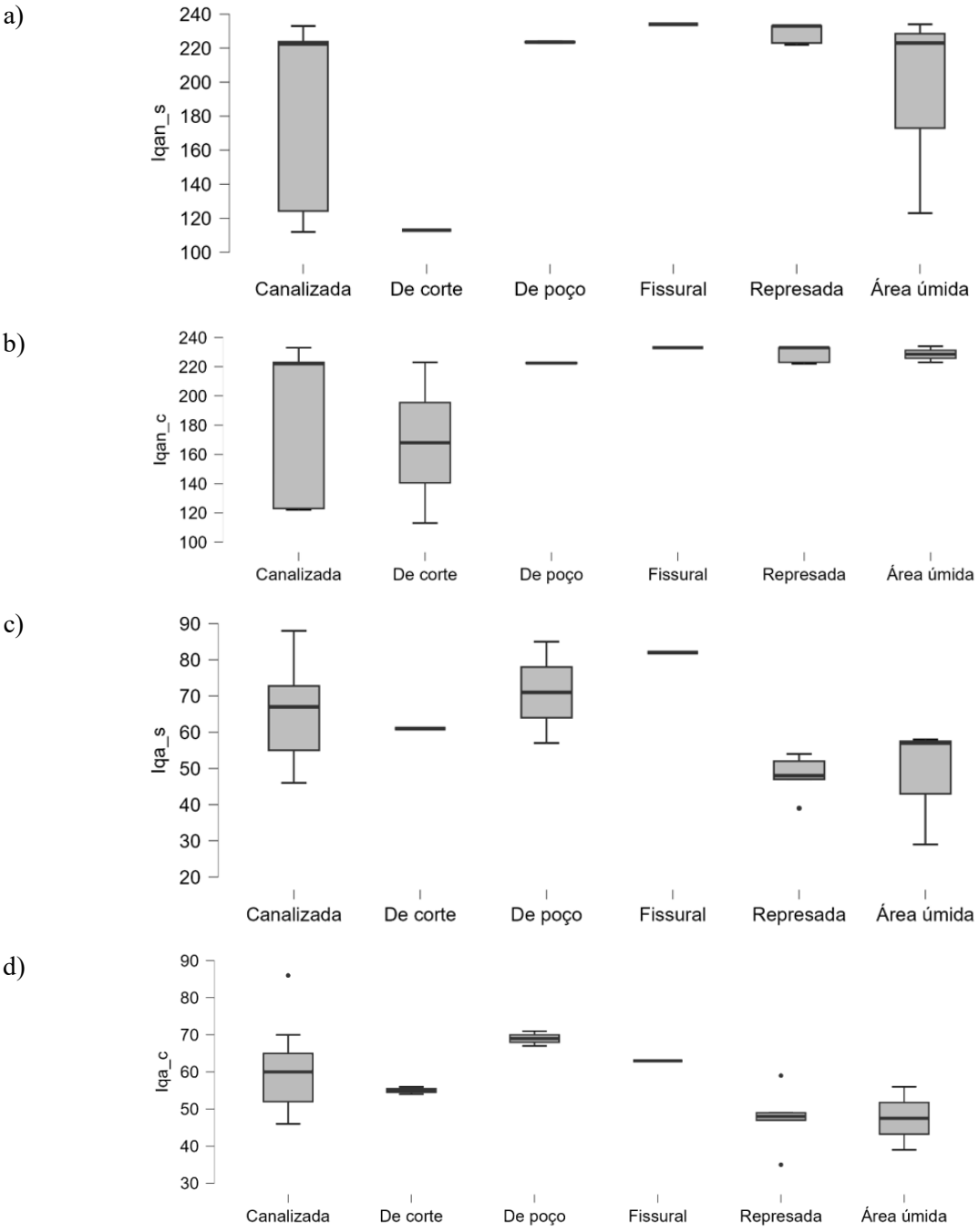
Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao IQAN, observou-se maior representatividade de nascentes localizadas em vertentes planas. As medianas dos valores obtidos mantiveram-se relativamente constantes entre as duas estações do ano, sem variações expressivas entre os tipos de vertente. Além disso, o maior intervalo de variação foi identificado nas vertentes classificadas encostas, sugerindo maior heterogeneidade ambiental para essa variável. De forma geral, para o IQAN, é possível inferir que não houve presença de correlação que indicasse tendências em relação a variação dos tipos de forma de vertentes.

No que se refere ao IQA, os dados indicaram maior oscilação entre as medianas nos diferentes tipos de vertente ao longo das estações. As vertentes planas apresentaram a mediana mais elevada no geral, embora tenham registrado a menor mediana durante o período seco. Já as vertentes do tipo esporão apresentaram a menor mediana no período chuvoso. Os maiores intervalos de variação foram verificados tanto nas vertentes de encostas quanto nas de vale, evidenciando maior variabilidade nas condições de qualidade da água associadas a essas formas geomorfológicas.

A morfologia das nascentes, ou seja, a forma física e estrutural com que elas se apresentam na paisagem, tem sofrido profundas alterações em função dos impactos decorrentes da urbanização. A ocupação desordenada do terreno, associada à expansão da malha urbana e à impermeabilização crescente do território, tem tornado cada vez mais rara a presença de nascentes inseridas em contextos compatíveis com suas condições naturais de preservação (Felippe, 2009). Orientadas por uma lógica de canalização e retificação dos cursos d'água, as intervenções urbanas alteram significativamente a dinâmica dos sistemas hídricos, promovendo variações na energia dos fluxos e nos padrões de alimentação e descarga das águas subterrâneas e superficiais nos rios. Tais modificações comprometem diretamente a integridade das nascentes, acarretando sua descaracterização, a redução da vazão hídrica e, em muitos casos, o seu completo desaparecimento (Felippe; Magalhães Júnior, 2009). O mosaico de gráficos da Figura 7-15 apresenta os *boxplots* que ilustram a correlação entre os índices analisados (IQAN e IQA) e a situação das nascentes estudadas.

Figura 7-15 – Correlação entre IQAN/IQA e condição da situação da nascente na estação seca (a) e chuvosa (b); e IQA na estação seca (c) e chuvosa (d).



Fonte: Elaborado pela autora.

No que se refere ao IQAN, apesar da ampla variação nos valores para a variável de formas do tipo canalizada, a mediana manteve-se elevada, indicando uma tendência geral de qualidade mais alta nesse grupo. As nascentes do tipo corte, poço e fissural foram pouco representativas na amostragem, com destaque para as nascentes de corte, que obtiveram os menores valores de IQAN, sugerindo maior vulnerabilidade à degradação. As nascentes represadas, por sua vez,

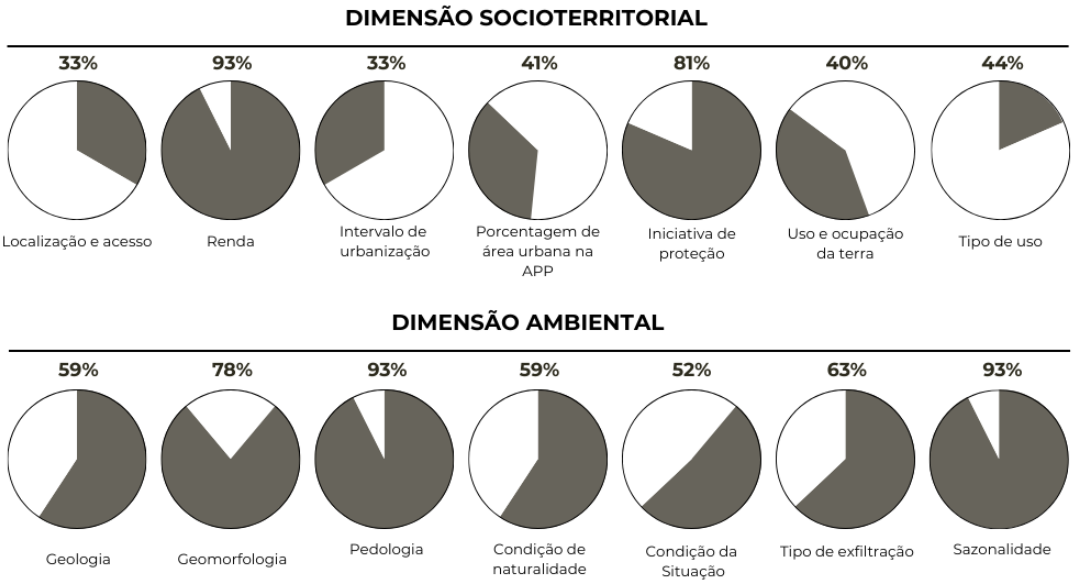
apresentaram mediana elevada, o que pode estar relacionado ao controle artificial do fluxo hídrico. As nascentes situadas em áreas úmidas apresentaram grande variação nos dados, mas ainda assim mantiveram mediana alta, o que pode refletir a resiliência natural desses ambientes. De modo geral, não foram observadas diferenças significativas entre as estações seca e chuvosa no IQAN; no entanto, destaca-se uma elevação da mediana nas nascentes fissural, represada e área úmida durante as estações analisadas.

Quanto ao IQA, as nascentes fissurais apresentaram a maior mediana entre os diferentes tipos, indicando melhor qualidade da água nessa variável. Em contrapartida, as nascentes em áreas úmidas apresentaram redução da mediana no período chuvoso, o que pode estar associado ao aumento do carreamento de materiais orgânicos e sedimentos. As nascentes de poço apresentaram menor variação entre os períodos, com intervalo mais restrito, mantendo a mediana constante, o que sugere certa estabilidade nas condições de qualidade da água nesse tipo de nascente.

7.3 Panorama das interações entre os fatores ambientais e o IQAN/IQA

Diante dos resultados obtidos das correlações entre os índices de qualidade ambiental e da água trabalhados e os critérios que compõem as dimensões socioterritorial e ambiental, é importante entender sobre o grau de representatividade de cada critério. A Figura 7-16 apresenta o percentual de domínio da variável com maior frequência relativa em relação às demais para um mesmo critério.

Figura 7-16 – Percentual de domínio da variável com maior frequência.

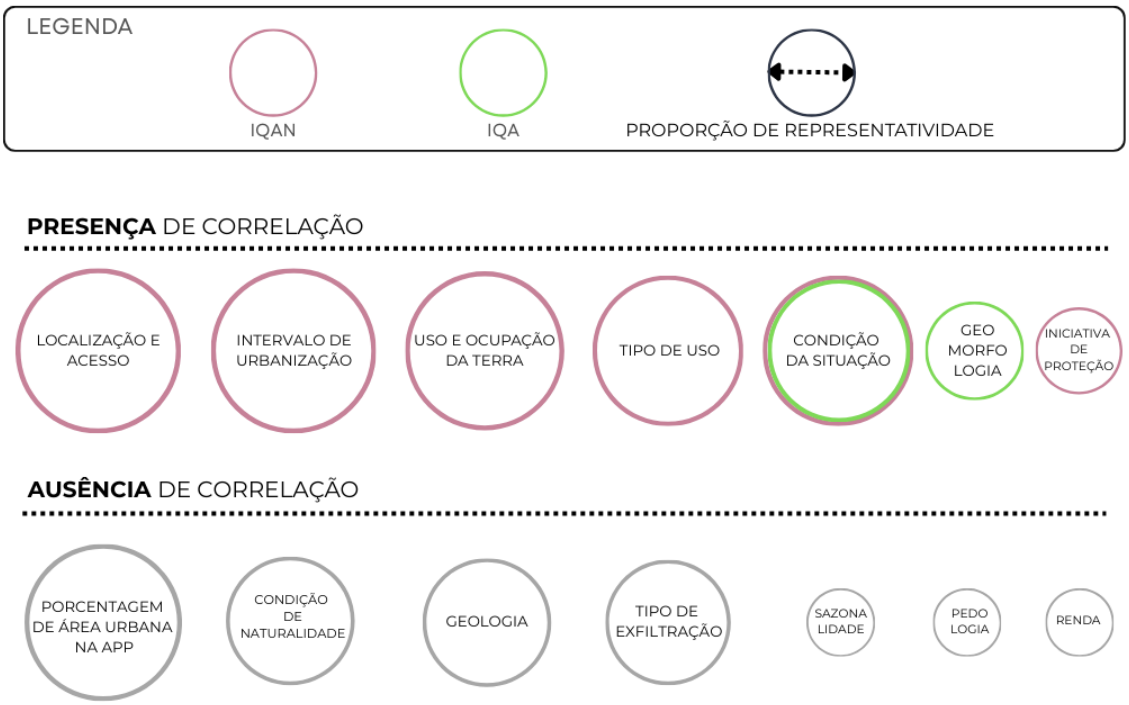


Fonte: Elaborado pela autora.

Critérios significativamente concentrados em uma única variável podem indicar uma menor capacidade representativa, uma vez que refletem baixa diversidade interna e, portanto, menor sensibilidade às variações ambientais e territoriais das nascentes. No entanto, esse padrão também pode indicar que, diante do espaço amostral distribuído e representativo do território de Belo Horizonte trabalhado nesta pesquisa, algumas variáveis podem ser de fato menos expressivas no contexto urbano analisado.

De acordo com a Figura 7-16, o critério de renda, de pedologia e de sazonalidade, os quais integram a dimensão ambiental, foram os que apresentaram menor diversidade interna, evidenciando o domínio de uma única variável em sua composição. Por outro lado, os critérios de localização e intervalo de urbanização, pertencentes à dimensão socioterritorial, demonstraram maior diversidade interna, indicando uma distribuição relativamente mais equilibrada entre as variáveis. A Figura 7-17 sintetiza quais critérios apresentaram correlação com os índices analisados, além de destacar a proporção correspondente ao critério de maior representatividade.

Figura 7-17 – Proporção de presença e ausência de correlação entre IQAN/IQA e critérios.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nos resultados de correlação, observa-se que a maior parte dos critérios que apresentaram correlação significativa está associada ao Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes. Esse padrão revela que o IQAN demonstrou maior sensibilidade às variações socioterritoriais, quando comparado ao Índice de Qualidade da Água, que apresentou correlação com apenas

dois critérios: situação da nascente (em conjunto com o IQAN) e geomorfologia (exclusivamente).

Além disso, destaca-se que os critérios correlacionados ao IQAN se concentram, majoritariamente, na dimensão socioterritorial. Entre eles, incluem-se: localização e acesso, intervalo de urbanização, uso e ocupação da terra, tipo de uso e iniciativa de proteção. Por outro lado, a ausência de correlação se concentrou entre critérios associados à dimensão ambiental, especialmente aqueles ligados às características físicas e das características ambientais das nascentes. Critérios como geologia, pedologia, sazonalidade, tipo de exfiltração, condição de naturalidade e porcentagem de área urbana na APP não apresentaram qualquer associação com os índices trabalhados. Esse cenário pode indicar que, tratando-se de contextos urbanos, os critérios associados à dimensão ambiental, isoladamente considerados, são menos determinantes para a qualidade das nascentes.

Ainda, a proporção de representatividade relacionada a cada critério evidencia sua diversidade interna e, consequentemente, seu grau de representatividade no conjunto amostral. Critérios que refletiram maior heterogeneidade entre as variáveis podem obter maior capacidade de representar a complexidade das condições ambientais e territoriais. Em contrapartida, critérios que se mostraram menos diversos, podem indicar limitação da sua eficácia como indicadores de qualidade ambiental e da água no recorte espacial analisado.

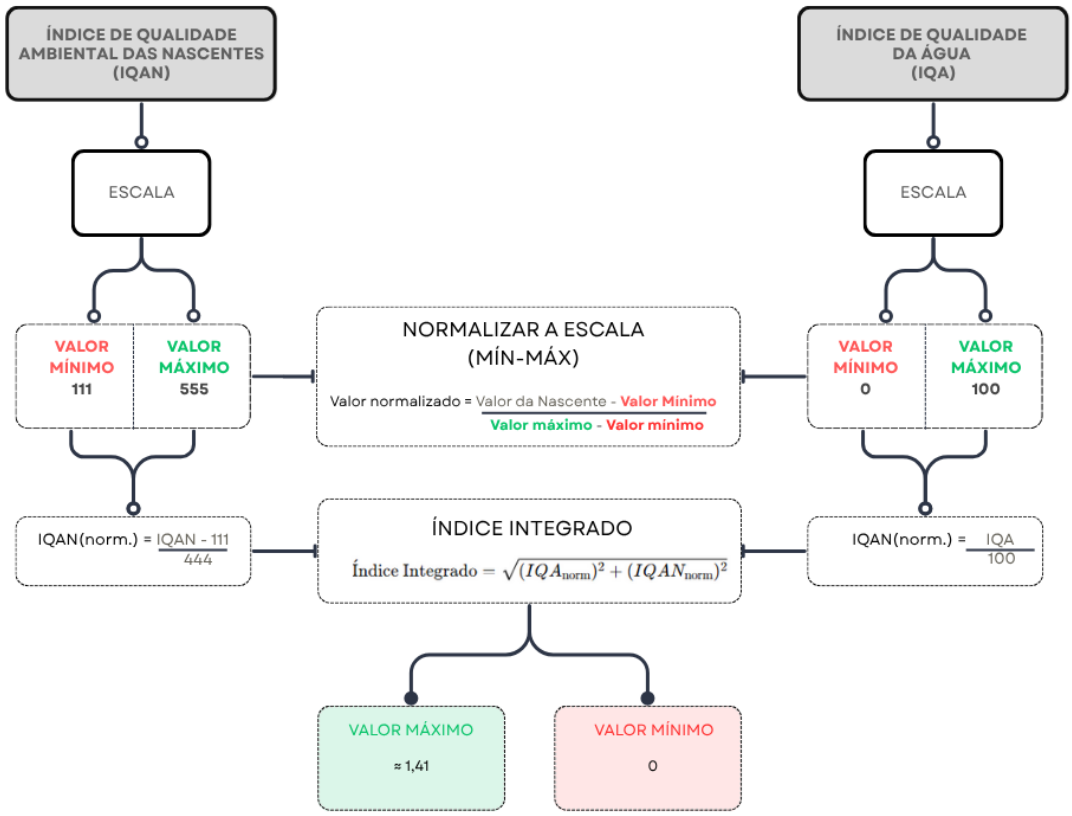
Ademais, a correlação observada para o critério de iniciativa de proteção e o IQAN sugere que ações de preservação e manejo direcionado às nascentes têm impacto direto na melhoria da qualidade ambiental. Esse dado ressalta a importância da presença de instrumentos de gestão territorial e políticas públicas voltadas à conservação de nascentes em ambientes urbanos.

De forma geral, os resultados revelam que, entre os quatorze (14) critérios avaliados, apenas sete (7) apresentaram algum tipo de correlação com os índices de qualidade ambiental e da água. Desses, a maioria (71,4%) pertence à dimensão socioterritorial, o que evidencia uma maior capacidade desses critérios de interagir com as variáveis de qualidade ambiental analisadas. Por outro lado, cerca de 71,4% dos critérios que não apresentaram correlação significativa estão associados à dimensão ambiental, especialmente a variáveis relacionadas ao contexto físico das nascentes, como geologia, pedologia e sazonalidade. Não obstante, é válido destacar que, embora as nascentes analisadas neste estudo representem um recorte específico e bem distribuído para caracterizar o quadro ambiental de nascentes em Belo Horizonte, os

resultados não podem ser generalizados para todas as nascentes do município. Nesse sentido, de forma geral, os resultados indicam que, no contexto da área urbana estudada, os critérios que compõem a dimensão socioterritorial se mostram mais influentes sobre os índices de qualidade do que os elementos naturais isolados. Além disso, observou-se que o IQA, em particular, apresentou correlação com um número ainda mais restrito de critérios, sugerindo que, apesar da abrangência da pesquisa em contemplar componentes de estado, pressão e resposta, poucos critérios demonstraram influência direta sobre a qualidade da água das nascentes.

Ademais, ainda em relação ao panorama geral sobre os resultados de IQAN e IQA das nascentes trabalhadas, foi possível integrar ambos os indicadores em um único valor representativo, capaz de expressar simultaneamente a qualidade ambiental e da água das nascentes. A Figura 7-18 apresenta o fluxograma com as etapas necessárias para o cálculo do Índice Integrado a partir dos valores normalizados de IQAN e IQA para cada nascente.

Figura 7-18 – Fluxograma do Índice Integrado.



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante do exposto, observa-se que a escala do Índice Integrado obtido a partir dos valores normalizados do IQAN e do IQA varia entre 0 e, aproximadamente, 1,41. Como essa métrica

não possui uma escala fixa predefinida, optou-se por classificá-la a partir de quartis, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 7-1 – Classificação do Índice Integrado.

ÍNDICE INTEGRADO (IQAN e IQA)	
Escala	Classificação
0 – 0,4	Crítico
0,41 – 0,80	Regular
0,81 – 1,20	Bom
1,21 – 1,41	Excelente

Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, a Tabela 7-2 apresenta os resultados obtidos em relação ao Índice Integrado de acordo com a classificação apresentada para as nascentes trabalhadas nesta pesquisa.

Tabela 7-2 –Índice Integrado das nascentes.

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	IQAN	IQA	IQAN normalizado	IQA normalizado	Índice Integrado
NC01	☀	112	55	0,00	0,55	0,30
	💧			NA[1]		
NC02	☀	222	52	0,25	0,52	0,40
	💧	122	53	0,02	0,53	0,28
NC03	☀	224	82	0,25	0,82	0,80
	💧	224	86	0,25	0,86	0,87
NC04	☀	222	39	0,25	0,39	0,28
	💧	222	35	0,25	0,35	0,25
NC05	☀	233	47	0,27	0,47	0,36
	💧	233	49	0,27	0,49	0,38
NC06	☀	233	54	0,27	0,54	0,44
	💧	233	48	0,27	0,48	0,37
NC07	☀			NA[1]		
	💧	223	54	0,25	0,54	0,42
NC08	☀	223	57	0,25	0,57	0,45
	💧	222	67	0,25	0,67	0,57
NC09	☀	234	82	0,28	0,82	0,82
	💧	233	63	0,27	0,63	0,54
NC10	☀	224	68	0,25	0,68	0,59

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	IQAN	IQA	IQAN normalizado	IQA normalizado	Índice Integrado
	💧	222	65	0,25	0,65	0,55
NC11	☀	123	29	0,03	0,29	0,09
	💧	223	39	0,25	0,39	0,28
NC12	☀	222	73	0,25	0,73	0,66
	💧	223	46	0,25	0,46	0,34
NC13	☀	223	57	0,25	0,57	0,45
	💧				NA[1]	
NC14	☀	113	61	0,00	0,61	0,37
	💧	113	56	0,00	0,56	0,31
NC15	☀	233	52	0,27	0,52	0,41
	💧	233	47	0,27	0,47	0,36
NC16	☀	124	75	0,03	0,75	0,57
	💧	123	60	0,03	0,60	0,36
NC17	☀	125	88	0,03	0,88	0,78
	💧	123	67	0,03	0,67	0,45
NC18	☀	224	72	0,25	0,72	0,65
	💧	222	61	0,25	0,61	0,50
NC19	☀	223	48	0,25	0,48	0,36
	💧	223	59	0,25	0,59	0,47
NC20	☀	222	46	0,25	0,46	0,34
	💧	223	50	0,25	0,50	0,38
NC21	☀	223	57	0,25	0,57	0,45
	💧	223	52	0,25	0,52	0,40
NC22	☀	123	55	0,03	0,55	0,31
	💧	123	52	0,03	0,52	0,27
NC23	☀	233	71	0,27	0,71	0,65
	💧	233	70	0,27	0,70	0,63
NC24	☀	224	85	0,25	0,85	0,85
	💧	223	71	0,25	0,71	0,63
NC25	☀	124	66	0,03	0,66	0,44
	💧	123	61	0,03	0,61	0,38
NC26	☀	234	58	0,28	0,58	0,48
	💧	234	56	0,28	0,56	0,46
NC27	☀	223	54	0,25	0,54	0,42
	💧	223	47	0,25	0,47	0,35

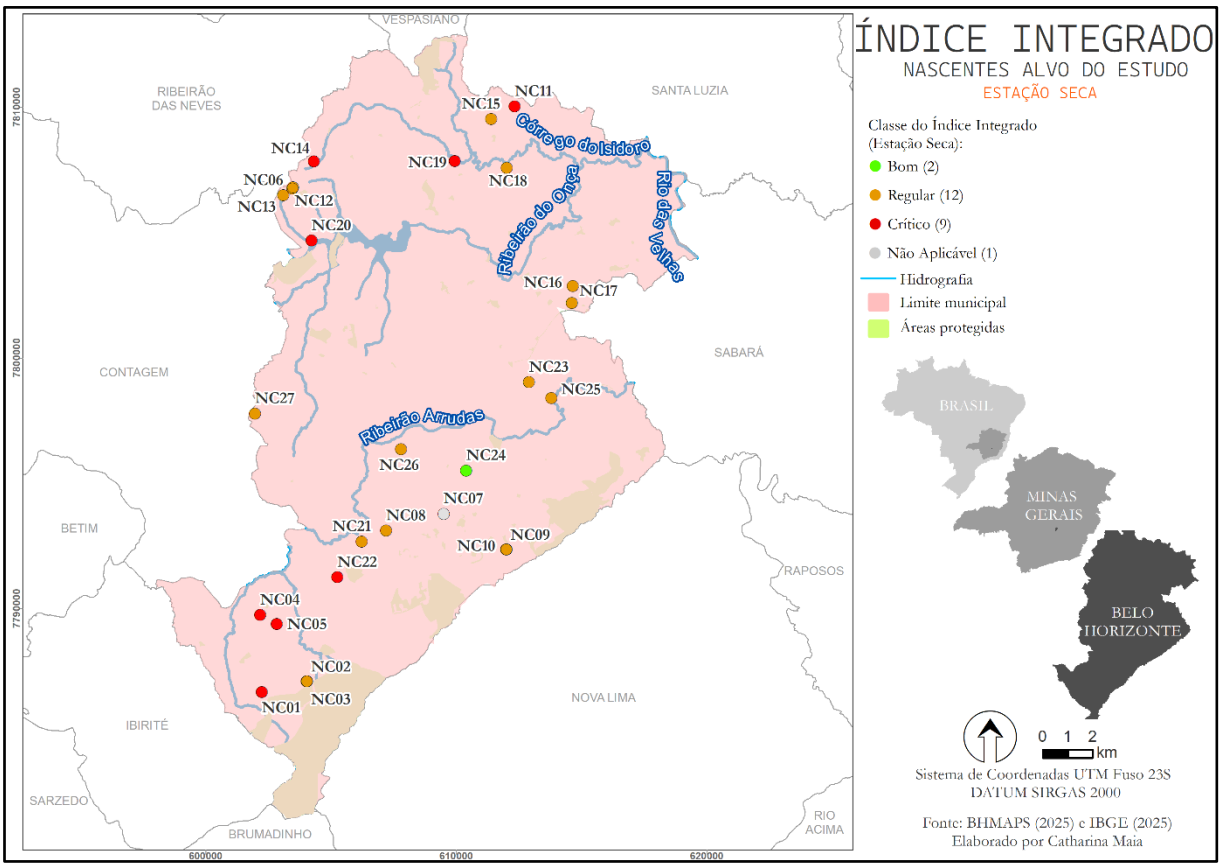
Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	IQAN	IQA	IQAN normalizado	IQA normalizado	Índice Integrado

NA[1]: Não Aplicável.

Fonte: Elaborado pela autora.

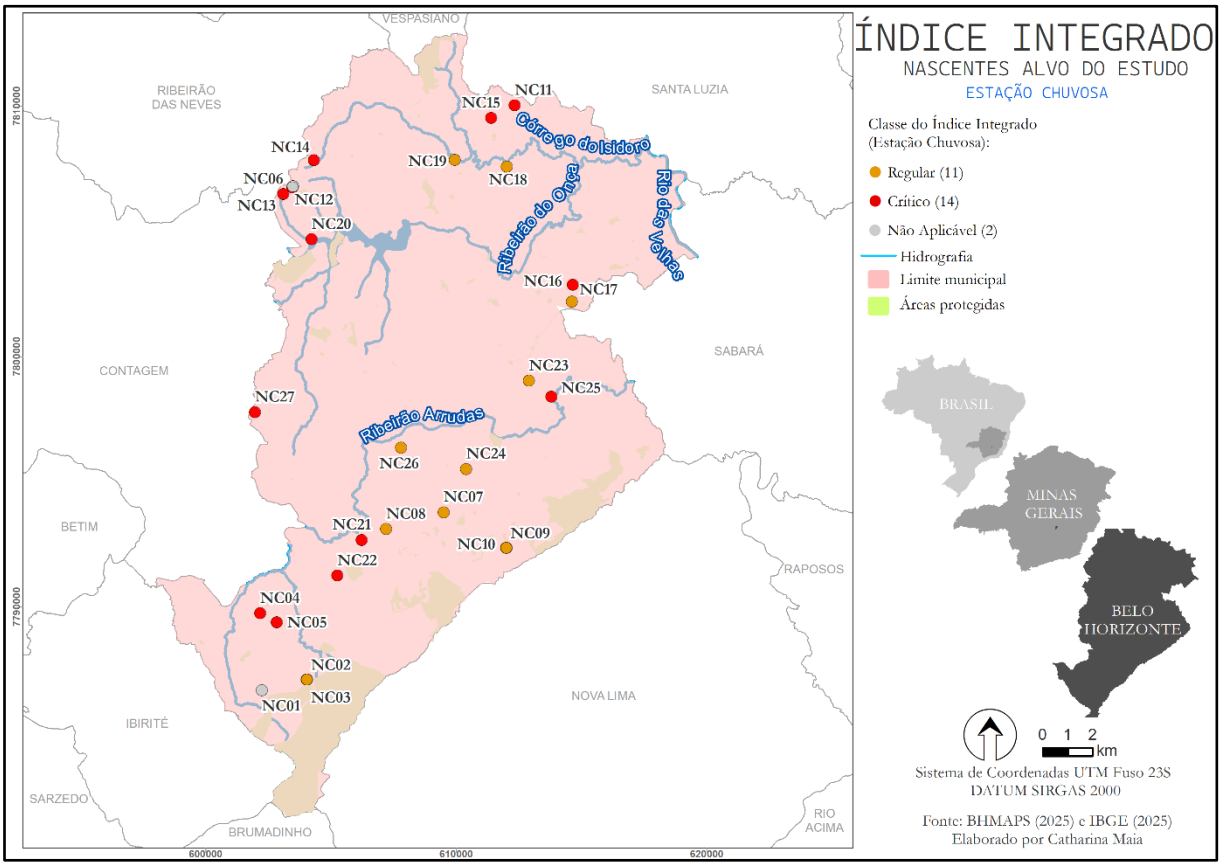
Já a Figura 7-19 e Figura 7-20 abaixo apresentam a espacialização das nascentes e respectiva classe obtida pelo Índice Integrado nas estações analisadas.

Figura 7-19 – Índice Integrado: Estação Seca.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7-20 – Índice Integrado: Estação Chuvosa.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nos resultados apresentados, verifica-se que 44,4% das nascentes foram classificadas como “Regular” na estação seca e 51,8% foram classificadas como “Críticas” na estação chuvosa, segundo o Índice Integrado. Apenas duas nascentes (NC24 e NC09), ambas na estação seca, atingiram a classificação “Bom”. Nenhuma nascente obteve valor acima de 1,21, portanto, nenhuma foi classificada como “Excelente”. É importante destacar que o Índice Integrado constitui uma abordagem complementar às análises individuais de IQAN e IQA. Ele permite uma visão mais sintética e comparativa, integrando, em uma única métrica, os aspectos ambientais e da qualidade da água. De modo geral, os resultados demonstram que, embora inseridas em áreas urbanas e fora de Unidades de Conservação e parques urbanos, as nascentes analisadas apresentam certo grau de resistência às pressões antrópicas, mantendo uma qualidade ambiental e da água medianamente equilibradas, conforme refletido pelo desempenho médio no Índice Integrado na estação seca. Por outro lado, o predomínio da classificação “Crítica” durante a estação chuvosa, abrangendo mais da metade das nascentes analisadas, pode indicar uma maior vulnerabilidade desses sistemas frente aos impactos urbanos. Esse quadro pode estar associado, principalmente, ao aumento do carreamento de materiais orgânicos, sedimentos e poluentes difusos, potencializado pelo escoamento superficial do período chuvoso.

8 NASCENTES URBANAS: REFLEXÕES E DESAFIOS DE PROTEÇÃO

Este capítulo está estruturado em duas seções. A primeira explora as percepções, principais desafios e iniciativas de proteção identificadas em relação às nascentes analisadas nesta pesquisa, com ênfase nos resultados obtidos por meio das entrevistas semiestruturadas. A segunda seção, por sua vez, apresenta e discute ferramentas que podem contribuir para a gestão e conservação de nascentes urbanas no município de Belo Horizonte.

8.1 Percepção, desafios e iniciativas de proteção sobre nascentes urbanas em Belo Horizonte

A presente seção está estruturada em dois itens, que têm como objetivo analisar os dados obtidos a partir das entrevistas semiestruturadas realizadas no âmbito desta pesquisa. O primeiro item discute percepção da população entrevistada em relação ao contexto e os diferentes tipos de uso mapeados para as nascentes localizadas fora de áreas protegidas no município. Já o segundo item, consiste em apresentar as principais iniciativas de proteção identificadas, bem como os desafios relacionados à proteção das nascentes analisadas, com ênfase nas percepções e contribuições fornecidas pelos entrevistados.

As entrevistas semiestruturadas ocorreram durante as campanhas de campo na estação seca e na estação chuvosa do ano de 2024. Ainda, as entrevistas contaram com a participação de vinte e quatro (24) pessoas, as quais podem ser identificadas pelo código, nascente-associada, perfil e modo da entrevista no Quadro 8-1 a seguir.

Quadro 8-1 – Identificação dos entrevistados.

Código	Nascente	Perfil	Modo da entrevista
E01	NC01	Reside na propriedade	Transcrita
E02	NC02 NC03	Reside no bairro há 60 anos	Gravada
E03	NC04	Reside na propriedade	Gravada
NA[1]	NC05	NA[1]	NA[1]
E04	NC06	Reside na propriedade	Transcrita
E05	NC07	Reside no bairro	Transcrita
NA[1]	NC08	NA[1]	NA[1]
E06	NC09 NC10	Reside no bairro	Gravada
E07	NC11	Reside no bairro há 20 anos	Transcrita
E08		Reside no bairro	Gravada
E09	NC12	Reside no bairro	Gravada
E10	NC13	Reside no bairro	Transcrita

Código	Nascente	Perfil	Modo da entrevista
E11	NC14	Reside no bairro há 53 anos	Transcrita
E12		Reside no bairro há 20 anos	Gravada
E13	NC15	Reside na propriedade	Gravada
E14	NC16	Reside no bairro há 50 anos	Transcrita
E15	NC17	Reside no bairro	Transcrita
E16	NC18	Reside no bairro há 40 anos	Transcrita
E17	NC19	Reside na propriedade e no bairro há 10 anos	Transcrita
E18	NC20	Reside no bairro há 40 anos	Transcrita
E19	NC21	Reside no bairro há 12 anos	Transcrita
E20	NC22	Reside no bairro há 50 anos	Gravada
E21	NC23	Reside no bairro há 50 anos	Transcrita
E22	NC24	Funcionário na propriedade há quatro (4) anos	Gravada
E23	NC25	Reside no bairro há 30 anos	Transcrita
NA[1]	NC26	NA[1]	NA[1]
E24	NC27	Reside no bairro	Transcrita
NA[1]: Não Aplicável (casos em que não foi possível realizar entrevista).			

Fonte: Elaborado pela autora.

Com objetivo de não apresentar dados pessoais e respeitando às colocações declaradas pelos entrevistados durante os trabalhos de campo, não serão apresentados o sexo e o cargo profissional ocupado pelos participantes.

8.1.1 Percepção e potencialidade de usos

Segundo Moura (2020), o primeiro passo para a proteção de nascentes é o seu reconhecimento. De acordo com os resultados obtidos, 59,3% das nascentes trabalhadas possuem acesso 100% livre, ou seja, inexiste qualquer tipo de barreira ou restrição para acessar diretamente a nascente. O principal motivo para as nascentes que possuem algum tipo de restrição de acesso deve-se ao fato de estarem localizadas em propriedades privadas. Não obstante, 90% dos entrevistados associados às nascentes que representam esse cenário indicaram que a área pode ser acessada pela população, caso for preciso. A NC26 é a única nascente considerada como sem acesso visto que a área em que esse sistema ambiental está inserido foi integralmente isolada e atualmente o único acesso possível se faz pela área de canteiro de obras a jusante da nascente. A Figura 8-1 apresenta o contexto de acesso da NC26.

Figura 8-1 – Contexto da área da nascente NC26.

Fonte: Elaborado pela autora.

Durante a primeira campanha do campo de reconhecimento de nascentes desta pesquisa, grande parte desses sistemas ambientais não puderam ser reconhecidos, porque encontravam-se em lotes privados ou em áreas integralmente inacessíveis. Ao cruzar as informações obtidas em gabinete e pelos resultados obtidos em campo, grande parte das nascentes que se enquadram nessa situação encontram-se em áreas que pertencem à prefeitura do município ou tratam-se de lotes privados. Nesse sentido, percebe-se que o município coexiste com diversas áreas onde existem nascentes, mas o acesso e o seu reconhecimento são impossibilitados para a própria população. Ainda, percebe-se que o isolamento dessas áreas, geralmente, deve-se a presença da nascente, a qual, se reconhecida, pode embargar qualquer tipo de obra frente a preservação da área em que esse sistema ambiental se insere.

Além disso, dentre as nascentes trabalhadas, houve situações em que mesmo com a possibilidade do acesso até a nascente ser livre com restrição, parte do fluxo hídrico proveniente do sistema ambiental foi canalizado propositalmente para que a população pudesse ter acesso irrestrito a água proveniente da nascente. Essa situação, especificamente, ocorreu para seis (6) nascentes alvo desta pesquisa. A Figura 8-2 ilustra alguns exemplos de nascentes que foram

canalizadas e a população passou a ter acesso irrestrito à água proveniente do sistema ambiental.

Figura 8-2 – Exemplos de nascentes canalizadas.

Fonte: Elaborado pela autora.

No que se refere aos usos identificados nas nascentes analisadas, foi possível mapear dez (10) tipos distintos de uso. Observou-se que 18,5% da amostra (correspondente a três nascentes) não apresentou nenhum tipo de uso associado. Essa ausência se deve a diferentes fatores constatados tanto em campo quanto nas entrevistas realizadas, destacando-se o desconhecimento da população sobre a existência da nascente e, principalmente, as condições ambientais atuais que inviabilizam seu uso. Essa percepção foi reforçada pelos entrevistados E08 e E12, que apontaram a degradação ou o comprometimento das nascentes como impeditivo para qualquer tipo de aproveitamento.

> Não, usa não. (...) O pessoal da prefeitura vem as vezes e limpa, (...) eu acho que de três em três meses mais ou menos. (...) Tirar o mato em volta. (...) Agora que está um pouco sem frequentar, antigamente frequentava, ficava assim o pessoal em volta. (E08, nascente- associada NC11)

> Não, ninguém usa, porque já teve algumas ideias de fazer um uso, tipo uma captação, mas diz que a Copasa não aceita também, né?! Já ouvi falar que já teve mais pra frente uma lava jato, mas a Copasa chegou e proibiu, porque também há moradores que jogavam água na rua, nos carros. (E12, nascente-associada NC14)

Alguns tipos de uso estão diretamente vinculados à presença da nascente, como é o caso do consumo, enquanto outros podem ocorrer independentemente da existência imediata do sistema ambiental. O consumo configura-se como um uso intrinsecamente relacionado à nascente, uma vez que a população utiliza diretamente a água proveniente dessa fonte para ingestão. A Tabela 8-1 apresenta os resultados do IQA para todas as nascentes nas quais o consumo foi identificado como tipo de uso.

Tabela 8-1 – IQA das nascentes utilizadas como consumo.

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	IQA	
		Valor	Classificação
NC02	☀	52	Médio
	💧	53	Médio
NC03	☀	82	Bom
	💧	86	Bom
NC09	☀	82	Bom
	💧	63	Médio
NC10	☀	68	Médio
	💧	65	Médio
NC16	☀	75	Bom
	💧	60	Médio
NC17	☀	88	Bom
	💧	67	Médio
NC18	☀	72	Bom
	💧	61	Médio
NC20	☀	46	Ruim
	💧	50	Ruim
NC22	☀	55	Médio
	💧	52	Médio
NC23	☀	71	Bom
	💧	70	Médio
NC24	☀	85	Bom
	💧	71	Bom

Fonte: Elaborado pela autora.

Adotando-se o resultado mais conservador entre as duas estações, nota-se que a maioria das nascentes apresentadas na Tabela 8-1 indicaram resultado médio para o IQA e somente as nascentes NC03 e NC24 indicaram resultado bom. Já a nascente NC20 foi a única que apontou resultado ruim para o IQA. É relevante ressaltar que esse resultado não mensura a potabilidade da água. Assim, mesmo que o sistema ambiental apresente IQA bom, não necessariamente,

indica que essa nascente é própria para consumo humano.

No que se refere ao contexto da NC20, que apresentou IQA ruim para as duas estações, essa nascente possui localização e acesso livre, localiza-se a margem da pista de caminhada/corrida na regional Pampulha em Belo Horizonte. Durante as campanhas de campo foi possível notar que a NC20 é frequentemente utilizada pela população. Pelo fato de estar próxima à área de práticas de atividades físicas, é comum perceber o uso da água da nascente para o consumo direto, para lavar as mãos e para refrescar o corpo, por exemplo. A Figura 8-3 apresenta o local em que a NC20 se encontra.

Figura 8-3 – Contexto da área da nascente NC20.

Fonte: Elaborado pela autora.

Durante as campanhas de campo notou-se que o principal fator que impulsinava o consumo direto da água da nascente foi o seu aspecto visual. A relativa transparência da água das nascentes foi relatada por muito dos entrevistados que é um fator considerável para a população consumir sem a existência de qualquer laudo químico para certificar que a água é própria para o consumo humano. Entretanto, existem diferentes propriedades químicas da água que podem não indicar mudança de cor. Assim, uma água transparente não é determinante para indicar que possui boa qualidade.

Ademais, foi relatado que, em relação às nascentes que apresentaram o consumo como tipo de uso, a população recorre à água do sistema ambiental para abastecimento hídrico em situação de racionamento ou da própria ausência de água por parte da instituição responsável pelo fornecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto. Esse quadro é o caso das nascentes NC09, NC10, NC24, NC22 e NC03 que de acordo com a Tabela 8-1, 40% apresenta IQA bom e 60% apresenta IQA médio. Essa percepção foi reforçada pelos entrevistados E06 e E20, que apontaram sobre o uso da água em caso de ausência ou racionamento de água.

> Quando falta água, quando não chega água da Copasa é para tudo. Tem gente que esquenta para tomar banho, tem gente que bebe, tem gente que lava a roupa. Então é para tudo praticamente. (...) No mais, é só para lavar roupa, lavar tênis, é mais praticado ali, mas quando falta água todo mundo pega para beber, para tomar banho. Tem gente que não bebe, mas tem gente que prefere comprar, mas tem gente que bebe também. (...) Ali geralmente eles fecham, sobem ali e todo mundo brinca. (E06, nascente-associada NC09 e NC10).

> Os meninos bebem, os cachorros bebem, pessoal fica lá e vem cá beber água, usa pra consumo (...) Eles só pegam aí para lavar vasilha, fazer comida (...) porque não tem reservatório de água, quando acaba, as vezes fica um dia sem água aí você o pessoal pegando água aí. (E20, nascente-associada NC22).

Para os possíveis tipos de usos da água, o CONAMA, por meio da Resolução nº 357/2005, estabeleceu as classes de enquadramento para os corpos de água superficiais. Essas classes têm como objetivo indicar o nível de qualidade exigido da água conforme o tipo de uso pretendido, uma vez que diferentes usos demandam padrões distintos de qualidade (Brasil, 2005). A Figura 8-4 e Figura 8-5 apresentam o *ranking* das classes de enquadramento definidas pelo CONAMA, associando cada uso às exigências específicas de qualidade da água.

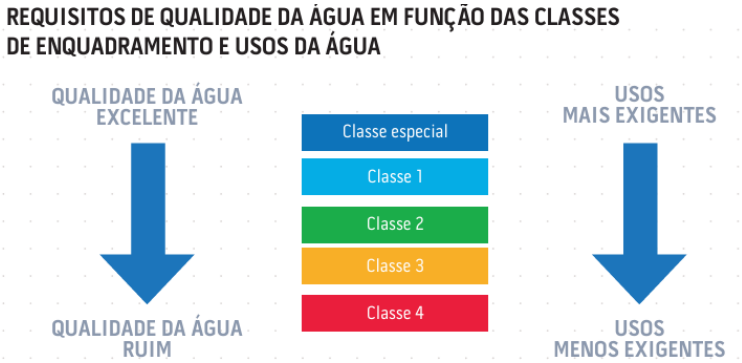
Figura 8-4 – Classes de enquadramento conforme tipo de uso.

CLASSES DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS DE ÁGUAS DOCES, SALOBRAS E SALINAS, SEGUNDO OS USOS A QUE SE DESTINAM

USOS DAS ÁGUAS DOCES	CLASES DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Classe mandatória em Unidades de Conservação e Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação do contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para o consumo humano	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional avançado	
Recreação do contato secundário					
Pesca					
Irrigação		Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção da película	Hortaliças, Frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

Figura 8-5 – Requisito da qualidade da água conforme tipo de uso.



Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

Compreender o enquadramento dos usos da água estabelecido pelo CONAMA é fundamental para analisar os diferentes tipos de uso identificados nas nascentes investigadas nesta pesquisa. Essa análise permite avaliar quais usos demandam maior qualidade da água e, portanto, podem ser considerados mais "nobres" em função das exigências associadas. O Quadro 8-2 apresenta as classes de qualidade requeridas para cada tipo de uso mapeado, conforme os critérios estabelecidos pela referida resolução.

Quadro 8-2 – Classes de qualidade da água conforme tipo de usos mapeados.

TIPO DE USO	CLASSE DE ENQUADRAMENTO
Paisagismo	Especial, 1, 2, 3 e 4
Recreação (contato primário)	Especial, 1 e 2
Recreação (contato secundário)	Especial, 1, 2 e 3
Consumo	Especial, 1, 2 e 3
Criação de peixes	Especial, 1, 2 e 3
Lavagem de automóvel	Especial, 1, 2 e 3
Dessedentação de animais	Especial, 1, 2 e 3
Atividades domésticas	Especial, 1, 2 e 3
Irrigação	Especial, 1, 2 e 3
Descarte de material	Especial, 1, 2, 3 e 4
Educação ambiental	Especial, 1, 2, 3 e 4

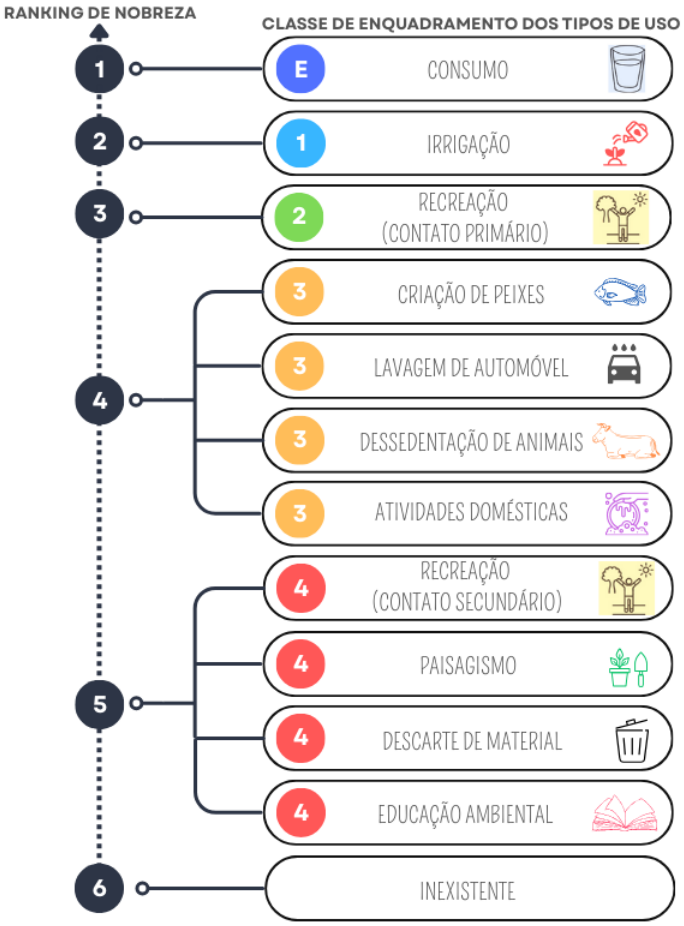
Fonte: Elaborado pela autora.

Para os usos relacionados à lavagem de automóveis e às atividades domésticas, foram adotadas as mesmas classes de qualidade da água exigidas para irrigação, uma vez que se tratam de atividades que demandam o uso direto da água, com exceção do consumo humano direto. Da

mesma forma, os usos associados ao descarte de materiais e à educação ambiental foram enquadrados nas mesmas classes exigidas para o paisagismo, considerando que não envolvem o uso direto da água da nascente, especialmente para fins de consumo.

Além disso, entre os usos mapeados, foi possível estabelecer um ranking com base na classe menos restritiva exigida para sua viabilidade, ou seja, considerando o nível mínimo de qualidade da água necessário para que determinada atividade possa ser realizada. Nesse sentido, o consumo se destaca como o uso mais exigente, visto que, mesmo na classe mais restritiva, há a necessidade de que a água passe por processo de desinfecção. A Figura 8-6 apresenta o ranking de "nobreza" dos usos identificados, com base na classe máxima de qualidade exigida, evidenciando a variação de exigência em relação à qualidade da água nas nascentes analisadas.

Figura 8-6 – *Ranking* de nobreza conforme o tipo de uso.

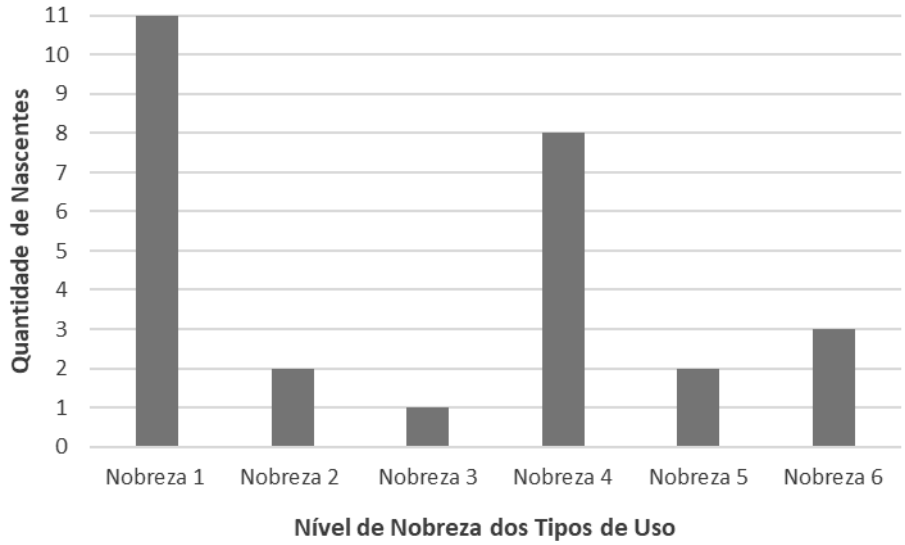


Fonte: Elaborado pela autora.

Diante do exposto, o Gráfico 8-1 apresenta a quantidade de nascentes de acordo com o nível de nobreza. É importante destacar que esse nível é determinado com base no uso que exige a classe mais restritiva de qualidade da água. Assim, no caso de uma nascente que apresenta múltiplos

usos, por exemplo, consumo e paisagismo, considera-se o nível de nobreza equivalente ao uso mais exigente, ou seja, nesse caso, o consumo, classificado como nível 1 por demandar maior qualidade da água e, portanto, representar o uso mais nobre.

Gráfico 8-1 – Quantidade de nascente conforme nível de nobreza.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o Gráfico 8-1, a maioria dos usos identificados está associada ao nível 1 de nobreza, correspondendo a 40,7% do espaço amostral. Esse nível reflete o uso mais exigente em termos de qualidade da água, uma vez que envolve o consumo direto da nascente, estabelecendo uma relação estreita com a presença da fonte hídrica. Em seguida, destaca-se o nível 4, que abrange oito (8) nascentes, representando o segundo grupo mais frequente. Esse cenário revela, por um lado, uma predominância de sistemas ambientais que demandam alta qualidade da água para o uso pretendido e, por outro, uma parcela significativa de nascentes associadas a atividades com baixa exigência hídrica, muitas das quais podem ser realizadas sem contato direto com a água.

Todos os entrevistados consideram positiva a presença da nascente foco da entrevista. De acordo com as respostas obtidas, 25% dos participantes não apresentaram justificativas do porquê a presença da nascente é positiva. Essa ausência de justificativa pode ser atribuída, em parte, ao desconhecimento sobre o conceito, as funções e os possíveis usos associados às nascentes, demonstrado por alguns entrevistados. Ainda, é válido ressaltar que em relação a falta de justificativa também se fez pelo fato de entrevistados terem conhecimento sobre o sistema ambiental e seus possíveis usos, porém, não atrelam a nascente direta e unicamente ao uso, ou seja, independente dos usos que ela possa fornecer, a presença desse sistema ambiental é positiva.

> Enriquecedor. Era para ser aqui e era para ser para essa comunidade, porque nós já tivemos nascentes aqui próximo que, por falta de cuidado, elas se perderam. Então, essa está aqui porque era para ser para a gente e a gente tenta cuidar o máximo que pode (E02, nascente-associada NC02 e NC03).

> Acho que é muito legal, água para mim é um dom precioso, sem água a gente não vive. (...) Eu uso, uma economia boa, né?! Que eu faço (E03, nascente-associada NC04).

> Para os imóveis parece que a nascente atrapalha, mas eu vejo como uma solução que para o nosso país, quantas nascentes nosso país perde? E nós temos aqui uma gratuita aqui, as vezes passando aqui. (...) E a noite vejo aqui canto de sapo e agora as vezes há um descuido do poder público do morador. Sempre teve as nascentes aqui e tem outras nascentes ocultas dentro de casa (E12, nascente-associada NC14).

> É super positivo, eu acho que é super positivo. Acho que não por causa de gasto e nem nada, eu acho que está protegida aqui mesmo e é ruim porque não tem como mais as outras pessoas aproveitarem, mas acho isso bacana de ter uma nascente aqui e é cuidada, né? (...) Futuramente, nunca se sabe o que que pode acontecer (E22, nascente-associada NC24).

Em relação aos entrevistados que apontaram a presença positiva da nascente com justificativas, foram ressaltados os seguintes argumentos:

- Relação de pertencimento da nascente com o local,
- Consumo,
- Recreação,
- Paisagismo,
- Pelas possibilidades de uso,
- Irrigação,
- Acesso livre, e
- Preservação.

Dentre os oito (8) argumentos apresentados, somente três (3) não estão associados ao uso da nascente. Além disso, dentre as justificativas apresentadas, o consumo foi o argumento mais indicado. As justificativas de “relação de pertencimento da nascente com o local” e “acesso livre” indicam que a presença da nascente está associada ao contato socioambiental por promover certa interação entre a população e a nascente. No entanto, a maioria dos argumentos apresentados baseia-se em usos potenciais das nascentes. Dessa forma, é possível observar que, de maneira geral, os entrevistados percebem a importância da nascente principalmente por seus possíveis usos, embora também tenham sido apresentados argumentos que ressaltam a relevância do sistema ambiental por outras variáveis, além da utilidade direta para a população.

8.1.2 Iniciativas e riscos à proteção

Em relação às medidas adotadas diante das alterações potenciais nas nascentes, a maioria dos entrevistados afirmou desconhecer qualquer iniciativa de proteção voltada à nascente de interesse. Entre os participantes, 37,5% não apresentaram justificativas para a inexistência dessas ações. Contudo, entre aqueles que justificaram, prevaleceram relatos de que já houve tentativas de implementação de melhorias, as quais, por razões não esclarecidas, não foram mantidas, resultando na interrupção dessas iniciativas.

> Não, não vi ainda iniciativa não. Eu já vi assim (...) comentários (...), mas não teve uma ação unificada e coesa de decisão para fazer isso aqui. Eu acho que o Brasil precisa muito é de pesquisadores e ouvir a voz dos pesquisadores (E12, nascente-associada NC14).

> Aqui não tem iniciativa de nada. Na rua aqui a prefeitura, porque fez esse asfalto aqui e nunca mais voltou aqui. Nem pra fazer capina, nem nada (...). Copasa para vir aqui é uma luta. Cemig então, nem se fala. (...) Aqui todo aqui para nós se torna difícil (E20, nascente-associada NC22).

Já em relação às nascentes em que os entrevistados indicaram que conhecem iniciativas de proteção, a grande maioria dos participantes indicou que as iniciativas são voltadas para a limpeza da área em que a nascente se insere. Esta ação consiste, geralmente, em serviços de capina e/ou remoção de material de descarte. Ademais, foram relatadas iniciativas de reformas, como construção de lagos, e de plantio.

> De vez em quando eu varro ali e aí vem todo mundo me ajudar, catar o lixo, outro dia um carro catou tudo aí, ele vai movendo eles aí (...) preservar né, deixar as árvores aqui, não sei se você conhece o jenipapo, é muito legal... é um fruto que não é... é mais do norte ne? (...) quando ela tá no ponto ela cai, porque se você apanhar do jeito que ela tá lá, ela apodrece, é uma fruta que tem um cheiro muito forte, quando cai coloco naquele galão e o pessoal depois vem apanhar (E09, nascente-associada NC12).

> O que a gente faz aqui, a gente mantém né? o mato cortado, mas você pode observar que a gente mantém o mato cortado. As árvores, a gente mantém elas né? É que o a gente faz para poder preservar, porque a gente sabe que precisa das árvores para poder manter a nascente, então a gente faz essa preservação aí, faz a limpeza constante na área para poder manter a nascente aí (E13, nascente-associada NC15).

A seguir, a Tabela 8-2 apresenta o resultado dos índices de qualidade da água e da qualidade ambiental para as nascentes que apresentaram algum tipo de iniciativa de proteção.

Tabela 8-2 – IQAN e IQA das nascentes com iniciativa de proteção.

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	IQAN	IQA
NC04	☀	222	39
	💧	222	35
NC06	☀	233	54
	💧	233	48
NC11	☀	123	29
	💧	223	39
NC12	☀	222	73
	💧	223	46
NC15	☀	233	52
	💧	233	47
NC18	☀	224	72
	💧	222	61
NC19	☀	223	48
	💧	223	59
NC21	☀	223	57
	💧	223	52
NC23	☀	233	71
	💧	233	70
NC27	☀	223	54
	💧	223	47

Fonte: Elaborado pela autora.

Adotando-se o resultado mais conservador entre as duas estações, nota-se que a maioria das nascentes apresentadas na Tabela 8-2 indicaram resultado ruim para o IQA e resultado médio para o índice de qualidade ambiental. A nascente NC11 foi a única a apresentar um resultado ruim tanto para o índice de qualidade da água quanto para o índice de qualidade ambiental. Desse modo, é possível compreender que as iniciativas de proteção impactaram os resultados da qualidade ambiental da nascente, contudo, a qualidade hídrica apresentou resultado crítico para a maioria das nascentes. Dentre as iniciativas identificadas, 70% das ações são realizadas pelos próprios moradores. No entanto, é importante destacar que, dentro desse percentual, 42,8% correspondem a nascentes situadas em propriedades privadas. Vale ressaltar também que a maioria das nascentes com iniciativas de proteção são sistemas ambientais localizados em logradouros, os quais dependem diretamente de ações individuais ou coletivas dos moradores para garantir a conservação da área onde a nascente está inserida.

Ademais, para as nascentes que possuem iniciativas de proteção, 50% dos entrevistados

percebem que existem ameaças para a proteção da nascente, como é o caso das nascentes NC06, NC11, NC12, NC19 e NC21. Dentre essas nascentes, somente duas são de origem antropogênica. Além disso, para os sistemas ambientais em que os entrevistados apontaram a inexistência de ações de proteção, 42,8% afirmam que não percebem ameaças, como lançamento de lixo, maus cuidados, entre outros, como é o caso das nascentes NC01, NC16, NC17, NC22, NC24 e NC25. Para essas nascentes, a Tabela 8-3 apresenta o resultado dos índices de qualidade da água e da qualidade ambiental.

Tabela 8-3 – IQAN e IQAN das nascentes com inexistência de proteção e de ameaça.

Nascente	Estação Seca: ☀ Chuvosa: 💧	IQAN	IQA
NC01	☀	112	55
	💧	NA[1]	
NC16	☀	124	75
	💧	123	60
NC17	☀	125	88
	💧	123	67
NC22	☀	123	55
	💧	123	52
NC24	☀	224	85
	💧	223	71
NC25	☀	124	66
	💧	123	61

NA[1]: Não Aplicável.

Fonte: Elaborado pela autora.

Adotando-se o resultado mais conservador entre as duas estações, nota-se que a maioria das nascentes apresentadas na Tabela 8-3 indicaram resultado médio para o IQA e resultado ruim para o índice de qualidade ambiental. A nascente NC24 foi a única a apresentar um resultado bom para o índice de qualidade da água e médio para o índice de qualidade ambiental. Dessa forma, é possível perceber que, embora os entrevistados relatem a inexistência de iniciativas e ameaças, os resultados obtidos pelos índices sugerem um cenário distinto, destacando o quadro crítico em que esses sistemas ambientais se encontram.

Quanto às ameaças à proteção das nascentes estudadas, 45,8% dos entrevistados indicaram desconhecimento sobre a existência de qualquer tipo de ameaça. Dentre esse percentual, 45,5% não apresentaram justificativas para a alegada inexistência de ameaças. Para os participantes que forneceram argumentos, destacam-se os seguintes motivos:

- Ausência de depredação;
- Pelos usos que a nascente pode fornecer; e
- Consciência dos moradores.

A justificativa relacionada à consciência dos moradores foi mencionada pela maioria dos entrevistados que desconheciam ameaças à proteção das nascentes. Esse motivo, de maneira geral, engloba uma combinação de fatores socioambientais e estéticos ligados à nascente. Em relação às demais justificativas, a ausência de depredação foca exclusivamente na estética da área em que a nascente se encontra, enquanto o argumento sobre os usos que o sistema ambiental pode oferecer preocupa-se exclusivamente com as funções da nascente.

> Acho que não, porque nunca houve depredação e nem nada, acho que estão cientes (E03, nascente-associada NC04).

> Ameaça já teve, construíram casa em cima dela, né? Rede de esgoto alguma coisa assim, mas, tirando isso, não tem não. (...) É vai cada um da sua consciência, acho que a consciência de todo mundo aqui é deixar ali, porque é ela é de todo mundo (E06, nascente-associada NC09 e NC10).

> Não. (...) Eles são bem conscientes, a gente não tem ameaça nenhuma, zero ameaça (E13, nascente-associada NC15).

Dentre os entrevistados que apontaram conhecer ameaças para a proteção da nascente (54,1%), destacam-se as seguintes justificativas:

- Uso da área em que a nascente se encontra para fins comerciais;
- Mau cuidado;
- Desconhecimento da existência de uma nascente;
- Diminuição da vazão;
- Alteração na cor da água; e
- Alteração da paisagem pela ocupação.

A justificativa relacionada ao mau cuidado foi apontada pela maioria dos entrevistados que reconheciam ameaças à proteção das nascentes. A maior parte das justificativas está associada ao quadro físico do sistema ambiental, seja pela modificação da área em que a nascente está inserida, ou pela sua própria condição física, como vazão e coloração da água. Quanto à justificativa sobre o desconhecimento da existência da nascente, ela também é vista como uma ameaça potencial, pois expõe a área onde o sistema ambiental se encontra a fatores que podem alterar seu quadro físico, devido à falta de reconhecimento e cuidado adequado.

> Nenhum. Cuidado nenhum. Zero. Se a gente não brigar com o povo aqui, estou falando sério, cachorro, tudo, joga tudo aqui. Se a gente não estiver aqui, eles costumam vir de madrugada e jogam, só que durante o dia você pode falar "não, aqui não, não joga lixo aqui não", porque se deixar joga lixo. (...) Porque aqui se a gente piscar, eles jogam o lixo aqui. (...) E os moradores mesmos não falam nada, eu mesmo moro ali embaixo e eu cuido mais do que eles." (E08, nascente-associana NC11)

> A noite, né? (...) Já fiz um pedido pra ver se eles colocam outro aqui pra iluminar essa parte. (...) É, aí também é um pouco usado assim pelos usuários. (...) ameaça é o seguinte: isso aqui agora virou um bota fora, bota fora mesmo. (..) O que falta, né? Autoridades, pessoas, porque cada um que vem aqui eu pergunto (...) mas vem o pessoal da Copasa, da SLU e eu pergunto e eles "não, nós é só capina" e o da SLU falou comigo "Olha você entra no site da SUDECAP, você pode pedir que eles vão vir desassorear" Desassorear vai ficar muito bom, depois tem que jogar terra porque essa água, né? (E09, nascente-associada NC12).

> "Tem, tem sempre. Eu, como defensor de "vidas", eu vejo. Por exemplo, volta e meia a prefeitura chega aqui e eles não sabem, as vezes nem o morador, não sei se pelas condições dele também, sabe. Chega aqui capina e destrói tudo aqui e as vidas que estão aqui são mortas (...). A gente como tribo metropolitana deveria ser assim, (...) defender para proteger essa nascente." (E12, nascente-associada NC14).

As iniciativas e ameaças à proteção das nascentes analisadas integram a dimensão de resposta, configurando-se como reações sociais e institucionais frente às pressões e aos impactos já observados ou potenciais sobre esses sistemas ambientais. Apesar de já terem sido implantados programas e projetos voltados à proteção e recuperação de nascentes no município, como o "Valorização das Nascentes Urbanas" (CBH Velhas, 2018) e "CADUN-BH" (PBH, 2017), observa-se que essas iniciativas ainda são insuficientes para promover melhorias significativas nas condições desses sistemas. Em geral, tais ações apresentam cobertura limitada, escassez de continuidade e baixa adaptabilidade aos diferentes contextos em que as nascentes se inserem. Além disso, as medidas mais comumente aplicadas se restringem a intervenções pontuais e de caráter operacional, como a capina, remoção de resíduos e limpeza superficial, sem incorporar abordagens integradas que considerem as especificidades ambientais, sociais e culturais de cada nascente. Nesse sentido, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias específicas e territorializadas, que dialoguem com as características locais de cada nascente e envolvam ativamente a população no processo de gestão. A promoção de ações pedagógicas contínuas e contextualizadas, voltadas para a educação ambiental e o fortalecimento do vínculo comunitário com o território, é essencial para manter vivas e operantes as iniciativas de proteção. Compreender o contexto das nascentes a partir da articulação entre as dimensões de pressão, impacto, estado e resposta contribui significativamente para a construção de ferramentas de

gestão. Tais ferramentas são essenciais para identificar os sistemas ambientais que demandam ações de recuperação (com potencial de melhoria), aqueles que necessitam de conservação (manutenção e aprimoramento das condições atuais) e, ainda, os que apresentam relativa estabilidade hídrica e ambiental.

8.2 Subsídio à gestão e proteção de nascentes urbanas

Esta seção está organizada em dois itens, cujo objetivo é apresentar ferramentas voltadas à proteção de nascentes localizadas fora de áreas protegidas no município de Belo Horizonte. O primeiro item aborda chaves de classificação fundamentais para a tipificação de nascentes em contextos urbanos, permitindo uma leitura mais qualificada desses sistemas ambientais. O segundo item, por sua vez, apresenta instrumentos que possibilitam a identificação de nascentes prioritárias para ações de proteção na cidade, contribuindo para uma gestão mais eficiente e direcionada.

8.2.1 Tipologias de nascentes urbanas

Existe na literatura nacional e internacional diversos trabalhos que tratam de tipificar nascentes, como os estudos de Valente *et al.* (1997), Kresic (2010), Faria (1997), Christofoletti (1981), e Felippe (2013). Grande parte desses estudos aponta que a classificação de nascentes é importante e essencial para o reconhecimento desses sistemas ambientais, porém, as propostas de tipologias não devem ser exclusivas e inflexíveis diante da diversidade do ambiente em que as nascentes podem se encontrar, especialmente tratando-se de contextos urbanos. Não obstante, as tipologias são instrumentos fundamentais para apoiar implementação de políticas de conservação, proteção e do estado ecológico de sistemas ambientais (Ferreira, 2020).

Esta pesquisa para o reconhecimento das nascentes distribuídas em áreas desprotegidas em Belo Horizonte, adotou diferentes chaves de classificação com o objetivo de agrupar nascentes que compartilham características ambientais comuns. As chaves inicialmente consideradas incluíram os seguintes critérios: Pedologia, Geologia, Bacia Hidrográfica, Uso e Cobertura da Terra e Renda. A partir da análise dos fatores ambientais que influenciam a qualidade ambiental e hídrica das nascentes foi possível ampliar a compreensão sobre os sistemas ambientais analisados.

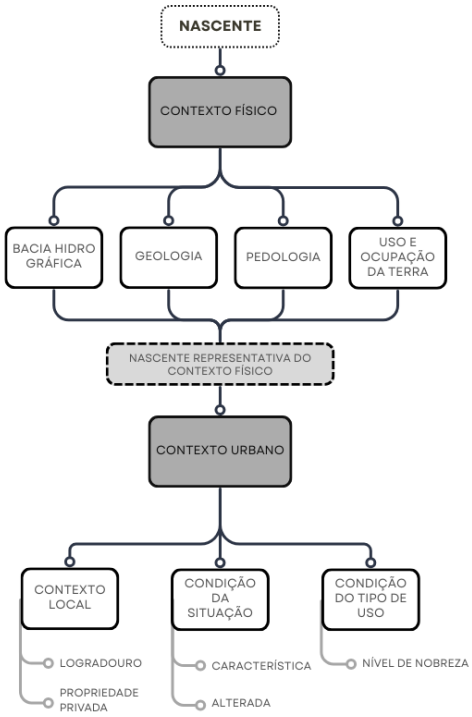
Nesse contexto, além das categorias mencionadas, os resultados obtidos permitiram propor novas chaves de classificação específicas para nascentes localizadas fora de áreas protegidas em

Belo Horizonte. Essas chaves foram construídas a partir das condições observadas em campo e das características típicas do ambiente urbano. As novas propostas de chaves de classificação incluem os seguintes critérios:

- Contexto local:
    - Logradouro público × Propriedade privada
- Condição da situação:
    - Característica (ex.: nascente fissural, área úmida)
    - Alterada (ex.: canalizada, nascente de corte, represada ou em poço)
- Condição do tipo de uso:
    - Classificado conforme o grau de exigência da qualidade da água, em escala de prioridade normativa, considerando o uso mais restritivo identificado para cada nascente

Essas chaves de classificação complementares permitem uma leitura mais detalhada e adequada das realidades enfrentadas pelas nascentes em áreas urbanas, contribuindo para a formulação de estratégias de manejo e conservação mais precisas e contextualizadas. Ademais, além de trabalhar características que não são fixas e exclusivas de cada nascente, tratam-se de chaves que indicam a influência de perturbações advindas de contextos urbanos sobre esses sistemas ambientais. A Figura 8-7 apresenta o diagrama para a tipificação das nascentes urbanas.

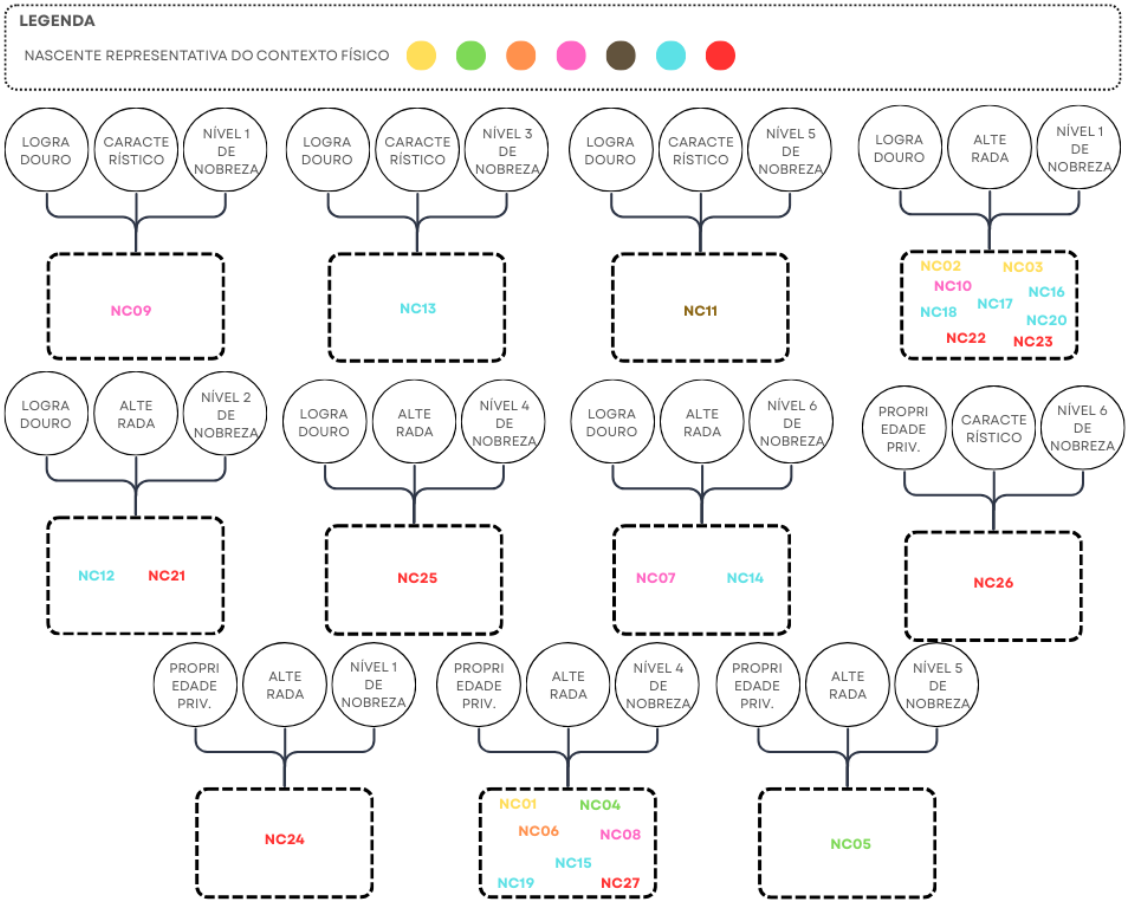
Figura 8-7 – Diagrama para tipificar nascentes urbanas.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o Figura 8-7, após o mapeamento das características físicas comuns, é possível identificar até 24 tipos de nascentes que refletem o contexto urbano em que estão inseridas. Essa tipificação resulta da combinação das variáveis contempladas nas chaves de contexto local (2 variáveis), condição da situação (2 variáveis) e condição do tipo de uso (6 variáveis). No caso das nascentes analisadas nesta pesquisa, a Figura 8-8 apresenta as tipologias resultantes com base nas novas chaves de classificação propostas, permitindo uma leitura mais precisa e contextualizada desses sistemas ambientais.

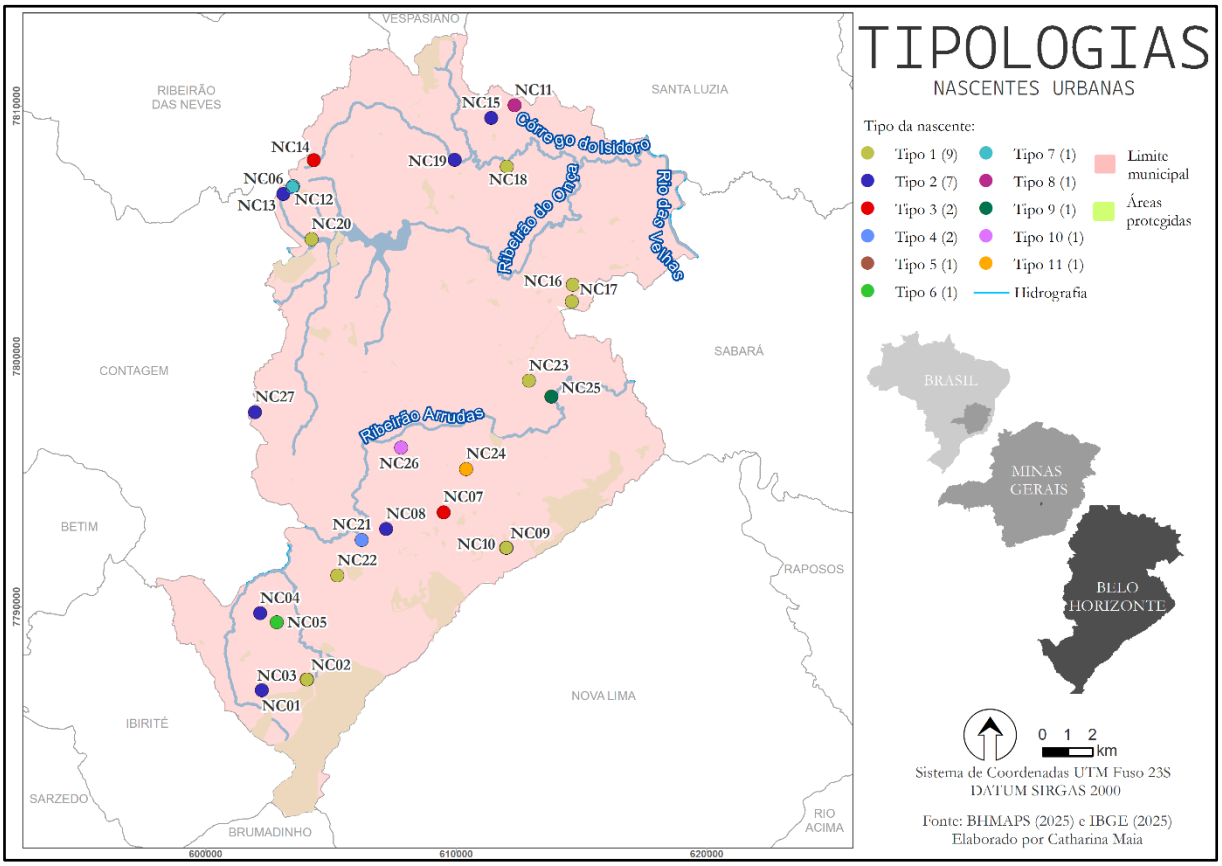
Figura 8-8 – Tipologias das nascentes urbanas alvo da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Figura 8-8, esta pesquisa contempla onze (11) tipologias de nascentes urbanas. A seguir a Figura 8-9 apresenta o mapa com espacialização dos tipos de nascentes trabalhadas nesta pesquisa.

Figura 8-9 – Espacialização dos tipos de nascentes trabalhadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante dos tipos de nascentes identificados, o tipo mais recorrente é aquele classificado como logradouro, alterado e de nível 1 de nobreza, representando nove (9) sistemas ambientais, além disso, esse grupo também concentra quatro (4) tipos distintos de contextos físicos. O segundo tipo mais representativo corresponde à categoria propriedade privada, alterada e de nível 4 de nobreza, que abrange sete (7) nascentes, das quais seis (6) apresentam diferentes tipos de contextos físicos, concentrando a maior de diversidade do quadro físico em relação às outras tipologias. Nos demais tipos que englobam mais de uma nascente, também foi observada a representação de mais de um tipo de contexto físico.

No caso do tipo mais frequente, esse padrão evidencia que os sistemas hídricos urbanos são altamente moldáveis em função das políticas de planejamento territorial e das ações (ou ausência delas) voltadas à proteção e conservação das nascentes. Além disso, ressalta-se que o abastecimento e a manutenção dos cursos d'água urbanos estão diretamente condicionados ao modo como as nascentes se encontram inseridas no espaço urbano.

Em cidades densamente urbanizadas como Belo Horizonte, é comum que as nascentes alimentem os cursos d'água de formas não naturais, muitas vezes por meio de estruturas de escoamento, como bocas de lobo ou canalizações. Essas alterações resultam de mudanças na topografia e da ocupação desordenada do solo, provocando impactos diretos na dinâmica de manutenção dos rios urbanos. Diferentemente de ambientes menos antropizados, onde o fluxo hídrico ocorre de forma natural, os sistemas ambientais urbanos coexistem com interferências que descaracterizam suas funções originais.

Nesse contexto, a tipificação das nascentes se mostra uma ferramenta essencial para a gestão e a proteção desses sistemas ambientais. Ao possibilitar o reconhecimento de padrões e particularidades, a tipificação orienta ações de planejamento mais efetivas. A proposta de tipologias desses sistemas ambientais apresentada nesta pesquisa não visa detalhar individualmente cada nascente, mas sim fornecer uma ferramenta prática e aplicável que apoie estratégias de manejo a partir de fatores ambientais relevantes, especialmente em contextos urbanos, onde as condições físicas e socioambientais se mostram profundamente alteradas.

8.2.2 Identificação de nascentes prioritárias para proteção

As estratégias voltadas à proteção de nascentes devem considerar a priorização das dimensões que compõem os parâmetros de análise ambiental: pressão**,** estado e resposta. A escolha da dimensão a ser enfatizada depende diretamente dos objetivos da ação. Assim, quando o foco está na identificação de impactos e nos processos de degradação ambiental, a dimensão de pressão deve ser priorizada. Por outro lado, se o interesse recai sobre a gestão e a conservação dos recursos naturais, a dimensão de resposta torna-se mais relevante, por exemplo (Moura; Felippe, 2022).

As nascentes inseridas no contexto urbano de Belo Horizonte apresentam diferentes estágios de conservação, refletindo a diversidade de impactos decorrentes da ocupação do solo e das dinâmicas urbanas. De um lado, observa-se o predomínio de sistemas altamente degradados, muitas vezes suprimidos ou intensamente modificados em função da urbanização acelerada e da ausência de medidas adequadas de proteção. De outro, ainda que em menor número, existem nascentes que mantêm condições relativamente preservadas, em alguns casos próximas de seus estados naturais (Felippe, 2009).

Diante dessa heterogeneidade, é fundamental que as ações de manejo, recuperação e conservação sejam planejadas de forma diferenciada, considerando o grau de conservação de cada sistema ambiental. Nascentes severamente descaracterizadas exigem estratégias mais complexas e estruturadas, voltadas à restauração ambiental e ao controle de fontes de degradação. Já as nascentes que ainda conservam características naturais devem ser priorizadas por instrumentos preventivos, que assegurem sua integridade ambiental e impeçam futuras interferências negativas. Essa abordagem orientada ao estágio de conservação contribui para uma gestão ambiental mais eficiente e adaptada à realidade do contexto em que as nascentes se inserem.

Ademais, é importante destacar que as áreas protegidas (Unidades de Conservação e parques urbanos) correspondem a apenas cerca de 8% do território de Belo Horizonte. Isso evidencia que a grande parte do território da cidade, aproximadamente 92% de sua área, não está contemplada por mecanismos formais de proteção ambiental. Diante desse cenário, ainda que haja propostas para a criação de novas Unidades de Conservação e a ampliação dos parques existentes, tais medidas, embora relevantes, podem não ser suficientes para garantir a proteção em larga escala dos sistemas hídricos urbanos, especialmente devido à intensa ocupação do solo e à limitada disponibilidade de áreas livres (PBH, 2025).

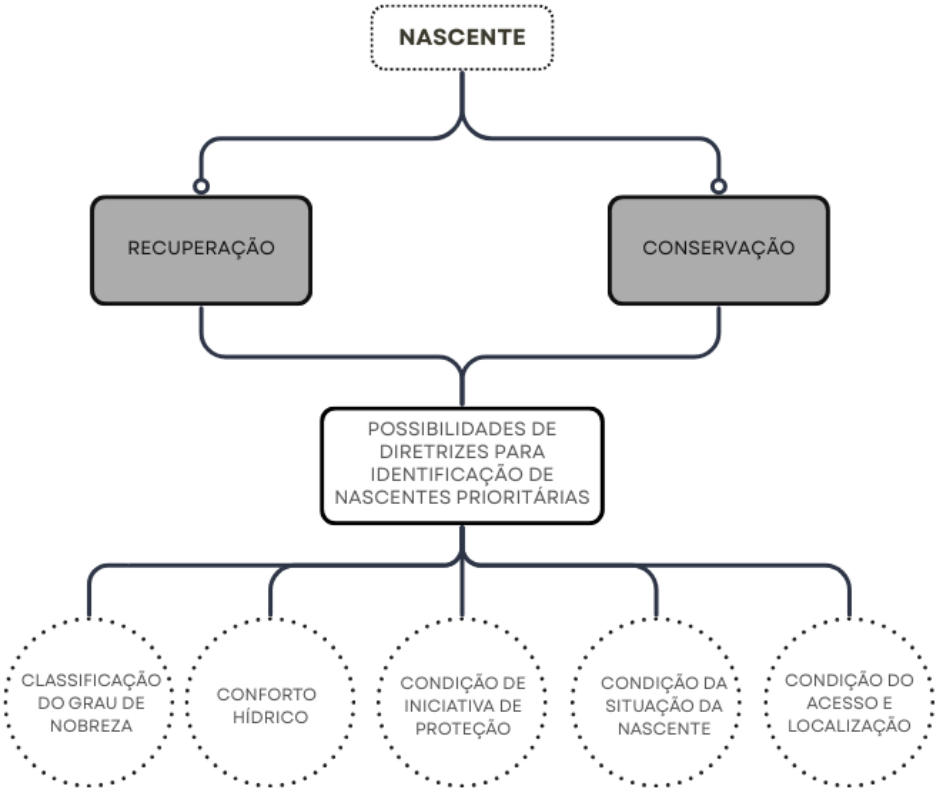
Nesse contexto, torna-se essencial adotar estratégias complementares que extrapolem os limites das áreas legalmente protegidas. Considerando que a população convive com esses sistemas ambientais, muitas vezes inseridos em meio ao tecido urbano, é fundamental promover alternativas que integrem a vivência urbana com ações de proteção, recuperação e valorização das nascentes. Essa aproximação atua no sentido de fortalecer e favorecer a corresponsabilidade e a efetividade das políticas de conservação em territórios urbanos densamente ocupados (Garcia *et al*., 2018). Além disso, esse cenário contribui para que as nascentes não fiquem somente à mercê da proteção pela iniciativa de moradores específicos que acabam sendo guardiões desses sistemas ambientais.

Em um contexto urbano marcado por intensa dinamicidade, alta complexidade e frequente modificação do uso e ocupação da terra, torna-se essencial a adoção de ferramentas capazes de identificar áreas prioritárias para a proteção de nascentes. A formulação de políticas eficazes é dependente de uma abordagem estratégica que tenha como ponto de partida os sistemas ambientais mais comprometidos, os quais correspondem às nascentes fortemente descaracterizadas ou sob maior pressão e impacto. Ao priorizar esses cenários críticos, cria-se uma base para a aplicação gradual e escalonada de ações que, conforme avançam, também possam contemplar

sistemas ambientais em estágios menos críticos de conservação, promovendo uma gestão mais abrangente e eficiente.

Nesse sentido, após o reconhecimento e mapeamento dos sistemas ambientais urbanos (Ferreira, 2020), torna-se lógica a aplicação de estratégias voltadas à identificação de áreas prioritárias para a proteção. Tais estratégias devem considerar o grau de degradação, o potencial de recuperação e a relevância social das nascentes. A Figura 8-10 apresenta as diretrizes levantadas por esta pesquisa, que devem ser aplicadas para duas frentes: recuperação (voltada aos sistemas com potencial de melhoria) e conservação (focada em manter e aprimorar os sistemas que ainda preservam parte de suas condições naturais).

Figura 8-10 – Diretrizes para identificação de nascentes prioritárias de proteção.

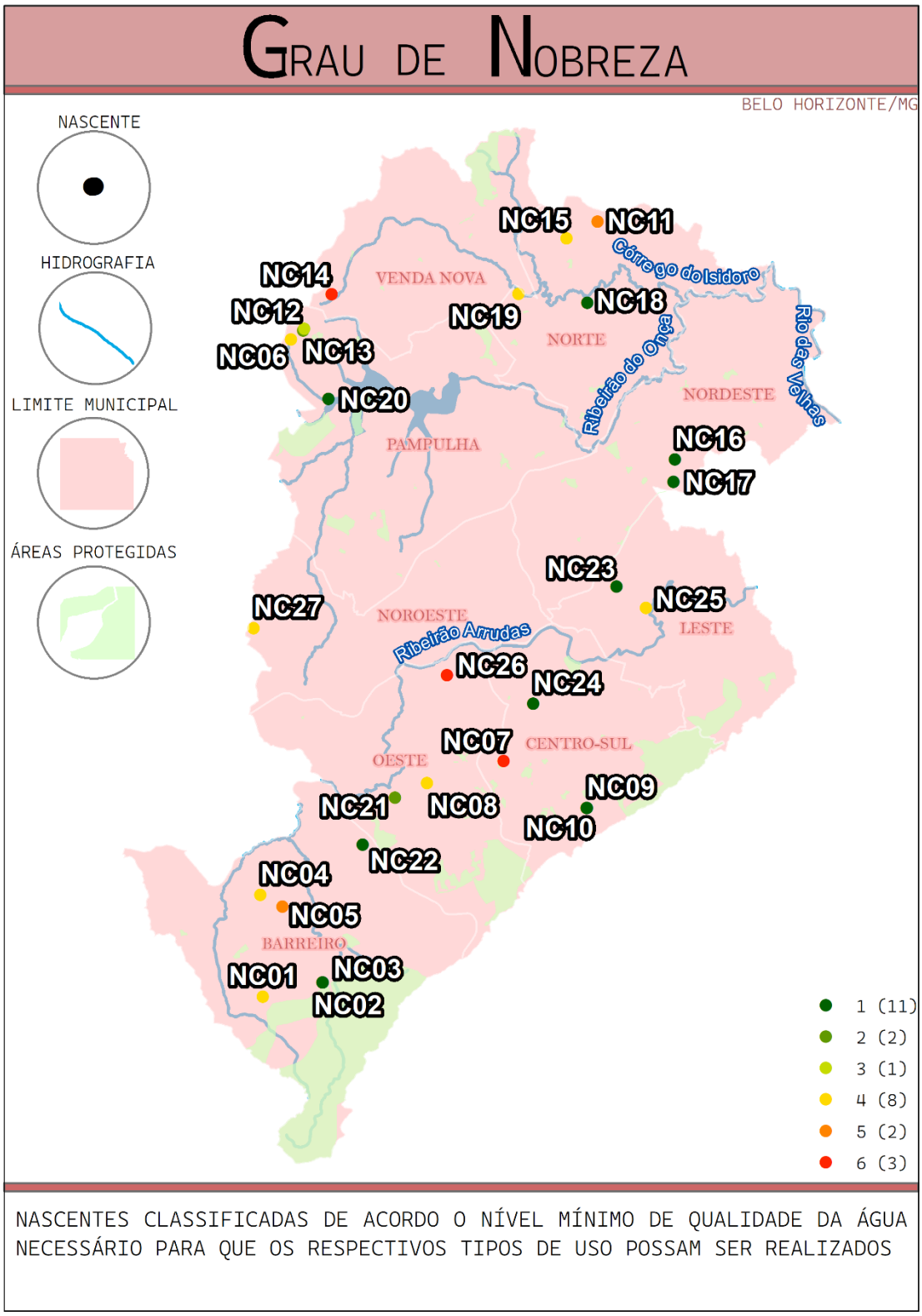


Fonte: Elaborado pela autora.

As diretrizes elencadas para a identificação de nascentes prioritárias à recuperação e proteção possibilitam uma atuação mais direcionada e adaptativa frente às múltiplas realidades dos ambientes urbanos. Elas incorporam critérios que influenciam diretamente na qualidade ambiental e hídrica desses sistemas. Vale destacar que tais diretrizes não seguem uma hierarquização, uma vez que seu propósito principal é servir como guia técnico e estratégico para subsidiar ações de manejo e conservação de nascentes. Foram propostas diretrizes tanto para iniciativas voltadas

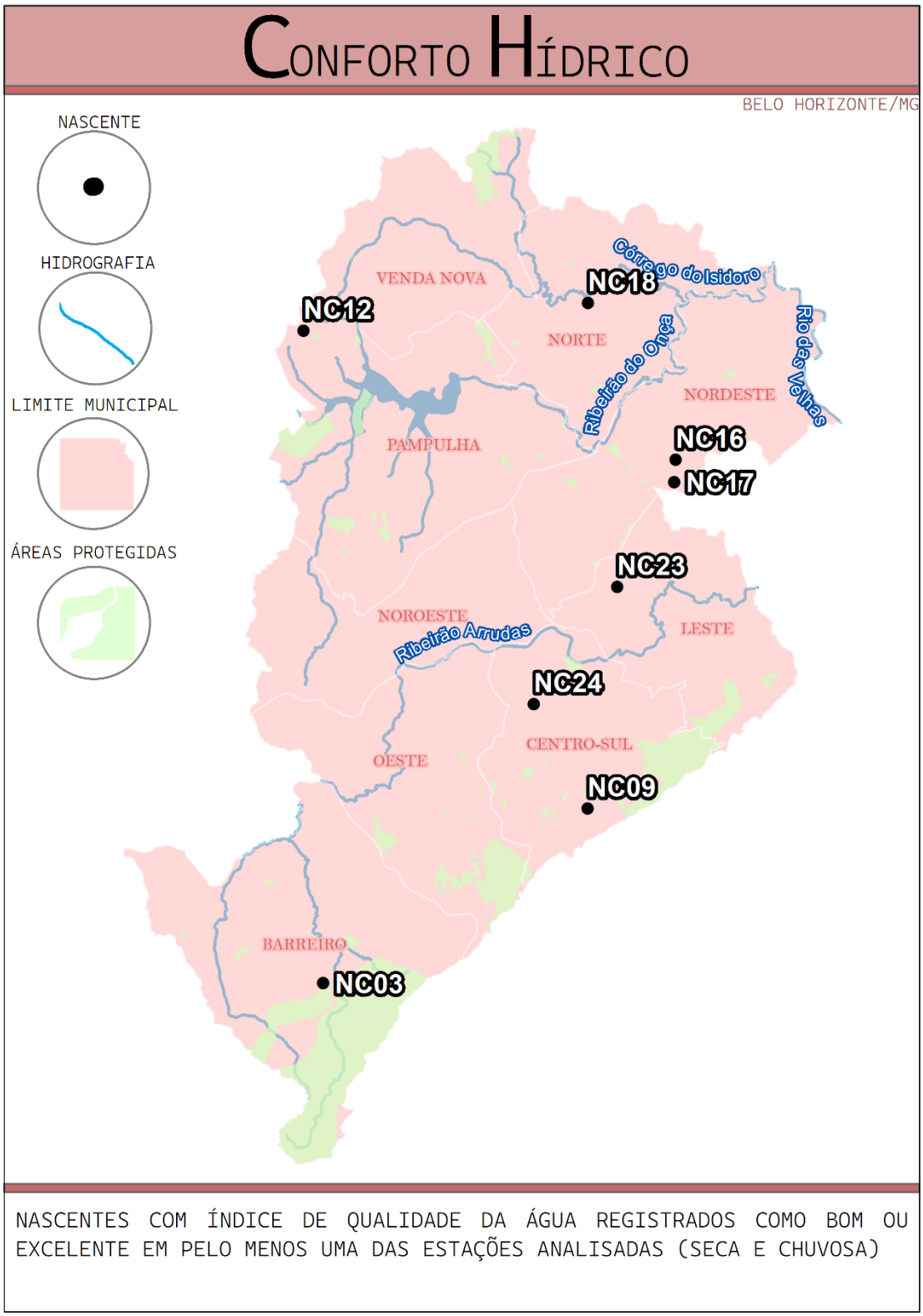
à recuperação quanto à conservação, de forma a permitir a identificação de sistemas ambientais com diferentes níveis de comprometimento, abrangendo desde aqueles mais fragilizados até os que ainda mantêm condições favoráveis à preservação. A seguir são apresentadas as figuras com a espacialização das nascentes de acordo com as diretrizes propostas para a identificação de nascentes prioritárias para proteção.

Figura 8-11 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme grau de nobreza.



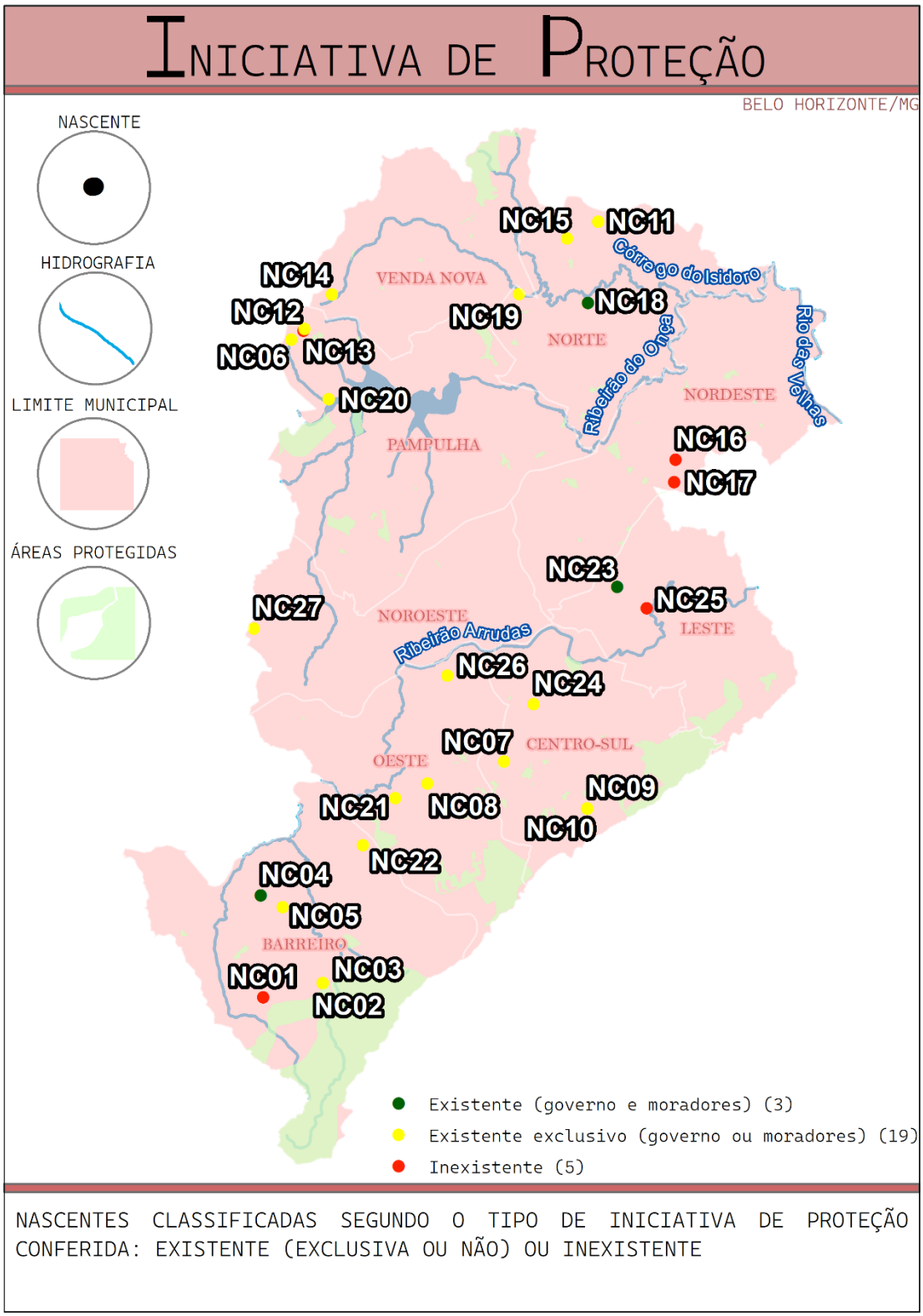
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8-12 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme conforto hídrico.



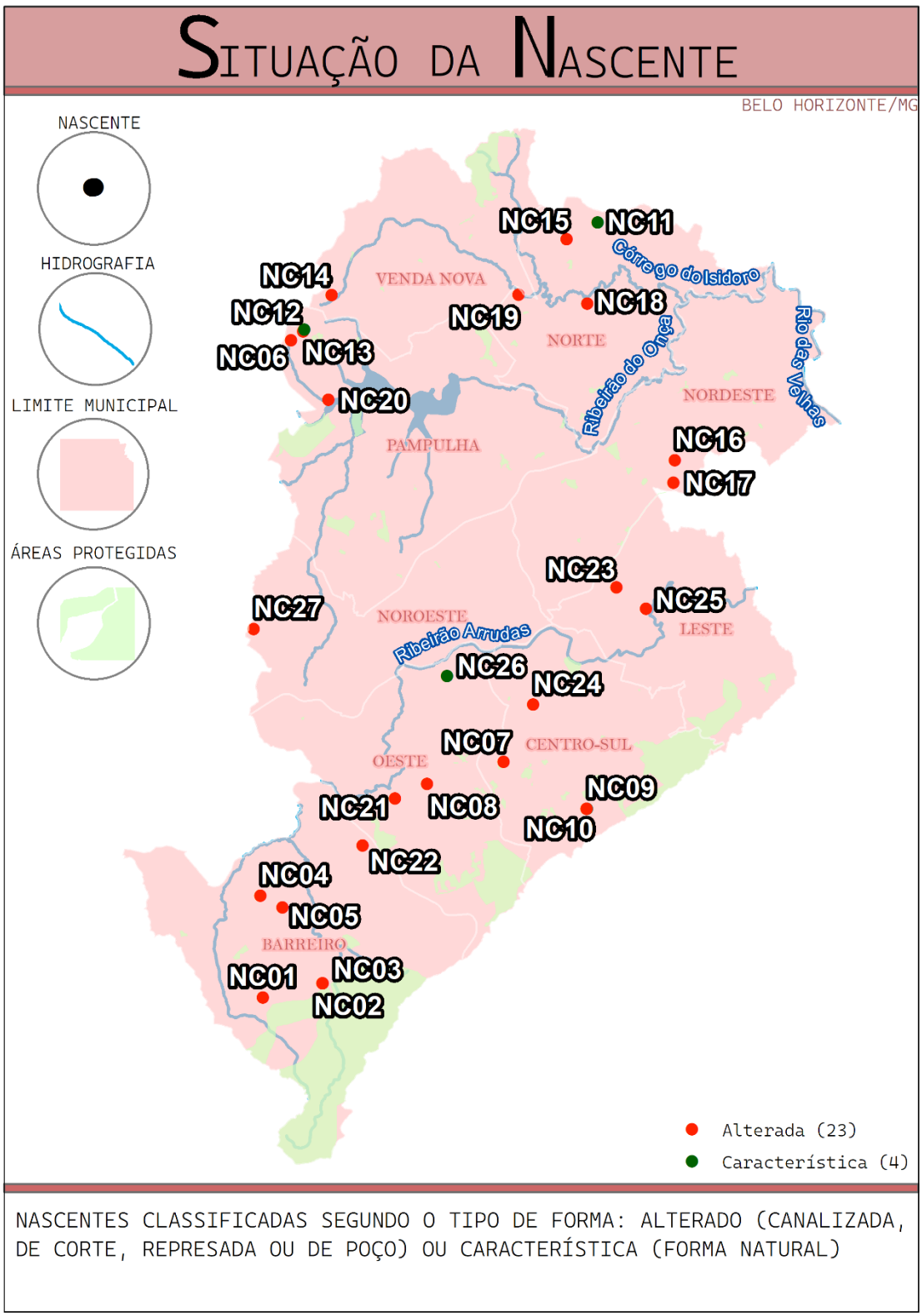
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8-13 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme iniciativa de proteção.



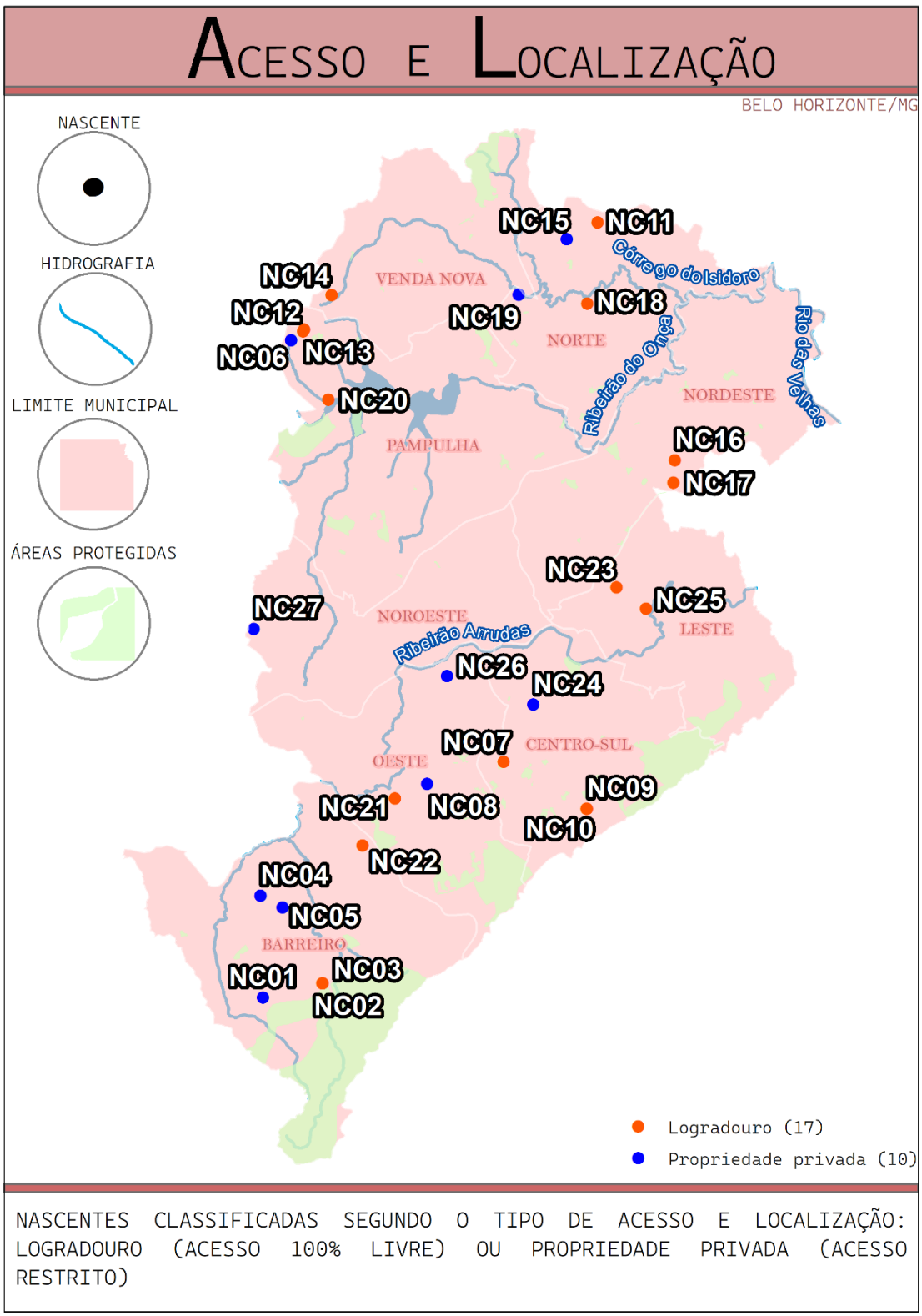
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8-14 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme condição da situação da nascente.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8-15 – Identificação de nascentes prioritárias de proteção conforme condição de acesso e localização.



Fonte: Elaborado pela autora.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação dos fatores ambientais que influenciam a qualidade ambiental e hídrica de nascentes presentes fora de áreas protegidas no município de Belo Horizonte revelou a existência de distintos cenários e variados graus de conservação dos sistemas analisados. A caracterização do estado ambiental e hídrico dessas nascentes permitiu identificar critérios com distintas relevâncias para a compreensão de seus contextos, contribuindo para a avaliação mais precisa das condições em que se encontram.

No que se refere à aplicação dos índices desenvolvidos nesta pesquisa, Índice de Qualidade Ambiental da Nascente e Índice de Qualidade da Água, conclui-se que, isoladamente, nenhum dos instrumentos é capaz de captar, de forma integral, as perturbações decorrentes dos contextos urbanos. Destaca-se, em especial, a limitação do IQAN por não contemplar de maneira explícita a dimensão dos impactos que afetam diretamente as nascentes.

No enfrentamento dos desafios relacionados à proteção das nascentes, a aplicação de entrevistas mostrou-se fundamental para identificar as principais iniciativas e ameaças relacionadas à conservação desses sistemas. Os resultados indicam que o envolvimento da população é crucial na formulação e execução de estratégias de proteção. A inclusão da sociedade civil nos processos decisórios contribui para o fortalecimento de políticas públicas voltadas à integração entre os sistemas hídricos e a urbanização, promovendo um planejamento territorial mais articulado e eficiente. Essa abordagem busca superar a lógica do isolamento das nascentes no espaço urbano, priorizando estratégias de convivência e corresponsabilidade na gestão desses sistemas.

Como contribuição prática à gestão e proteção das nascentes urbanas, esta pesquisa propôs ferramentas voltadas à tipificação e identificação de diretrizes que auxiliem na definição de nascentes prioritárias para ações de conservação e recuperação. Cabe ressaltar que tais diretrizes não visam esgotar as possibilidades de manejo, mas se configuram como um instrumento de apoio à tomada de decisão, passível de adaptação e complementação conforme as especificidades dos territórios e as diretrizes de gestão ambiental em vigor.

Esta pesquisa não tem como objetivo encerrar a discussão ou esgotar as possibilidades de investigação sobre a temática de nascentes, em especial àquelas presentes em áreas urbanas. Ao contrário, busca contribuir como subsídio e apoio para o desenvolvimento de novas abordagens

e estudos que aprofundem a compreensão sobre esses sistemas ambientais. A partir dos resultados obtidos, surgem questões relevantes que podem orientar futuras investigações, especialmente no que se refere às diferenças e especificidades quanto aos tipos, à qualidade ambiental e às funções ecossistêmicas de nascentes localizadas dentro e fora de áreas protegidas.

Também se destacam como campos de interesse futuros: a análise sobre o grau de reconhecimento, envolvimento e sensibilidade da sociedade civil em relação às nascentes situadas fora de áreas protegidas; a aplicabilidade e efetividade das diretrizes propostas por esta pesquisa na identificação de nascentes prioritárias para proteção; e a investigação de projetos e compromissos legais por parte do poder público em relação à preservação e recuperação desses sistemas ambientais. Nesse sentido, este trabalho busca contribuir para o aprofundamento das discussões sobre a gestão e conservação de nascentes em contextos urbanos, incentivando abordagens mais amplas e integradas.

Considerando que 86,7% das nascentes mapeadas no território de Belo Horizonte estão localizadas fora de Unidades de Conservação e parques urbanos, torna-se essencial o desenvolvimento de estudos voltados para esses sistemas mais vulneráveis. Diante de um cenário marcado pela intensa artificialização do território e pelas crescentes pressões do mercado imobiliário, é fundamental trabalhar ações que reconheçam a importância dessas nascentes urbanas situadas fora de áreas legalmente protegidas. Diante desse contexto, é fundamental que as estratégias de preservação não se restrinjam exclusivamente às nascentes inseridas em áreas protegidas, mas que se ampliem para contemplar também aquelas que coexistem diretamente com a dinâmica urbana. Tais ações devem buscar formas de compatibilizar a presença humana com a conservação desses sistemas, de modo a garantir a proteção e valorização contínua das nascentes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação Sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 81-97, 2003.

ALMEIDA, R. B. **Variabilidade físico-química das águas da sub-bacia do rio Miranda-MS**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. Brasília: ANA, 2020. 57 p.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Valoração de serviços ecossistêmicos:: por que e como avançar?. **Sustentabilidade em Debate**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 43–58, 2013. DOI: 10.18472/SustDeb.v4n1.2013.9199.

ARQUIVO NACIONAL DO BRASIL **Avenida Afonso Pena, Belo Horizonte, 1958**. Fundo Agência Nacional. Disponível em https://br.pinterest.com/pin/737183032730446201/ Acesso em 02/02/2024. 2024.

ASSIS, W. L. Os climas naturais do município de Belo Horizonte – MG. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 6, Ed. Esp., p. 115-135, 2012.

BAPTISTA, M. CARDOSO, A. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história**... Revista da UFMG**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 124-153, 2013.

BARBOSA, T. P. **Identidade Sociedade-Espaço**: Transformação e permanência na avenida Afonso Pena. 2022. 141 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

BASSO, L. De lateral a transversal: a trajetória das questões ambientais no âmbito da OCDE. **Boletim de Economia e Política Internacional**, v. 34, p. 357-383, 2022.

BATISTA, D. A. G. **Avaliação da qualidade da água de nascentes (Bicas) em Piracicaba (SP), quanto á presença de indicadores de contaminação fecal**. 1996. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

BELIZÁRIO, W. S. Avaliação da qualidade ambiental de nascentes em áreas urbanas: um estudo sobre as bacias hidrográficas do município de Aparecida de Goiâna/GO. **Revista Mirante**, v. 8, n. 1, p. 122-148, 2015.

BOAVIDA, M. J. L. Probleams de qualidade da água: eutroficação e poluição. 2001. Disponível em https://ordembiologos.pt/wp-content/uploads/2015/11/Qagua-01Jan01.pdf Acesso em 10/11/2024.

BONI, V.; QUARESMA, S. J. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. **Revista Eletrônica dos Pós-Graduandos em Sociologia Política da UFSC**, v. 2, n. 1(3), p. 68-80, 2005.

BORSAGLI, A. As águas fluviais na nova capital de Minas Gerais (1890/1895): uma análise

geohistórica. **Estudos Geográficos:** Revista Eletrônica de Geografia, Rio Claro, v. 17, n.1, p. 55-67, 2019.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes [...]. Brasília: CONAMA, 2005.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 4, de 18 setembro de 1985**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1985.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Brasília: Casa Civil, 2012.

BRASIL. **Lei nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais [...]. Brasília: Casa Civil, 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.653, de 23 de agosto de 2023**. Brasília: Casa Civil, 2023.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente [...]. Brasília: Casa Civil, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Instituia Política Nacional de Recursos Hídricos [...]. Brasília: Casa Civil, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Brasília, 2021.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and river management**: applications of the river styles framework. Malden, MA: Blackwell Pub., 2005.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde - Conchal – SP. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 742-748, 2005.

CÁCERES, N. D.; RODRIGUES, B. H. M.; OLIVEIRA, L. A. F.; MAGALHÃES JR.; A. P. Avaliação do Projeto de Valorização de Nascentes Urbanas na baccia do ribeirão do Onça: o impacto na percepção social de duas nascentes. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 67, p. 38-53, 2018.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOUKART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida dadiversidade de habitats em atividades de

ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002.

CARMO, L. G.; FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR.; 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.

CBH-VELHAS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **Projeto de lei para cadastro de nascentes urbanas de BH avança com contribuições dos Subcomitês Arrudas e Onça**. 2018. Disponível em https://cbhvelhas.org.br/noticias/projeto-de-lei-para-cadastro-de-nascentes-urbanas-de-bh-avanca-com-contribuicoes-dos-subcomites-arrudas-e-onca/. Acesso em 30/11/2023.

CBH-VELHAS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **Valorização de Nascentes Urbanas: Belo Horizonte**. 2017. Disponível em: https://cbhvelhas.org.br/valorizacao-de-nascentes-urbanas-onca-3a-fase/. Acesso em 30/11/2023.

CEMBRANEL, A. S.; TELES, T. J.; TONIAL, I. B.; CASTRO BRAVO, C. E. Qualidade ambiental de nascente em área urbana. **Tecnologia e Ambiente**, *[S. l.]*, v. 25, p. 145–159, 2019. DOI: 10.18616/ta.v25i0.4589.

CHAVES, N. L. **Avaliação e diagnóstico de uma nascente degradada por mau uso do solo em Santo Hipólito-MG**. 2023. 94 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Geológica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: E. Blucher: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1981

COELHO, N. R.; GOMES, A. S.; CASSANO, C. R.; PRADO, R. B. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 26, n. 3, p. 409-415, 2021. https://doi.org/10.1590/S1413-415220190055

CONEGUNDES, P. S. **Caracteriza Caracterização de Técnicas para Conservação e Recuperação de Nascentes** - Estudo de Caso: Nascente Parque Ecológico Planalto – Projeto Valoração das Nascentes Urbanas Subcomitês das Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Arrudas e Onça. 2018. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

COSME, A. L. **Ciclo da água**. 2025. Disponível em https://123ecos.com.br/docs/ciclo-da-agua/ Acesso em 06/07/2024.

COSTA, E. F. J.; S BRAGA, D. S. Políticas Públicas para a educação ambiental na Educação Básica: o caso de Belo Horizonte. **Revista Panorâmica online**, [S. l.], v. 37, 2023.

COSTA, W. D. **Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte – MG**. 2002. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

COSTANZA, R.; GROOT, R; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, v. 28, p. 1-16, 2017.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**: Belo Horizonte. CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta geológica e de recursos minerais da folha Belo Horizonte (SF.23-Z-C-VI-3-SO)**: Quadrilátero Ferrífero. CPRM, 2020. Escala 1:25.000.

D'OLIVEIRA, F. C. S. Direitos da Natureza: Biocentrismo. **Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa, v. 8, n. 2, p. 128-142, 2017.

ESTÉFANO, C.; FIGUEIREDO, L. A. V.; NEIMAN, Z. Serviços ecossistêmicos direcionando políticas públicas e ações conservacionistas na região de Paranapiacaba e Parque Andreense, Santo André (SP). **Revista de Ciências Ambientais**, [S.l.] v. 16, n. 2, 2022

FARIA, A. P. A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais. **A Água em Revista**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 74-80, 1997

FARIAS, A. R.; MINGOTI, R.; VALLE, L. B.; SPADOTTO, C. A.; LOVISI FILHO, E. **Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil**. Comunicado Técnico 4. Embrapa: Campinas, 2017.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FELIPPE, M. F. F. **Gênese e dinâmica de nascentes**: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical. 2013. 254 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. A contribuição das nascentes na desnudação geoquímica: borda oeste da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais, Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, *[S. l.]*, v. 17, n. 1, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i1.878.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Dinâmica hidrogeomorfológica de nascentes da Serra do Cipó e Lagoa Santa (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília. **Anais [...]** Brasília, 2015.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte-MG. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 8, n. 2, p. 8–23, 2012. DOI: 10.35699/2237-549X.13336.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Revista Geografias**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 70–81, 2013. DOI: 10.35699/2237-549X.13354.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte-MG. In: Encontro Nacional sobre Migrações, 6. 2009, Belo Horizonte. **Anais do....** Belo Horizonte: ABEP, 2009.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; PESCIOTTI, H.; COELI, L. Nascentes

Antropogênicas: Processos Tecnogênicos e Hidrogeomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, *[S. l.]*, v. 14, n. 4, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v14i4.210.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; PESCIOTTI, H.; COELI, L. NASCENTES ANTRÓPICAS: PROCESSOS TECNOGÊNICOS E HIDROGEOMORFOLÓGICOS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 14, n. 4, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v14i4.210.

FERREIRA, F. P. M. Evolução urbana e demográfica do envelhecimento em Belo Horizonte. **R. B. Estudos Urbanos e Regionais**, Belo Horizonte, [S.v], n. 4, p. 71-82, 2001.

FERREIRA, I.; GONTIJO, B. Um histórico verde: a retração da vegetação remanescente no município de Belo Horizonte. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, 2005, São Paulo. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. São Paulo: USP, 2005.

FERREIRA, L. L. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Inventário das áreas úmidas urbanas em parques municipais de Belo Horizonte/MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 28, n. 54, p 702-730, 2018.

FLORES, D. M. Mapeamento morfométrico da bacia do rio Cascável em Guarapuava (PR). In: Congresso do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, 2., Guarapuava, 2014. **Anais...** Guarapuava: Faculdade de Guairacá, 2014.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. B. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 651-660, 2001.

GARAVAGLIA, S.; DUN, A. S.; HILL, B. M. **A smart guide to dummy variables**: four applications and a macro. 1998. Disponível em: https://stats.oarc.ucla.edu/wp-content/uploads/2016/02/p046.pdf. Acesso em 22/10/2023.

GARCIA, J. M.; MANTOVANI, P.; GOMES, R. C.; LONGO, R. M.; DEMAMBORO, A. C.; BETTINE, S. C. Environmental degradation and water quality in urban rivers springs. **Sociedade & Natureza**, *[S. l.]*, v. 30, n. 1, p. 228–254, 2018. DOI: 10.14393/SN-v30n1-2018-10.

GOMES, C. S.; FERREIRA, L. L. B.; HENRIQUES, R. J.; BARROS, J. S.; CARVALHO, R. P. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Nascentes naturais em áreas urbanas: usos e funções socioambientais em Belo Horizonte, MG. **GeoUERJ**, Rio de Janeiro, v. 39, 2021. DOI: 10.12957/geouerj.2021.41059.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S.. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, *[S. l.]*, v. 17, n. 32, 2006. DOI: 10.14393/SN-v17-2005-9169.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; GREN, Å.; BARTON, D. N.; LANGEMEYER, J.; MCPHEARSON, T.; O'FARRELL, P.; ANDERSSON, E.; HAMSTEAD, Z.; KREMER, P. Urban ecosystem services. In: ELMQVIST, T.; FRAGKIAS, M.; GOODNESS, J.; GUNERALP, B.; MARCOTULLIO, P. J.; MCDONALD, R. I.; PARNELL, S.; SHEWENIUS, M.; SENDSTAD, M.; SETO, K. C.; WILKINSON, C. (Eds.). **Urbanization, biodiversity and ecosystem services**: Challenges and opportunities. Springer Netherlands,

2013. p. 175-251.

GORSKI, M. C. B. **Rios e cidades**: ruptura e reconciliação. 2008. 243 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas urbanizadas do Brasil 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades: Belo Horizonte**. 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama. Acesso em 03/11/2023. Acesso em 12/04/2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**. Brasília: IBGE, 2019. 1 mapa, color. Escala 1: 250.000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados CENSO 2010**. Resultados sobre Rendimentos. 2012. Disponível em https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html. Acesso em 21/10/2023.

IKEDA, E. B. Metaprojeto para os rios urbanos. Projeto de arquitetura para a Bacia Hidrográfica do Lajeado em São Paulo.. In: ASOCIACIÓN DE ESCUELAS Y FACULTADES PÚBLICAS DE ARQUITECTURA DE AMÉRICA DEL SUR, 2019, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Campinas: Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/arquisur-2019/trabalhos/metaprojeto-para-os-rios-urbanos-projeto-de-arquitetura-para-a-bacia-hidrografic?lang=pt-br>. Acesso em: 01 Jun. 2024.

IKEMATSU, P.; FRANQUEIRO, N.; TAVARES, T. L. S.; FACCINI, L. G.; TERREL, D.; CAVANI, A. C. M.; LONGO, M. H. C. Aspectos técnicos para priorização de recursos em recuperação e conservação de nascentes. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 19., 2016, Campinas. [**Anais...]** ABAS. 2017.

IMBELLONI, A. C. P.; FELIPPE, M. F. Compreendendo o Ciclo Hidrossocial em Comunidades Quilombolas: possibilidades metodológicas para o estudo. Simpósio Internacional de Geografia Agrária, 8., 2017, Curitiba. **[Anais]**. Curitiba, 2017. p. 1-10.

INSTITUTO GUAICUY. **Protocolo de intenções pode ajudar na preservação das nascentes da Bacia da Pampulha, Belo Horizonte**. 2015. Disponível em: https://manuelzao.ufmg.br/protocolo-de-intencoes-pode-ajudar-na-preservacao-das-nascentes-da-bacia-da-pampulha/. Acesso em 10/11/2023.

IPEAD – Instituto de Pesquisas Econômicas, Administrativas e Contábeis de Minas Gerais. **Pesquisa do Mercado Imobiliário em Belo Horizonte**: Aluguéis. Belo Horizonte, 2018.

KICH, M.; BÖCKEL, W. J. Análise de óleos e graxas em efluentes por espectrofotometria. **Estação Científica (UNIFAP)**, Macapá, v. 7, n. 3, p. 61-69.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms and processes**. London: 1984.

KRESIC, N. Types and classifications of spring. In: KRESIC, N.; STEVANOVIC, Z. (eds). **Groundwater Hydrology of Springs**: Engineering, Theory, Management and Sustainability. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010. p. 31-85

LEITÃO, V. de S.; CUBA, R. M. F.; SANTOS, L. de P. S.; SANTOS NETO, A. S. Use of the water quality index (IQA) for monitoring the quality of water in an area of environmental preservation. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, *[S. l.]*, v. 19, n. 3, p. 794–803, 2015. DOI: 10.5902/2236117018330.

LINSLEY, R.K..; FRANZINI, J.B. **Engenharia de recursos hídricos**. Mc Graw-Hill do Brasil, 1978. 798p.

LINTON, J.; BUDDS, J. The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. **Geoforum**, v. 57, p. 170-180, 2014.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JR., A. P. M. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Revista Geografias**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 134–147, 2010. DOI: 10.35699/2237-549X.13301.

MACEDO, D. **Avaliação de Projeto de Restauração de Curso D'água em Área Urbanizada**: estudo de caso no Programa Drenurbs em Belo Horizonte. 2009. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Mians Gerais, Belo Hroizonte, 2009.

MACEDO, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.. Percepção social no programa de restauração de cursos d'água urbanos em Belo Horizonte. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 1, p.51-63, 2011.

MAGALHÃES JÚNIOR., A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MAGALHÃES, D. M. **Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte-MG apoiada por métricas da paisagem**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

MAIA, C. O.; LÁZARO, G. L. V.; DIAS, L. O. B.; BATISTA, P. H.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; FELIPPE, M. F.; COSTA, F. C. A Qualidade da água de nascentes e cursos fluviais de baixa ordem como indicador de desafios de gestão de parques urbanos em Belo Horizonte/MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 31, n. 64, p. 92, 2021. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2021v31n64p92.

MANZINI, E. J. Entrevista semi-estruturada: análise de objetivos e de roteiros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PESQUISA E ESTUDOS QUALITATIVOS, 2., 2004, Bauru. A pesquisa qualitativa em debate. **Anais...** Bauru: USC, 2004.

MAPBIOMAS – PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 8 de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2022.

MARCOS DO TEMPO. **Belo Horizonte e Aarão Reis (marcosdotempo.blogspot.com)**. 2010. Disponível em https://marcosdotempo.blogspot.com/2010/04/belo-horizonte-e-aarao-reis.html. Acesso em 10/05/2024.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.

MARTA, J. M.; MENDES, R.; FARIAS, A. Recuperação de nascentes e pagamentos por serviços ambientais-reflexões ambientais e normativas. *In*: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. **Anais...** Brasília, 2015.

MASCARETTI JÚNIOR, P. D. D. **A política nacional de pagamento por serviços ambientais:** uma análise da Lei 14.119 de 2021 como forma de incentivo à conservação dos recursos naturais e da biodiversidade no Brasil. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) - Faculdade de Direito da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2023.

MEA – MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being**: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf Acesso em 13/05/2024.

MEDEIROS, I. H. **Programa Drenurbs/Nascentes e Fundos de Vale.** Potencialidades e desafios da gestão sócio-ambiental do território de Belo Horizonte a partir de suas águas. 2009. 189 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MEDRI, W. **Análise Exploratória de Dados**. Londrina: UEL, 2011.

MELO, A. C. A. **Espaços e saberes canalizados: discussões sobre a natureza social dos rios em Belo Horizonte**. 2017. 207 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

MINAS GERAIS. Instituto Minerio de Gestão das Águas (IGAM). **Índice de Qualidade das Águas**. 2025. Disponível em https://igam.mg.gov.br/w/indice-de-qualidade-das-aguas-iqa Acesso em 03/01/2025.

MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 1999.

MINAS GERAIS. **Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013**. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Belo Horizonte, 2013.

MIYAZAKI, L. C. P. Caracterização do relevo da área urbana do município de Ituiutaba/MG. In: PORTUGUEZ, A. P.; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. (orgs.). **Inquietações Geográficas**. Natureza, sociedade e turismo no Brasil contemporâneo. Ituiutaba: Barlavento Editora, 2018. p. 90-121.

MORONI, F. T.; DAMASCENO JÚNIOR, E. C.; CAMPOS, J. P. F.; SILVA, J. J.; MORONI, R. B.; BRITTO, E. N.; NASCIMENTO, F. A. F.; BERTONE, A. M. A.; SILVA FILHO, D. F. Aplicação do diagrama de Voronoi para avaliar do risco de ocorrência de acidentes escorpiônicos em humanos na cidade de Uberlândia (MG). **Revista Saúde e Meo Ambiente UFMS**, Três Lagoas, v. 15, n. 1, p. 20-38, 2023.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: Ed. Da Autora, 2003.

MOURA, M. N. **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.

MOURA, M. N.; FELIPPE, M. F. Avaliação de nascentes para a gestão ambiental integrada: Insuficiências e proposições apontadas por um painel de especialistas. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 16, n. 3, p. 215–241, 2022. DOI: 10.5216/ag.v16i3.72240.

MOURA, M. N.; FELIPPE, M. F. Desenvolvimento e Aplicação de um Protocolo de Avaliação Ambiental de Nascentes. **Espaço Aberto PPGG-UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 131-156, 2024.

MOYSES, J. R. **Sobre a métrica de funk no plano cartesiano**: modelando um problema de navegação. 2022. Monografia (Graduação em Licenciatura em Matemática) - Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

MUÑOZ, A. M. M.; FREITAS, S. R. Importância dos serviços ecossistêmicos nas cidades: revisão das publicações de 2003 a 2015. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 89-104, 2017. DOI: 10.5585/geas.v6i2.853

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **About the OECD**. 2025. Disponível em https://www.oecd.org/ Acesso em 01/03/2025.

OLIVEIRA, E. C. **Origem da Acidez da Nascente do rio Campo Belo, Maciço do Itatiaia**. 2017. Dissertação (Mestre em Geoquímica Ambiental) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **BhMap**. Disponível em https://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo. Acesso em 10/09/2024.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **[E-mail sobre Cadastro Único de Nascentes]**. Destinatário: Catharina de Oliveira Maia. Belo Horizonte, 02/010/2023. 1 e-mail.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **BH em Pauta**: Projeto cadastra fontes de água natural em BH. 2017. Disponível em https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/bh-em-pauta-projeto-cadastra-fontes-de-agua-natural-em-bh. Acesso em 04/05/2024.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Cadastro Único de Nascentes**. 2023. Disponível em https://prefeitura.pbh.gov.br/meio-ambiente/cadastro-unico-de-nascentes. Acesso em 03/02/2024.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Decreto nº 13.916, de 8 de abril de 2010**. Dispõe sobre a oficialização do Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte – DRENURBS [...]. Belo Horizonte, 2010.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Decreto nº 17.273, de 4 de fevereiro de 2020**. Belo Horizonte, 2020.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Escolas Municipais desenvolvem projetos de preservação ambiental**. 2018. Disponível em https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/escolas-municipais-desenvolvem-projetos-de-preservacao-ambiental . Acesso em 02/05/2024.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica**. 2024. Disponível em https://prefeitura.pbh.gov.br/fundacao-de-parques-e-zoobotanica . Acesso em 10/01/2024.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Lei Municipal nº 11.181, de 8 de agosto de 2019**. Aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte, 2019.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Lei nº 4.253, de 4 de dezembro de 1985**. Dispõe sobre a Política de Proteção do Controle e da Conservação do Meio Ambiente e da Melhoria da Qualidade de Vida no município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 1985.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **PBH Portal**: Belo Horizonte. 2023. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/. Acesso em 10/11/2023.

PINHO, B. A. T. D. **População e pobreza**: uma análise da região metropolitana de Belo Horizonte. 2016. 266 f. Tese (Doutorado em Demografia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

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**, [S.l.], v. 18, n. 3, p. 495-505, 2012.

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) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

POERSCH, A. C. C.; SEBASTIEN, N. Y.. Climatological aspects of the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and the implications of the increase in temperature in carrying out the analysis. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, e225101119680, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19680.

PRADO, R. B. ; MENEZES, J. M. ; Mansur, K. L.; MARTINS, A. M.; FREITAS, P. L.; CARDOSO JR, G.; CARVALHO, L. G.; PIMENTA, T. S.; LIMA, L. A. Parâmetros de Qualidade da Água e sua Relação Espacial com as Fontes de Contaminação Antrópicas e Naturais: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., João Pessoa, 2005. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM

RAIMUNDO, S. A paisagem natural remanescente na Região Metropolitana de São Paulo. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 19-31, 2006.

REZENDE, F. A. V. S; ALMEIDA, R. M. V.; .NOBRE, F.. Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 467-475, 2000.

RODRIGUEZ, K. D. **Princípios e parâmetros do novo urbanismo em territórios planejados no Brasil**. 2016. 156 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo 2016.

ROSS, J. L. **Geomorfologia**. Ambiente e Planejamento. 9 ed. São Paulo: Editora Contexto,

1990.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Variáveis auxiliares para o mapeamento da rede de drenagem: correlação espacial entre nascentes, unidades de relevo e litotipos na bacia hidrográfica do rio Benevente-ES. **GeoUSP espaço e tempo**, São Paulo, v. 18, n. 3, p.624-634, 2014.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. 3ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2020.

SANTOS, L. M. **O meio natural em Belo Horizonte**: caracterização e análise de potencial para uso e ocupação preservacionista. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais**: monitoramento dos reflorestamentos e tendências da produção em volume, peso de matéria seca e carbono, 2005 -2007. Lavras, MG: Ed. UFLA, 2008. 150 p.

SILVA, A.; CARVALHO, E.; FANTINELI, L.; ROMANO, A.; VIANA, C. **Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte**: projeto estudos técnicos para o levantamento da carta geológica do município de Belo Horizonte; relatório final. FUNDEP/UFMG-IGC: Belo Horizonte, 1995.

SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia-SP. **Química Nova**, v. 29, n. 4, 2006.

SILVA, L. C.; PEDROSA-SOARES, A. C.; ARMSTRONG, R.; NOCE, C. M. eterminando a duração do período colisional do Orógeno Araçuaí com base em geocronologia U-Pb de alta resolução em zircão: uma contribuição para a história da amalgamação do Gondwana Ocidental. **Geonomos**, Belo Horizonte v. 19, n. 2, p. 180-197, 2011.

SILVA, M. G.; BELTRÃO, N. E. S. Valoração dos serviços ecossistêmicos em uma unidade de conservação na Amazônia Brasileira. **Revista Geoaraguaia**, Barra do Garças MT, v. 13, n. 1, p. 208-227, 2023.

SILVEIRA, R.; SANTOS, J. E. B.; SOUZA, A. C. Estudo das condições ambientais de nascentes próximas a área urbana do município de Umbaúba/Se: visão macroscópica / Study of the environmental conditions of springs near the urban area of the city of Umbaúba/Se: macroscopic view. **Brazilian Journal of Development**, *[S. l.]*, v. 5, n. 7, p. 9119–9126, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n7-110.

SOARES, A. B. **Análise da problemática socioambiental de nascentes urbanas no município de Garanhuns – PE**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SOARES, J. C. de O.; SOUZA, C. A. de; PIERANGELI, M. A. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do córrego Caeté/MT: estudo do uso, topografia e solo como subsídio para gestão. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, *[S. l.]*, v. 6, n. 1, 2010.

SOUSA, I. D. S.; MÍLEN, A. F.; RIBEIRO, C. S.; LOPES, F. C. F.; DIAS, L. J. B. S. Urbanização e perturbações ambientais em áreas de cabeceiras de drenagem no centro da Ilha

do Maranhão. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., 2006, Goiânia. [**Anais**]. UGB: Brasília, 2006.

SOUZA, K. I. S.; CHAFFE, P. L. B.; PINTO, C. R. S. C.; NOGUEIRA. Proteção ambiental de nasccentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. **Revista Águas Subterrâneas**, [S.l.], v. 33, n. 1, p. 76-86, 2019.

SOUZA, R. A. da S. **Avaliação das frações de fosfato como indicadores de eutrofização de águas superficiais**. 2005. 123 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology**: an introduction to the study of landforms. New York: Longman Scientific & Technical, 1991.

TASCA, B. F. C.; XAVIER, F. V.; SIQUEIRA, A. J. B. Localização de nascentes ameaçadas em áreas urbanas: Uma estratégia preventiva de conservação ambiental com auxílio de Modelo Digital do Terreno (MDT). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.]. v. 14, n. 4, p. 2186-2203, 2021.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **REGA**, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004.

TUNDISI, J. G.. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Gestão das Águas, Ciência e Cultura**, [S.l], v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

UFV - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; CETEC-MG - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UFLA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de Solos Do Estado de Minas Gerais**: legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. Escala 1:650.000

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Contribuição da cidade de Botucatu - SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética Química**, v. 22, n. 1, p. 31-48, 1997. https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Eclética Química**, v. 22, n. 1, p. 49-66, 1997. https://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes:** hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005

VARDANJANI, H. K.; CHITSAZAN, M.; FORD, D.; KARIMI, H.; CHARCHI, A. Initial assessment of recharge areas for large karst springs: a case study from the central Zagros Mountains, Iran. **Hydrogeology Journal**, [S.l.], v. 26, p. 57-70, 2017.

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 **Ceciliana**, São Paulo, p. 4-6, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

ANEXO A - Avaliação Técnica nº 0137/24

Diretoria de Gestão Ambiental - DGEA
Gerência de Recursos Hídricos - GERHI

Avaliação Técnica nº 0137/24

Solicitação SGCE: 0273/24
Solicitante: Prodabel

Demanda: Esclarecimento sobre Camada de Nascentes do IDE-BHGEO - informação sobre o dado editável do cadastro de nascentes do BHMAPS contempla as nascentes que já foram cadastradas pelo projeto *Valorização de Nascentes Urbanas* (2012) e pelo projeto hidroambiental *Elaboração de Diagnóstico de Nascentes Urbanas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, em Belo Horizonte/MG* (2018) ambos realizados pelo Comitê CBH Rio das Velhas.

1. Informação Técnica

Em atendimento à demanda de informação técnica sobre a Camada de Nascentes, a GERHI esclarece que os dados disponíveis no SISCTM e no BHMap correspondem aos dados levantados no mapeamento realizado pelos técnicos do setor, não contemplando dados produzidos no âmbito de projetos de outras instituições, tais como os dados produzidos pelos projetos do Comitê da Bacia Hidrográfica Rio das Velhas *Valorização de Nascentes Urbanas* e *Elaboração de Diagnóstico de Nascentes Urbanas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça em Belo Horizonte* referidos pela solicitação.

A base de dados geoespaciais correspondente aos recursos hídricos do município de Belo Horizonte - Nascente, Brejo, Curso d'água, Represa e Área de Preservação Permanente é produzida a partir das caracterizações dos corpos hídricos feitas pela própria Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Os dados demandam constantes revisões, dadas as dinâmicas de ocupação do território, aos processos de licenciamento urbanístico e ambiental e em função da necessidade de qualificação da análise dos corpos hídricos.

É importante ressaltar que cada camada disposta no IDE-BHGEO tem um setor institucional e uma equipe de técnicos responsáveis por sua produção e edição, o que requer que diretrizes conceituais, metodológicas e técnicas acerca da produção do dado que disponibilizado publicamente sejam resguardadas e instituídas e validadas pelo órgão gestor correspondente. Dessa forma, dados produzidos por outras instituições e/ou setores da própria PBH não são incorporados no conjunto dos dados dessas camadas.

A produção dos dados de Nascentes para a camada IDE-BHGEO feita pela GERHI se dá a partir da realização de vistorias técnicas para caracterização do corpo hídrico, com coleta de pontos para georreferenciamento bem como da produção de informações qualitativas que compõem a tabela de atributos das nascentes mapeadas, tendo como base as disposições do Código Florestal (Lei 12.651/12). Esses atributos observados em campo, tais como a gênese da nascente por exemplo, constituem um conjunto de informações que devem constar na base de dados geoespaciais para viabilizar a geração automática da camada de Área de Preservação Permanente (APP). Essa camada é fundamental para a IBED (Informação Básica para Edificação) gerada pelo Siurbe, que pauta processos de licenciamentos urbanísticos e ambientais. Dados produzidos por outras instituições sobre nascentes não dispõem de todos os atributos dispostos pela camada de nascentes produzida pela GERHI e necessários para as demandas institucionais.

Em relação aos dados das nascentes produzidos no âmbito dos projetos *Valorização de Nascentes Urbanas* e *Elaboração de Diagnóstico de Nascentes Urbanas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, em Belo Horizonte/MG*, ambos realizados pelo Comitê CBH Rio das Velhas, a GERHI informa que não houve incorporação desses dados na camada de Nascentes, considerando as diretrizes institucionais descritas acima.

Verificou-se por relato de servidores que a SMMA acompanhou os projetos via subcomitês de bacia dos Ribeirões Onça e Arrudas de bacia e Comitê de Bacia do Rio das Velhas por meio representantes da área de gestão, mas que não houve encaminhamento institucional para a incorporação desses dados no conjunto de dados produzidos pela PBH pelo já exposto anteriormente. Os documentos relativos

a esses projetos estão no conjunto de materiais da instituição para consultas necessárias. Drive da GERHI:

https://drive.google.com/file/d/1M9YTYOpG5ejIqtC9HFngmX8JxXIQy_v5/view?usp=drive_link

https://drive.google.com/file/d/1SzBjW7GvDAw1EZ5GPaikvwTMOaRGMlVi/view?usp=drive_link

Diante do exposto e, tendo em vista responsabilidade sobre o dado disponibilizado ao público, a GERHI toma como diretriz a não incorporação de outras bases de dados na referida Camada de Nascente.

Belo Horizonte, 18 de março de 2024

Equipe Técnica GERHI

Viviane Mendes - Geóloga - Editora Camada Nascentes

Filipe Framil - Geógrafo - Editor Camada Nascentes

Caroline Craveiro - Gerência de Recursos Hídricos

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

UFMG

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Este termo de consentimento de uso de imagem e informações se refere à pesquisa de mestrado desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela pesquisadora Catharina de Oliveira Maia, entre os anos de 2023 e 2025.

O uso de imagem e/ou depoimento e/ou dados biográficos em todo e qualquer material entre fotos, documentos e outros meios de comunicação serão utilizados apenas para fins de divulgação do trabalho. Os dados fornecidos não serão utilizados em hipótese alguma para fins comerciais, utilizando-os apenas para fins de divulgação de pesquisa.

A presente autorização é concedida a título gratuito, abrangendo o uso da imagem acima mencionada em todo território nacional e no exterior, em todas as suas modalidades e sem limite de tempo ou número de utilizações.

- **Gerenciamento dos dados:**

A entrevista poderá ser gravada e uma transcrição ser produzida para fins de análise. O acesso aos dados de áudio e a transcrição é limitado ao pesquisador, assim como o controle do uso acadêmico vinculado. Se optar por participar anonimamente, todos os registros da sua participação serão confidenciais.

Qualquer variação nas condições acima só ocorrerá com sua aprovação.

- **Consentimento para entrevista, citação e uso de imagem:**

Todos ou parte dos dados da entrevista podem ser usados nos seguintes produtos da pesquisa:

  - Na dissertação de mestrado, artigos e outras publicações acadêmicas; e
  - Em apresentações em eventos acadêmicos (como conferências, seminários e congressos).

Por favor, marque o seu acordo sobre as opções abaixo:

Concordo com que a entrevista seja gravada em áudio.	

Desejo receber uma cópia da transcrição da entrevista, caso ela seja transcrita.	
Eu concordo em ser anomimamente citado nos produtos da pesquisa, com identificação apenas do vínculo a instituições, grupos, coletivos e outras organizações	
Eu concordo em ser citado nos produtos da pesquisa, com identificação apenas do vínculo a instituições, grupos, coletivos e outras organizações.	
Desejo aprovar previamente os fragmentos usados para citação.	

Por esta ser a expressão da minha vontade, declaro que autorizo o uso acima descrito sem que nada haja a ser reclamado a título de direitos conexos à minha imagem ou a qualquer outro, e assino a presente autorização.

Nome e assinatura da/o entrevistada/o:

Documento (CPF ou identidade):_____

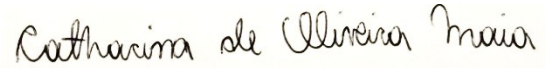
, dia de de

Se tiver outras dúvidas ou preocupações sobre a pesquisa, entrar em contato:

Catharina de Oliveira Maia

Programa de Pós-Graduação em Geografia

Instituto de Geociências — Universidade Federal de Minas Gerais Endereço:
Avenida Antônio Carlos, 6627 - Belo Horizonte/MG Contatos:
catharinaolm@gmail.com



APÊNDICE B – Ficha de Caracterização de Nascente

NC01

Bairro Vitória da Conquista, Regional do Barreiro - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo Criação de Peixes

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

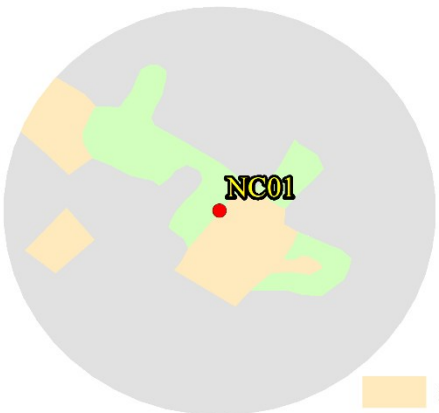
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	NÃO APLICÁVEL

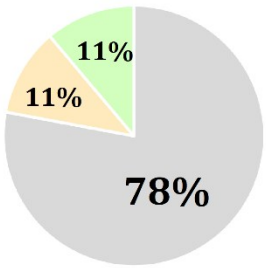
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 112 ESTAÇÃO CHUVOSA: NA

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Solo Exposto
Vegetação de Baixo Porte
Área Urbana

NC02

Bairro Solar do Barreiro, Regional do Barreiro - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo, Consumo Recreação, Lavagem de automóvel

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

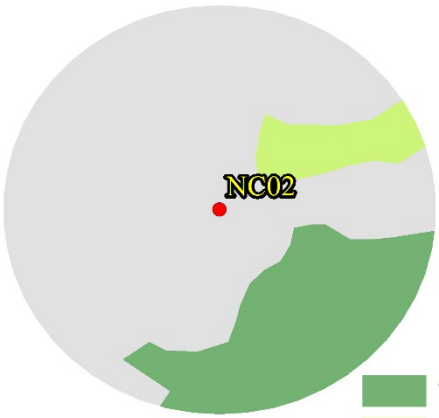
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

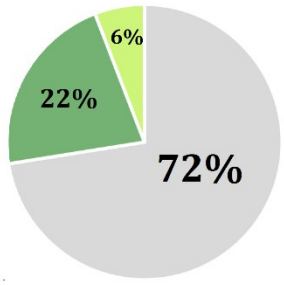
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 222 ESTAÇÃO CHUVOSA: 122

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Vegetação de Alto Porte
Vegetação de Médio Porte
Área Urbana

NC03

Bairro Solar do Barreiro, Regional do Barreiro - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo, Consumo Recreação, Lavagem de automóvel

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

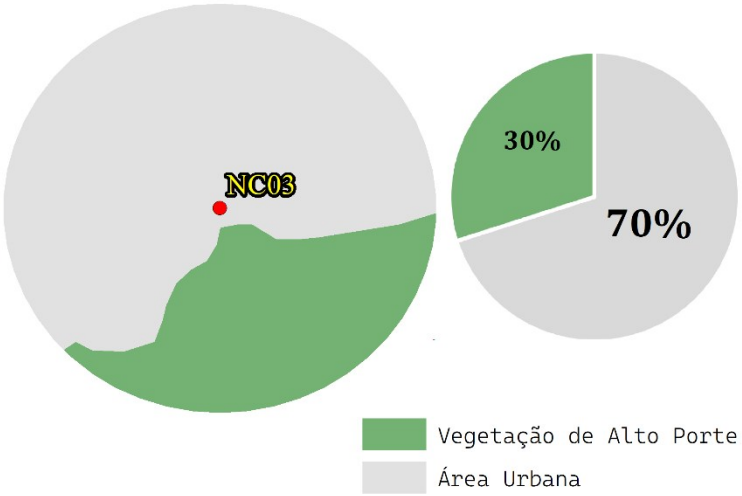
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	BOM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	BOM

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 222 ESTAÇÃO CHUVOSA: 122

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



NC04

Bairro Diamante, Regional do Barreiro - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Múltipla
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Dessedentação de animais Educação ambiental

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

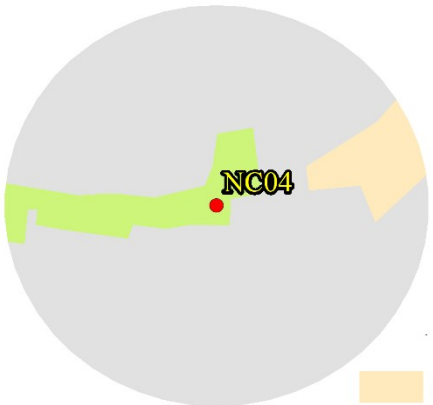
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	RUIM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	RUIM

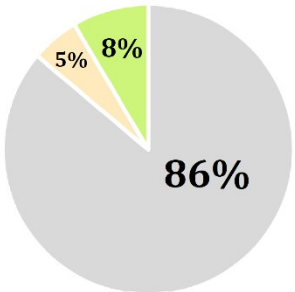
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 222 ESTAÇÃO CHUVOSA: 222

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Solo Exposto
Vegetação de Médio Porte
Área Urbana

NC05

Bairro Teixeira Dias, Regional do Barreiro - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo Recreação

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

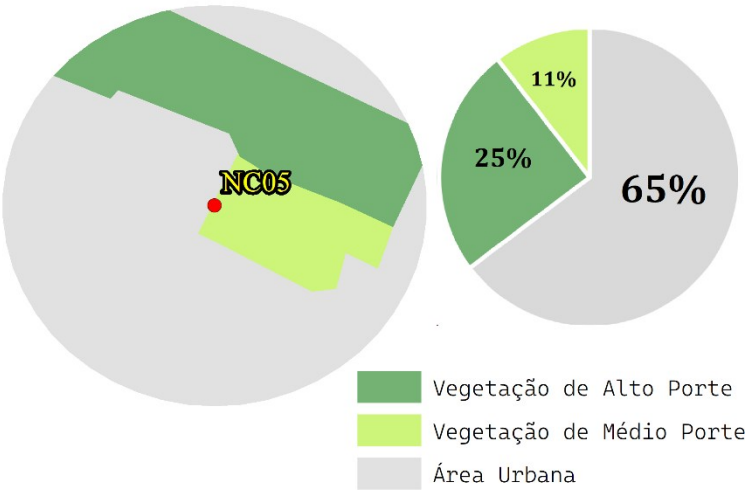
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	RUIM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	RUIM

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 233 ESTAÇÃO CHUVOSA: 233

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

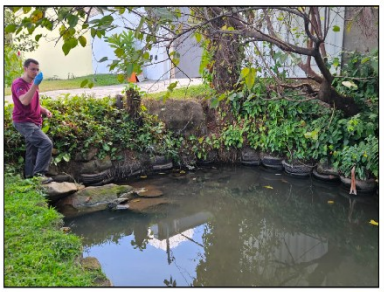
PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



NC06

Bairro Trevo, Regional da Pampulha - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada



CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Onça
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Múltipla
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo Criação de peixes

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

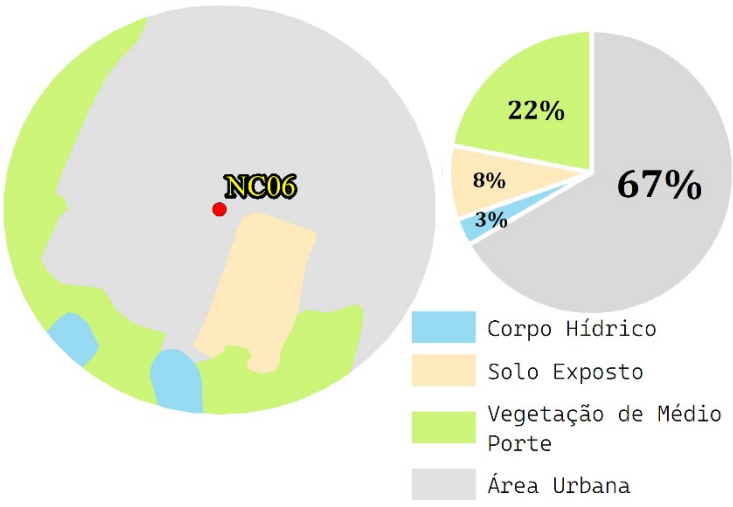
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	RUIM

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 233 ESTAÇÃO CHUVOSA: 233

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



NC07

Bairro Luxemburgo, Regional Centro-Sul - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Difusa
SAZONALIDADE	Intermitente
USOS DA ÁGUA	Não se aplica

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

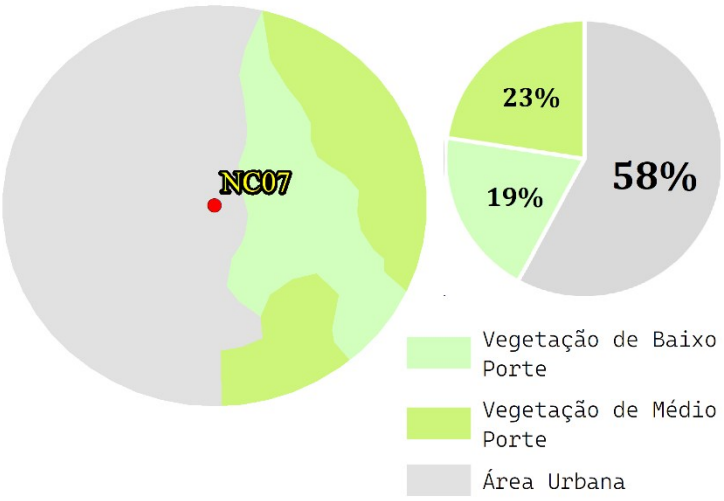
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	NÃO APLICÁVEL
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: NA ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



NC08

Bairro Havaí, Regional Oeste - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Múltipla
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Criação de peixes Lavagem de automóvel

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

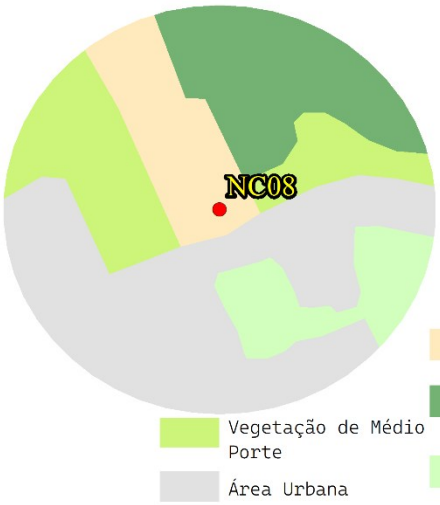
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

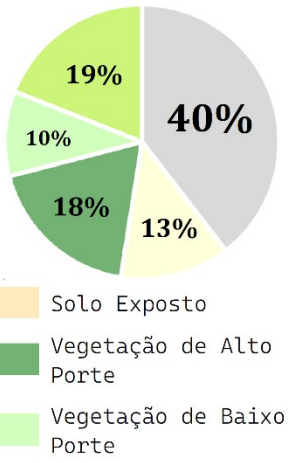
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 223 ESTAÇÃO CHUVOSA: 222

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





NC09

Bairro Acaba Mundo, Regional Centro-Sul - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Itabirito, Dolomito
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Consumo, Recreação Atividades domésticas

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

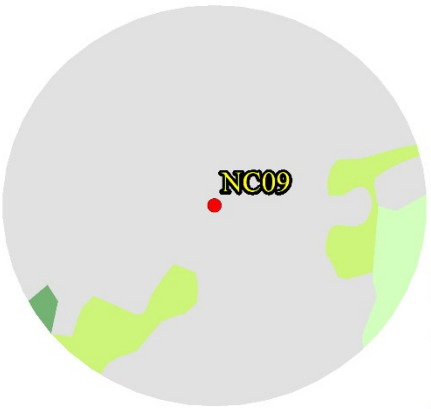
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	BOM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

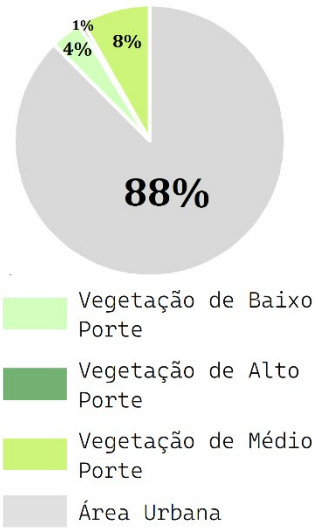
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 234 ESTAÇÃO CHUVOSA: 233

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





NC10

Bairro Acaba Mundo, Regional Centro-Sul - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Itabirito, Dolomito
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Consumo, Recreação Atividades domésticas

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

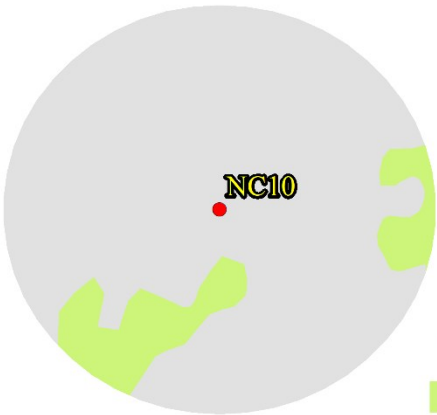
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

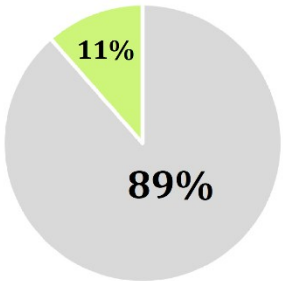
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 224 ESTAÇÃO CHUVOSA: 222

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Vegetação de Médio Porte

Área Urbana

NC11

Bairro Jaqueline, Regional Norte - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Isidoro
LITOLOGIA	Itabirito, Dolomito
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Difusa
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo Recreação

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

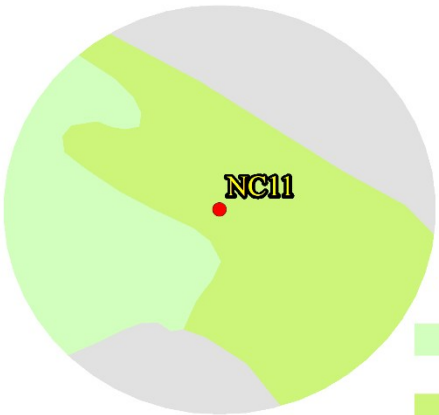
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	RUIM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	RUIM

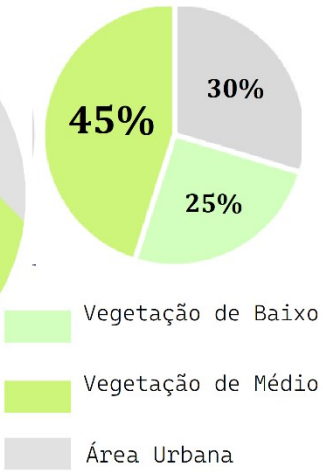
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 123 ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





NC12

Regional da Pampulha - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Onça
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo, Recreação, Descarte de material, Irrigação Dessedentação de animais

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

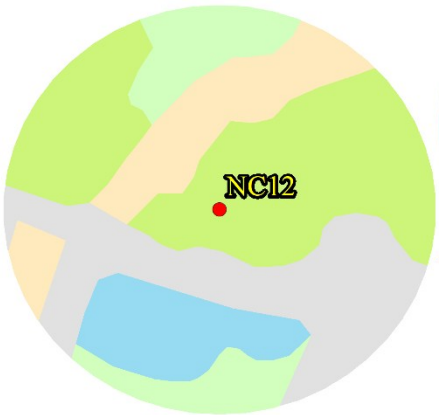
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	BOM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	RUIM

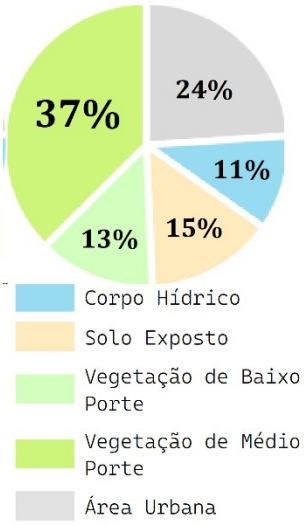
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 222 ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





NC13

Regional da Pampulha - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Onça
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Difusa
SAZONALIDADE	Intermitente
USOS DA ÁGUA	Paisagismo Recreação Descarte de material

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

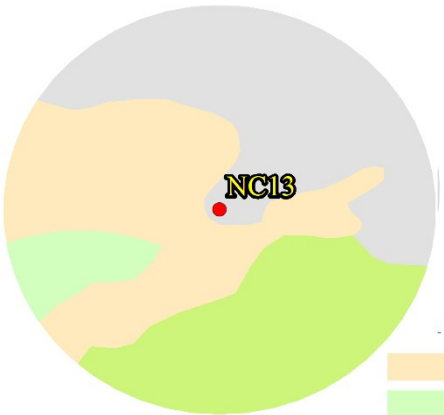
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	NÃO APLICÁVEL

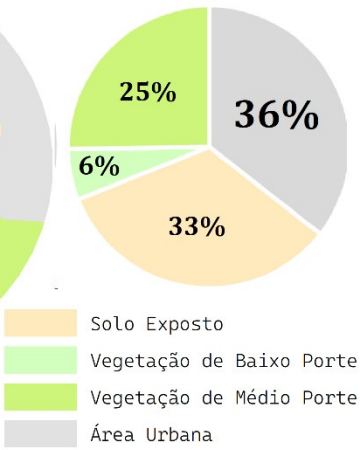
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 223 ESTAÇÃO CHUVOSA: NA

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





NC14

Bairro Céu Azul, Regional Venda Nova - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Isidoro
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Difusa
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	NÃO APLICÁVEL

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

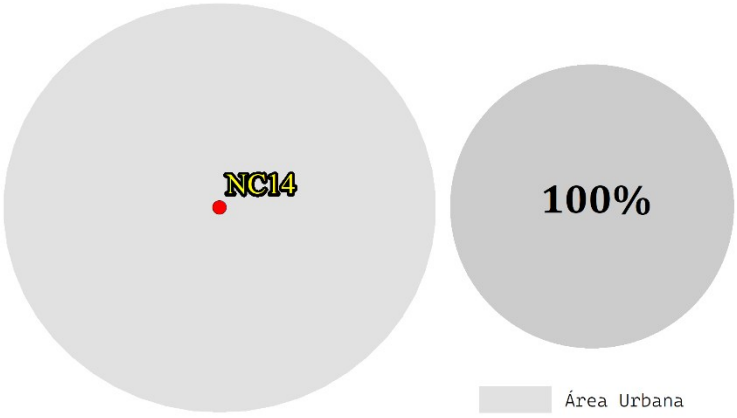
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 113 ESTAÇÃO CHUVOSA: 113

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



NC15

Bairro Frei Leopoldo, Regional Norte - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Isidoro
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo Criação de peixes Recreação

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

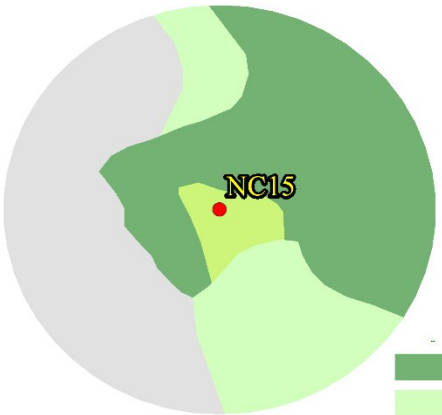
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	RUIM

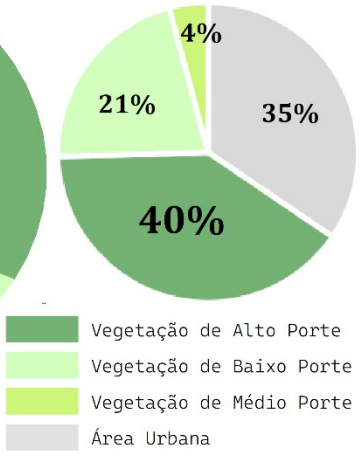
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 233 ESTAÇÃO CHUVOSA: 233

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

PIOR INDICADOR — MELHOR INDICADOR





NC16

Bairro Ipê, Regional Nordeste - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Onça
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Consumo Lavagem de automóvel Atividades domésticas

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

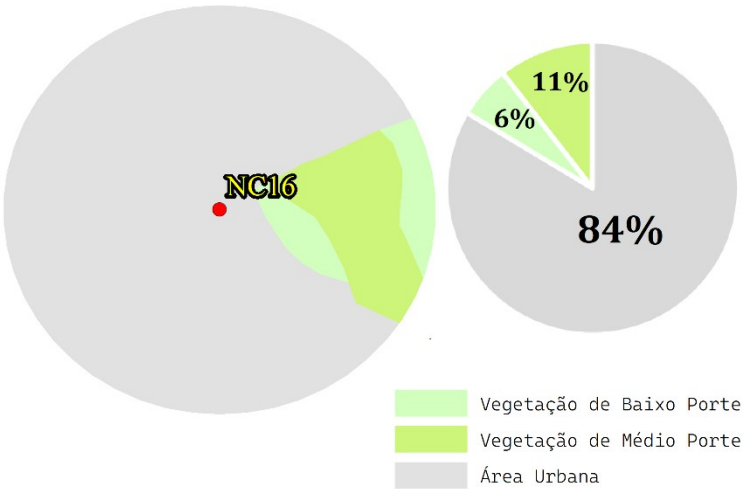
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	BOM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 124 ESTAÇÃO CHUVOSA: 123

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



NC17

Bairro Ipê, Regional Nordeste - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Onça
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Consumo Educação ambiental

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

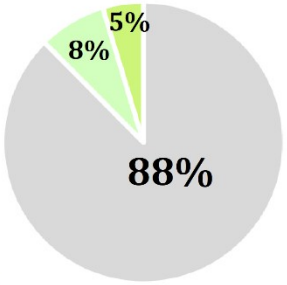
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	BOM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 125 ESTAÇÃO CHUVOSA: 123

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



Vegetação de Baixo Porte
Vegetação de Médio Porte
Área Urbana

NC18

Bairro Jardim Felicidade, Regional Norte - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Isidoro
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Consumo, Recreação, Lavagem de automóvel Dessedentação de animais, Educação ambiental, Atividades domésticas

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

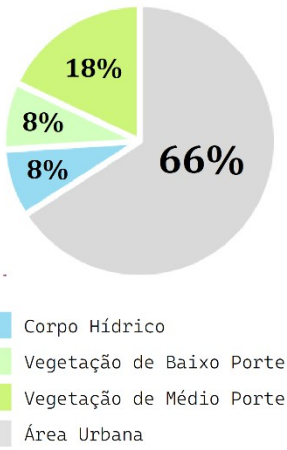
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	BOM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 224 ESTAÇÃO CHUVOSA: 222

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



NC19

Bairro Vila Cloris, Regional Norte - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Isidoro
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Múltipla
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo Criação de peixes

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

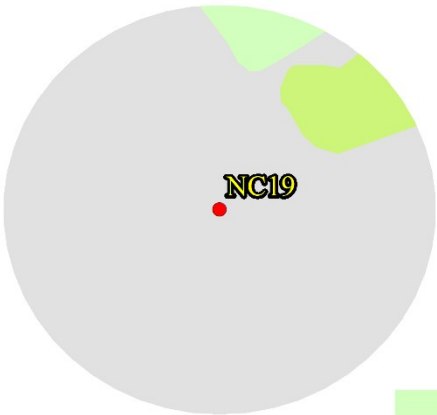
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	RUIM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

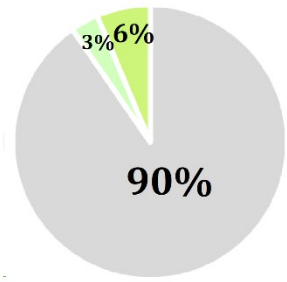
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 223 ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR — MELHOR INDICADOR





Vegetação de Baixo Porte
Vegetação de Médio Porte
Área Urbana

NC20

Regional da Pampulha - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Isidoro
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo Consumo Recreação

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

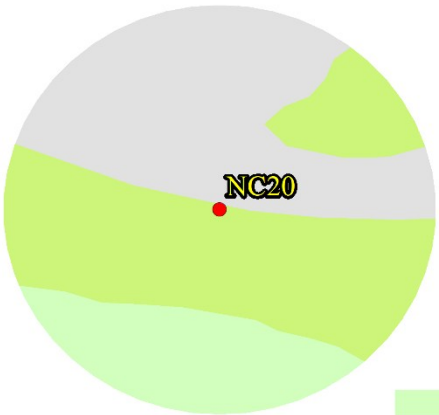
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	RUIM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	RUIM

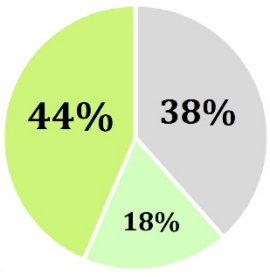
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 222 ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Vegetação de Baixo Porte
Vegetação de Médio Porte
Área Urbana

NC21

Bairro Cinquentenário, Regional Oeste - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Lavagem de automóvel Dessedentação de animais Atividades domésticas

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

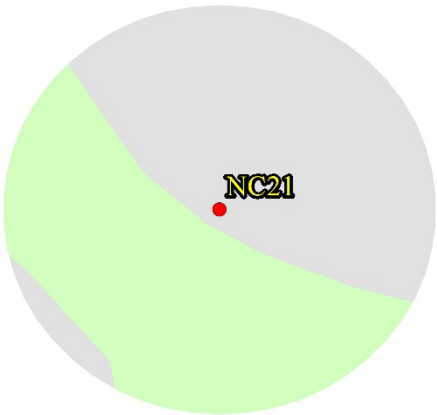
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

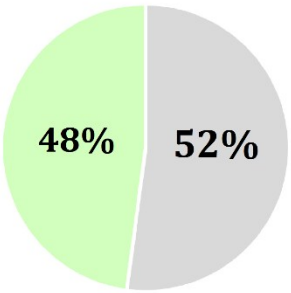
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 223 ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Vegetação de Baixo Porte
Área Urbana

NC22

Bairro Alta Tensão I, Regional do Barreiro - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Filito, Xisto
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Consumo Atividades domésticas

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

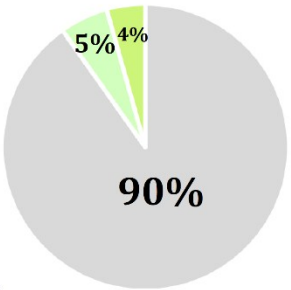
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 123 ESTAÇÃO CHUVOSA: 123

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR

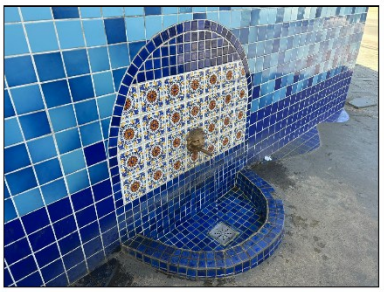


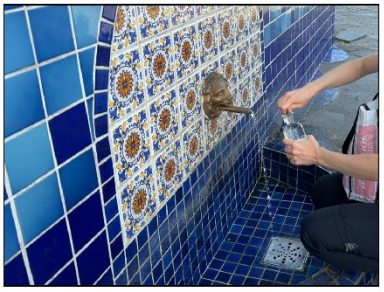
Vegetação de Baixo Porte
Vegetação de Médio Porte
Área Urbana

NC23

Bairro Sagrada Família, Regional Leste - Belo Horizonte/MG

Logradouro





CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Paisagismo, Consumo Lavagem de automóvel Atividades domésticas

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

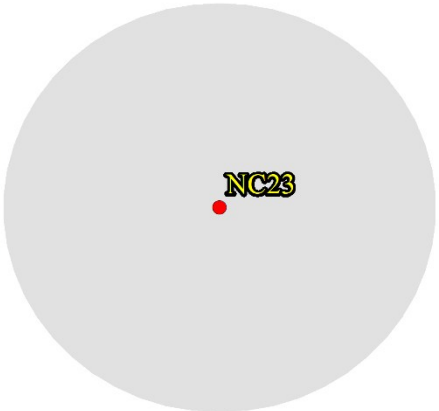
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	BOM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

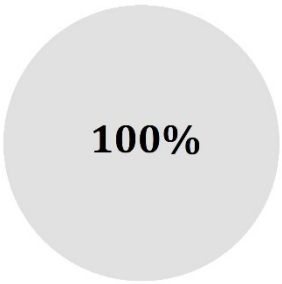
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 233 ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Área Urbana

NC24

Bairro Lourdes, Regional Centro-Sul - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Múltipla
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Consumo

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

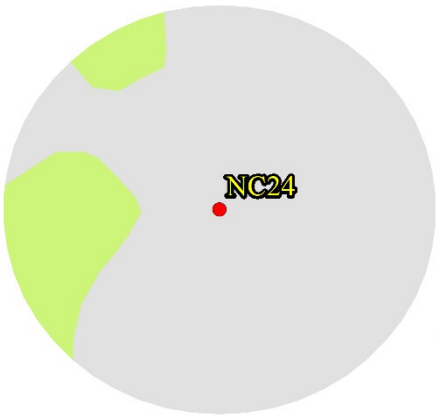
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	BOM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	BOM

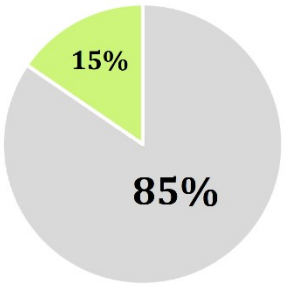
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 224 ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Vegetação de Médio Porte

Área Urbana

NC25

Bairro Esplanada, Regional Leste - Belo Horizonte/MG

Logradouro

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Lavagem de automóvel Atividades domésticas

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

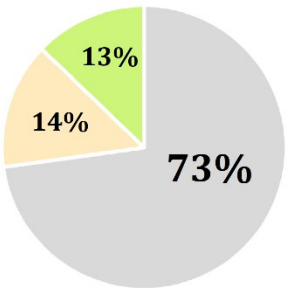
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	RUIM
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 124 ESTAÇÃO CHUVOSA: 123

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR



Solo Exposto
Vegetação de Médio Porte
Área Urbana

NC26

Bairro Calafate, Regional Oeste - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Natural
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão Arrudas
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Difusa
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	NA

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

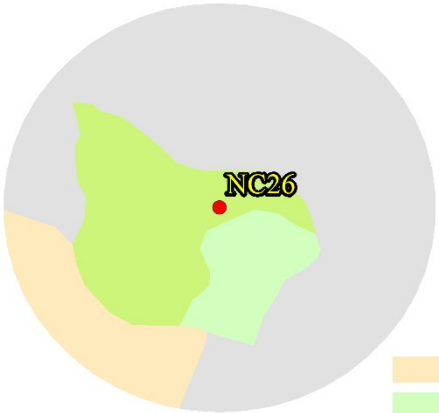
RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIO

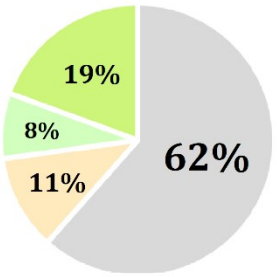
ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 234 ESTAÇÃO CHUVOSA: 234

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR





Solo Exposto
Vegetação de Baixo Porte
Vegetação de Médio Porte
Área Urbana

NC27

Bairro Pindorama, Regional Noroeste - Belo Horizonte/MG

Propriedade privada

CARACTERÍSTICAS GERAIS

CONDIÇÃO DE NATURALIDADE	Antrópica
BACIA HIDROGRÁFICA	Ribeirão do Onça
LITOLOGIA	Granito, Gnaisse
TIPO DE EXFILTRAÇÃO	Pontual
SAZONALIDADE	Perene
USOS DA ÁGUA	Criação de peixes

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

RESULTADO ESTAÇÃO SECA	MÉDIO
RESULTADO ESTAÇÃO CHUVOSA	RUIM

ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL

ESTAÇÃO SECA: 223 ESTAÇÃO CHUVOSA: 223

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

PIOR INDICADOR MELHOR INDICADOR