

Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Geografia

MIGUEL FERNANDES FELIPPE

**CARACTERIZAÇÃO E TIPOLOGIA DE NASCENTES EM
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE BELO HORIZONTE-MG
COM BASE EM VARIÁVEIS GEOMORFOLÓGICAS,
HIDROLÓGICAS E AMBIENTAIS**

Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil

Novembro – 2009

MIGUEL FERNANDES FELIPPE

**CARACTERIZAÇÃO E TIPOLOGIA DE NASCENTES EM
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE BELO HORIZONTE-MG
COM BASE EM VARIÁVEIS GEOMORFOLÓGICAS,
HIDROLÓGICAS E AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geografia e Análise Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como pré-requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Jr.

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

Instituto de Geociências da UFMG

2009

FOLHA DE APROVAÇÃO

À minha família, com amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer àqueles a quem dedico este trabalho, por permitirem que tudo isso acontecesse: minha família. À minha esposa, companheira e revisora; aos meus pais, pelas sólidas pilstras construídas; à minha pequena irmã, pelos grandes ensinamentos; aos meus avôs e avós, vivos ou não, por sempre participarem.

Não posso deixar de agradecer, também, à família LESTE, sobretudo ao Prof. Ralfo Matos e aos sempre-à-disposição, Brenner e Alfredo. Ao Prof. Ricardo Alexandrino Garcia – sem o qual o GoM não seria possível – pela confiança no trabalho e participação na banca examinadora. Agradeço também ao Grupo de Geomorfologia e Recursos Hídricos e aos grandes companheiros de campo – guerreiros – Henrique, Davi, Daniel e, especialmente, ao Chrystiann, quem me ensinou muito sobre *fazer pesquisa*. Ao Ricardo e ao Alex, pelos auxílios nos experimentos de laboratório.

Agradeço também ao Prof. Nilo Nascimento, pela oportunidade de participar das discussões do SWITCH e pelas sugestões de melhorias na dissertação; ao Prof. André Salgado, pela participação na banca, pelos infindáveis auxílios na parte de geoquímica e pelas profícuas discussões e sugestões. Deixo aqui um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Antônio Magalhães Jr., pelo apoio incondicional desde o início dos trabalhos e pelas grandes lições que aprendi nesses 20 meses de mestrado e em todos os anos de graduação.

Por fim, muito obrigado à Prefeitura de Belo Horizonte que, através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e da Fundação de Parques Municipais, viabilizou a realização dos trabalhos ao abrir as portas das Unidades de Conservação estudadas. Nominalmente, agradeço àqueles com quem estive diretamente em contato: Edanise Benvindo, Rafael Giovanini, Rejane Moura e Juliana Caetano da Fundação de Parques Municipais; Rodrigo Ádamo da Secretaria Municipal de Meio Ambiente; Rogério Siqueira e Emílson Miranda do Parque das Mangabeiras; Sérgio Domingues e Fabinho do Parque Lagoa do Nado; Cecílio do Parque Primeiro de Maio. Um agradecimento especial aos nossos *capitães-do-mato*: Helênio e Geso.

Espero que esse trabalho esteja à altura das incontáveis ajudas que recebi.

Obrigado!

Eagle fly free

(Michael Weikath - 1988)

*People are in big confusion
They don't like their constitutions
Everyday they draw conclusions
And they're still prepared for war*

*Some can say what's ineffective
Some make up themselves attractive
Build up things they call protective
Well your life seems quite bizarre*

(...)

*Hey, we think so supersonic
And we make our bombs atomic
Or the better quite neutronic
But the poor don't see a dime*

*Nowadays the air's polluted
Ancient people persecuted
That's what mankind contributed
To create a better time*

*In the sky a mighty eagle
Doesn't care 'bout what's illegal
On its wings the rainbow's light
It's flying to eternity*

*Eagle fly free
Let people see
Just make it your own way
Leave time behind
Follow the sign
Together we'll fly someday*

RESUMO

Nascentes são um dos elementos mais importantes do sistema hidrológico, promovendo a passagem da água subterrânea para a superfície. Elas marcam o início dos canais de drenagem e, assim, são responsáveis pela existência da porção dos recursos hídricos mais utilizada pela população, sobretudo nos trópicos úmidos: as águas superficiais. A importância das nascentes é atestada pela legislação ambiental brasileira desde 1965, quando elas foram consideradas áreas de preservação permanente. Todavia, a prática permanece muito distante da teoria.

Apesar da evidente necessidade de proteção das nascentes, esses ambientes têm sido degradados pela ação humana. Em espaços urbanos e metropolitanos, essas intervenções são ainda mais claras. As nascentes estão sendo drenadas ou canalizadas para permitir a expansão da infra-estrutura metropolitana. Isso resulta na remoção das nascentes da paisagem das cidades. Por isso, o estudo de nascentes em espaços metropolitanos é complexo e instigante, devido às variações dos processos “naturais” pelas ações do homem. Porém, são poucos os trabalhos que têm as nascentes como foco principal, principalmente em espaços urbanos, caracterizados por extensas alterações nas condições naturais.

Esse trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica e a tipologia de nascentes em três unidades de conservação do município de Belo Horizonte. As características físicas e humanas das nascentes e suas condições de conservação da água e do ambiente são estudadas. Ademais, após o mapeamento das nascentes e a análise de suas características, é possível propor uma tipologia multivariada no intuito de sistematizar o conhecimento.

Primeiramente, é discutido o conceito acadêmico de “nascente”. Existem algumas definições distintas para o termo, então, faz-se necessário propor aquela que permeia todo o trabalho. Para tanto, especialistas foram consultados, contribuindo para o desenvolvimento de um novo conceito. Dessa forma, as nascentes estudadas são identificadas em trabalhos de campo e mapeadas. A qualidade de suas águas e ambiente é interpretada, mostrando as vulnerabilidades das unidades de conservação. Além disso, é verificada a magnitude de suas vazões e a concentração de alguns íons nas águas.

Contudo, algumas especificidades e generalidades são descritas, na intenção de mostrar como as nascentes são heterogêneas. Por fim, uma proposta de tipologia para nascentes é apresentada, baseada em uma metodologia multivariada. É demonstrado que apesar de serem diversas, as nascentes possuem características comuns que deveriam ser interpretadas para a compreensão dessa complexa dinâmica.

Palavras-chaves: nascentes; tipologia; geomorfologia fluvial; meio ambiente; Belo Horizonte.

ABSTRACT

Springs are one of the most important elements of hydrological system, promoting the water passage from underground to surface. They mark the river's beginning, and so, they are responsible for the existence of the most used portion of water resources, mainly in the humid tropics: the superficial one. Their importance is attested by the Brazilian law since 1965, when the springs are called areas of permanent preservation. However, the praxis is far away from the theory.

Despite of the evident necessity of spring's protection, they have been damaged by human actions. In urban and metropolitan spaces those interventions are clearer. Springs are being drained or canalized to allow the expansion of metropolitan infra-structure. It results in the spring's removal from cities' landscape. That's why the study of springs in a metropolitan space is complex and exciting, because of the variations of "natural" processes by the human actions. Nevertheless, there are few works that have the springs as their main goal, mostly in urban spaces characterized by extensive alterations of natural conditions.

This work aims to analyze the dynamics and typology of springs in three conservation units of Belo Horizonte municipality. The physical and human spring's characteristics and the conditions of water and environment's conservation are studied. Thus, after the springs' mapping and the analyses of their characteristics, it's possible to propose a multivariate typology in intent to systemize the knowledge.

First of all, it's discussed the academic concept of "spring". There are several definitions for the term, so it's necessary to propose one that guides this work. For that, some specialists in this subject were consulted, contributing whit the development of a new concept. Therefore, the studied springs are identified in fieldworks and mapping. Their water and environment's quality is interpreted, showing the vulnerabilities of the conservation units. Also, it's verified the magnitude of their flows and the concentration of some ions in their water.

Finally, some specificity and some generality are described, in intent to show how heterogeneous the springs are. After all, a proposal of typology for springs is presented, based in a multivariate methodology. It shows that in spite of been diverse springs have common characteristics that shall be interpreted to understand their complex dynamics.

Keywords: springs; typology; fluvial geomorphology; environment; Belo Horizonte.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1 - | Nascente pontual (Parque das Mangabeiras) | 22 |
| Figura 2 - | Nascente difusa (Parque Lagoa do Nado) | 22 |
| Figura 3 - | Nascente em depressão (Parque Primeiro de Maio) | 22 |
| Figura 4 - | Nascente em encosta com afloramento rochoso (Parque das Mangabeiras) | 22 |
| Figura 5 - | Sistematização dos procedimentos metodológicos e resultados esperados | 31 |
| Figura 6 - | Parques Municipais selecionados como unidades de estudo | 34 |
| Figura 7 - | Balanço hídrico e armazenamento de água no solo de Belo Horizonte (1961-1990) | 39 |
| Figura 8 - | Comparação entre um conjunto tradicional e um conjunto nebuloso | 43 |
| Figura 9 - | Variação do grau de pertinência em conjuntos tradicionais e nebulosos | 43 |
| Figura 10 - | Localização e ocupação urbana do município de Belo Horizonte | 47 |
| Figura 11 - | Bacias hidrográficas do município de Belo Horizonte | 47 |
| Figura 12 - | Gráficos das normais climatológicas de Belo Horizonte | 49 |
| Figura 13 - | Hipsometria de Belo Horizonte | 52 |
| Figura 14 - | Unidades Geológicas de Belo Horizonte | 52 |
| Figura 15 - | Profundidade das coberturas superficiais | 55 |
| Figura 16 - | Domínios hidrogeológicos de Belo Horizonte | 55 |
| Figura 17 - | Parque das Mangabeiras: localização e ocupação urbana | 57 |
| Figura 18 - | Vegetação do Parque das Mangabeiras: savana em primeiro plano e na Serra, ao fundo, com a Floresta no centro | 59 |
| Figura 19 - | Vertente norte da Serra do Curral no bairro Mangabeiras: encosta íngreme, com crista sustentada por Canga | 59 |
| Figura 20 - | Parque das Mangabeiras: hipsometria | 59 |
| Figura 21 - | Parque das Mangabeiras: declividade | 61 |
| Figura 22 - | Parque das Mangabeiras: substrato geológico | 61 |
| Figura 23 - | Parque Lagoa do Nado: localização e ocupação urbana | 63 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figura 24 - | Vegetação do Parque Lagoa do Nado: gramíneas na alta vertente (primeiro plano) e matas secundárias nos fundos de vale | 63 |
| Figura 25 - | Predomínio absoluto de gramíneas na média e alta vertente, nas proximidades do limite oeste do Parque Lagoa do Nado | 63 |
| Figura 26 - | Parque Lagoa do Nado: declividade | 64 |
| Figura 27 - | Parque Lagoa do Nado: hipsometria | 65 |
| Figura 28 - | Parque Lagoa do Nado: substrato geológico | 65 |
| Figura 29 - | Parque Primeiro de Maio: localização e ocupação urbana | 67 |
| Figura 30 - | Uma das áreas de capoeira, na porção sudoeste do parque | 67 |
| Figura 31 - | Gramma em vertente ondulada na margem direita do córrego | 67 |
| Figura 32 - | Parque Primeiro de Maio: hipsometria | 68 |
| Figura 33 - | Parque Primeiro de Maio: declividade | 69 |
| Figura 34 - | Parque Primeiro de Maio: substrato geológico | 69 |
| Figura 35 - | Esquema da circulação da água no sistema hidrológico | 75 |
| Figura 36 - | Esboço de uma definição teórica de geossistema | 97 |
| Figura 37 - | Parque das Mangabeiras: espacialização das nascentes estudadas | 105 |
| Figura 38 - | Ravinamento no extremo noroeste do Parque das Mangabeiras | 106 |
| Figura 39 - | N002 evidenciando a proximidade de muitas nascentes com o canal principal | 106 |
| Figura 40 - | N049 no talude do canal principal | 106 |
| Figura 41 - | Proximidade entre nascentes | 106 |
| Figura 42 - | Parque Lagoa do Nado: espacialização das nascentes estudadas | 108 |
| Figura 43 - | Vista da cabeceira em que se encontra N060, oeste do Parque Lagoa do Nado | 110 |
| Figura 44 - | Evidência da pequena distância da área urbana para as nascentes, no caso, N061 | 110 |
| Figura 45 - | N077 com morfologia em cavidade, originada pelo escoamento concentrado pela canaleta evidenciada à montante | 110 |
| Figura 46 - | Nascente gerada pela queda de um eucalipto, em que suas raízes formaram uma cavidade onde a água exfiltra de forma perene – N064 | 110 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 47 - | Parque Primeiro de Maio: espacialização das nascentes estudadas | 112 |
| Figura 48 - | N069, localizada na média vertente em uma cabeceira de drenagem | 113 |
| Figura 49 - | Proximidade do muro que faz o limite do Parque Primeiro de Maio com N070 | 113 |
| Figura 50 - | A ausência de vegetação no entorno de algumas nascentes intensifica processos erosivos; no exemplo, N074 | 113 |
| Figura 51 - | Nascente antrópica (N072) formada por um cano que drena a água do local anterior em que ocorria a exfiltração | 113 |
| Figura 52 - | Nascente em concavidade no Parque Primeiro de Maio – N075 | 115 |
| Figura 53 - | Nascente em duto no Parque das Mangabeiras – N017 | 115 |
| Figura 54 - | Nascente em afloramento rochoso no Parque das Mangabeiras – N050 | 115 |
| Figura 55 - | Nascente em talvegue de sulco erosivo no Parque das Mangabeiras – N022 | 115 |
| Figura 56 - | Nascente em olho no Parque das Mangabeiras – N019 | 115 |
| Figura 57 - | Nascente em cavidade erosiva no Parque Lagoa do Nado | 115 |
| Figura 58 - | Nascente em intervenção – bacia de detenção de sedimentos – no Parque Lagoa do Nado – N063 | 116 |
| Figura 59 - | Nascente com exfiltração pontual no Parque Primeiro de Maio – N074 | 117 |
| Figura 60 - | Nascente com exfiltração difusa no Parque Lagoa do Nado – N065 | 117 |
| Figura 61 - | Nascente com exfiltração múltipla – quatro pontos de exfiltração – no Parque das Mangabeiras – N010 | 117 |
| Figura 62 - | Nascente com exfiltração múltipla – um ponto e uma área de exfiltração – no Parque das Mangabeiras – N029 | 117 |
| Figura 63 - | Mapas das nascentes das unidades estudadas tematizados pela morfologia (verão) | 120 |
| Figura 64 - | Mapas temáticos das nascentes nas unidades de estudo em função do tipo de exfiltração (verão) | 123 |
| Figura 65 - | Ocupação do espaço na bacia do Córrego do Parque das Mangabeiras | 138 |
| Figura 66 - | Ocupação do espaço na bacia da Lagoa do Nado | 139 |
| Figura 67 - | Ocupação do espaço na bacia do Córrego Primeiro de Maio | 139 |
| Figura 68 - | Nascentes perenes e intermitentes do Parque das Mangabeiras | 159 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 69 - | Nascentes perenes e intermitentes do Parque Lagoa do Nado | 160 |
| Figura 70 - | Nascentes perenes e intermitentes do Parque Primeiro de Maio | 160 |
| Figura 71 - | Vazão média anual das nascentes do Parque das Mangabeiras | 165 |
| Figura 72 - | Vazão média anual das nascentes do Parque Lagoa do Nado | 165 |
| Figura 73 - | Vazão média anual das nascentes do Parque Primeiro de Maio | 166 |
| Figura 74 - | Deslocamento sazonal das nascentes do Parque das Mangabeiras | 180 |
| Figura 75 - | Deslocamento sazonal das nascentes do Parque Lagoa do Nado | 182 |
| Figura 76 - | Deslocamento sazonal das nascentes do Parque Primeiro de Maio | 182 |
| Figura 77 - | Concentração média anual de Sílica nas nascentes do Parque das Mangabeiras | 190 |
| Figura 78 - | Concentração média anual de Sílica nas nascentes do Parque Lagoa do Nado | 190 |
| Figura 79 - | Concentração média anual de Sílica nas nascentes do Parque Primeiro de Maio | 191 |
| Figura 80 - | Concentração média anual de Ferro nas nascentes do Parque das Mangabeiras | 192 |
| Figura 81 - | Concentração média anual de Ferro nas nascentes do Parque Lagoa do Nado | 193 |
| Figura 82 - | Concentração média anual de Ferro nas nascentes do Parque Primeiro de Maio | 193 |
| Figura 83 - | Concentração média anual de Alumínio nas nascentes do Parque das Mangabeiras | 195 |
| Figura 84 - | Concentração média anual de Alumínio nas nascentes do Parque Lagoa do Nado | 195 |
| Figura 85 - | Concentração média anual de Alumínio nas nascentes do Parque Primeiro de Maio | 196 |
| Figura 86 - | Perda geoquímica média anual de Sílica nas nascentes do Parque das Mangabeiras | 210 |
| Figura 87 - | Perda geoquímica média anual de Sílica nas nascentes do Parque Lagoa do Nado | 210 |
| Figura 88 - | Perda geoquímica média anual de Sílica nas nascentes do Parque Primeiro de Maio | 211 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figura 89 - | Perda geoquímica média anual de Ferro nas nascentes do Parque das Mangabeiras | 212 |
| Figura 90 - | Perda geoquímica média anual de Ferro nas nascentes do Parque Lagoa do Nado | 213 |
| Figura 91 - | Perda geoquímica média anual de Ferro nas nascentes do Parque Primeiro de Maio | 213 |
| Figura 92 - | Perda geoquímica média anual de Alumínio nas nascentes do Parque das Mangabeiras | 215 |
| Figura 93 - | Perda geoquímica média anual de Alumínio nas nascentes do Parque Lagoa do Nado | 215 |
| Figura 94 - | Perda geoquímica média anual de Alumínio nas nascentes do Parque Primeiro de Maio | 216 |
| Figura 95 - | Afloramentos rochosos a jusante do início da exfiltração em N040 | 221 |
| Figura 96 - | Exfiltração determinada pelo afloramento rochoso (N018) | 221 |
| Figura 97 - | Afloramentos a montante da exfiltração de N002 | 221 |
| Figura 98 - | Exfiltração condicionada por raízes é evidente em N037 | 221 |
| Figura 99 - | Nascente artificializada e descaracterizada que não pode ser considerada antropogênica pois existem condições naturais para exfiltração (N063) | 224 |
| Figura 100 - | Nascente antropogênica originada por cavidade erosiva à jusante de uma canaleta de drenagem pluvial (N078) | 224 |
| Figura 101 - | Nascente em duto no talude de um canal, com convexidade a montante (N048) | 225 |
| Figura 102 - | Nascente em duto em talude de corte de estrada, com convexidade a montante (N017) | 225 |
| Figura 103 - | Detalhe do duto em afloramento rochoso de N055 | 226 |
| Figura 104 - | Vista do íngreme segmento da vertente em que se encontra N055 | 226 |
| Figura 105 - | Nascente em duto localizado em ruptura de declive (N005) | 228 |
| Figura 106 - | Vista do início da exfiltração de N011 e de parte do lago formado | 228 |
| Figura 107 - | Cavidade erosiva provocada pela concentração do escoamento pluvial (N066) | 230 |
| Figura 108 - | Lixo e turbidez da água são indícios da baixa qualidade ambiental de N066 | 230 |

| | |
|---|-----|
| Figura 109 - Ausência completa de vegetação ao redor de N070 | 231 |
| Figura 110 - Início de formação de pequenos sulcos erosivos a montante de N070 | 231 |
| Figura 111 - Área alagada com vegetação herbáceo-graminosa em N065 | 232 |
| Figura 112 - Proximidade das residências com o local da exfiltração de N065 | 232 |
| Figura 113 - Vista da densidade da vegetação de capoeira que circunda N069 | 234 |
| Figura 114 - Contraste vegetacional em N076, mostrando a capoeira em meio artificializado | 234 |
| Figura 115 - Vista de N059, localizada a jusante da barragem do Parque Lagoa do Nado | 236 |
| Figura 116 - Coloração da água típica de ambientes de redução de Ferro (N059) | 236 |
| Figura 117 - Tipologia das nascentes do Parque das Mangabeiras | 255 |
| Figura 118 - Tipologia das nascentes do Parque Lagoa do Nado | 256 |
| Figura 119 - Tipologia das nascentes do Parque Primeiro de Maio | 258 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO: NASCENTES E MEIO AMBIENTE URBANO | 17 |
| 1.1. <i>Objetivos</i> | 26 |
| 1.2. <i>Justificativas</i> | 27 |
| 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 30 |
| 2.1. <i>Matriz de características ambientais</i> | 34 |
| 2.2. <i>Trabalhos de campo</i> | 38 |
| 2.3. <i>A Teoria dos Conjuntos Nebulosos e o método “Grade of Membership”</i> | 42 |
| PARTE I: EMBASAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL | |
| 3. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS UNIDADES DE ESTUDO | 46 |
| 3.1. <i>Aspectos geográficos da bacia do Parque das Mangabeiras</i> | 57 |
| 3.2. <i>Aspectos geográficos da bacia da Lagoa do Nado</i> | 62 |
| 3.3. <i>Aspectos geográficos da bacia do Parque Primeiro de Maio</i> | 66 |
| 4. NASCENTES: CONCEITOS E ABORDAGENS | 70 |
| 4.1. <i>As nascentes no ciclo hidrossocial</i> | 71 |
| 4.2. <i>Exfiltração da água subterrânea: recarga, fluxos e descarga</i> | 74 |
| 4.3. <i>O(s) conceito(s) de nascente apresentado(s) na literatura acadêmica: convergências e divergências</i> | 79 |

| | |
|--|----|
| 4.4. <i>Dinâmica das nascentes: características, tipologias e classificações</i> | 83 |
|--|----|

PARTE II: RESULTADOS OBTIDOS

| | |
|---|------------|
| 5. AVALIAÇÃO DOS CONCEITOS DE NASCENTE A PARTIR DOS RESULTADOS DE UM PAINEL DE ESPECIALISTAS | 89 |
| 5.1. <i>As nascentes como sistemas ambientais</i> | 96 |
| 6. ESPACIALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS NASCENTES ESTUDADAS | 100 |
| 6.1. <i>Identificação e mapeamento de nascentes</i> | 101 |
| 6.2. <i>Mapeamento das nascentes do Parque Municipal das Mangabeiras</i> | 103 |
| 6.3. <i>Mapeamento das nascentes do Parque Municipal Fazenda Lagoa do Nado</i> | 107 |
| 6.4. <i>Mapeamento das nascentes do Parque Primeiro de Maio</i> | 110 |
| 6.5. <i>Fisiografia das nascentes estudadas</i> | 113 |
| 7. QUALIDADE AMBIENTAL DAS NASCENTES NO ESPAÇO METROPOLITANO | 125 |
| 7.1. <i>Conseqüências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes</i> | 126 |
| 7.2. <i>Aplicação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN</i> | 129 |
| 7.3. <i>Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade das águas</i> | 141 |
| 8. DINÂMICA HIDROLÓGICA DAS NASCENTES ESTUDADAS: VAZÃO E MIGRAÇÃO | 155 |
| 8.1. <i>Análise interpretativa dos dados de vazão das nascentes</i> | 157 |
| 8.1.1. <i>Vazão média anual das nascentes</i> | 162 |

| | |
|---|-----|
| 8.2. <i>Condicionantes ambientais das vazões</i> | 167 |
| 8.3. <i>Mobilidade das nascentes na vertente</i> | 178 |
| 9. GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS DAS NASCENTES | 184 |
| 9.1. <i>Caracterização das concentrações de alumínio, ferro e sílica nas amostras de água das nascentes</i> | 185 |
| 9.2. <i>Relação da hidroquímica com o litotipo sotoposto</i> | 197 |
| 9.3. <i>Perda geoquímica</i> | 204 |
| 10. ESPECIFICIDADES E GENERALIDADES ENCONTRADAS | 218 |
| 10.1. <i>Energia dos fluxos subterrâneos, morfologia e tipo de exfiltração</i> | 218 |
| 10.2. <i>Atuação dos afloramentos rochosos no processo de exfiltração</i> | 220 |
| 10.3. <i>Influência das raízes na exfiltração</i> | 221 |
| 10.4. <i>As “nascentes antropogênicas”</i> | 222 |
| 10.5. <i>Vulnerabilidade das nascentes difusas</i> | 223 |
| 10.6. <i>Convexidades a montante das nascentes em duto</i> | 224 |
| 10.7. <i>N055: a maior vazão registrada</i> | 225 |
| 10.8. <i>N005: a maior vazão média</i> | 226 |
| 10.9. <i>N011: nascente inundada ou extensa migração para montante?</i> | 227 |
| 10.10. <i>N066: a pior qualidade ambiental</i> | 229 |
| 10.11. <i>N070: erosão, deposição e possibilidade de desaparecimento</i> | 230 |
| 10.12. <i>N065: ausência de coliformes em exfiltração difusa</i> | 232 |

| | | |
|---|---|-----|
| 10.13. | <i>N069 e N076: resquícios naturais em meio artificial</i> | 233 |
| 10.14. | <i>N059: influência da represa na exfiltração</i> | 235 |
| 11. ELABORAÇÃO DE UMA TIPOLOGIA PARA AS NASCENTES A PARTIR DE UMA METODOLOGIA QUALITATIVA MULTIVARIADA | | 237 |
| 11.1. | <i>Seleção das variáveis e preparação da matriz qualitativa</i> | 239 |
| 11.2. | <i>Descrição dos tipos criados</i> | 243 |
| 11.3. | <i>Espacialização dos resultados</i> | 250 |
| 12. CONSIDERAÇÕES FINAIS | | 260 |
| 13. REFERÊNCIAS | | 265 |

1. INTRODUÇÃO: NASCENTES E MEIO AMBIENTE URBANO

A severidade das conseqüências de impactos ambientais sobre o globo criou, no século XXI, uma conjuntura internacional na qual questões ambientais têm sido colocadas com uma importância equivalente às discussões econômicas e sociais. As grandes intervenções humanas sobre o meio parecem, agora, alimentar receios ante um futuro – não muito distante – fadado ao caos da relação homem-natureza. Destarte à dicotomia catastrofistas *versus* desenvolvimentistas, é inerente o fato de que grandes transformações ambientais são vislumbradas e a escassez de recursos naturais é predita. No *front* dessas preocupações encontra-se, indubitavelmente, a água.

Assim, a água se torna objeto de estudo de inúmeras disciplinas. Aspectos quantitativos e qualitativos têm sido cada vez mais explorados, muitas vezes, sob uma eficiente ótica transversal que perpassa diversas ciências. Sob o conceito de um recurso natural, muitos estudos abordam a água em função de sua relação com a sociedade e com a economia. Seus usos efetivos e potenciais passam a ganhar em relevância nesse cenário de degradação contínua da qualidade ambiental.

A Geografia emerge nesse contexto como uma ciência que, por definição, é apta a discutir aspectos naturais e sociais, tateando conceitos das mais diversas disciplinas. A transversalidade pré-suposta dos estudos geográficos coloca a esta ciência a possibilidade de exploração do conceito de Meio Ambiente sob uma nova ótica. O “meio” é transformado em “sistema” e a água passa a ser interpretada como um elemento fundamental desse sistema capaz de promover sua dinâmica interna ao realizar transferência de matéria e energia. Os elementos antrópicos de forma alguma são ignorados; pelo contrário, o homem é inserido no sistema não apenas como agente transformador, mas como elemento essencial de seu funcionamento.

Porém, a herança antropocêntrica enxerga a natureza como recurso, ou seja, coloca um objetivo estritamente humano ao meio, dito, natural (REBOUÇAS, 1999a). Inserindo a sociedade no sistema ambiental, a forma de interpretar as relações sócio-naturais deve ser revista. Um novo paradigma no qual homem e natureza não são excludentes é essencial para os estudos ambientais (GONÇALVES, 1995).

Sob este enfoque, mais do que a compreensão da água enquanto elemento *natural* dotado de características físicas e químicas próprias, anseia-se, na vanguarda da epistemologia geográfica, conceber a água como um elemento *ambiental*. Suas funções social, econômica e natural devem ser compreendidas de forma conjunta e com o mesmo peso.

A água é elemento primordial na manutenção do equilíbrio ambiental. Responsável pelos processos fisiológicos que garantem vida às plantas e animais e agente geomorfológico responsável por processos intempéricos e desnudacionais modeladores do relevo, possui também claro condicionamento na distribuição das atividades humanas no planeta. Portanto, em termos geográficos, a água é essencial para a estruturação de uma série de processos espaciais.

A concepção de água como um bem renovável e infinito na escala de vida humana, tem sido substituída pela idéia de um bem finito em quantidade e qualidade, apesar de que seus volumes absolutos não sejam alterados em nível global¹ (MAGALHÃES Jr, 2007). Todavia, ampliando a escala de abordagem, o ciclo hidrológico possui dinâmicas distintas em função das especificidades de cada bacia ou cada região.

Essa discussão ganha ainda mais importância em espaços urbanos. A aglomeração de pessoas e atividades econômicas, invariavelmente, exerce uma pressão demasiadamente grande sobre o meio natural. As demandas cada vez maiores de recursos promovem a degradação da qualidade ambiental, sendo que as cidades – ou metrópoles – se transformam em uma antítese do natural. Porém, a concepção integrada de ambiente permite uma interpretação sensivelmente distinta: o meio ambiente urbano (JACOBI, 1997; CARLOS, 1994).

Sabe-se que a espacialidade do meio urbano é definida por uma série de fatores, sobretudo do quadro econômico, apesar da incontestável importância dos aspectos do quadro físico. Porém, a complexidade dos processos de uso dos recursos e de alteração das condições naturais do ambiente exige esforços teórico-metodológicos distintos dos tradicionais. De antemão, sabe-se que é imprescindível conhecer o sítio, interpretar seus processos, avaliar suas condições ambientais. Esse é um fator de suma importância na busca de certo equilíbrio entre ocupação e expansão urbana e dinâmica dos sistemas ambientais.

¹ Considerando, neste caso, a escala de tempo humana, posto que se sabe da inserção de águas juvenis no sistema, bem como da perda do recurso para o espaço (REBOUÇAS, 1999a).

Vislumbra-se desvendar algumas das muitas lacunas que existem sobre a temática da água em espaços densamente urbanizados, como o caso de Belo Horizonte. Os rios são as formas mais comuns de expressão espacial das águas superficiais. Por isso, são notáveis a quantidade e qualidade dos estudos que buscam compreender a dinâmica dos rios, mesmo em meio urbano (WARD; TRIMBLE, 2004; PORTO *et al.*, 2002; NASCIMENTO; BATISTA, 1998; HALL, 1984). Porém, é necessário conhecer como eles são formados e os processos que condicionam sua origem; nesse ponto as nascentes emergem como sistemas essenciais na manutenção do equilíbrio hidrológico e, conseqüentemente, ambiental.

De forma simplificada, pode-se afirmar que a perenização dos cursos d'água superficiais é garantida pelas águas subterrâneas. Os fluxos subterrâneos convergem para zonas de menor potencial hidrométrico, promovendo uma diferença de energia que resulta na exfiltração da água subterrânea para a superfície (STRAHLER; STRAHLER, 1992). A exfiltração é o principal responsável pela formação de nascentes, contribuindo para os fluxos dos canais juntamente com as águas pluviais que atingem os canais diretamente ou pelo escoamento pluvial nas vertentes (FEITOSA; MANOEL-FILHO, 1997; FETTER, 1994).

Porém, nem toda a água disponível em subsuperfície abastece as nascentes. (VALENTE; GOMES, 2005). Um exemplo clássico é o dos rios efluentes, situação na qual o nível freático, em contato com o talvegue, gera exfiltração da água diretamente na calha fluvial. Além disso, a percolação em profundidade pode ocorrer, abastecendo os aquíferos mais profundos.

Uma rápida revisão bibliográfica sobre a temática abordada mostra que o estudo sobre as nascentes – seja na literatura brasileira ou estrangeira – apresenta inúmeras lacunas. Parte dessas deve-se à complexidade do tema que exige uma abordagem interdisciplinar. Todavia, a ciência tem buscado cada vez mais a comunicação entre os diversos campos do conhecimento, de forma que a interdisciplinaridade é mais plausível. Adicionalmente, a consideração da teoria geossistêmica possibilita ir além das relações causa-efeito que nortearam pesquisas geográficas no passado, vislumbrando com maior facilidade a complexidade do ambiente e dando subsídios a estudos mais precisos (PASSOS, 1988).

A escassez de estudos estritamente sobre nascentes ocasiona, em termos acadêmicos, uma falta de precisão no seu conceito. Concomitantemente, o senso comum trabalha constantemente a “idéia” de nascente, fato que transborda para o meio científico gerando uma falsa impressão de que o conceito é claro e está definido. A literatura traz algumas tentativas

de conceitualização do termo sendo, porém, muito distintas entre si, e supervalorizando determinados elementos de acordo com o foco do estudo no qual se insere o termo. Isso faz com que haja uma concepção para a engenharia, outra para a agronomia, outra para a geologia e ainda outra para a geografia. Em campo, porém, verifica-se facilmente a falta de aplicabilidade de alguns conceitos e as limitações de outro.

Segundo Valente e Gomes (2005, p. 40), as nascentes “são manifestações superficiais de lençóis subterrâneos”. Ou seja, são zonas de contato do nível freático com a superfície topográfica, onde ocorre a surgência da água, podendo originar um canal de drenagem a jusante.

Com uma idéia semelhante, Davis (1966) afirma que nascente é qualquer descarga superficial natural de água grande o suficiente para formar pequenos córregos. Goudie (2004) também vê a nascente como um ponto onde a água subterrânea emerge à superfície.

Adicionalmente, coloca-se o conceito adotado pela Resolução CONAMA nº 303/2002 que define nascente ou olho d'água como “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea” (BRASIL, 2002. Art. 2º; II). Notadamente preocupado com a espacialização da nascente ao colocá-la como um “local”, esse conceito retoma a naturalidade dos processos.

Porém, em termos geográficos e visando a educação e proteção ambiental, esses conceitos devem ser ampliados e clarificados, visando compreender mais do que simplesmente a exfiltração. De fato, a passagem da água subterrânea para a superfície deve ser considerada como o principal processo que condiciona a existência de uma nascente, porém, empiricamente, é perceptível que há uma série de características ambientais que sustentam as nascentes, sem as quais estas não existiriam.

Guerra (1993) afirma que as nascentes não são, necessariamente, um ponto, ou seja, um lugar bem definido (FIG. 1 e 2). De fato, muitas delas se manifestam pontualmente, mas isso é apenas um dos meios de exfiltração. Mormente, as nascentes são uma área, uma zona da superfície onde ocorre a exfiltração da água subterrânea. Mas a compreensão destas variações ainda é limitada na literatura.

As nascentes devem ser entendidas em seus respectivos contextos ambientais. Em termos geomorfológicos, é importante caracterizar a bacia de cabeceira onde estão situadas, caso

existam. As cabeceiras de drenagem correspondem, geralmente, a formas côncavas à semelhança de anfiteatros erosivos que concentram fluxos pluviais e sedimentos. Porém, nem sempre possuem esta forma tão característica, podendo apresentar morfologia suavizada e mal demarcada na superfície. Originam-se de processos de intemperismo e erosão superficial e sub-superficial de caráter químico (dissolução/remoção) e/ou físico (erosão mecânica), onde as águas pluviais e subterrâneas são os agentes principais. Ao determinarem o rearranjo dos fluxos em superfície, funcionando como pequenas bacias de captação de água e sedimentos, as cabeceiras possuem destacada importância na proteção e conservação das nascentes.

Uma primeira aproximação em torno das muitas possibilidades de morfologia de nascentes pode ser realizada por sua tipologia. Segundo Valente e Gomes (2005) são seis os principais tipos de nascentes: nascente de encosta (FIG. 3), marcada pelo contato de camadas geológicas, mormente localizadas em sopé de morros; nascente de depressão (FIG. 4), formada por “olhos d’água” – pontos de borbulhamento; nascente difusa, que ocorre em áreas encharcadas, como brejos (FIG. 2); nascente de lençol artesianos, originadas em locais de forte declive e aquíferos confinados, principalmente em contatos geológicos; nascente de falha geológica, que ocorrem onde as falhas marcam o contato do nível freático com a superfície; nascente de rochas cársticas, originadas em dutos, canais cársticos ou mesmo dolinas.

Buscando a tipologia elaborada por Todd e Mays (2005) podem-se ainda identificar nascentes termiais, formadas em embasamentos geológicos termiais; gêiseres, que são nascentes termiais periódicas formadas por diferenciação de pressão nos canais subsuperficiais; nascentes de contato, com nível freático delimitado por diferença de permeabilidade do substrato; e nascentes em rochas impermeáveis, que ocorrem em canais tubulares ou fraturas.

Outra importante feição que estabelece relações diretas com as nascentes é a chamada área de contribuição dinâmica. Esta corresponde a uma faixa úmida que existe em torno da maioria das nascentes (VALENTE; GOMES, 2005). O teor de água no solo desta porção do terreno é resultado do afluxo constante de água da zona saturada em direção à nascente, caracterizando-se como áreas contínuas de passagem da água; por isso, são permanentemente mais úmidas que seu entorno.



FIGURA 1 - Nascente pontual (Parque das Mangabeiras).

Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 2 - Nascente difusa (Parque Lagoa do Nado).

Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 3 - Nascente em depressão (Parque Primeiro de Maio).

Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 4 - Nascente em encosta com afloramento rochoso (Parque das Mangabeiras).

Foto: Miguel F. Felipe.

Portanto, as nascentes dos cursos d'água são resultantes principalmente da dinâmica hidrológica subsuperficial. Quando o nível freático atinge a superfície, a água subterrânea transforma-se em superficial. Mas essa simples explicação oculta a complexidade dos processos envolvidos, sobretudo ao se levar em consideração a influência humana.

Um apanhado da literatura demonstra, então, que uma nascente é marcada por uma feição geomorfológica em que ocorre a exfiltração da água subterrânea em alguma parte do ano, formando canais de drenagem a jusante e possuindo características pedológicas e vegetacionais próprias, distintas de seu entorno imediato em função da maior disponibilidade de água.

O estudo das nascentes de uma metrópole como Belo Horizonte é complexo e instigante, posto que a dinâmica hidrológica é vulnerável às ações humanas. O ambiente urbano é a principal expressão espacial das pressões antrópicas sobre as águas, sendo que os sistemas econômicos vigentes, voltados à produção e à realização de riqueza, geram uma necessidade crescente de recursos hídricos. Dessa maneira, a água, então considerada um elemento do

quadro físico, responsável pela manutenção do equilíbrio ambiental, torna-se um elemento do quadro humano (SWINGEDOUW, 2002), com funções e usos determinados; responsável pela manutenção do equilíbrio do sistema. Assim, a “água” torna-se um “recurso hídrico” (REBOUÇAS, 1999a).

Isso mostra que o estudo das nascentes, bem como qualquer estudo que aborde a temática dos recursos hídricos, possui uma transversalidade clara. Conceitualmente, é necessário buscar embasamento em diversas ciências, mormente, na hidrologia, geologia, biologia, física e, obviamente, em diversos campos da geografia – geomorfologia, biogeografia, climatologia e pedologia. Acrescentando à abordagem a perspectiva humana, devem-se ainda tangenciar estudos de geografia urbana, geografia rural e geografia da população.

A dinâmica de processos e formas espacializados e conectados por fluxos de matéria e energia constitui o geossistema proposto por Sotchava (PASSOS, 1988). Cada elemento é fundamental para a configuração do sistema, assim como para sua modificação. Porém, o todo não é a soma das partes. As nascentes podem ser caracterizadas por seus elementos, mas a simples análise destes não resultará num retrato confiável do ambiente. A síntese é, assim, imprescindível como método de reconstrução do todo não apenas em função das partes, mas de suas interações mútuas sob uma perspectiva sistêmica.

Trabalhar com meio ambiente urbano é ainda mais delicado. “O sistema urbano apresenta condições geoecológicas específicas que alteram de forma profunda as condições naturais básicas” (TROPMAIR, 2004, p. 110). Isso significa dizer que os centros urbanos tendem a se afastar cada vez mais das características ambientais naturais. Portanto, delimitar conceitualmente as questões ambientais trabalhadas é imprescindível. O ciclo hidrológico nesses ambientes é, então, um sistema aberto e grandemente influenciado pelas atividades humanas, tornando-se hidrossocial (SWINGEDOUW, 2004).

Uma primeira dificuldade epistemológica é o próprio conceito de “meio ambiente”. Segundo IBGE (2004a), meio ambiente é o

“conjunto dos agentes físicos, químicos, biológicos e dos fatores sociais susceptíveis de exercerem um efeito direto ou mesmo indireto, imediato ou a longo prazo (sic), sobre todos os seres vivos, inclusive o homem” (IBGE, 2004a).

Se por um lado a grande abrangência desse conceito abre possibilidade para um grande leque de abordagens, por outro se perde em sua própria vastidão. Todavia, sem dúvida a não separação de homem e natureza que se traduz nesse conceito é um avanço considerável.

Da mesma forma, estudos de problemas ambientais devem ter, como base, esse novo paradigma em que homem e natureza não são excludentes, revisando o antropocentrismo que, por séculos, viu a natureza como recurso – com claro viés econômico (GONÇALVES, 1995). Acrescenta-se, porém, que há essa nova forma de ver o meio ambiente não pode ser exclusiva do campo das idéias e distanciada da ação.

Uma das principais questões ambientais no Brasil é uma síntese das demais: a “questão urbana”. É nessa incógnita que se insere este trabalho. A urbanização no Brasil seguiu um modelo de desenvolvimento desigual por princípio. Assim, as cidades refletem e sintetizam as conseqüências dos problemas ambientais (GONÇALVES, 1995).

Dentre os diversos problemas urbanos existentes no País, está a ocupação, degradação e destruição das nascentes. Em Belo Horizonte, por exemplo, mais de 80% do território municipal encontra-se total ou parcialmente impermeabilizado pela mancha urbana. Dessa forma um número incontável de nascentes encontra-se em elevado estágio de degradação, posto que é relativamente comum em meio urbano que nascentes sejam drenadas para dar lugar a elementos infra-estruturais, como demonstrou Genrich (2002) para a bacia do córrego Vilarinho – Região de Venda Nova, Belo Horizonte-MG.

No caso belo-horizontino, além dos poucos trabalhos acadêmicos (FIGUEIREDO, 2004; GENRICH, 2002), populares relatam o desaparecimento de inúmeras nascentes. Algumas são drenadas diretamente para a rede pluvial, ocorrendo como pequenos rios completamente canalizados em subsuperfície. De fato, a drenagem urbana de Belo Horizonte foi orientada pela lógica da canalização e retilinização dos rios (MEDEIROS, 2008). Com isso, os ambientes de nascentes não foram preservados e estas, da mesma forma, drenadas (GENRICH, 2002).

Esse contexto eleva a importância ambiental da pequena porção do território ainda não ocupada pela mancha urbana. As nascentes que ocorrem nessas áreas encontram-se em um estágio de degradação comparativamente menor. Sobretudo em termos morfológicos e, por vezes, pedológico e biogeográfico, esses sistemas ambientais ainda guardam características

semelhantes às naturais, sendo evidências ímpares dos processos ambientais pretéritos e dos impactos atuais. Mesmo quando impactadas pelo homem, as nascentes não perdem sua importância para a manutenção dos fluxos hidrológicos superficiais e para todos os conhecidos benefícios que a água traz em termos ambientais.

Parte considerável da porção não impermeabilizada do município de Belo Horizonte encontra-se protegida por Parques Municipais. Atualmente, existem 64 parques geridos pela Fundação de Parques Municipais – FPM – da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Alguns deles são objetos de pesquisa científica de diversas disciplinas, porém, estudos sobre nascentes são muito raros.

Apesar da preocupação com nascentes apresentada na legislação federal – mais especificamente na Lei 9.433/97 e na Resolução CONAMA nº 303/2002 – a própria gestão municipal não possui informações básicas sobre as nascentes de Belo Horizonte, nem mesmo sobre aquelas inseridas nos parques. Isso amplia a importância deste trabalho, que pretende não somente identificar, mas também, avaliar as condições ambientais e gerar uma proposta de classificação das nascentes de Belo Horizonte.

A própria localização e o número de nascentes existentes em cada parque são informações desconhecidas. Algumas unidades de conservação possuem funcionários antigos que, pela vivência no local, conhecem a localização das nascentes. Ainda assim, a sistematização dessas informações é inexistente. Somente o Parque das Mangabeiras – a maior unidade de conservação aberta ao público do município – possui um cadastramento de nascentes; esse estudo, porém, é limitado, não abarcando a totalidade do território do parque.

Dessa problemática geral, podem-se extrair perguntas que servirão de guia para a elaboração do trabalho, sem perder de vista as questões teóricas que podem contribuir para o desenvolvimento do conhecimento científico sobre as nascentes.

O grande desafio teórico que envolve a temática das nascentes é conhecer os componentes do meio – elementos dos subsistemas físico e humano – suas interações que resultam nas diversas configurações espaciais das nascentes. No escopo da Geografia Ambiental, vislumbrando a preservação dos recursos hídricos, é extremamente necessário, de antemão, saber onde se localizam as nascentes. Adicionalmente, por que a localização é essa e não outra? Como é a mobilidade das nascentes em função da sazonalidade do clima?

Tratando-se de questões ambientais em meio urbano, não se pode negligenciar a influência da sociedade nos processos naturais. Sabendo-se que os elementos ambientais se afetam mutuamente, a ação do homem reconfigura o espaço. Por isso, indagam-se quais são as pressões humanas sobre as nascentes e como elas afetam sua dinâmica. Além disso, quais são as condições de conservação posto que as nascentes estudadas encontram-se em parques urbanos?

Com tais questionamentos em mente, far-se-á um esforço teórico e metodológico que não somente possibilite o desenvolvimento do conhecimento científico sobre as nascentes, mas também visualize criticamente as formas de proteção das nascentes em meio urbano, contribuindo para a solução de um problema iminente na sociedade: a qualidade ambiental.

1.1. Objetivos

Em termos gerais, busca-se analisar as nascentes encontradas em parques urbanos do município de Belo Horizonte em termos de características e tipologia, atentando para os seus condicionantes ambientais físicos e humanos e considerando as condições de conservação e qualidade das águas, com o intuito final de possibilitar a proposição de uma tipologia multivariada para nascentes.

Propõe-se um levantamento fisiográfico, em função dos elementos ambientais que condicionam e determinam a existência das nascentes. Adicionalmente, pretende-se realizar uma avaliação da qualidade das águas nas unidades de estudo, vislumbrando a interpretação de processos antrópicos ou naturais que possam alterar as características dos recursos hídricos nas nascentes.

Dessa forma, objetivos específicos foram traçados, com peculiaridades que exigem esforços teórico-metodológicos paralelos. Primeiramente, vislumbra-se identificar as pressões humanas e a influência destas nos aspectos quantitativos e qualitativos das nascentes estudadas, contrapondo à idéia de “conservação” que os parques urbanos pressupõem.

Além disso, objetiva-se também a realização de um levantamento das características físico-geográficas do entorno das nascentes. A partir da interpretação desses elementos, busca-se uma melhor compreensão dos processos que condicionam a existência das nascentes, contribuindo, portanto, para a proteção dos recursos hídricos em qualidade e quantidade.

Em termos sintéticos, podem-se traçar os seguintes objetivos específicos do projeto:

- Localizar e espacializar as nascentes de parques urbanos de Belo Horizonte;
- Analisar as características físicas e interpretar as pressões humanas e a qualidade das águas nas nascentes;
- Identificar os padrões morfológicos nos quais se localizam as nascentes;
- Elaborar uma matriz qualitativa de características ambientais das nascentes no intuito de propor uma tipologia multivariada de nascentes;

Por fim, ressalte-se novamente a importância de estudos integrados em que sociedade e meio físico são abordados dentro de um mesmo sistema: o geográfico. Assim, acredita-se que os resultados obtidos nesse trabalho poderão colaborar para o desenvolvimento do conhecimento científico sobre a temática, bem como, pragmaticamente, poderão contribuir para políticas públicas de melhoria da qualidade ambiental em meio urbano e para ações de Planejamento Ambiental público e privado.

1.2. *Justificativas*

As nascentes são ambientes singulares, com uma complexidade hidrológica, geomorfológica e pedológica ainda pouco interpretada. São locais de importância primeira para a dinâmica hidrológica, pois marcam a passagem da água subterrânea para a superficial pela exfiltração. Nesse sentido, são parcialmente responsáveis pela origem dos recursos hídricos de mais fácil acesso à maioria da população e dos setores econômicos; posto que os custos financeiros de utilização das águas superficiais são consideravelmente menores do que o das águas subterrâneas, sobretudo em países tropicais, como o Brasil.

Essa especificidade ambiental que condiciona e caracteriza as nascentes impõe uma necessidade evidente de proteção desses sistemas para a manutenção do equilíbrio hidrológico e do meio. Sendo assim, desde 1965 quando foi promulgada a Lei nº 4.771 – que versa sobre as Áreas de Preservação Permanente – as nascentes são consideradas ambientes que exigem conservação (BRASIL, 1965). A Resolução CONAMA nº 303 regulamentou essa condição:

Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada:

(...)

II - ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte (BRASIL, 2002. art. 3º, II).

A exigência legal, por si só, já seria uma justificativa extremamente plausível para uma infinidade de estudos que visassem compreender e proteger as nascentes. Porém, o que se vê na realidade é um desrespeito generalizado à legislação ambiental brasileira, que se reflete na degradação das nascentes. Além do não cumprimento do raio mínimo de preservação, a bacia hidrográfica contribuinte é completamente ignorada.

A emergência da questão de conservação das nascentes é ainda maior em espaços urbanos. As leis específicas para essas zonas são menos rigorosas em termos ambientais e promoveram, ao longo de décadas de urbanização, a degradação de parte considerável dos recursos naturais. Para a construção de residências, prédios comerciais, ou mesmo da infra-estrutura urbana, muitas nascentes foram drenadas e, portanto, destruídas.

Apesar desse cenário não ser exclusivo de Belo Horizonte, a situação da capital mineira é drástica. Em termos demográficos, Belo Horizonte é o sexto maior município do País, contando com a terceira maior Região Metropolitana, sendo ainda um dos principais centros econômicos brasileiros. Ainda assim, somente recentemente a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – PBH – criou um programa que visa, entre outros objetivos, a conservação das nascentes – Programa Drenurbs/Nascentes (MEDEIROS, 2008).

Porém, nunca houve um projeto, seja acadêmico, governamental ou privado, que objetivasse localizar, identificar e mapear as nascentes do território da capital. Ocorreram algumas iniciativas isoladas que, devido à grande dificuldade da temática, não frutificaram. O primeiro grande empecilho é o fato de a mancha urbana ocupar mais de 80% do território municipal (FELIPPE, 2007) o que promove a descaracterização ou mesmo a destruição de grande parte das nascentes de Belo Horizonte.

As poucas áreas não ocupadas do município restringem-se, basicamente, às unidades de conservação. Nesses locais, as condições ambientais são consideravelmente mais equilibradas, permitindo a ocorrência de uma grande quantidade de nascentes. Todavia, mesmo nas áreas geridas pela Fundação de Parques Municipais da Prefeitura de Belo Horizonte, as informações sobre as nascentes não estão sistematizadas. Desse modo, o

conhecimento fica a cargo de funcionários dos Parques que, pelo convívio no local, acabam por identificar as nascentes. Além disso, muitas delas não são conhecidas e nunca foram objetos de estudo.

Contudo, ante a inquestionável necessidade de proteção de nascentes, prevista em lei desde 1965, mas ainda pouco efetivada, este projeto pretende contribuir para a compreensão da dinâmica e configuração das nascentes em meio urbano, com o intuito de colaborar para a gestão desses ambientes. Acredita-se que não há possibilidade de proteger as nascentes e, conseqüentemente, os recursos hídricos, sem que se saiba a sua localização e suas características ambientais.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os principais resultados da dissertação, vislumbrados pelos objetivos propostos, perpassam a análise das características ambientais e da distribuição espacial das nascentes estudadas em unidades de conservação de Belo Horizonte. Dessa forma, a partir de estudos de gabinete e levantamentos de campo, propõe-se a elaboração de uma matriz de características ambientais das nascentes, a partir da qual, será realizada a tipologia proposta.

A relativa facilidade de obtenção dos dados secundários para o preenchimento da matriz, contrasta com as inúmeras dificuldades metodológicas de obtenção dos dados primários. Os procedimentos de campo forneceram a maior parte das informações contidas na matriz, porém, a carência de estudos estritamente sobre nascentes impôs um esforço de adaptação de técnicas e procedimentos utilizados em rios e córregos por estudos geomorfológicos para a escala das nascentes. Assim, somente após testes em trabalho de campo piloto foi possível determinar os procedimentos mais adequados a serem utilizados.

Após a elaboração da matriz a partir dos dados secundários e dos levantamentos de campo, foi necessário selecionar uma metodologia capaz de viabilizar a interpretação das informações nela obtidas de forma a propor uma tipologia multivariada. Necessitava-se, porém, de ir além dos métodos estatísticos tradicionais e quantitativos, posto que muitas informações ambientais apresentam empecilhos para serem traduzidas em números. Por fim, buscou-se na teoria estatística dos conjuntos nebulosos³ a resposta para as demandas do trabalho. Como modelo, o *grade of membership* – GoM – foi escolhido pela facilidade com que trabalha com dados categóricos – qualitativos – sob a perspectiva multivariada.

Destarte, a metodologia proposta para o trabalho apresenta duas partes distintas que se estão intimamente ligadas e dialogam entre si. A primeira é estritamente de gabinete, baseada no levantamento de dados secundários a partir da revisão bibliográfica, documental e cartográfica sobre a temática. O principal procedimento é o tratamento de informações espaciais – como imagens de satélite, bases cartográficas, etc. – e de dados estatísticos que compõem a matriz de características ambientais.

³ Na literatura em língua inglesa é utilizada a denominação “fuzzy sets”.

A segunda parte baseia-se em levantamentos de dados primários, a partir de procedimentos de campo e a análise laboratorial das amostras de solo e água coletadas. Além de ampliar as possibilidades de estudo, esses procedimentos permitem uma análise das especificidades existentes em cada nascente.

A FIG. 5 apresenta uma síntese do encadeamento dos procedimentos metodológicos adotados. Os trabalhos de campo consistiram no levantamento das características fisiográficas das nascentes para o estabelecimento de padrões morfológicos. Além disso, pressões e impactos humanos sobre a dinâmica hidrológica foram identificados e a avaliação de alguns parâmetros de qualidade de água foi realizada no intuito de discutir a qualidade ambiental das nascentes. De forma complementar, as amostras de água e solo coletadas em campo foram analisadas em laboratório.

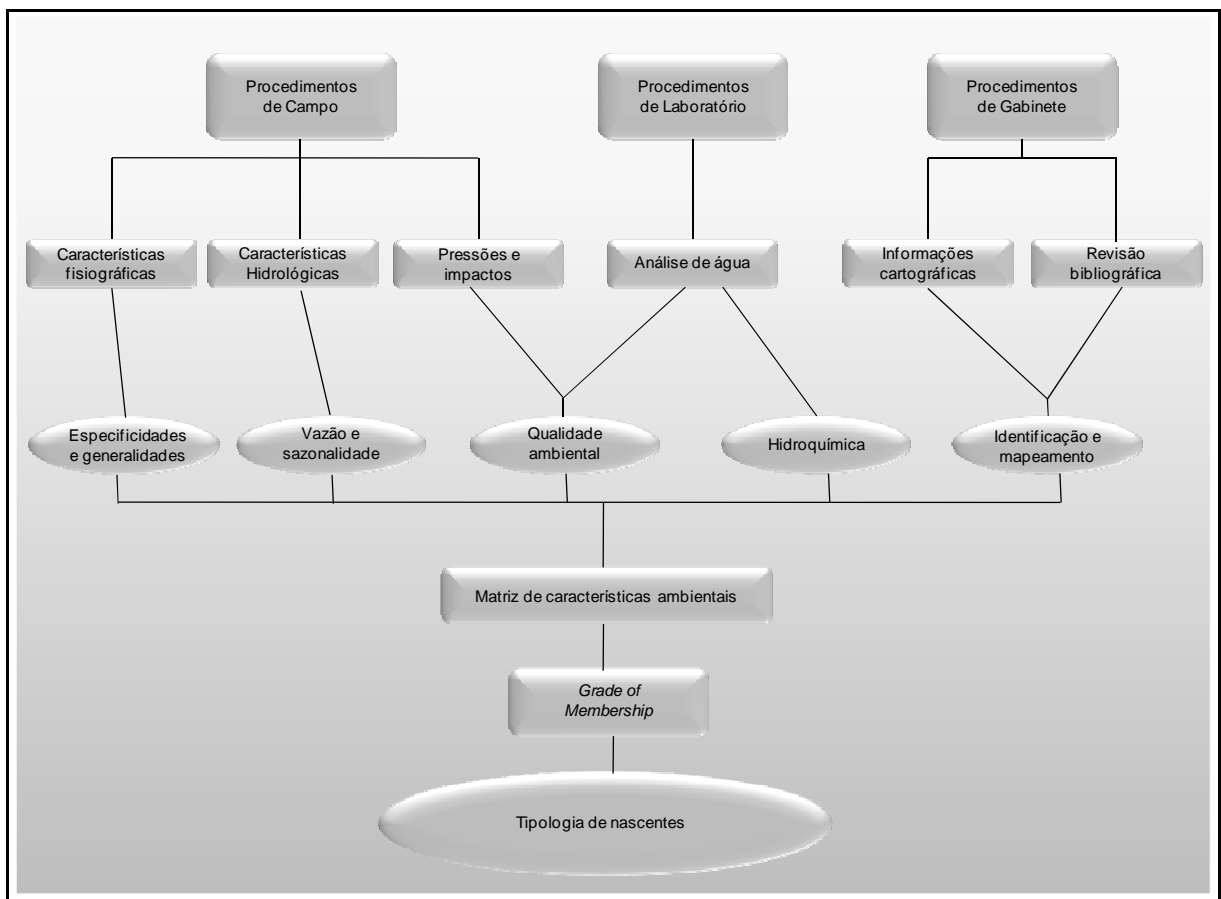


FIGURA 5 – Sistematização dos procedimentos metodológicos e resultados esperados.

Fonte: Elaboração do autor.

Concomitantemente, realizaram-se estudos de gabinete que permearam a revisão teórico-conceitual acerca da temática, bem como o levantamento cartográfico e documental necessário. Por fim, a tipologia multivariada de nascentes é alcançada após a elaboração da matriz de características ambientais e sua análise pelo modelo *grade of membership*.

Em um ambiente intensamente modificado pela ação humana, como Belo Horizonte, as nascentes possuem, de modo geral, um estado de degradação consideravelmente avançado, de forma que suas características físicas já estão alteradas. Isso implica em dificuldades para a seleção das unidades de estudo.

As poucas áreas não ocupadas no município de Belo Horizonte restringem-se, praticamente, a unidades de conservação. Apesar de possíveis impactos ambientais no interior dessas áreas, considera-se que suas nascentes possuem características físicas mais próximas às condições naturais. Por isso, parques municipais foram selecionados como áreas de estudo.

Todavia, a PBH gere, através da FPM, 64 unidades de conservação no município. Devido aos objetivos propostos e aos respectivos procedimentos metodológicos adotados, foram selecionados três parques municipais para a realização do trabalho. Os critérios de seleção adotados basearam-se em estudos de gabinete e recomendações dos técnicos da prefeitura.

Foram consultados em artigos científicos, dissertações, teses e documentos oficiais do município, estudos que poderiam apresentar a identificação de nascentes nos parques municipais. Concomitantemente, pelo cruzamento de imagens de satélite de alta resolução fornecidas pela PBH – imagens do satélite QuickBird de 2006 – com o modelo digital de terreno gerado no *software* ArcGIS, foram identificadas áreas de grande probabilidade de ocorrência de nascentes dentro dos parques. Adicionalmente, foi solicitada aos técnicos da FPM a elaboração de uma lista dos parques municipais de alta prioridade para o estudo de nascentes, em função de problemas ambientais apresentados.

Assim, foram respeitados os seguintes critérios para a seleção das unidades de estudo:

- Parques municipais implantados e abertos ao público, pois permitem a interpretação dos impactos humanos decorrentes da utilização das unidades de conservação por atividades turísticas e de lazer, ampliando as discussões acerca da dinâmica das nascentes;
- Parques que se encontravam na lista elaborada pela FPM, pois os estudos realizados podem auxiliar na gestão ambiental das unidades de conservação;
- O número de nascentes supostas dentro dos parques, devido à impossibilidade de percorrer todas as unidades de conservação de Belo Horizonte, aquelas que

apresentam o maior número de nascentes devem ser priorizadas no intuito de ampliar a amostragem e reduzir os custos – financeiros e de tempo – do trabalho;

- Os parques deveriam estar em unidades geológico-geomorfológicas distintas – domínio de colinas no embasamento cristalino e domínio serrano nas rochas metassedimentares do Supergrupo Minas –, permitindo a comparação dos resultados e a possível identificação de padrões de nascentes distintos de acordo com as diferenças do quadro físico.

O Parque Municipal das Mangabeiras foi considerado o de maior prioridade, localizando-se na bacia do córrego da Serra, em contexto geológico-geomorfológico da Serra do Curral. Além do grande potencial hídrico argumentado pela FPM, o parque possuía um estudo prévio em que 21 nascentes haviam sido catalogadas. Por ser o maior parque aberto ao público, com uma área de 2.417.000 m², optou-se por selecionar os dois outros parques na Depressão de Belo Horizonte, possibilitando uma melhor investigação sobre as diferenças que o substrato geológico poderia condicionar.

Em seguida, foram selecionados os Parques Primeiro de Maio e Fazenda Lagoa do Nado, ambos localizados na Depressão de Belo Horizonte, modelada nas friáveis rochas cristalinas do complexo gnáissico-migmatítico. O primeiro encontra-se na bacia do Ribeirão da Pampulha, ocupando uma área de 34.000 m². Foi recentemente inaugurado pelo programa Drenurbs/Nascentes e, segundo levantamento realizado pela FPM, possui 12 nascentes. O Parque Lagoa do Nado tem 307.000 m² de área e localiza-se na bacia do Córrego do Nado. Também já fora objeto de estudos acadêmicos os quais identificaram três nascentes (MOURA; SAADI, 1989). A avaliação por sensoriamento remoto aumentou esse número para quatro supostas nascentes.

Contudo, as áreas de estudo foram analisadas em campo e por sensoriamento remoto. As nascentes foram identificadas, espacializadas, caracterizadas e catalogadas. Acredita-se que esta amostra das nascentes⁴ em unidades de conservação de Belo Horizonte apresenta resultados profícuos. A diversidade encontrada faz acreditar que boa parte das configurações ambientais existentes na metrópole está contemplada no estudo. Além disso, a avaliação multivariada permite extrapolações que facilitarão estudos futuros em outras nascentes.

⁴ Totalizou-se 79 nascentes nos três parques, as quais compõem este estudo.

A espacialização das unidades de estudo é apresentada na FIG. 6, em associação ao modelo digital de terreno que permite distinguir as unidades geomorfológicas do município.

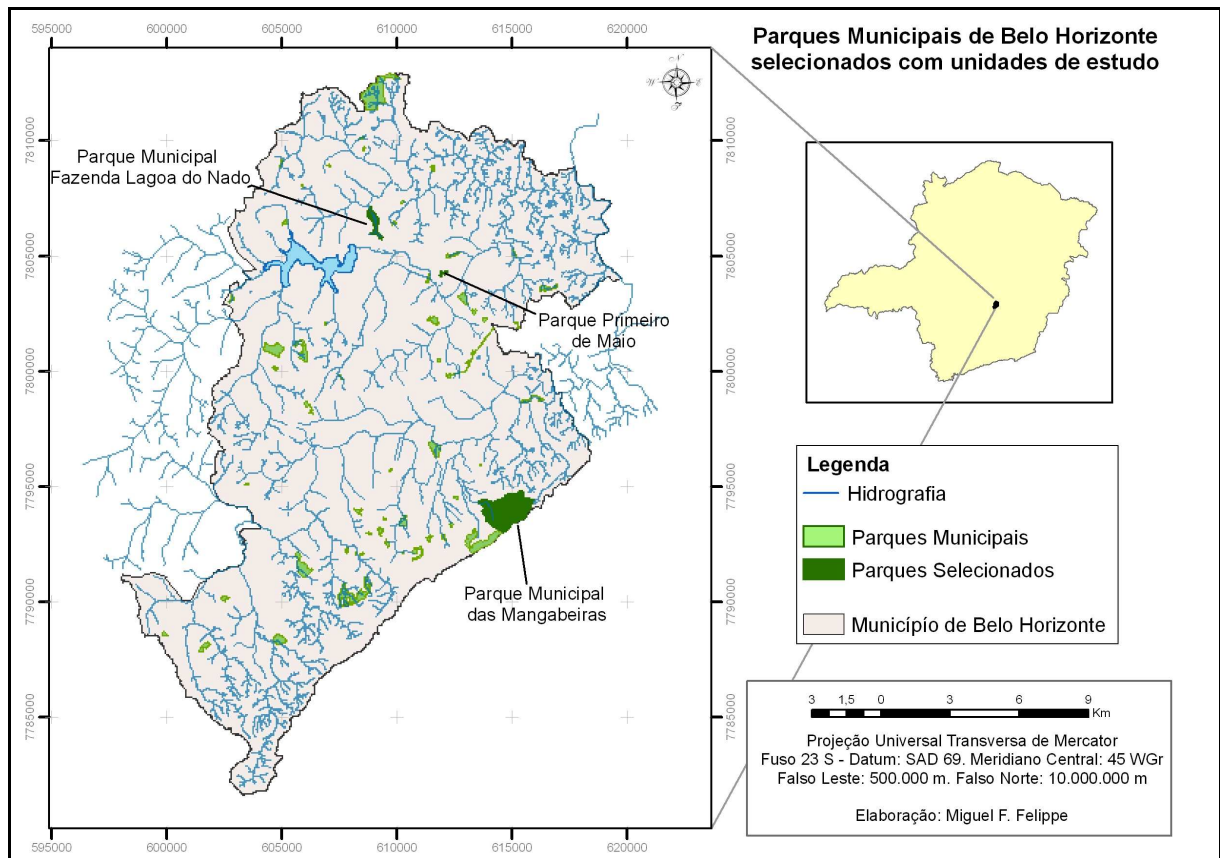


FIGURA 6 – Parques Municipais selecionados como unidades de estudo.
Fonte: Elaboração do autor. Bases cartográficas PBH.

2.1. *Matriz de características ambientais*

A elaboração de uma matriz de características ambientais baseia-se na premissa de que para compreender a dinâmica dos processos que configuram um sistema ambiental é necessário, em princípio, reconhecer os elementos que o constituem, bem como os sub-processos que o estruturam (TROPMAIR, 2004; PASSOS, 1988). Com isso, o estudo da paisagem⁵ e a verificação dos elementos físicos, biológicos e antrópicos que se interagem no espaço é essencial para a avaliação dos condicionantes ambientais das nascentes.

⁵ Utilizando-se aqui o conceito apresentado por Bertrand (2004, p. 141) em que a paisagem “é, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”.

Dessa forma, a matriz emerge como uma eficiente forma de organização dos dados – primários e secundários – levantados em função de um determinado sistema ambiental, neste caso, as nascentes. Além de facilitar a interpretação das relações intra-sistêmicas essa ferramenta permite a comparação quase imediata das diferenças entre os elementos que estruturam as nascentes.

A matriz elaborada a partir do estudo das nascentes dos Parques das Mangabeiras, Primeiro de Maio e Lagoa do Nado é apresentada como APÊNDICE A. Os parâmetros escolhidos para compor a matriz foram aqueles relatados na bibliografia consultada como importantes para compreensão da dinâmica e tipologia das nascentes. Além disso, foram incorporadas, também, variáveis fisiográficas que permitissem interpretar a qualidade ambiental, bem como indicadores de qualidade das águas. No APÊNDICE A, as linhas da matriz correspondem às nascentes identificadas; as colunas correspondem às características levantadas de forma primária ou secundária, as quais são:

- *ID*: código identificador atribuído à nascente;
- *X, Y e Z*: respectivamente, longitude, latitude e altitude da nascente – UTM-SAD 69 –, calculados a partir da média de três pontos obtidos em equipamento GPS – modelo Garmin GPSMAP 76CSx – com o intuito de reduzir a imprecisão do aparelho⁶;
- *Parque*: unidade de conservação na qual a nascente se encontra;
- *pH*: potencial hidrogeniônico da água das nascentes medido diretamente em campo com pHmetro. A medição foi realizada o mais próximo possível das nascentes, desde que a profundidade da lâmina d'água permitisse a inserção da sonda – aproximadamente 2 cm;
- *Coliformes*: número mais provável de coliformes totais e fecais encontrados na água das nascentes. A medição foi realizada pelo kit microbiológico;
- *Si, Fe e Al*: concentração de silício, ferro e alumínio, respectivamente, na água das nascentes nos períodos de verão e inverno. O método consistiu na coleta de amostras de água e posterior análise laboratorial em fotolorímetro;

⁶ Buscou-se auferir os pontos quando o aparelho apresentava imprecisão abaixo de 5 metros, sendo poucos os pontos registrados com imprecisão superior a este valor; todos, entretanto, com erro inferior a 10 metros.

- *Morfologia*: padrão morfológico da nascente, verificado empiricamente em campo no verão e no inverno com o auxílio de análises morfométricas;
- *Exfiltração*: tipo de passagem da água subterrânea para a superfície, verificada empiricamente no verão e no inverno;
- *Contato*: tipo de superfície de contato existente no local de exfiltração da água.
- *Cabeceira*: inserção – ou não – das nascentes em cabeceira de drenagem, verificada empiricamente;
- *Canal*: inserção – ou não – das nascentes em canais de drenagem, verificada empiricamente;
- *Largura, profundidade e área do setor*: características morfométricas do canal – quando este existe – no qual se insere a nascente. Medidas diretamente por trena – em centímetros. A área do setor consiste na área ocupada pela água no canal em um setor de corte transversal do mesmo;
- *Área alagada*: área – cm² – ocupada pela água superficial em nascentes que apresentam feições brejosas ou pequenos lagos. Medida em campo, com raras exceções medidas em imagens de satélite – quando a medição em campo era impossível pelo grande tamanho da área;
- *Vazão*: calculada em l/s no verão e no inverno, medida de forma direta através da coleta da água – mais próximo possível dos pontos ou áreas de exfiltração – em sacolas plásticas adaptáveis ao substrato do fluxo, e medição do tempo em cronômetro digital. A água coletada é transportada para um medidor graduado, sendo realizada a leitura do volume⁷;
- *Razão de vazão*: relação matemática entre a vazão de verão e de inverno da nascente.
- *Migração*: distância – cm – calculada entre a posição da nascente no verão e no inverno;

⁷ Para minimizar os possíveis erros de coleta, foram feitas de três a cinco medições em cada nascente. A vazão é, então calculada pela fórmula: $Q = \Sigma(v/t) / n$. Em que: Q é a vazão média observada (l/s); v é o volume de água (em litros); t é o tempo (em segundos); e n é o número de medições (PINTO *et al.*, 2004).

- *Antrópica*: existência – ou não – de indícios de gênese antrópica da nascente;
- *Vegetação*: tipo – mata, capoeira, cerrado, etc. – e densidade – aberta, fechada, denso, etc – de vegetação ocorrente na nascente e em seu entorno imediato;
- *Manto de intemperismo*: espessura mensurável – cm – do manto de intemperismo na nascente no verão e no inverno;
- *Lixo (resíduos sólidos superficiais)*: qualificação da magnitude de dejetos existente nas nascentes no momento da visitaçãõ;
- *IIAN*: índice de impacto ambiental macroscópico em nascentes, adaptado de Gomes *et al.* (2005a), que possibilita uma interpretação comparativa da qualidade ambiental e do grau de proteção das nascentes;
- *Afloramentos rochosos*: ocorrência – ou não – e posição dos afloramentos de rocha sã em relação à nascente, verificado empiricamente;
- *Cor*: cor do solo ou dos horizontes do solo, verificada em campo, a partir de tradagem realizada nas imediações da nascente;
- *Textura*: proporção das frações granulométricas do solo, averiguada em campo de acordo com Santos *et al* (2005). As concentrações das frações granulométricas de amostras coletadas também serão analisadas em laboratório;
- *Dureza*: consistência do solo seco, averiguada em campo de acordo com Santos *et al* (2005);
- *Friabilidade*: consistência do solo úmido, averiguada em campo de acordo com Santos *et al* (2005);
- *Plasticidade*: capacidade de deformação do solo, averiguada em campo de acordo com Santos *et al* (2005);
- *Pegajosidade*: capacidade de aderência do solo, averiguada em campo de acordo com Santos *et al* (2005);

- *Usos (atividades humanas – usos do solo e da água)*: tipo de uso verificado nas nascentes, verificado empiricamente com o auxílio de entrevistas com funcionários dos parques;
- *Impactos ambientais*: estágio de degradação refletido em transformações ambientais nas proximidades das nascentes estudadas, verificado empiricamente com o auxílio de entrevistas com funcionários dos parques;
- *Substrato geológico*: formação geológica na qual se insere a nascente. Obtido de forma secundária a partir das informações de SILVA *et al* (1995);
- *Estrutura geológica*: existência – ou não – de lineamentos estruturais nas proximidades das nascentes, segundo mapeamento de SILVA *et AL* (1995);
- *Declividade*: classe de declividade da vertente na qual se insere a nascente⁸. Obtido pelo Modelo Digital de Terreno gerado a partir de curvas de nível de equidistância de cinco metros, fornecidas pela PBH;
- *Bacia*: unidade hidrográfica na qual se insere à nascente, identificada pela carta topográfica e numerada devido à inexistência de denominações.

2.2. *Trabalhos de campo*

Estudos que envolvam a dinâmica e a variabilidade dos sistemas ambientais devem ter o cuidado de interpretar as condições climáticas regionais para evitar o comprometimento dos resultados. No caso belo-horizontino, a dupla estacionalidade do clima exige que levantamentos ligados à dinâmica hidrológica sejam realizados ao menos duas vezes: no período seco e no período chuvoso.

O balanço hídrico (FIG. 7) mostra que de dezembro a março, há um excesso de água no ambiente, condicionado pelo período chuvoso que se inicia em setembro-outubro e se estende até o final de março. No período de abril a setembro, a evapotranspiração potencial supera a precipitação, o que caracteriza até junho uma fase de retirada de água do solo e de julho a

⁸ A declividade foi calculada por triangulação no *software* ArcGIS, sendo que cinco classes foram determinadas pelo método estatístico de quebra natural. Foi considerada a classe de declividade resultante do modelo no triângulo em que o ponto correspondente à nascente se insere.

setembro uma típica deficiência hídrica. Com o aumento das chuvas, em outubro e novembro o balanço hídrico é positivo, realimentando os aquíferos superficiais.

Sabendo-se que há uma relação direta da vazão dos corpos d'água com a dinâmica hidrológica regional (PINTO *et al.*, 2004; KNIGHTON, 1984; CHRISTOFOLETTI, 1981), acredita-se que no período de dezembro a março, as nascentes, principalmente aquelas alimentadas pelos aquíferos granulares superficiais, tendem a apresentar maior volume de água em exfiltração. Por outro lado, essa vazão tende a ser reduzida gradativamente até o período de mínimo fluxo, entre julho e setembro. As primeiras chuvas da primavera revertem o processo e as vazões tendem a aumentar a partir de outubro.

Assim, os trabalhos de campo foram organizados de forma que todas as nascentes estudadas fossem visitadas duas vezes: a primeira no período de excesso hídrico e a segunda no período de deficiência hídrica. O principal motivo desse procedimento é o de evidenciar os comportamentos sazonais das nascentes, elucidando possíveis modificações em termos de dinâmica ou mesmo da qualidade da água. Além disso, somente a visita no período de estiagem pode garantir a classificação de um curso d'água como perene, intermitente ou efêmero.

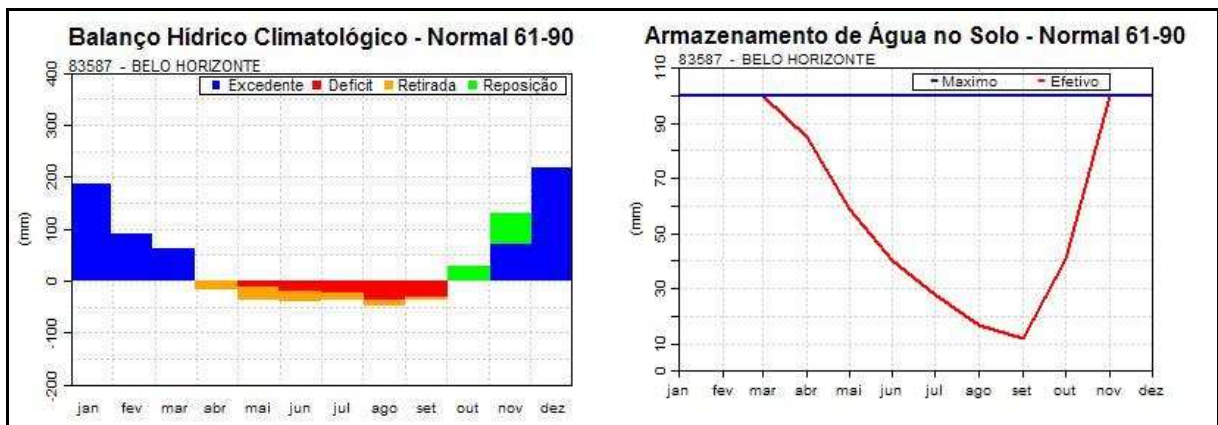


FIGURA 7 – Balanço hídrico e armazenamento de água no solo de Belo Horizonte (1961-1990).

Fonte: http://www.inmet.gov.br/agrometeorologia/balanco_hidrico_climatico/. Acesso dia 29/09/2009.

Primeiramente foi realizado, em 14 de julho de 2008, um trabalho de campo piloto em duas nascentes com localização conhecida no município de Lagoa Santa-MG – norte de Belo Horizonte – com o intuito de testar os procedimentos metodológicos adotados. A escolha da localidade para o campo piloto deveu-se ao conhecimento prévio da área pelo autor, bem como à facilidade de localização das nascentes existentes. Verificou-se, que os procedimentos eram adequados para a realização da pesquisa, exceto aqueles previstos para o cálculo da vazão. Anteriormente, acreditava-se que a utilização de flutuadores para a medição da

velocidade do fluxo, associado ao cálculo da área do setor, fosse o melhor procedimento – método seção-velocidade. A lentidão dos fluxos e a pequena profundidade da lâmina d'água impossibilitaram esse procedimento. Assim, ficou estabelecido que a utilização de medidores graduados era o procedimento ideal para o cálculo de vazão em nascentes, tendo sido adotado na pesquisa.

Outros procedimentos também foram avaliados todos, porém, apresentando severos impedimentos a sua utilização. As “Calhas Parchall” apresentam problemas quanto à vazão mínima registrável – aproximadamente 2,7 l/s, valor superior ao de todas as nascentes estudadas –, além disso, as intervenções necessárias para a implantação do aparelho causariam considerável impacto na unidade de conservação. Outra possibilidade seria a utilização de “Placas de Orifício”; porém a necessidade de uma lâmina d'água com altura determinada, também a inviabiliza.

O melhor procedimento seria a utilização de “Turbinas Pelton”; por serem adaptadas às baixas vazões, haveria a possibilidade da aplicação em nascentes, porém, são construídas para mensurar intervalos de vazões muito restritos, por exemplo, entre 0,0015 a 0,0125 l/s. Tal característica demandaria a obtenção de uma série de turbinas para contemplar todas as magnitudes de vazões encontradas, o que ocasionaria um aumento considerável dos custos do trabalho. Além disso, essas turbinas, devido ao pequeno tamanho de seus aparatos mecânicos, só podem ser utilizadas em líquidos isentos de sólidos em suspensão, variável incontrolável em campo (INCONTROL, 2005). Com isso, considerou-se que para os fins deste trabalho, o procedimento mais adequado para mensurar a vazão era, de fato, a utilização de medidores graduados. Além do baixo custo, as limitações existentes nos demais procedimentos, os inviabilizam.

No verão, o primeiro parque a ser visitado para a identificação de nascentes foi o Mangabeiras, de acordo com os critérios de seleção acima descritos. Neste parque, havia um trabalho anterior que orientou a elaboração de um mapa das nascentes existentes (BERTACHINI, [s.d.]). Essas informações, juntamente com aquelas obtidas por procedimentos de sensoriamento remoto foram as bases para a identificação de pontos para visita no parque, os quais teriam alta probabilidade de ocorrência de nascentes.

As visitas ocorreram nos dias 09 e 11/12/2008, 20, 21, 22, 27, 28 e 29/01/2009. Com o auxílio de monitores do parque, a equipe de campo percorreu diversas trilhas e seguiu os principais

cursos d'água existentes para a localização das nascentes. Além das informações trazidas de gabinete, o conhecimento dos funcionários do parque foi essencial para a catalogação de nascentes que ainda não haviam sido estudadas e que os métodos remotos não permitiram antever.

Após a organização e sistematização dos dados em meio digital, verificou-se algumas lacunas que foram preenchidas por novas campanhas realizadas nos dias 05 e 19/03/2009. Todo o trajeto foi percorrido a pé, o que possibilitou o estudo de diversas nascentes desconhecidas, inclusive, pelos funcionários do parque. Dessa forma, totalizou-se um percurso de aproximadamente 120km no interior do Parque das Mangabeiras. Por fim, foram identificadas 60 nascentes, um número consideravelmente maior do que às 21 cadastradas no estudo anterior (BERTACHINI, [s.d.]).

Os outros dois parques, devido à menor extensão territorial, demandaram um menor número de campanhas de campo. Assim como o Parque das Mangabeiras, o Parque Lagoa do Nado também possui estudos anteriores que, ainda que não tivessem esse objetivo, identificaram a existência de três nascentes (MOURA; SAADI, 1989). As visitas de verão foram realizadas nos dias 03, 04, 05, 10, 12 e 25/03/2009. Novamente o auxílio dos funcionários do parque foi imprescindível para a localização das nascentes. Com isso, foram identificadas 12 nascentes após um percurso total de aproximadamente 35km pelas trilhas do parque. As poucas lacunas restantes após os trabalhos de campo no Parque Lagoa do Nado foram sanadas em uma última visita de campo realizada no dia 04/04/2009.

O Parque Primeiro de Maio, de menor extensão territorial, foi visitado para os trabalhos de campo de verão nos dias 16, 18, 20 e 23/03/2009. O parque foi recentemente inaugurado, já tendo sido catalogadas todas as nascentes. Muitas delas, inclusive, possuem placas de identificação para a visualização pelos usuários. Com isso, a distância percorrida foi consideravelmente menor – aproximadamente 12km – e a localização das nascentes, facilitada. Todavia, não foi encontrado qualquer trabalho acadêmico ou mesmo de origem pública que versasse sobre as nascentes no interior desse parque. Por fim, sete nascentes foram estudadas no Parque Primeiro de Maio.

Devido a um problema com o equipamento de campo, houve a necessidade de retorno no Parque Primeiro de Maio no dia 04/04/2009 para a medição do pH de uma das nascentes.

2.3. *A Teoria dos Conjuntos Nebulosos e o método “Grade of Membership”*

Os procedimentos estatísticos clássicos nem sempre apresentaram-se satisfatórios nas ciências ambientais, sobretudo na Geografia. A exigência de quantificação dos fenômenos em estudo por esses métodos dificulta a utilização de uma série de informações que são, em princípio, qualitativas. No espaço, nem todos os aspectos são passíveis de quantificação. Pelo contrário, a própria natureza dos elementos que constituem o meio é qualitativa. Ainda assim, alguns artifícios podem ser utilizados para superar essa limitação.

Concomitantemente, impõe-se a necessidade de elaboração de estudos cada vez mais amplos, ao visar à interpretação de fenômenos complexos que possuem diversos condicionantes. De uma forma geral, sabe-se que os sistemas ambientais se constituem de uma conjuntura de elementos do quadro natural, social, econômico e técnico e suas inter-relações (SOTCHAVA, 1976). Isso gera uma demanda por procedimentos estatísticos que captem essa diversidade. Por isso, a análise multivariada emerge como um método de grande valia para estudos ambientais. Ao trabalhar com um número incontável de condicionantes – variáveis –, possibilita uma aproximação à complexidade do meio.

Postula-se, então, um desafio metodológico para as ciências ambientais no contexto epistemológico atual: trabalhar com o “rigor” científico exigido a partir de uma trama extremamente complexa de variáveis que são, por natureza, qualitativas. Na opinião de Manton *et al.* (1994), o desgaste dos métodos estatísticos tradicionais e insolubilidade de problemas com as técnicas clássicas, levaram Zadeh (1965 *apud* MANTON *et al.*, 1994) a propor uma nova lógica matemática que não presumisse a bivalência do verdadeiro ou falso, permitindo o estabelecimento de respostas entre esses dois extremos.

Os novos conceitos apresentados por Zadeh (1965 *apud* HARRIS, 1999) basearam a formulação da Teoria dos Sistemas Nebulosos⁹, que preconiza o raciocínio impreciso e a análise qualitativa. “A teoria foi postulada com a finalidade de processar informações subjetivas, de natureza vaga e incerta, da linguagem natural, possibilitando a modelagem de conceitos subjetivos” (HARRIS, 1999. p. 20).

⁹ Na literatura inglesa, “*Fuzzy Systems Theory*”.

A partir dessa lógica revolucionária, são propostos novos conceitos, como os Conjuntos Nebulosos. Na matemática clássica o pertencimento de um elemento a um determinado conjunto é absoluto: ou o elemento pertence ou não – bivalência. Na matemática nebulosa, os limites dos conjuntos não são definidos com precisão (FIG. 8) e a inclusão de um elemento é definida por uma função que expressa o seu grau de pertencimento ao conjunto (FIG. 9).

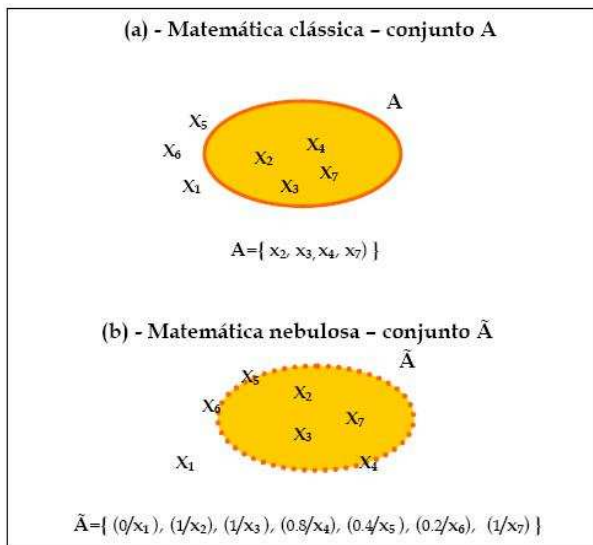


FIGURA 8: Comparação entre um conjunto tradicional e um conjunto nebuloso.

Fonte: HARRIS, 1999. p. 21.

Portanto, na teoria dos conjuntos nebulosos, um elemento pode pertencer parcialmente a múltiplos conjuntos, apresentando, para cada um destes, um grau de pertinência passível de determinação.

Pertencimento para os conjuntos tradicionais requer que cada elemento individualmente seja membro de um conjunto – ou não. Dois conjuntos são disjuntos se não apresentam elementos em comum. Nos conjuntos nebulosos, um elemento pode ser um membro *parcial* de múltiplos conjuntos⁹ (MANTON *et al*, 1994. p. 3).

Sob esses preceitos, o método *grade of membership* – GoM –, desenvolvido recentemente por Manton *et al* (1994), extrapola a teoria tradicional dos conjuntos que dicotomiza a relação de pertencimento, permitindo com isso uma interpretação fluida e dinâmica entre o elemento em questão e suas características. Assim, o GoM é um método de estimação estatística de

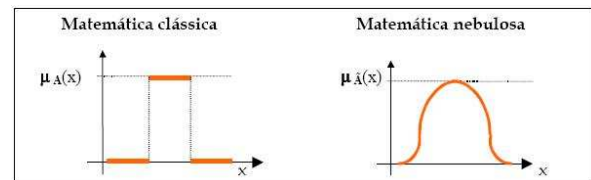


FIGURA 9: Variação do grau de pertinência em conjuntos tradicionais e nebulosos.

Fonte: HARRIS, 1999. p. 22.

⁹ “Membership for crisp sets requires that individual elements either be a member of a set – or not. Two sets are disjoint if they have no elements in common. In fuzzy sets, an element can be a *partial* member of multiple sets” (tradução do autor).

máxima verossimilhança que se baseia na teoria dos conjuntos nebulosos em que um mesmo elemento pode se inserir, simultaneamente, em diversos conjuntos, apresentando graus de pertencimento distintos em relação a esses (CERQUEIRA, 2004; GARCIA *et al*, 2004).

Ou seja, cada elemento possui um escore de pertencimento que o relaciona a um determinado perfil, seja uma tipologia ou uma classificação. A soma dos escores de um mesmo elemento para seus diversos perfis é 1. Os procedimentos estatísticos, então, convergem para o agrupamento dos elementos mais parecidos – máxima verossimilhança – em determinados conjuntos. Entretanto, essa pertinência não está relacionada à probabilidade de inclusão do elemento em determinado conjunto nebuloso; por princípio o elemento que possui grau de pertinência superior a zero já está incluso – ao menos parcialmente – no conjunto (MANTON *et al*, 1994).

Assim, “a determinação de escores GoM para cada unidade de estudo permite a representação da heterogeneidade entre as mesmas, dentro de cada perfil gerado” (CERQUEIRA, 2004). Essa característica coloca vantagens comparativas do GoM em relação às metodologias mais comuns como a Análise de Cluster e a Análise Discriminante, que apresentam problemas com a heterogeneidade dos indivíduos. Todavia, o GoM lida com o agrupamento e a estimação de coeficientes de pertencimento simultaneamente (CERQUEIRA, 2004), o que é um avanço metodológico considerável.

Além disso, o GoM trabalha com dados discretos ou discretizados. Tal característica facilita os estudos ambientais, pois a maior parte de suas variáveis é, por natureza, qualitativa; ademais, variáveis quantitativas também podem ser usadas ao serem classificadas – discretizadas. Destarte, ao gerar agrupamentos dos elementos em função da proximidade de suas características por máxima verossimilhança, o GoM permite a construção de tipologias (ALVES *et al*, 2008; CERQUEIRA, 2004; MANTON *et al*, 1994).

Nesse sentido, o GoM pode ser um método de grande valia na determinação de classificações – a partir da elaboração de tipologias – baseadas nas características quantitativas e qualitativas dos elementos em estudo (ALVES *et al*, 2008; CERQUEIRA, 2004).

O método Grade of Membership (GoM) (...) lida com dois dos maiores problemas na determinação de uma classificação ou tipologia, que são a identificação de grupos e a descrição de diferenças entre os mesmos (CERQUEIRA, 2004).

Permitindo a identificação de grupos com características similares, é possível avançar na explicação de fenômenos complexos. No caso específico deste trabalho, a busca por uma

tipologia de nascentes pode refletir em uma compreensão mais ampla sobre os processos envolvidos na descarga subterrânea, bem como em um entendimento mais preciso sobre o comportamento dessas feições para com os processos hidrológicos.

A técnica GoM estima, com base em um modelo de probabilidade multinomial, dois tipos de parâmetros: um de associação, g_{ik} , e outro de estrutura, l_{kjl} , ou seja, os graus de pertinência (g) de cada elemento (i) a cada subconjunto, ou perfil, ou tipo (k); e as probabilidades de cada categoria (l) de cada variável (j) em cada perfil (k) que, por sua vez, define esse perfil (GARCIA et al, 2004. p. 4).

Resumindo, a utilização do GoM neste trabalho foi selecionada devido às vantagens tácitas do método sobre aqueles que tradicionalmente são utilizados em estudos de Geografia Ambiental: primeiramente, permite analisar um conjunto de elementos a partir de uma infinidade de características qualitativas e quantitativas; em segundo lugar aproxima-se da realidade da natureza ao criar tipologias para os elementos de forma dinâmica, sem ignorar suas especificidades. Além disso, o respaldo científico do modelo e a modelagem estatística interativa garantem a sua credibilidade.

Dessa forma, o GoM pode contribuir para o estudo de nascentes ao permitir a criação de uma tipologia que não se baseie apenas em uma ou duas características – como na expressiva maioria dos trabalhos –, mas em uma grande diversidade de variáveis.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS UNIDADES DE ESTUDO

A dinâmica das nascentes é condicionada pelos elementos naturais e sociais do meio, bem como pela maneira com que estes se organizam no espaço. Sendo assim, espera-se ser notória a distinção existente entre as características das nascentes encontradas em diferentes domínios de paisagem, sejam estes estritamente naturais ou mesmo sociais. Por esse motivo, as unidades de estudo devem ser descritas em função de seus aspectos geográficos, permitindo uma interpretação mais profícua acerca de suas nascentes. Ademais, explorar as características, a estrutura e a dinâmica da paisagem contribui para a identificação e compreensão dos sistemas ambientais (TROPPIAIR, 2004).

Em termos político-administrativos, as unidades de estudo do trabalho localizam-se no município de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais (FIG. 10). Duas principais bacias hidrográficas drenam o território belo-horizontino: ao norte, a bacia do ribeirão do Onça e ao sul a bacia do Ribeirão Arrudas. A porção nordeste do município, porém, é drenada por duas outras bacias – Córrego Calazans e Córrego Lagoa Grande – de pequena expressão espacial (FIG. 11). Toda a rede de drenagem de Belo Horizonte se insere na margem esquerda do rio das Velhas, afluente da margem direita do rio São Francisco.

Atualmente, o espaço belo-horizontino apresenta-se intensamente modificado pelo processo de metropolização que sofreu nas últimas décadas. A mancha urbana ocupa aproximadamente 83% da área do município (FELIPPE; MAGALHÃES Jr, 2008). Com isso, a cobertura vegetal original é praticamente inexistente e inúmeros cursos d'água apresentam-se retificados ou mesmo canalizados sob “avenidas sanitárias”.

As conseqüências da alteração do espaço em uma metrópole emergem em diversas escalas ambientais. No que tange à qualidade das águas, há uma grande contribuição dos efluentes urbanos na vazão dos cursos superficiais da capital. Porém, parte dos esgotos não possui qualquer tipo de tratamento. Por conseguinte, segundo Projeto Águas de Minas *et al* (2001) no ano 2000, os ribeirões do Onça e Arrudas possuíam o Índice de Qualidade das Águas inferior a 25, tendo suas águas sido classificadas como “muito ruins”. A metrópole belo-horizontina constitui-se, assim, em um dos principais contribuintes – senão o principal – da poluição das águas do rio das Velhas e do rio São Francisco.

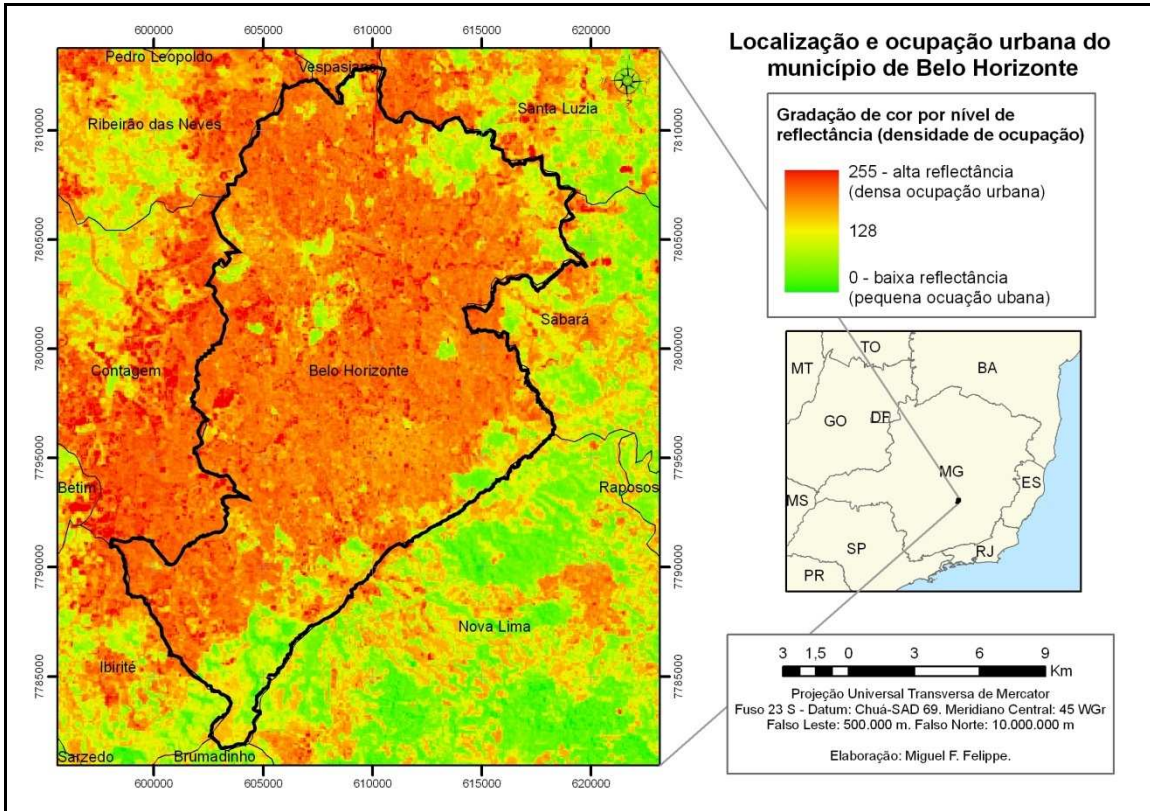


FIGURA 10 – Localização e ocupação urbana do município de Belo Horizonte.
Fonte: Bases cartográficas IBGE; IGA; PBH. Imagem CBERS-2, banda 3, de 2006.

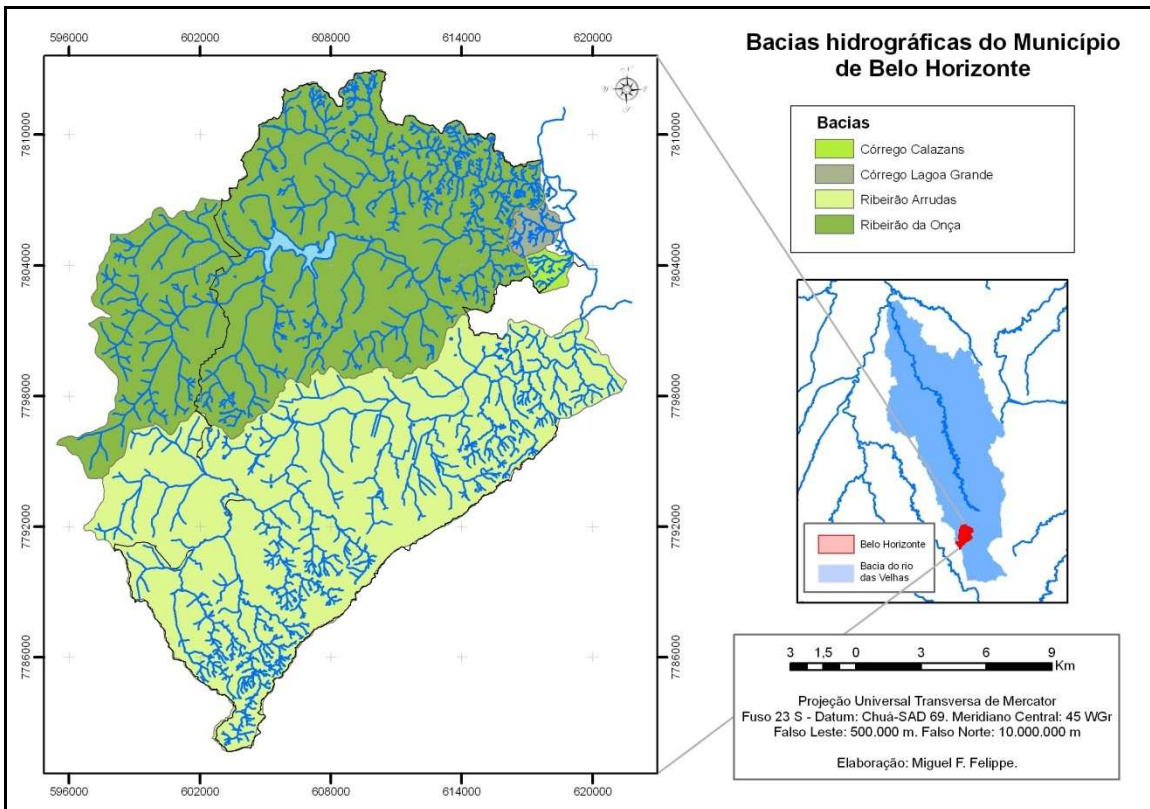


FIGURA 11 – Bacias hidrográficas do município de Belo Horizonte.
Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

A vegetação do sítio urbano também sofreu as conseqüências da metropolização. Originalmente caracterizada por uma Área de Tensão Ecológica entre a Floresta Estacional Semidecidual e a Savana (IBGE, 2004b), estima-se, em 2000, que apenas 22% da área total do município possuía algum tipo de cobertura vegetal (FERREIRA; GONTIJO, 2005).

De uma forma geral, pode-se afirmar que a porção do município correspondente à Depressão de Belo Horizonte, configurava, no pretérito o ecótono entre as florestas e a savana. Onde a declividade das colinas é mais suave e o solo mais profundo, eram encontradas as Florestas Estacionais, sobretudo na região norte, nordeste e central do município. Por sua vez, as Savanas seriam encontradas ao extremo norte (FERREIRA; GONTIJO, 2005).

As Serras do Quadrilátero, entretanto, seriam caracterizadas em suas médias e baixas vertentes pela cobertura florestal; nas altas vertentes e encostas íngremes com solo pouco profundo, a Savana Gramíneo-Lenhosa predominaria. Além disso, os corpos d'água eram, originalmente, margeados por densas matas (FERREIRA; GONTIJO, 2005).

“Hoje, grande parte das formações vegetais apresentam-se como capoeiras nos seus diversos estágios sucessionais” (FERREIRA; GONTIJO, 2005, p. 3). Ademais, com a expansão da mancha urbana e o concomitante adensamento populacional, as áreas de remanescentes vegetacionais em Belo Horizonte restringem-se, praticamente, às unidades de conservação. Essas possuem, portanto, uma importância ímpar para a manutenção do equilíbrio ambiental.

O clima de Belo Horizonte é sub-quente semi-úmido, com médias térmicas entre 15 e 18°C em pelo menos um mês e 4 a 5 meses secos (IBGE, 2002). A FIG. 12 apresenta quatro gráficos das normais climatológicas do município, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, que auxiliam na caracterização do clima de Belo Horizonte.

As temperaturas em Belo Horizonte tendem a ser amenas, com médias mensais variando entre 23,2°C em fevereiro e 18,1°C em julho, registrando uma amplitude térmica anual de 5,1°C. A curva de precipitação possui um padrão semelhante à de temperatura. Os meses de dezembro e janeiro apresentam as maiores máximas, superando os 300 mm, porém, entre maio e agosto esse total fica muito próximo a zero.

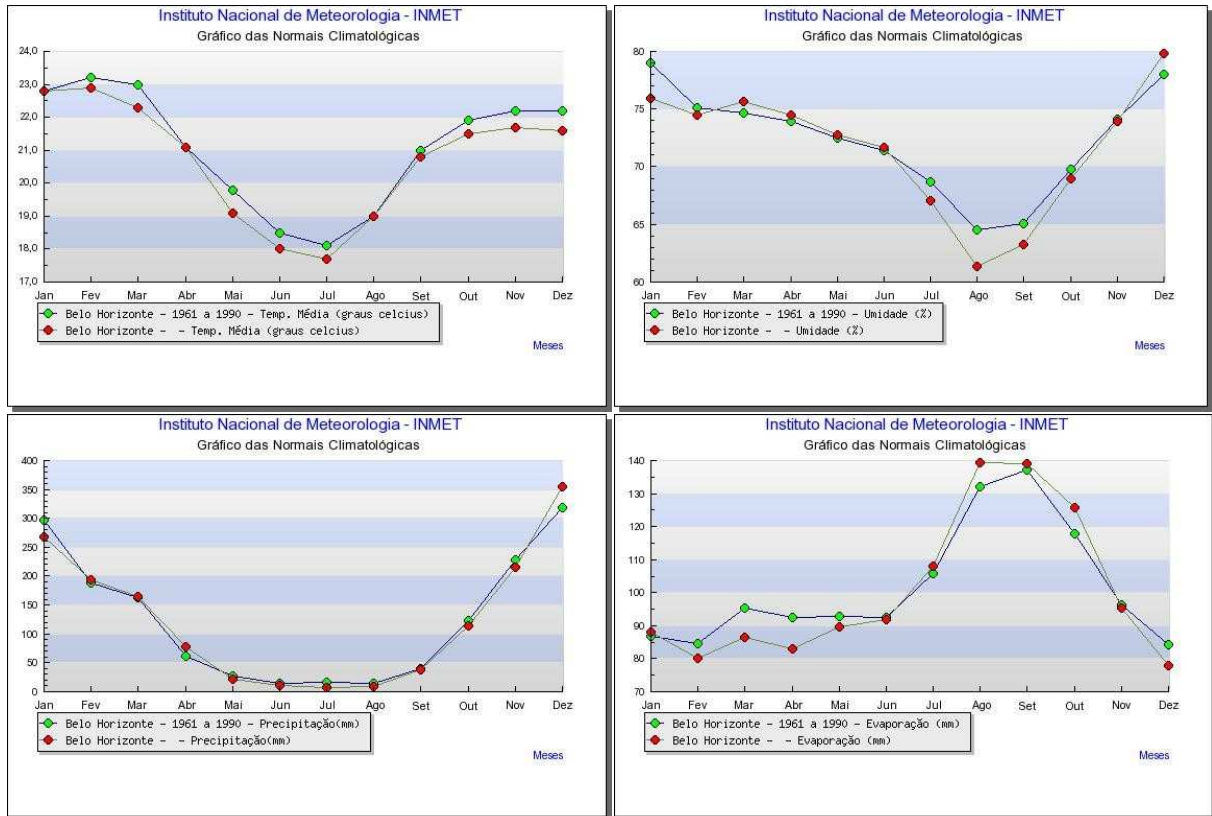


FIGURA 12 – Gráficos das normais climatológicas de Belo Horizonte.
Fonte: INMET.

As curvas de umidade e evaporação apresentam comportamento inverso e mais constante ao longo do ano, com variações significativas apenas entre julho e outubro. A umidade pode ser considerada alta, mantendo-se com média mensal superior a 70% de outubro a junho. O trimestre julho-setembro registra as menores médias de umidade, sendo inferior a 65% no mês de agosto.

Os meses de menor nebulosidade e, conseqüentemente, de menor umidade, registram os maiores valores de evaporação. Entre novembro e junho, esses valores ficam entre 85 e 95mm, porém, a maior insolação nos meses mais secos promove um considerável aumento da evaporação, que alcança o pico de aproximadamente 140mm no mês de setembro.

Os gráficos mostram uma sazonalidade bem definida do clima de Belo Horizonte. Entre os meses de outubro e março, as temperaturas médias são mais elevadas, assim como os índices pluviométricos. Por conseguinte, a umidade do ar também é elevada em detrimento da evaporação, que apresenta os menores valores anuais. No semestre subsequente – abril a setembro – há uma considerável queda nas temperaturas médias e na umidade; as chuvas são praticamente inexistentes e a evaporação aumenta consideravelmente.

De acordo com as FIG. 7 e 12 – balanço hídrico e normais climatológicas, respectivamente –, pode-se afirmar que a reposição de água no solo em Belo Horizonte inicia-se em outubro a entrada de água via precipitação. Após as sucessivas chuvas dos meses de outubro e novembro, as perdas ocorridas no inverno são compensadas, dando início ao período de excedente hídrico, em dezembro. Com a interrupção das precipitações em abril, a evapotranspiração potencial tende a superar a entrada de água, marcando um período de retirada de água do solo. O prolongamento dessas condições atmosféricas leva, posteriormente, à deficiência hídrica, entre os meses de julho e setembro.

Dessa maneira, existem dois períodos críticos na dinâmica hidrológica em Belo Horizonte, que são antagônicos em termos climáticos. O bimestre dezembro-janeiro é caracterizado pelo maior excedente hídrico, resultando, em teoria, nas maiores vazões dos canais de drenagem. Entretanto, o bimestre julho-agosto marca o período de maior deficiência hídrica, após a retirada de água do solo, sendo o período mais provável de menor vazão e, por vezes, intermitência da rede hidrográfica.

O sítio de Belo Horizonte se encontra na borda sul do cráton do São Francisco, em contato com o Cinturão Móvel Neoproterozóico do Quadrilátero Ferrífero (SHOBENHAUSS, 1984). Essa configuração morfoestrutural promove a existência da Depressão de Belo Horizonte – parte sul da Depressão do Alto-Médio São Francisco – e das Serras do Quadrilátero Ferrífero (IBGE, 2006), unidades do relevo nas quais se insere a metrópole.

Localmente, a Depressão se expressa na forma de uma seqüência de colinas de vertentes convexas e topos planos arqueados, caracterizadas pela dissecação fluvial, formando vales amplos de fundo chato (SANTOS, 2001; SILVA *et al.* 1995). As coberturas superficiais nessa porção do município são espessas, ultrapassando, em alguns locais, os 80 metros de profundidade e reduzindo-se gradativamente em direção ao nível de base regional – rio das Velhas – onde possuem, por vezes, profundidade inferior a 10 metros (COSTA, 2002).

A maior parte da Depressão encontra-se em altitudes que variam entre 800 e 900 metros, destacando-se a porção central do município em que, nos interflúvios das duas principais bacias que o drenam, a altitude alcança 1.000 metros. Na porção nordeste, todavia, encontram-se as terras mais baixas de Belo Horizonte, na planície do rio das Velhas. Nesse local, a altitude é inferior a 700 metros em alguns pontos (FIG. 13).

O Quadrilátero Ferrífero apresenta um claro controle litoestrutural e estratigráfico, condicionando sucessivas linhas de serras, praticamente ortogonais entre si (SILVA *et al.* 1995). Na paisagem dominam vertentes íngremes, promovendo topos em crista, alinhados mormente na direção SW-NE, que acompanham praticamente todo o limite sul-sudeste do município. Os vales são encaixados, com fundo em “V” e as vertentes são caracterizadas por extensas ravinas (SANTOS, 2001; SILVA *et al.* 1995). Os mantos de intemperismo tendem a ser menos espessos do que na Depressão, sendo comuns, inclusive, afloramentos rochosos nas médias e altas vertentes (COSTA, 2002).

Nesse domínio, localizado na faixa SW-NE do município, as elevações são maiores, com terrenos atingindo cotas superiores a 1.500 metros (FIG. 13). A linha de cumeada que marca o limite político-administrativo na porção sudeste do município caracteriza-se pelas maiores altitudes, que decaem rapidamente em direção norte, promovendo declividades elevadas nas vertentes desse domínio.

Essa compartimentação morfológica reflete o embasamento geológico regional assinalado pelo Domínio do Complexo Belo Horizonte e pelo Domínio das Sequências Metassedimentares proterozóicas (SILVA *et al.* 1995). Caracterizado por rochas gnáissico-migmatíticas com manto de intemperismo espesso, mormente, silto-argiloso, o Complexo Belo Horizonte possui clara correspondência com a depressão homônima. Por sua vez, as Serras do Quadrilátero Ferrífero são embasadas por rochas metassedimentares de rica diversidade litoestrutural e, conseqüentemente, morfológica (SILVA *et al.* 1995).

Estratigraficamente, o embasamento regional corresponde ao Complexo Belo Horizonte. Essa unidade domina aproximadamente 70% do município (FIG. 14), mormente sua porção norte. Predominam rochas gnáissicas arqueanas, remobilizadas e migmatizadas, sendo que a litologia mais típica corresponde ao gnaisse cinzento com bandamento (SILVA *et al.* 1995).

O Supergrupo Minas, do Proterozóico inferior, corresponde a uma seqüência metassedimentar em uma faixa de direção NE-SW, apresentando no território municipal formações relativas a três unidades distintas (FIG. 5): Grupo Itabira, Grupo Piracicaba e Grupo Sabará (COSTA, 2002).

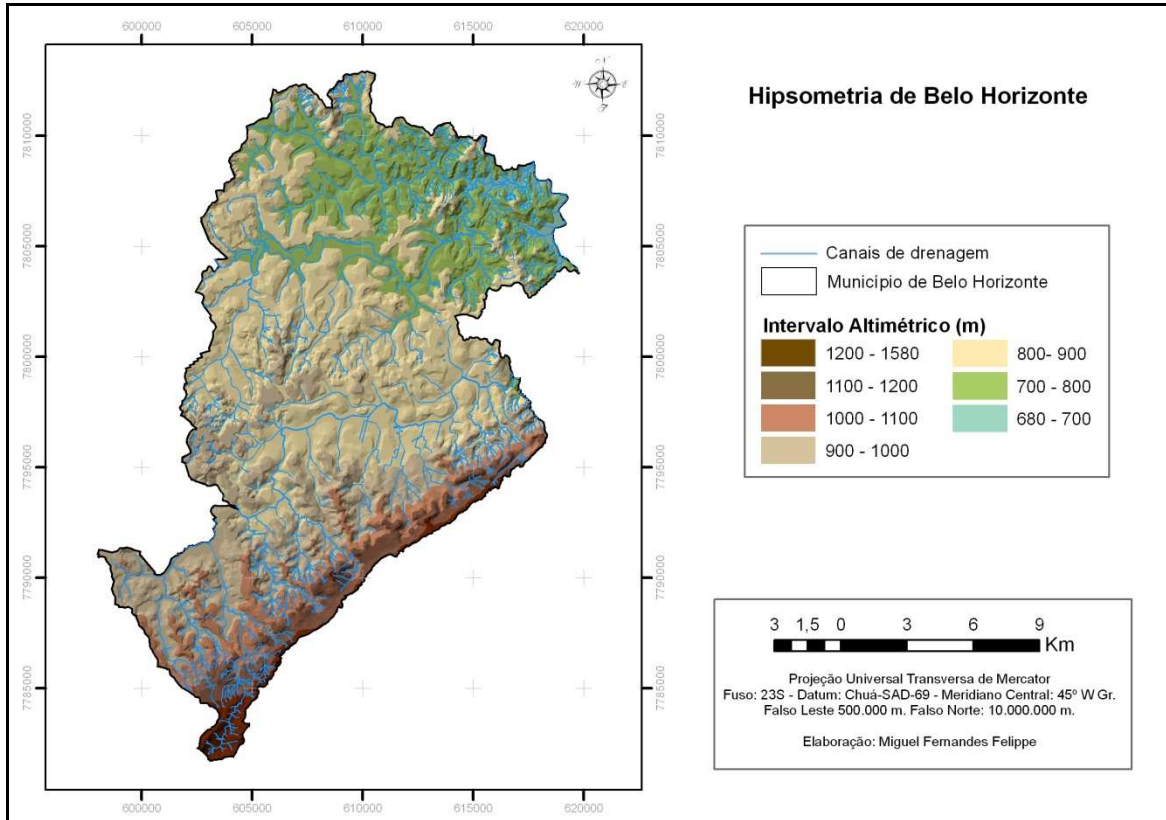


FIGURA 13 – Hipsometria de Belo Horizonte.

Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

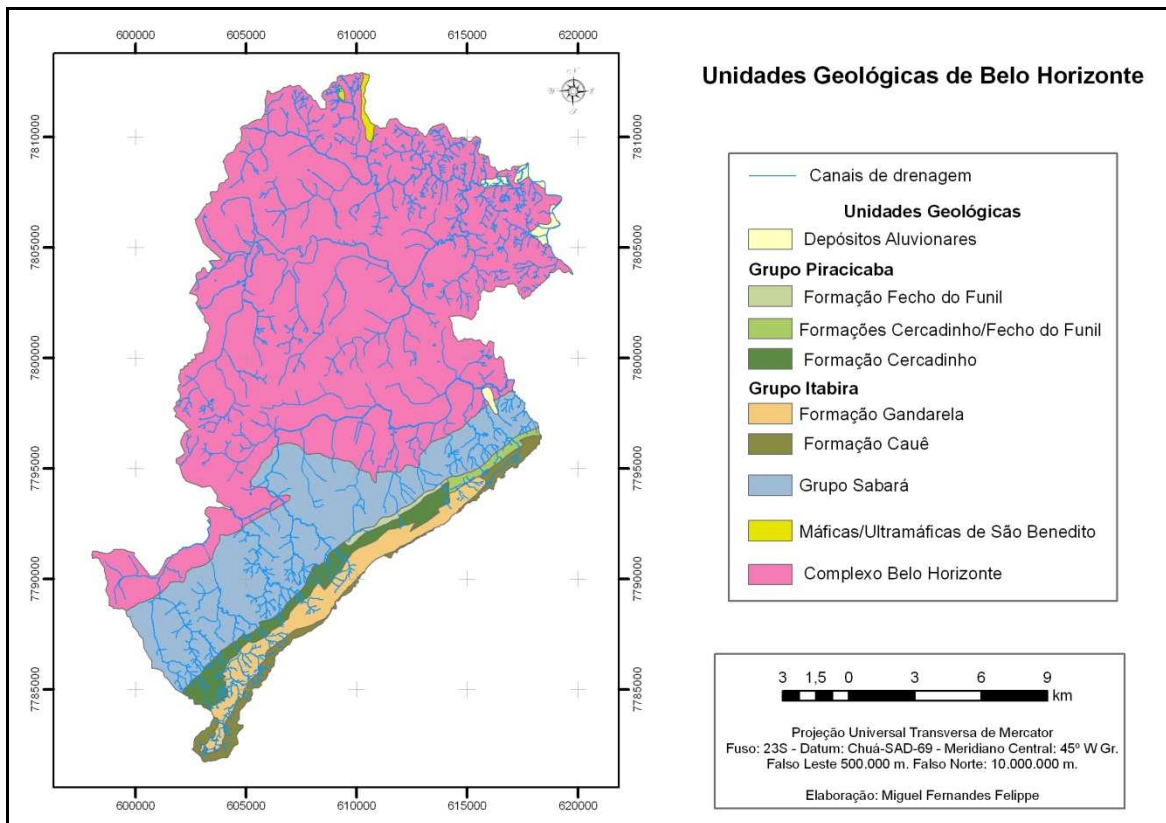


FIGURA 14 – Unidades Geológicas de Belo Horizonte.

Fonte: adaptado de SILVA *et al.* 1995.

O primeiro é caracterizado por rochas metassedimentares de origem química, mormente, itabiritos e dolomitos. A Formação Cauê, com litologias extremamente resistentes, é encontrada na crista da serra do Curral, onde predominam itabiritos silicosos com fácies de quartzo e hematita. Por vezes, ocorre cobertura de canga, concreções lateríticas de itabirito, hematita e limonita/goethita (SILVA *et al.* 1995). Por sua vez, a Formação Gandarela encontra-se ao longo da encosta da serra do Curral, sendo marcada por dolomitos calcíticos e itabiríticos e itabirito dolomítico (SILVA *et al.* 1995). Predominam, espacialmente, os dolomitos, porém as lentes de itabirito podem atingir dezenas de metros (COSTA, 2002).

O Grupo Piracicaba é constituído por quatro formações, sendo que duas delas – Taboões e Barreiro – são desconexas e pouco espessas (COSTA, 2002), sendo mais expressivas no município as formações Cercadinho e Fecho do Funil (FIG. 14). A primeira caracteriza-se por metaconglomerados com matriz ferruginosa, quartizitos ferruginosos e filitos (SILVA *et al.* 1995). O solo é ausente a pouco espesso, sendo que a Formação Cercadinho, por apresentar litologias resistentes a erosão, tende a promover rupturas no declive das vertentes quando associadas aos filitos da Formação Fecho do Funil. Nesta, por sua vez, predominam filitos sericíticos e filitos dolomíticos com lentes de dolomito (SILVA *et al.* 1995). Quando em média vertente, a Formação Fecho do Funil pode influenciar movimentos de massa, processos relativamente comuns no sul do município.

Dentre as unidades do Supergrupo Minas, aquela que apresenta maior extensão territorial no município de Belo Horizonte é o Grupo Sabará. Caracterizado por xistos e filitos muito intemperizados (SILVA *et al.* 1995), ocupa uma faixa entre 800 e 5.500 metros de largura (FIG. 14), de direção NE-SW na porção sul do município (COSTA, 2002). Constituem vertentes alongadas, com profundos mantos de intemperismo, que se direcionam a noroeste até as proximidades do rio Arrudas.

Esparsas de forma desconexa no município, encontram-se rochas intrusivas de idade indefinida. As duas principais ocorrências são de diques e *sills* metabásicos no norte de Belo Horizonte (FIG. 14), predominando metagabro, anfíbolito ou diabásio (SILVA *et al.* 1995). Além disso, existe um grande dique na porção nordeste dos metassedimentos do Grupo Sabará (COSTA, 2002).

Por sua vez, a variabilidade pedológica de Belo Horizonte, responde à intercessão das características geológicas e geomorfológicas do sítio, promovendo uma diversidade de tipos

de solos entre a Depressão e as Serras. Tais diferenças apresentam-se como fazes distintas de evolução dos processos pedogenéticos quando em rochas de origem semelhantes, indicando influência dos processos erosivos na classificação dos solos.

Segundo IBGE (2001), predominam na Depressão de Belo Horizonte, Argissolos vermelho-amarelos distróficos, com ocorrência de Argissolos vermelhos eutróficos e Latossolos vermelho-amarelos distróficos. A distinção entre Argissolos e Latossolos tende a ocorrer em função da morfologia do terreno. Nas médias vertentes, com possibilidade de deslocamento vertical de argila no perfil, os solos tendem a evoluir para Argissolos; nas regiões em que as características não estimulam o transporte de argila, predominam os Latossolos. Todavia, a porção sul da depressão – já no contato geológico-geomorfológico com o Quadrilátero Ferrífero – é marcada por solos do tipo Latossolo vermelho-amarelo distrófico (IBGE, 2001), com horizonte A moderado e textura argilosa (CETEC, 1983), resultante da decomposição de xistos, filitos e dolomitos.

Na porção sul, no domínio das Serras do Quadrilátero, as litologias mais resistentes ao intemperismo e o relevo mais dissecado, com rampas de declividade elevada, promovem a existência de Cambissolos háplicos distróficos (IBGE, 2001). Acredita-se que os intensos processos de encosta rejuvenesçam constantemente o perfil, impedindo sua evolução em profundidade e promovendo horizontes B pouco espessos. Há também a presença de solos litólicos em que o horizonte A encontra-se em contato direto com a rocha sã, sobretudo, de textura é arenosa (CETEC, 1983).

Portanto, de uma forma geral, os mantos de intemperismo em Belo Horizonte tendem a ser argilo-arenosos a areno-argilosos e consideravelmente profundos, com espessura média calculada de aproximadamente 36 metros (COSTA, 2002). A FIG. 15 – adaptada de Costa (2002) – espacializa a profundidade das coberturas superficiais no município de Belo Horizonte.

Os mantos de intemperismo associados às litologias sotopostas delimitam os domínios hidrogeológicos de Belo Horizonte. Segundo Silva *et al* (1995) e PBH (1995), podem-se delimitar três domínios hidrogeológicos no município: Complexo Belo Horizonte, Grupo Sabará e Grupos Piracicaba e Itabira (FIG. 16).

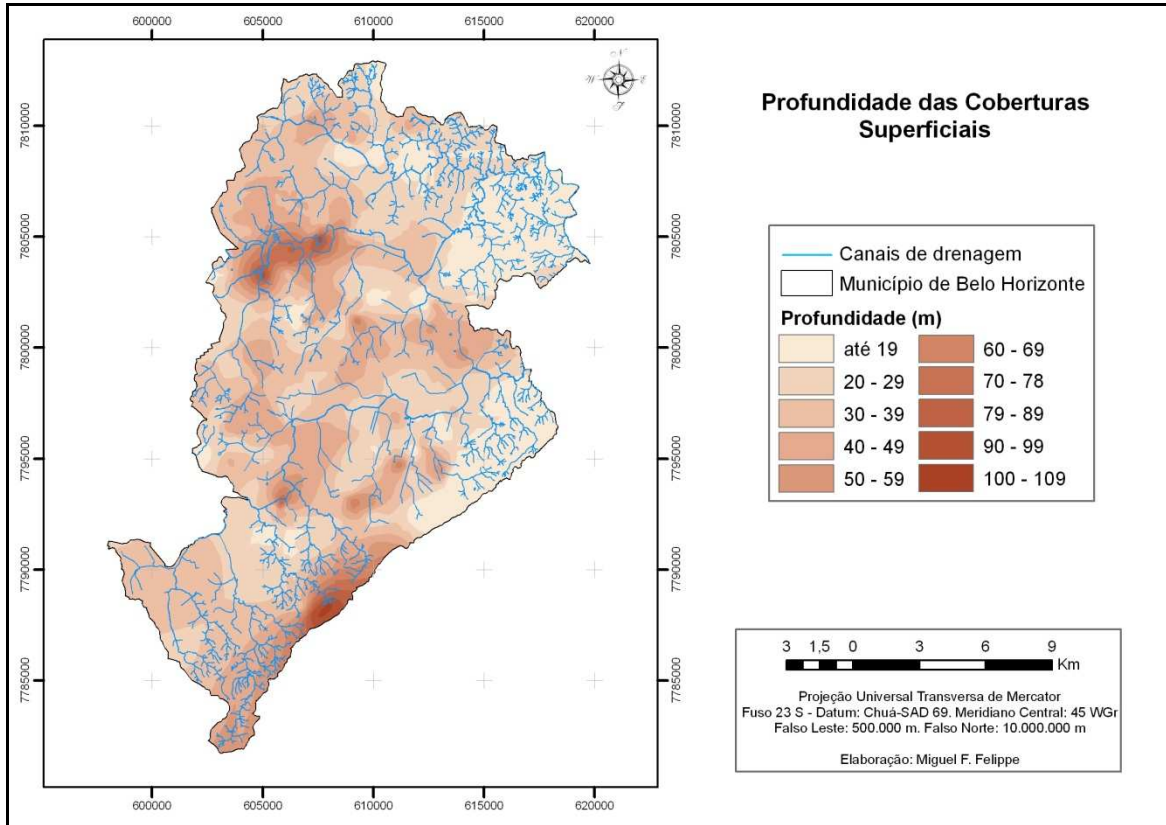


FIGURA 15 – Profundidade das coberturas superficiais.

Fonte: COSTA, 2002.

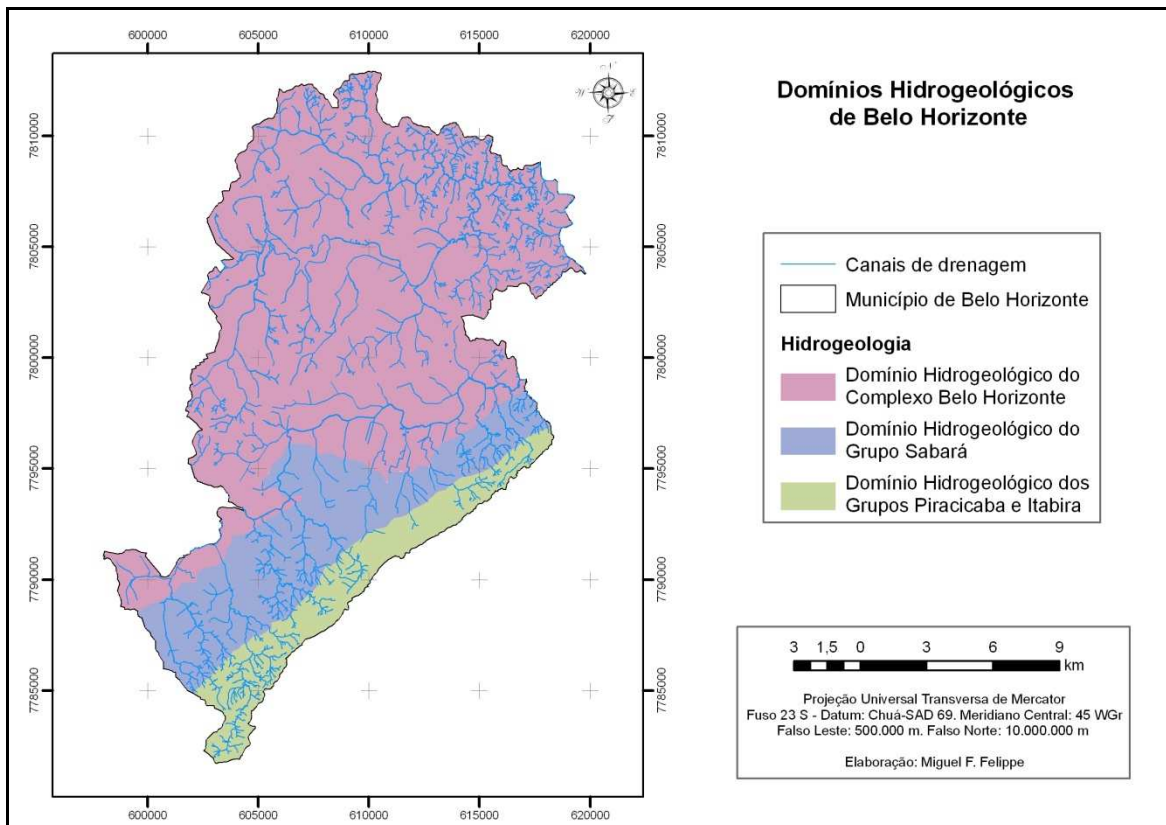


FIGURA 16 – Domínios hidrogeológicos de Belo Horizonte.

Fonte: SILVA *et al*, 1995.

Considerando a espessura e as características hidrológicas dessa cobertura sedimentar no território de Belo Horizonte, afirma-se que o manto de intemperismo possui uma grande importância na dinâmica hidrogeológica, sobretudo na porção norte do município devido a baixa permeabilidade das rochas do embasamento arqueano (BEATO, 2001). Associada às litologias do Complexo Belo Horizonte, essa espessa cobertura comporta-se como um aquífero granular que possui comunicação hidráulica íntima com o aquífero fissural sotoposto, constituindo um único sistema aquífero (SILVA *et al*, 1995).

Como as rochas do embasamento possuem alta resistência à compressão – comportamento rúptil – suas fraturas tendem a ser abertas e penetrativas (COSTA, 2002), sobretudo na direção NE, em que são preenchidas por material clástico, mais favoráveis à circulação (BEATO, 2001). Assim, esse sistema aquífero é livre, com baixa capacidade específica em poços perfurado na rocha – 0,071 L/s.m (COSTA, 2002) – mas que podem dobrar suas vazões caso também capturem a água armazenada no material inconsolidado (BEATO, 2001).

O domínio dos Grupos Piracicaba e Itabira possui seqüências de aquíferos e aquíferos com mergulho para sudeste e profundidades superiores a 600 metros, sendo que “as descargas dos aquíferos são realizadas através de fraturas e falhas geológicas existentes” (SILVA *et al*, 1995. p. 75). Segundo Costa (2002), apesar da característica eminentemente fissural desse sistema, não foi verificado artesianismo em nenhum poço de Belo Horizonte e, por isso, mesmo o aquífero metassedimentar seria do tipo livre.

A diversidade litológica, a estratigrafia regional e o posicionamento geomorfológico do domínio hidrogeológico dos Grupos Piracicaba e Itabira promovem um elevado potencial subterrâneo (PBH, 1995). As capacidades específicas de poços são consideravelmente maiores nesse domínio, sobretudo nas Formações Cauê – 0,182 L/s.m – e Cercadinho – 0,203 L/s.m. A elevada permeabilidade secundária dos itabiritos e quartizitos que constituem essas formações explicam tal fato. Além disso, as rochas carbonáticas da Formação Gandarela, podem promover capacidades específicas extremamente elevadas, sobretudo quando ocorre a formação de dutos cársticos – superiores à 11 L/s.m (COSTA, 2002).

Devido às sua baixa capacidade de armazenamento e transmissão hidrológica, o Grupo Sabará pode ser individualizado como o domínio hidrogeológico menos eficiente do município (SILVA *et al*, 1995). Suas litologias principais – xistos e filitos – possuem baixa

permeabilidade primária e secundária, devido à presença de cristais de textura pelítica e à baixa densidade da rede de fraturas – rochas mais dúcteis.

Ademais, os solos originados dessas rochas possuem baixa permeabilidade graças à grande concentração de argila e a capacidade específica dos poços foi considerada a mais baixa entre todas as unidades geológicas estudadas por Costa (2002): 0,045 L/s.m.

3.1. Aspectos geográficos da bacia do Parque das Mangabeiras

O Parque Municipal das Mangabeiras localiza-se na Região Centro-Sul de Belo Horizonte, correspondendo seu limite sudeste ao próprio limite municipal entre a capital e Nova Lima (FIG. 17). É a maior Unidade de Conservação gerida pela Prefeitura Municipal, com uma área de 2.417.000 m². Sua rede de drenagem constitui a alta porção da bacia do Córrego da Serra, afluente da margem direita do Ribeirão Arrudas e subafluente do Rio das Velhas.

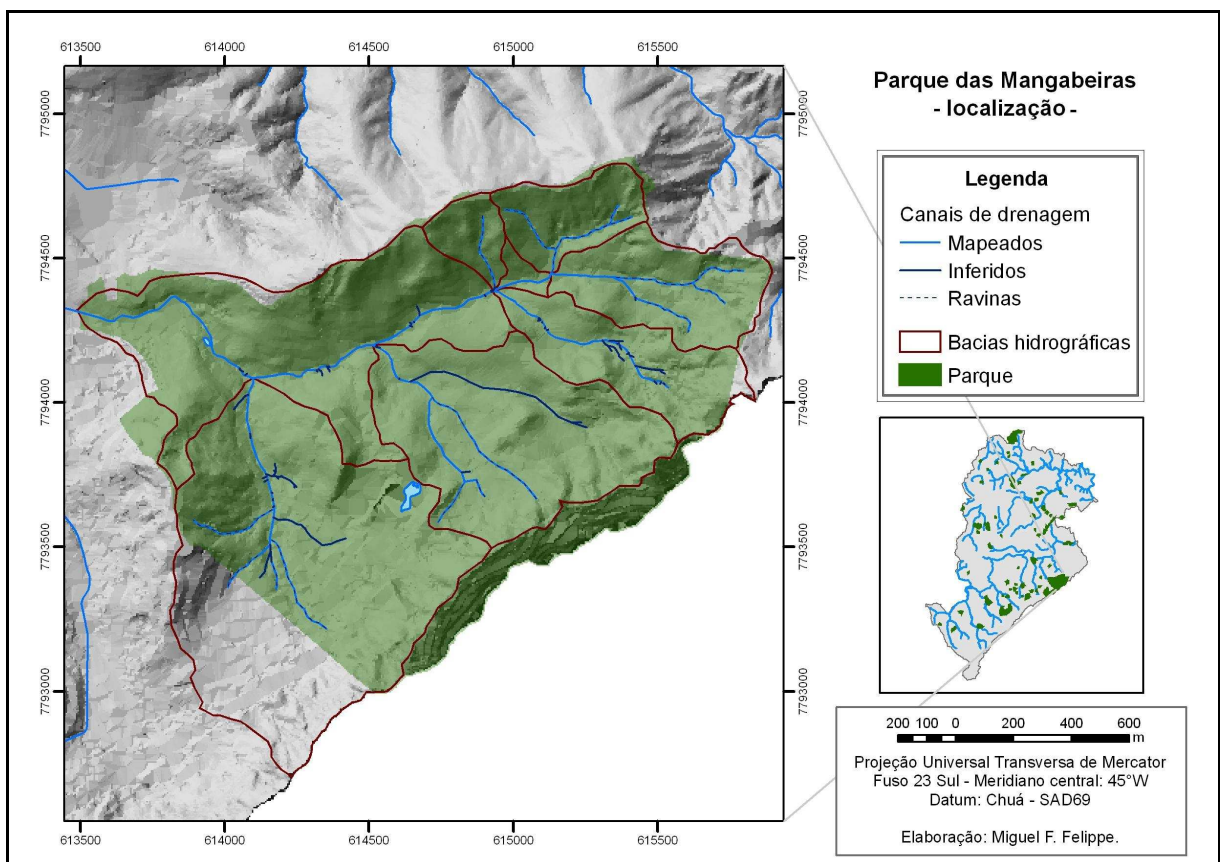


FIGURA 17 – Parque das Mangabeiras: localização.
Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

Constitui-se como uma grande área de vegetação predominantemente florestal no limite meridional da densa mancha urbana belo-horizontina. Seu limite norte é ocupado por

residências de baixa renda do Aglomerado da Serra, espaço notadamente de ocupação irregular e que exerce grande influência no parque. O contraste metropolitano se evidencia no limite oeste do parque, ocupado pelo bairro Mangabeiras, tradicional área de residências de alta renda de Belo Horizonte.

A bacia hidrográfica do Córrego da Serra praticamente coincide com os limites administrativos do Parque das Mangabeiras. Notadamente, tal característica permite um maior controle da qualidade ambiental do parque, ao reduzir as possíveis influências externas de montante. Porém, a alta porção da bacia do Lago dos Sonhos – sudoeste do parque – é ocupada pelo bairro Mangabeiras.

No interior do parque, todavia, as alterações no meio estão praticamente restritas à porção sul. Com isso, as demais áreas do parque possuem baixa interferência de estruturas urbanas, exceto pelas estradas que margeiam toda a bacia. Ademais, há algumas trilhas no interior da vegetação que promovem, por vezes, considerável impacto nos recursos hídricos, com disposição de lixo e assoreamento.

A vegetação predominante é a Floresta Estacional Semidecidual, com existência de Savana Gramíneo-Lenhosa nas altas vertentes. Essa classificação é dificultada, porém, pela complexidade da região que consiste em uma Área de Tensão Ecológica (IBGE, 2004b). A distinção se clarifica nas porções mais altas do relevo e nas vertentes de maior declividade, onde a vegetação campestre é exclusiva (FIG. 18).

O interior do Parque apresenta inúmeras áreas com alto grau de preservação, intervaladas pelas estruturas de lazer e pelas estradas. Em uma escala mais precisa, predominam matas de dossel fechado a semi-aberto, com estrato arbustivo e herbáceo incipiente, serrapilheira abundante e lianas e epífitas constantes.

Em termos geomorfológicos, o parque encontra-se na vertente norte da Serra do Curral – domínio do Quadrilátero Ferrífero – com cotas altimétricas variando entre 950 e 1.350 metros. O extremo sudeste do Parque é marcado por uma linha de crista sustentada por concreções lateríticas que determina o divisor da drenagem e também o limite intermunicipal (FIG. 19 e 20).



FIGURA 18 – Vegetação do Parque das Mangabeiras: savana em primeiro plano e na Serra, ao fundo, com a Floresta no centro.
Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 19 – Vertente norte da Serra do Curral no bairro Mangabeiras: encosta íngreme, com crista sustentada por Canga.
Foto: Miguel F. Felipe.

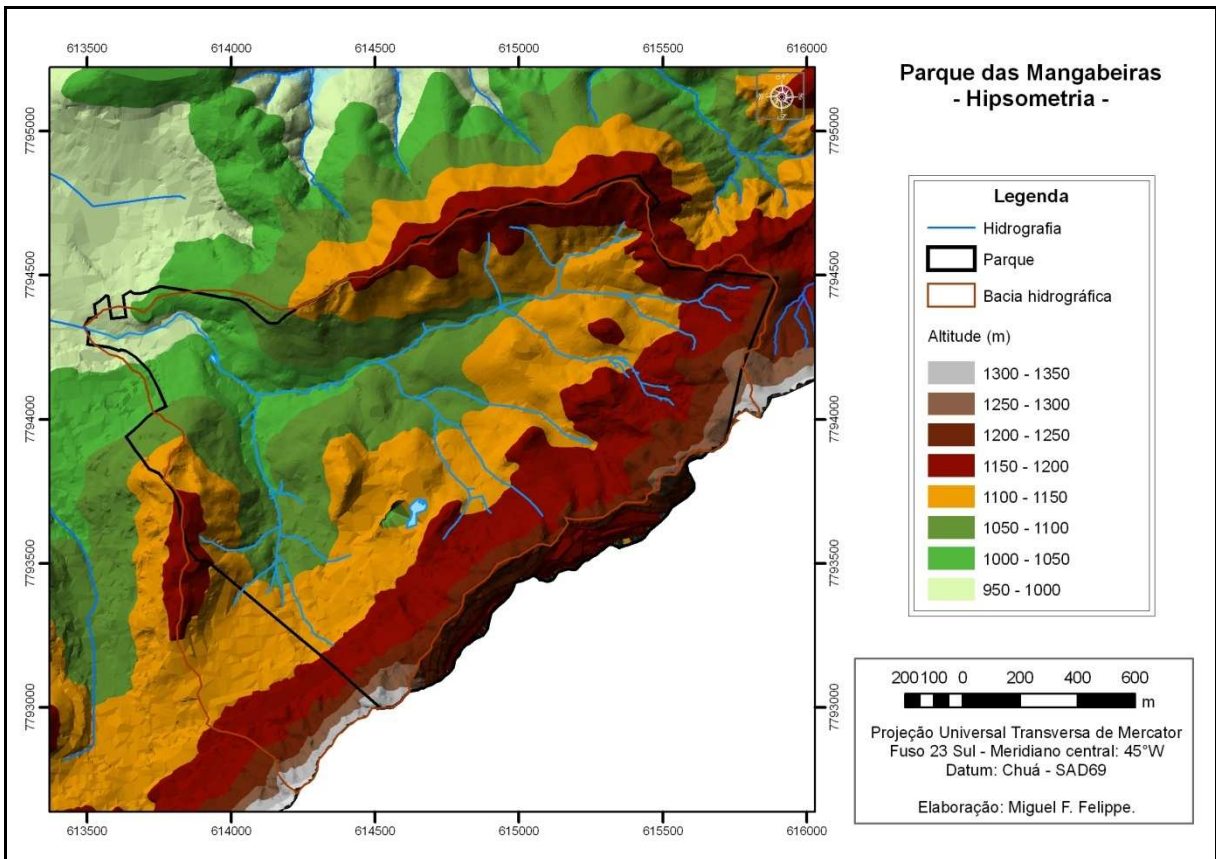


FIGURA 20 – Parque das Mangabeiras: hipsometria.
Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

As altas vertentes possuem declividade elevada, freqüentemente atingindo valores superiores à 60°. Os escarpamentos são constantes, sobretudo em contatos litológicos ou em locais onde as concreções ferruginosas sustentam as porções mais elevadas da serra. As médias e baixas vertentes, mormente, possuem declividade suave a suave-ondulada, sobretudo na porção central do Parque (FIG. 21).

A drenagem possui padrão dendrítico, por vezes, com nítido controle estrutural. Os canais de ordem zero situam-se nas altas vertentes, caracterizando-se por inúmeros ravinamentos profundos que se interligam à rede de drenagem perene na porção média da vertente. Os canais fluviais são encaixados – chegando em alguns casos a mais de 5 metros de profundidade do canal – muitas vezes com talvegue em rocha sã, indicando incisão vertical intensa, o que promove baixa sinuosidade. As planícies são praticamente inexistentes e as margens são marcadas por taludes esculpidos majoritariamente no manto de alteração, mas em alguns casos, na rocha sã.

No substrato geológico predominam rochas do Supergrupo Minas com uma pequena porção do Parque embasada pelo Grupo Sabará (FIG. 22). A Formação mais expressiva é a Gandarela, com dolomitos e itabiritos dolomíticos. As cristas da porção sudeste apresentam crostas lateríticas – Canga – sobrepostas a litologias da Formação Cauê. A porção norte é embasada por rochas das Formações Cercadinho, Fecho do Funil e do Grupo Sabará, com pequenas áreas onde se encontra a Formação Taboões (CPRM, 2000).

Litologicamente, predominam itabiritos, filitos e dolomitos. Porém, os afloramentos encontrados restringem-se, praticamente aos dois primeiros, com predominância dos itabiritos. Ademais, os seixos verificados nos talvegues dos canais constituem-se, notadamente, de quartzo e hematita.

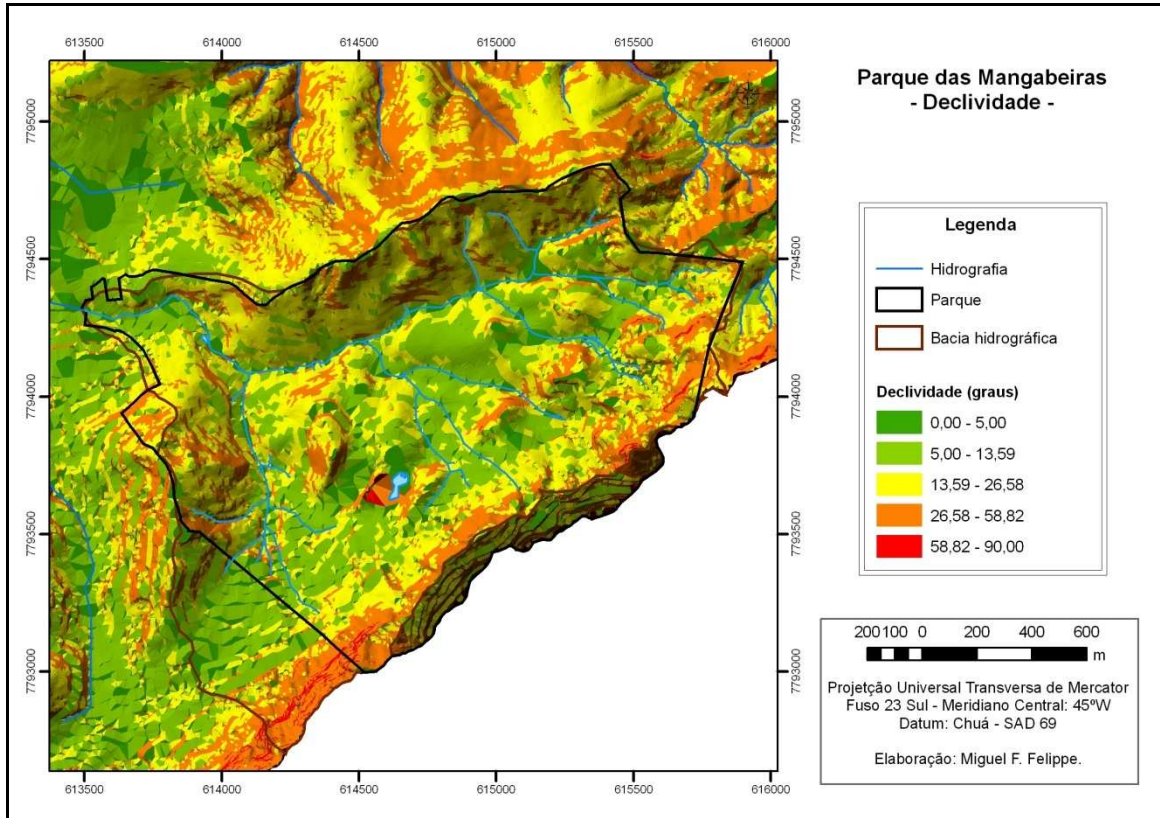


FIGURA 21 – Parque das Mangabeiras: declividade.
Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

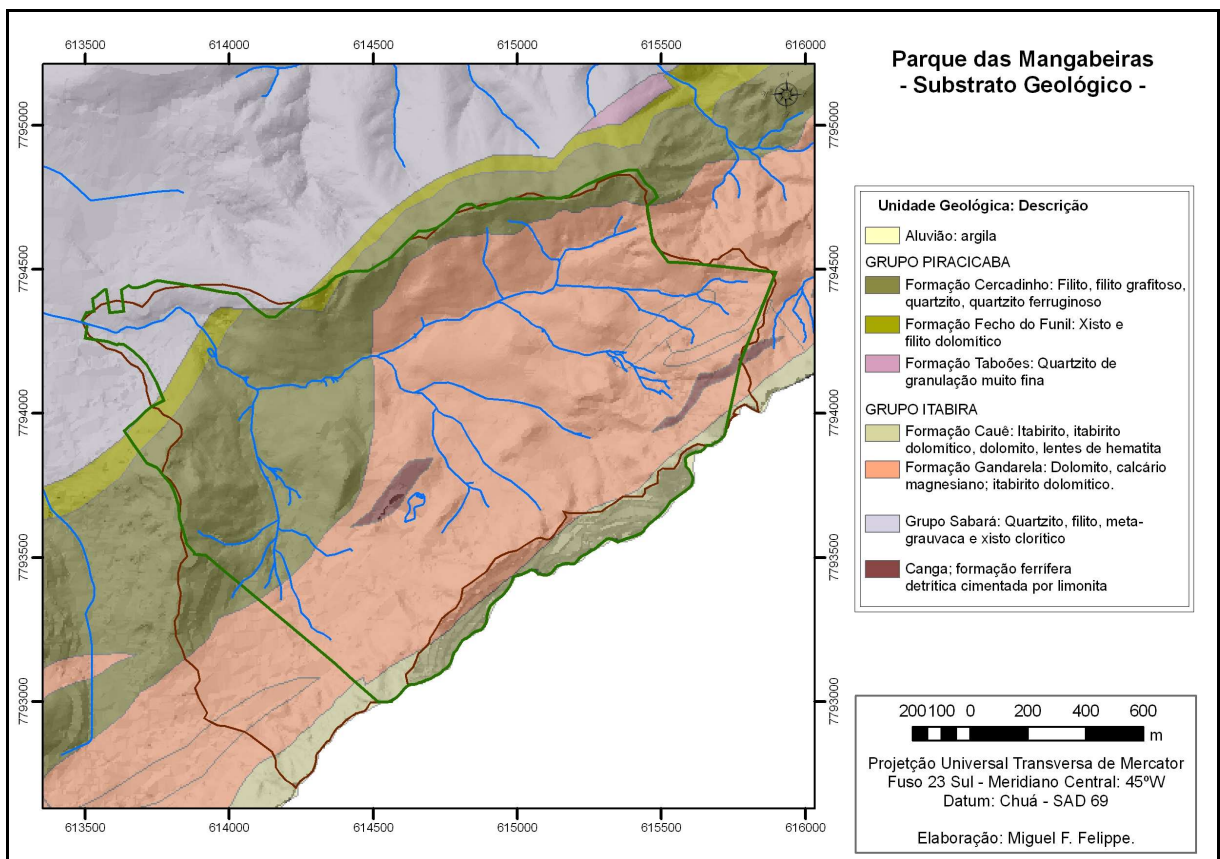


FIGURA 22 – Parque das Mangabeiras: substrato geológico.
Fonte: adaptado de CPRM, 2000; bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

3.2. *Aspectos geográficos da bacia da Lagoa do Nado*

Criado por decreto municipal em 23 de dezembro de 1988, o Parque Municipal Fazenda Lagoa do Nado, localiza-se na região da Pampulha, mais precisamente no bairro Itapuã. Sua área total é de 307.000 m², drenada pela bacia do Córrego do Nado, afluente do Ribeirão Isidoro que, por sua vez, constitui a bacia do Ribeirão do Onça.

Por inserir-se em uma região de tradicional ocupação de Belo Horizonte, a bacia da Lagoa do Nado encontra-se intensamente alterada pela estrutura urbana. Em toda sua alta porção – sul da bacia – o espaço encontra-se ocupado, predominantemente, por residências unifamiliares, com solo intensamente impermeabilizado. O limite norte do parque é delimitado pela Av. Dom Pedro I, um dos principais eixos viários de Belo Horizonte que faz a ligação do centro com os municípios do eixo norte da Região Metropolitana (FIG. 23).

A vegetação do Parque Lagoa do Nado encontra-se extremamente modificada. Originalmente uma Área de Tensão Ecológica entre a Floresta Estacional e a Savana, configura-se hoje, em diversos estágios sucessionais apresentando características dos dois domínios biogeográficos. Predomina, no entanto, uma vegetação arbórea com dossel aberto a semi-aberto, caracterizada por estratos herbáceo e arbustivo densos (FIG. 24). As margens da lagoa são ocupadas por espécies hidrófilas, em áreas menos alteradas, ou exógenas. Lianas e epífitas não são comuns, em detrimento de pteridófitas que ocupam encostas pouco vegetadas, demonstrando claramente a sucessão em curso.

Além das áreas desvegetadas e em regeneração, caracteriza a vegetação do parque a grande área ocupada por eucaliptos, sobretudo em sua porção norte. Nas médias e altas vertentes, o estrato herbáceo é exclusivo com grande presença de “capim coloniã” e outras gramíneas. Essas áreas coincidem com os limites do parque, em que o aceiro acompanha uma trilha que percorre praticamente todo o seu perímetro (FIG. 25).

Morfologicamente, o Parque da Lagoa do Nado constitui-se de um vale fluvial de fundo chato, com vertentes suaves e declividade variando entre próximo a zero – na planície dos canais de drenagem – e superiores a 30° em alguns pontos isolados como cabeceiras de drenagem e rupturas de declive. Predominam, porém, declividades entre 5 e 14° (FIG. 26).

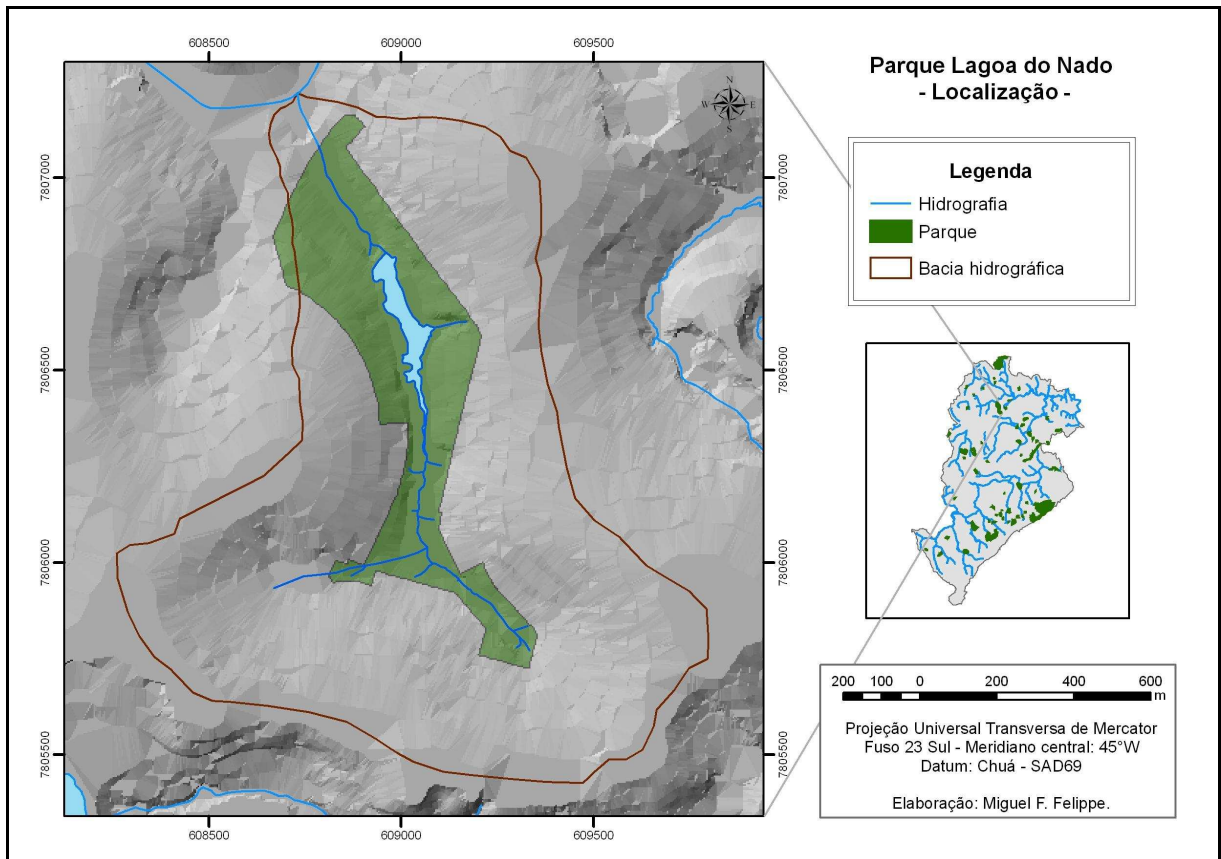


FIGURA 23 – Parque Lagoa do Nado: localização.

Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

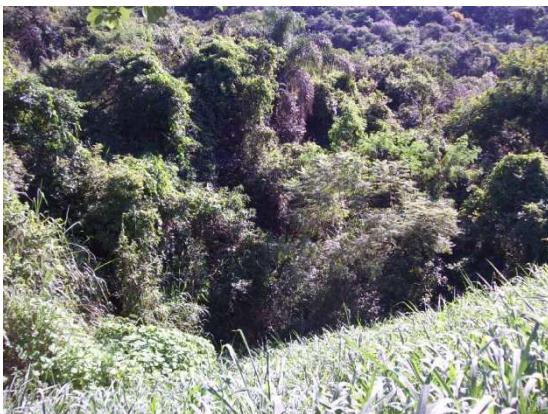


FIGURA 24 – Vegetação do Parque Lagoa do Nado: gramíneas na alta vertente (primeiro plano) e matas secundárias nos fundos de vale.

Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 25 – Predomínio absoluto de gramíneas na média e alta vertente, nas proximidades do limite oeste do Parque Lagoa do Nado.

Foto: Miguel F. Felipe.

A baixa declividade é promovida por uma diferença altimétrica pequena. As altitudes variam de aproximadamente 750m na planície do Córrego do Nado, a pouco mais de 800m nos interflúvios da bacia – em área externa ao parque (FIG. 27). Além disso, poucos são os canais de drenagem que cortam o interior do parque, sendo que, praticamente não há ravinamentos. Todavia, no extremo leste do parque encontra-se uma cabeceira de drenagem bem

pronunciada que, segundo Moura; Saadi (1989) teria sido originada por voçorocamento (FIG. 24).

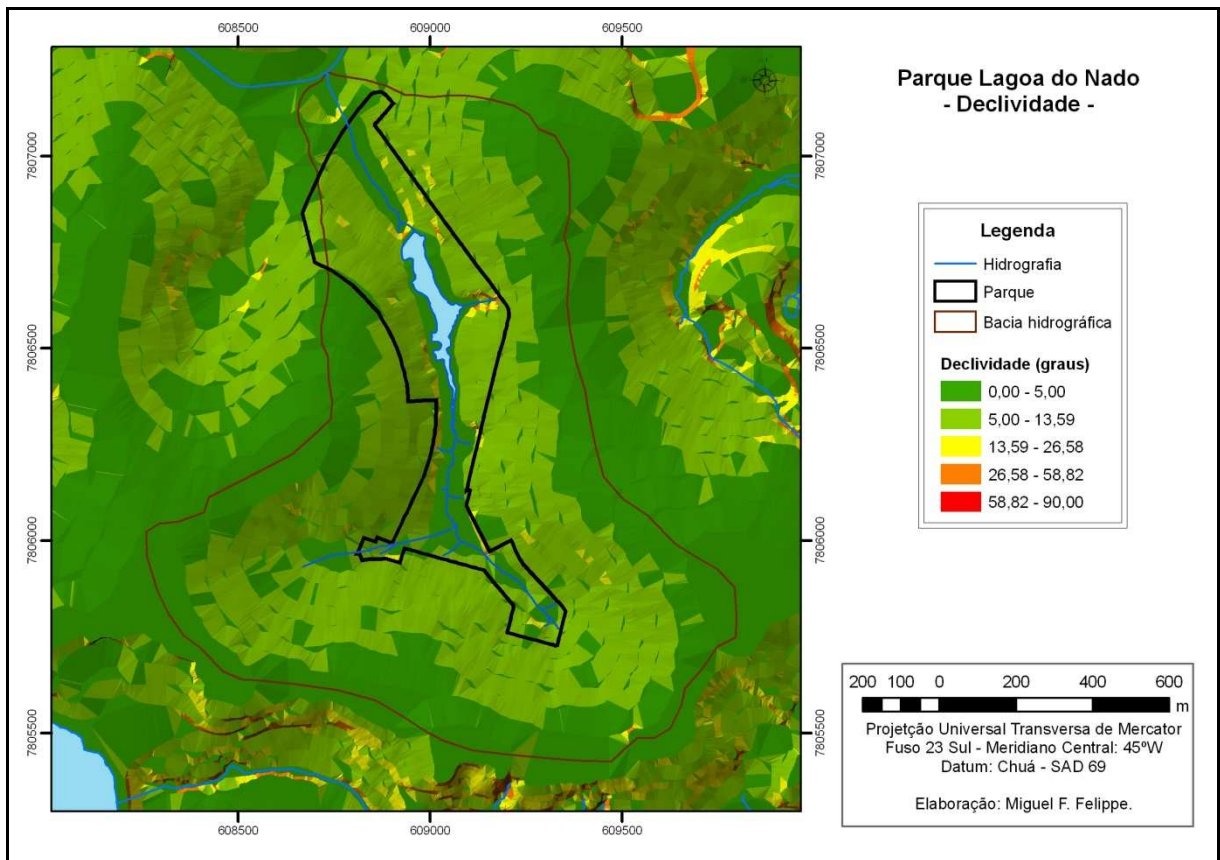


FIGURA 26 – Parque Lagoa do Nado: declividade.

Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

Assim, a drenagem é pouco encaixada, predominando a acresção lateral em detrimento da incisão vertical. A maioria dos canais possui fundo chato e preenchido por sedimentos, com margens normalmente planas e sazonalmente alagadas. Uma dos canais perenes que corta o parque não possui suas nascentes na unidade de conservação, estando estas localizadas em um clube, no interior da mancha urbana, e sendo canalizadas até a entrada do canal no parque.

A diversidade do substrato geológico encontrada no Parque das Mangabeiras – domínio das rochas metassedimentares (SILVA *et al*, 1995) – não é verificada no Parque Lagoa do Nado – domínio do embasamento cristalino. O vale do Córrego do Nado foi moldado nas rochas do Complexo Belo Horizonte (FIG. 28). Litologicamente, ocorrem gnaisses e migmatitos indiscriminados, sem evidências de descontinuidades físicas. Os mantos de intemperismo são espessos e alterados por sucessivos revolvimentos de origem antrópica, dessa forma, não ocorrem afloramentos.

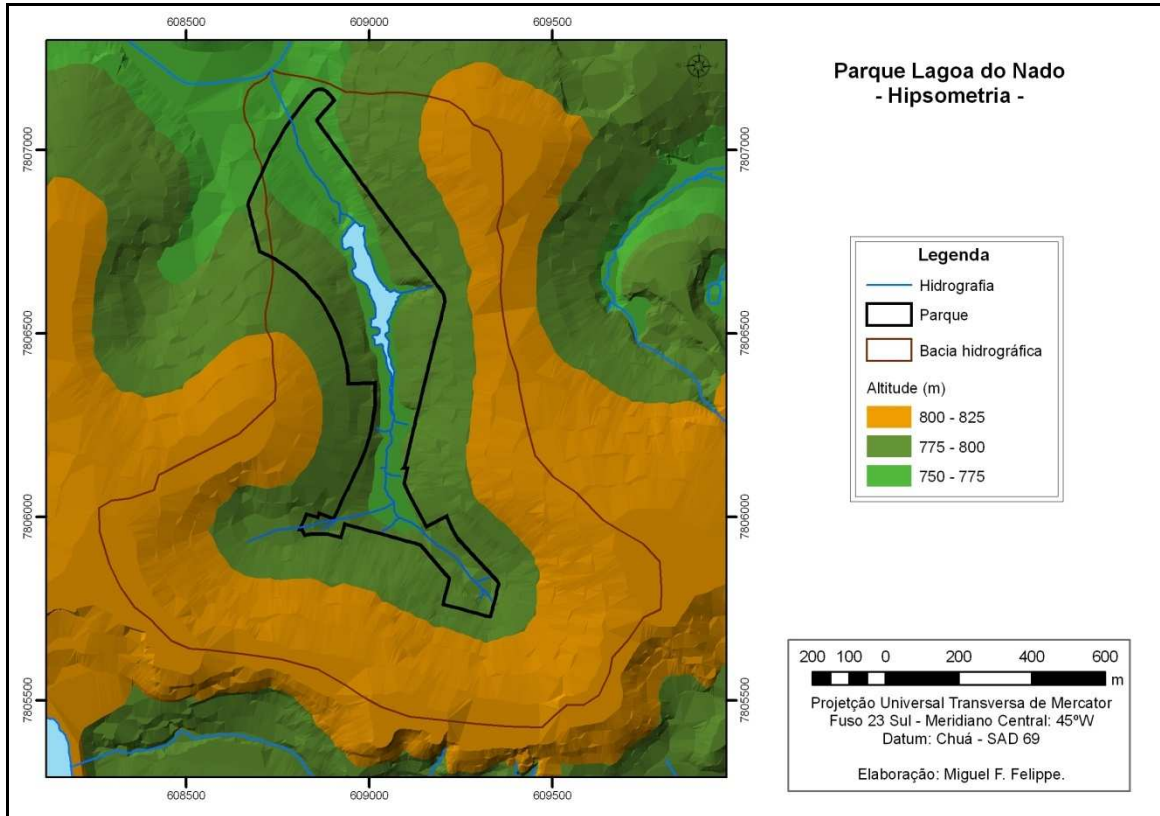


FIGURA 27 – Parque Lagoa do Nado: hipsometria.
Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

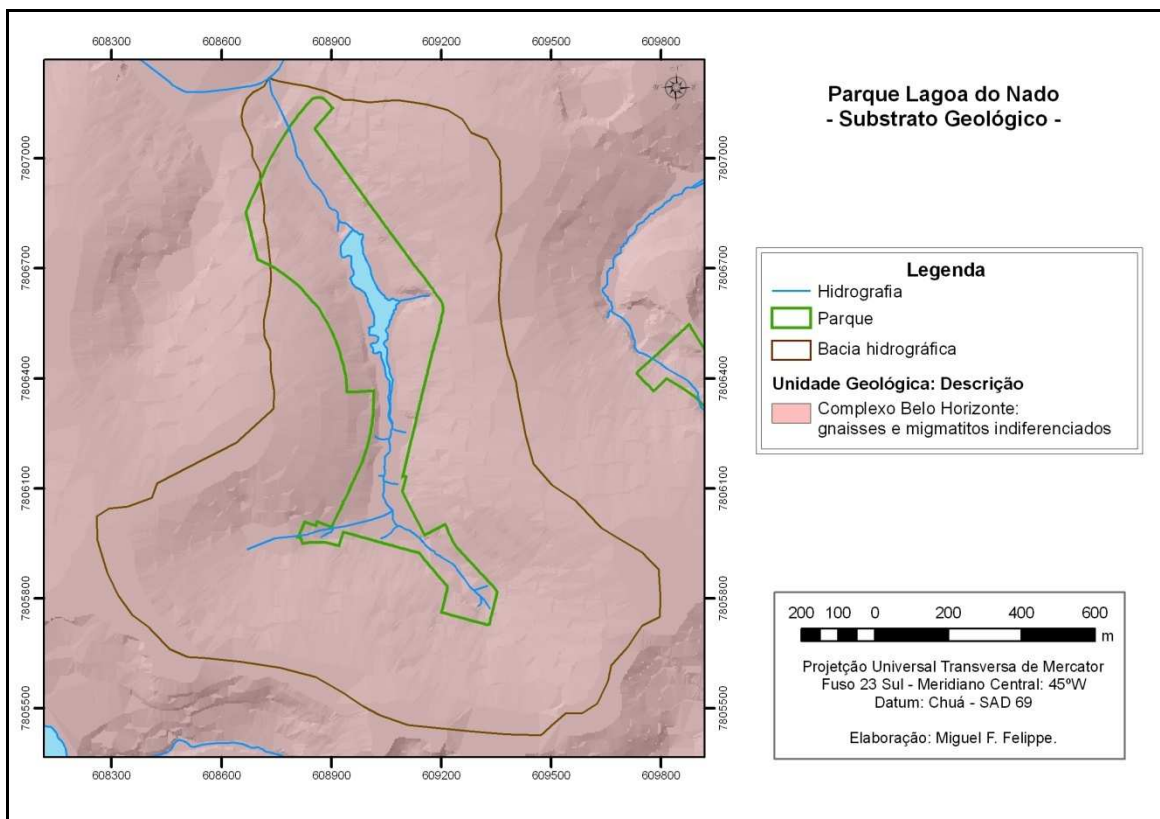


FIGURA 28 – Parque Lagoa do Nado: substrato geológico.
Fonte: adaptado de SILVA *et al*, 1995; bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

3.3. *Aspectos geográficos da bacia do Parque Primeiro de Maio*

O Parque Primeiro de Maio foi inaugurado recentemente, em 2008, fazendo parte do primeiro conjunto de unidades de conservação criadas pelo programa Drenurbs/Nascentes da Prefeitura de Belo Horizonte (MEDEIROS, 2008). Por isso, em termos estruturais, é completamente distinto dos anteriormente descritos. Sua área total corresponde a 34.000 m², aproximadamente 10% do tamanho do Parque Lagoa do Nado e menos de 1,5% do tamanho do Parque das Mangabeiras.

A intenção primeira da criação do Parque Primeiro de Maio não foi a conservação ambiental, mas a melhoria das condições de saneamento de sua bacia. Foram, então, promovidas ações de retirada do esgoto doméstico do Córrego Primeiro de Maio e “restauração” de seu leito e suas margens. Ademais, uma bacia de detenção foi criada no leito original do córrego no intuito de minimizar inundações a jusante, na planície do Córrego Cachoeirinha.

O parque localiza-se no bairro homônimo, Região Nordeste de Belo Horizonte (FIG. 29). A ocupação urbana do seu entorno é prioritariamente de residências de baixa renda, postando-se em toda a porção alta da bacia do Córrego Primeiro de Maio. A influência da infra-estrutura urbana na dinâmica ambiental do parque é evidente, refletindo-se em erosão acelerada e movimentos de massa nas proximidades do limite do parque, bem como na emissão de efluentes no curso d’água.

Na rede hidrográfica local, a bacia do Córrego Primeiro de Maio se insere na bacia do Córrego Cachoeirinha. Este, por sua vez, deságua no Ribeirão da Pampulha que, após a confluência do Ribeirão Isidoro, forma o Ribeirão do Onça.

Criado em um espaço anteriormente ocupado por construções irregulares e praticamente sem registros da cobertura original, o Parque Primeiro de Maio possui sua vegetação completamente alterada. As matas são secundárias e existem em apenas duas áreas desconexas. Fitofisionomicamente, assemelham-se a capoeiras, com predominância de espécies arbustivas com estrato herbáceo-graminoso bastante denso e indivíduos arbóreos esparsos (FIG. 30). Todavia, a maior parte da unidade de conservação é coberta por grama ou possui solo exposto (FIG. 31).

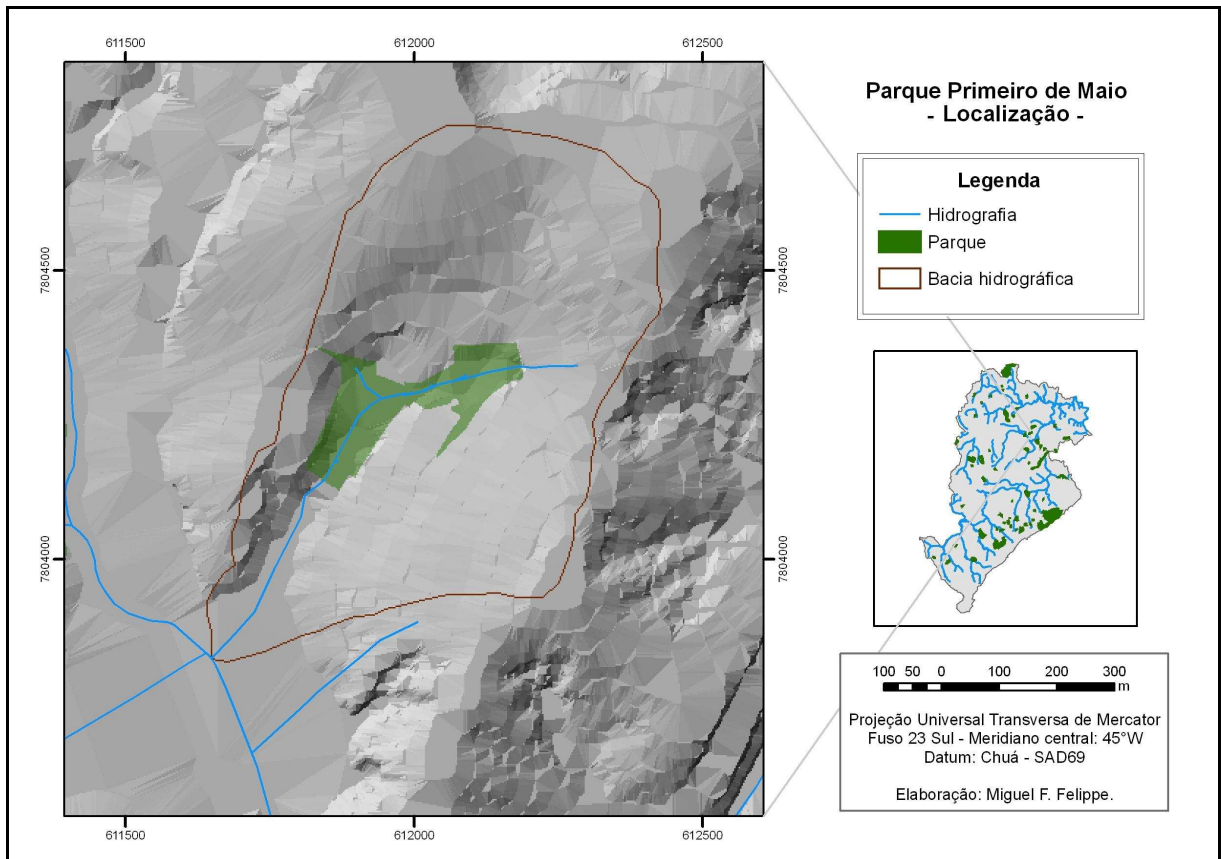


FIGURA 29 – Parque Primeiro de Maio: localização.

Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.



FIGURA 30 – Uma das áreas de capoeira, na porção sudoeste do parque.
Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 31 – Grama em vertente ondulada na margem direita do córrego.
Foto: Miguel F. Felipe.

Assim como o Parque Lagoa do Nado, o Primeiro de Maio também se insere em um vale fluvial. O parque encontra-se na porção média da bacia e acompanha o trecho médio do córrego homônimo. No interior da unidade de conservação, a altitude possui uma variação muito pequena, com a maior parte das áreas variando entre 775 e 800m. Porém, no total da bacia essa variação é superior, com altitude próxima a 850m nos interflúvios norte (FIG. 32).

A declividade no interior do parque é suave. A maior parte da área situa-se entre zero e 14° de declive (FIG. 33). Todavia, em alguns segmentos das vertentes, a inclinação é maior, atingindo ângulos superiores a 30°, sobretudo próximo aos limites do parque, na margem direita do canal. Nesse sentido, nota-se uma tendência a declividades maiores na porção oeste-noroeste da bacia, marcada, por vezes, por taludes com declividade superior a 50°.

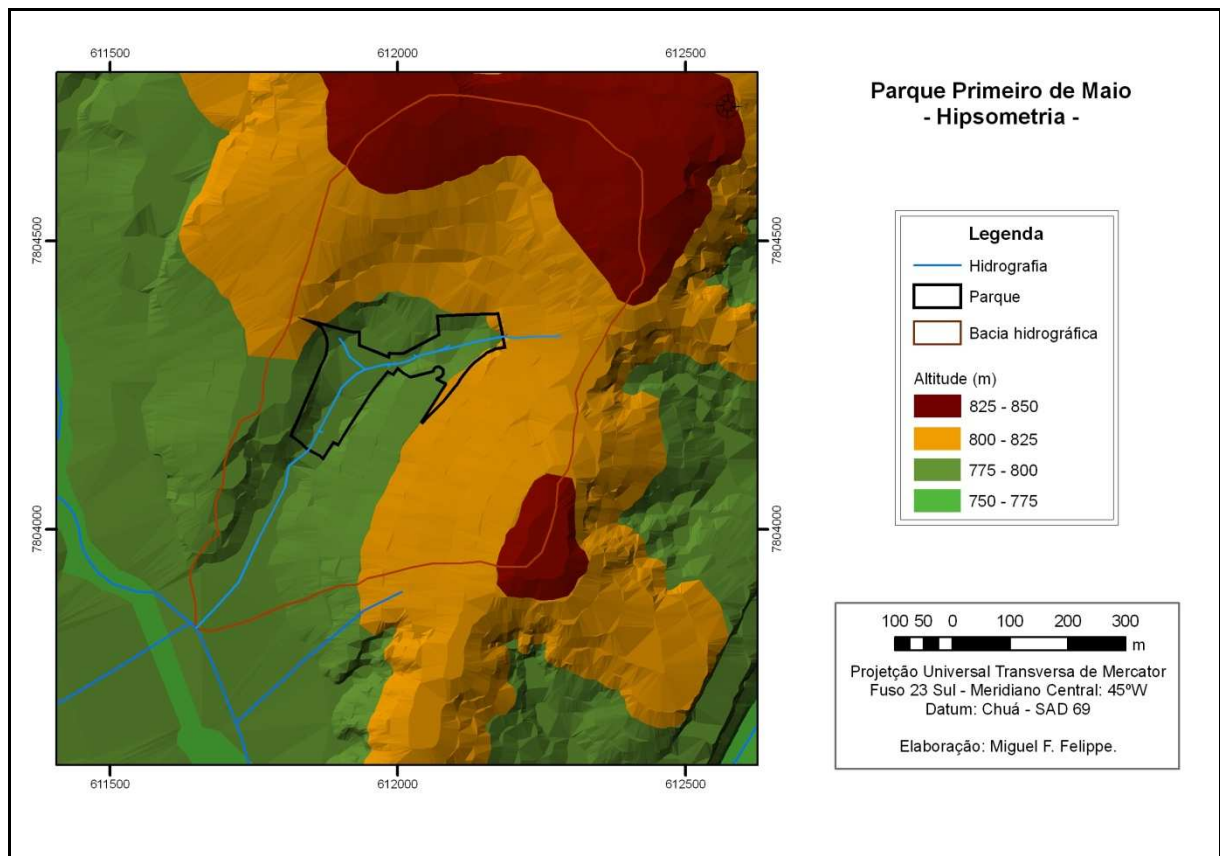


FIGURA 32 – Parque Primeiro de Maio: hipsometria.

Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

A morfologia do parque sofreu grande influência antrópica. Em vários locais houve aterramentos alterando as características originais do relevo. Todavia, a porção mais a jusante do parque é constituída pela planície do Córrego Primeiro de Maio; à montante tem-se vertentes curtas com segmentos planos e convexos formando um vale em “V”.

Situado na depressão de Belo Horizonte, o substrato geológico do Parque Primeiro de Maio é consideravelmente homogêneo. Como mostra a FIG. 34, é constituído basicamente por gnaisses e migmatitos individualizados do Complexo Belo Horizonte, inserido no embasamento cristalino arqueano. Não foram verificados afloramentos, devido à espessura do manto de alteração nessa região. Ademais, as características pedológicas apresentam-se completamente descaracterizadas devido aos revolvimentos por ação antrópica.

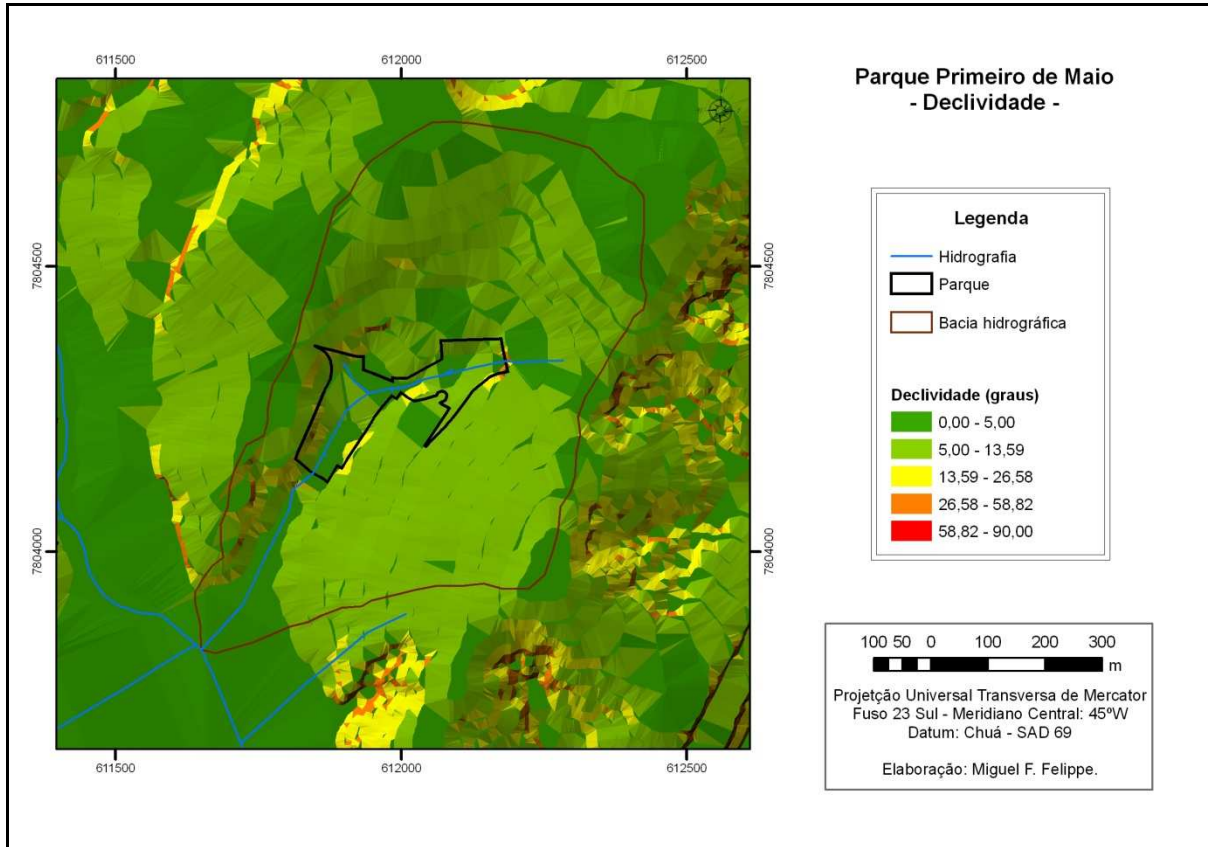


FIGURA 33 – Parque Primeiro de Maio: declividade.

Fonte: Bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte

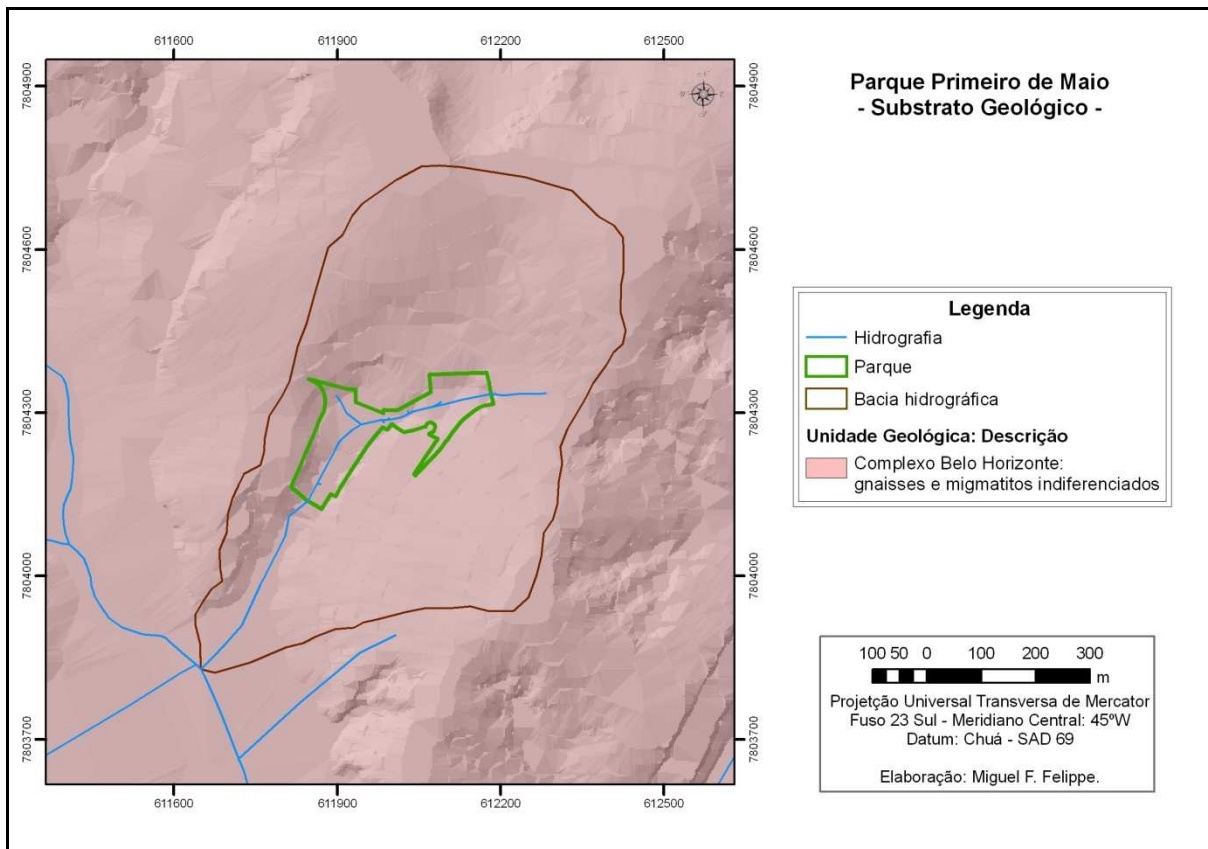


FIGURA 34 – Parque Primeiro de Maio: substrato geológico.

Fonte: adaptado de SILVA *et al*, 1995; bases cartográficas da Prefeitura de Belo Horizonte.

4. NASCENTES: CONCEITOS E ABORDAGENS

Assim como uma série de outros conceitos, o de *nascente* padece sob a popularidade do termo e a forma corriqueira com que é utilizado, mesmo pela comunidade científica. Se por um lado o coloquialismo pode permitir a difusão do saber acadêmico, por outro, pode enviesá-lo pela falta de precisão, fazendo emergir incoerências e lacunas que não contribuem para o avanço das ciências.

Tais problemas são verificados facilmente na rara literatura acadêmica nacional e internacional que versa sobre as nascentes. Pouco se tem discutido sobre o seu conceito, partindo-se do pressuposto que a própria idéia de nascente é algo simples e óbvio. Com isso, a abordagem das nascentes é centralizada em suas características e dinâmica, sem mesmo precisar seu conceito.

Porém, em campo essa aparente banalidade se esvai. O reconhecimento de uma nascente acaba sendo condicionado pelo conceito no qual se utiliza, fazendo-se levantar uma série de dúvidas que promovem a imprecisão dos trabalhos. Nesse ponto, a volta à literatura é inevitável e as incoerências conceituais ficam evidentes.

Como em toda a temática ambiental, a multidisciplinaridade é evidente nos estudos sobre nascentes. Dessa forma, criou-se uma série de conceitos que são eficientes apenas para o campo do conhecimento que o pesquisador se insere. As abordagens da hidrologia, da geologia, da biologia e da geografia – tendo como foco a geomorfologia – são distintas entre si, não havendo uma clara relação entre os elementos que são chamados de “nascente”. Apesar de algumas características em comum, é gerada uma pluralidade de conceitos que gera uma grande imprecisão para a leitura transversal entre as ciências.

Defende-se, então, a necessidade de uma ampla revisão conceitual sobre nascentes. Uma releitura que não apenas busque formatar o espaço a partir de um – ou vários – conceito dado, mas que possibilite a discussão e a reformulação do conceito após a observação do espaço. Sob essa perspectiva, a multidisciplinaridade pode ser a chave para um conceito que não seja útil apenas para determinado campo do conhecimento, como é de praxe, mas que vise uma abordagem que supere essas fronteiras.

4.1. *As nascentes no ciclo hidrossocial*

As interferências do homem no meio possuem proporções suficientemente grandes de forma que se torna impossível desconsiderá-las quando do entendimento da dinâmica ambiental e hidrológica de um espaço. A expansão demográfico-industrial, bem como a mundialização da cultura do consumo, ampliaram a demanda por recursos naturais, promovendo a mercantilização da natureza. A água, elemento do quadro natural, se transforma, então, em recurso hídrico, um bem econômico (REBOUÇAS, 1999a).

No meio metropolitano, tais considerações se tornam ainda mais evidentes. A artificialização do espaço exerce um papel primário nos fluxos de energia e matéria. Cria-se uma natureza híbrida em uma cidade *cyborg* (SWYNGEDOUW, 2006). Assim, no sistema urbano não se verifica a “autoregularização e o equilíbrio” (TROPPEMAIR, 2004. p. 109). A impermeabilização do solo, a retirada de água de fontes superficiais e subterrâneas, a transposição de bacias hidrográficas, a substituição da cobertura original por construções, enfim, a concentração de pessoas e serviços promove alterações quantitativas e qualitativas nos recursos hídricos.

Dessa forma, o ciclo hidrológico passa a não mais responder à dinâmica dita natural das águas, sendo revisto por uma perspectiva mais complexa – em que o número de elementos e de fluxos de matéria e energia que constituem o sistema é imensamente maior – pelo ciclo hidrossocial¹⁰ (SWYNGEDOUW, 2004). Questões como gestão e planejamento, preservação e conservação ambiental, conflitos ligados à demanda e oferta de água, governança dos recursos hídricos, saneamento e tantas outras, tornam-se vetores da circulação da água no espaço humano (SWYNGEDOUW, 2004). A água, então, passa de substância química e recurso natural a *commodity*, sem, no entanto, perder sua característica de ambiente ecológico (BARBOSA; BARRETO, 2008).

Assim, a dinâmica dos processos mantenedores do ciclo hidrológico é enormemente modificada pela ação antrópica. Ao utilizar a água em suas atividades produtivas, a sociedade altera as condições naturais de movimentação da água, recriando o ciclo hidrológico no ciclo hidrossocial (TUNDISI, 2003). Os represamentos para produção de energia, a captação subterrânea e superficial para a agricultura, indústria, serviços ou domicílios, a canalização de

¹⁰ A elaboração teórica do ciclo hidrossocial encontra-se em Swyngedouw *et al* (2002).

rios, a impermeabilização do solo, a retirada da cobertura vegetal natural e tantas outras atividades alteram um ou outro processo hidrológico, colocando o homem como agente da dinâmica das águas (PORTO *et al*, 1999; HALL, 1984).

Para a geografia, emerge, então, a necessidade de reavaliar o ciclo hidrológico sob a ótica de elementos humanos – uso, manejo, gestão, saúde, segregação, proteção, entre outros – que são essenciais na compreensão dessa nova dinâmica das águas que é criada. A circulação da água se processa sob a lógica do ciclo hidrossocial, no qual sociedade e natureza se transformam dialeticamente (SWYNGEDOUW, 2004).

Esse novo modo de ver a água não implica, porém, na supressão do ciclo hidrológico como modelo de interpretação da dinâmica hídrica em uma bacia. Contudo, em um espaço metropolitano não se pode ignorar as variáveis humanas e, portanto, a característica híbrida da natureza (SWYNGEDOUW, 2006). É nesse sentido que o ciclo hidrossocial apresenta-se como um ferramental teórico-metodológico extremamente rico para a ciência geográfica.

O ciclo hidrológico é a representação do movimento da água na Terra, em seus diversos ambientes e estados físicos. Configura-se como uma dinâmica de fluxos de energia e matéria em um sistema aberto, afastado do equilíbrio (REBOUÇAS, 1999a). Destarte, SILVEIRA (1999, p. 35) interpreta o ciclo hidrológico como “um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”.

A primeira perspectiva – de um sistema aberto – parece ser mais próxima à realidade em uma escala geológica. Tal divergência advém da possibilidade da atmosfera perder água para o espaço, bem como da significativa contribuição da entrada de água na atmosfera através de poeira cósmica (BARBOSA; BARRETO, 2008). Além disso, os processos geológicos podem produzir água a partir das reações químicas que geram (REBOUÇAS, 1999a). Contudo, pode-se afirmar que o ciclo hidrológico é um sistema fechado apenas na escala espacial do globo e temporal do homem, mesmo assim, com possíveis ressalvas. As bacias hidrográficas, por exemplo, possuem seus respectivos ciclos hidrológicos como sistemas abertos e, se tratando de bacias urbanas, não há equilíbrio entre os processos do Ciclo (TROPMAIR, 2004).

Sob o ponto de vista do ciclo hidrossocial, as nascentes são ambientes ímpares, seja pela transferência da água subterrânea para a superfície, seja pela necessidade de proteção, seja

pela sua posição estratégica em relação ao sistema de gestão, seja pela lógica da oferta/demanda.

Segundo Barbosa e Barreto (2008), a água dos rios é um bem relativamente escasso, ante à proporção que possui quando comparada aos demais ambientes hídricos da Terra. Somente 0,00009% da água existente no planeta encontra-se nos rios, 0,009% nos lagos de água doce e 0,295% corresponde às águas subterrâneas (BARBOSA; BARRETO, 2008). Apesar da pequena representatividade em relação ao total de água na Terra, essas são as principais fontes do recurso para as atividades humanas, sobretudo as duas primeiras, posto que o acesso à água superficial é consideravelmente mais fácil e, conseqüentemente, menos dispendioso em termos econômicos.

As nascentes são responsáveis pela passagem da água subterrânea para a superficial. Com isso, promovem a existência dos rios e lagos, justamente as fontes mais utilizadas pela sociedade. É impossível dizer qual a representatividade das nascentes no débito dos corpos d'água superficiais, porém, pode-se afirmar que a existência destes é condicionada pelas nascentes.

Essa característica intrínseca ao seu conceito faz com que as nascentes sejam objeto de interesse de uma série de atores sociais, sobretudo, dos gestores, de organizações não-governamentais de cunho ambiental, de movimentos sociais e, evidentemente, da sociedade civil. Além disso, exigências legais determinam a proteção das áreas de nascentes, impedindo sua utilização para quaisquer fins que não a conservação ambiental. Contudo, os interesses não necessariamente são comuns.

Por fim, é notório que a inserção das nascentes no ciclo hidrossocial extrapola a perspectiva de um elemento do sistema hidrológico que promove a passagem da água subterrânea para a superfície. Responsáveis pela existência das principais fontes de água para as atividades humanas, as nascentes se inserem, direta ou indiretamente, nos fluxos de poder que engendram o ciclo hidrossocial (MEDEAZZA, 2006). Assim, a circulação da água na natureza híbrida acaba por responder em, maior ou menor grau, às nascentes.

4.2. *Exfiltração da água subterrânea: recarga, fluxos e descarga*

De forma sintética, o ciclo hidrológico pode ser representado pelo balanço entre a entrada, a saída e o armazenamento de água do sistema. Para uma determinada bacia, a quantificação das variáveis hidrológicas pode ser obtida pela equação do balanço hídrico:

$$P - ET = Q_s + \Delta S + Q_{ss}$$

em que P é a precipitação; ET é a evapotranspiração; Q_s é o escoamento superficial; Q_{ss} é o escoamento subsuperficial; ΔS é a variação no armazenamento (FETTER, 1994).

Em termos qualitativos, o ciclo hidrológico é tradicionalmente descrito a partir dos principais processos que promovem a movimentação e transformação física da água no sistema. A FIG. 35 resume graficamente a circulação da água, apresentando alguns de seus principais processos intermediários e evidenciando as entradas, saídas e acumulações no sistema hídrico proposto.

Quando as gotas de água existentes na atmosfera ganham massa suficiente, condensam e precipitam, em forma de chuva, neve ou granizo (SILVEIRA, 1999). A precipitação é a principal forma de entrada de água no sistema (FIG. 35). Parte da precipitação é interceptada pela flora e pela fauna, podendo retornar à atmosfera. Outra parte atinge a superfície do meio, sendo retida superficialmente. A passagem da água da superfície para o solo constitui o processo de infiltração (BRANDÃO *et al*, 2006; SOARES, 2005).

A água infiltrada pode percolar em profundidade na zona aerada atingindo a zona saturada de um aquífero granular. Todavia, uma parte flui lateralmente constituindo fluxos subterrâneos de distribuição espacial da umidade que, posteriormente, podem promover a exfiltração e o retorno da água à superfície (SOARES, 2005). Após um período de tempo relativamente longo, a água que percola verticalmente pode atingir aquíferos profundos.

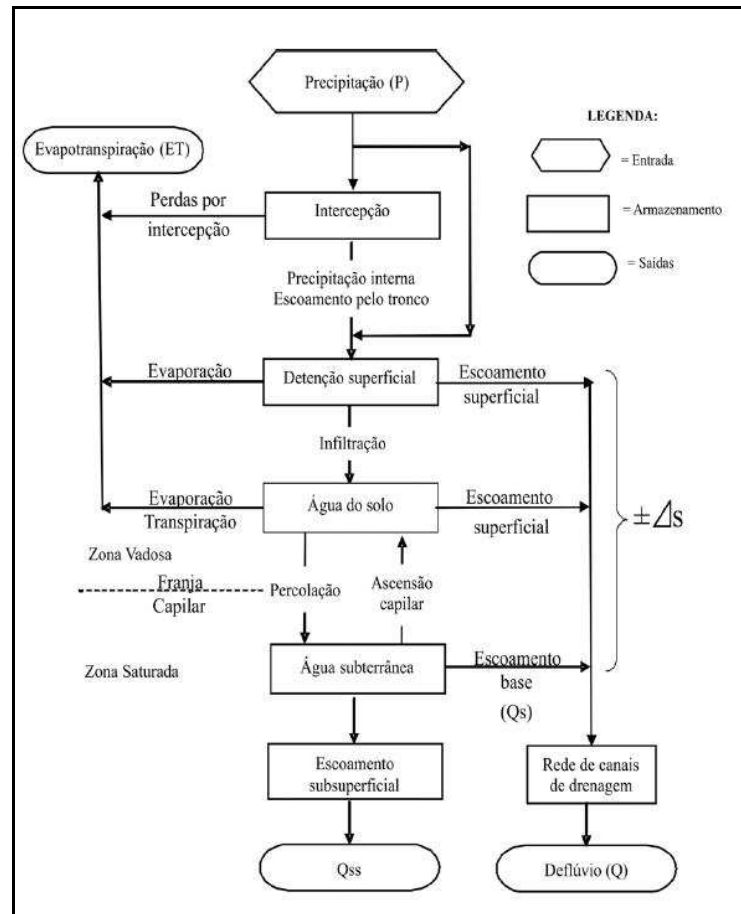


FIGURA 35 – Esquema da circulação da água no sistema hidrológico.
Fonte: SILVEIRA, 1999.

Em todos os processos de superfície, ocorre evaporação de uma parcela, por vezes considerável, de água, ademais, os seres vivos, por processos biológicos, são responsáveis pela transpiração. Tomados em conjunto esses processos constituem a evapotranspiração, que é, ao lado dos deflúvios, o principal processo de saída de água do sistema (FIG. 35).

As nascentes se inserem na FIG. 35 na passagem da água subterrânea para a superfície, a partir da rede de canais de drenagem. Esse complexo processo é condicionado por uma série de fluxos subterrâneos que promovem primeiramente a recarga dos aquíferos, depois a movimentação da água em subsuperfície e, finalmente, a descarga para a superfície.

Todd (1959, p. 5) resume estes processos:

A água penetra nestas formações (aquíferos) através da superfície do terreno ou de corpos de água superficial, após o que caminha lentamente distâncias variáveis até o seu retorno à superfície por ação de fluxo natural, das plantas ou do homem.

A recarga dos aquíferos depende da capacidade do meio de fornecer água para a subsuperfície, mas também das próprias características dos sistemas geológicos que possibilitam ou não o armazenamento e a transmissão de água. Ou seja, os componentes atmosféricos, superficiais e subterrâneos atuam em conjunto para efetivar a recarga. Assim, clima, solo, vegetação, morfologia do terreno, geologia e a ação humana influenciam e condicionam a recarga subterrânea (FELIPPE, 2007). Em relação aos processos, a infiltração e a percolação são os principais constituintes da recarga das águas subterrâneas, sendo que se algum desses for interrompido, a recarga não ocorrerá (TODD; MAYS, 2005).

Os processos de recarga e descarga são controlados pelos fluxos subterrâneos. De uma forma geral, pode-se afirmar que estes se originam nos locais de maior potencial hidráulico e se destinam para os de menor (REBOUÇAS, 1999b). Ou seja, a água subterrânea flui dos ambientes de maior energia, para os de menor energia.

Desse modo, enquanto as zonas de recarga são, teoricamente, os locais de maior potencial hidráulico, com maior energia potencial, as nascentes e demais áreas de descarga são os locais de menor potencial hidráulico – menor energia potencial. Esse balanço energético que origina e direciona os fluxos subterrâneos promove a exfiltração.

Segundo Ward e Trimble (2004) a quantidade de energia de uma partícula de água em um sistema de fluxos é a soma da sua energia de elevação, energia de pressão e energia de velocidade; três formas de energia potencial que promovem os fluxos subterrâneos.

A *energia de elevação* é determinada pela posição topográfica da partícula. Correspondendo à força da gravidade, portanto, relaciona-se com a altimetria e a distância vertical ao nível de base. A *energia de pressão* é função das forças existentes entre as partículas de água e a matéria que constitui o aquífero. A *energia de velocidade* é a própria resultante da movimentação da água em subsuperfície (WARD; TRIMBLE, 2004).

Assim, cada o balanço entre os três tipos de energia no potencial hidráulico depende, invariavelmente, do meio em que ocorre o fluxo subterrâneo. A energia de pressão terá maior influência nos fluxos somente em aquíferos confinados, em que a água subterrânea encontra-se sob pressão. Por outro lado, somente em aquíferos cársticos a energia de velocidade terá magnitude considerável, posto que de uma forma geral o deslocamento das partículas é muito lento. A energia de elevação, apesar de existir em qualquer situação, ganha em importância

nos aquíferos livres e não-cársticos, justamente, pela pouca expressividade dos dois outros tipos de energia (WARD; TRIMBLE, 2004).

Destarte, é a variação do potencial hidráulico – determinado, sobretudo, pela gravidade e pela condutividade hidráulica¹¹ – que promove o movimento das águas subterrâneas, por quaisquer tipos de fluxos. Todavia, são essas mesmas condições de energia que direcionam os fluxos com “tendência para o deslocamento do elemento na direção do mais rápido decréscimo de potencial” (MORAES, 1982. p. 21). Ou seja, é o gradiente energético que define o sentido dos fluxos subterrâneos, convergindo, posteriormente, para as zonas de descarga.

Os fluxos subterrâneos são responsáveis pela origem das nascentes. Assim sendo, as principais características hidrológicas das próprias nascentes respondem às características dos seus fluxos de origem. Segundo Moraes (1982) duas são as principais variações na dinâmica de um fluxo: i) variação da velocidade do fluxo no espaço ocupado pelo fluido; ii) variação da velocidade do fluxo em função do tempo.

Quanto à primeira distinção, os fluxos podem ser considerados uniformes ou não-uniformes. Já em relação à variação da velocidade no tempo, os fluxos são classificados em permanentes e não-permanentes. “Normalmente, além de apresentarem regime permanente de fluxo, as águas subterrâneas apresentam regime uniforme” (MORAES, 1982. p. 34), o que indica uma taxa de descarga que não varia no tempo.

As nascentes originadas por fluxos uniformes e permanentes seriam, então, caracterizadas pela perenidade e por vazões constantes. Porém, essa lógica não se aplica a todos os tipos de fluxo. Fluxos mais rasos, sobretudo aqueles que sofrem influência direta da sazonalidade do clima, não possuem tais características, originando nascentes com alta variabilidade de vazão.

De acordo com KNIGHTON (1984), a origem dos canais de drenagem – por conseguinte, das nascentes – é variada, sendo que há dois problemas em sua determinação: i) indicar os processos que promovem a concentração de água em subsuperfície para a exfiltração; ii) indicar as condições para que a exfiltração se torne permanente. Todavia, o autor considera que o *throughflow* – difuso na matriz do solo ou concentrado nas *percolines* – é o responsável pela convergência de fluxos e possui implicações na origem dos canais (KNIGHTON, 1984).

¹¹ A condutividade hidráulica pode ser considerada como a variável quantitativa da permeabilidade.

Nesse sentido, os dutos – cavidades subterrâneas lineares de extensão e abertura variáveis, geradas pela erosão subsuperficial – ganham importância na origem das nascentes. Considerando-se que promovem uma faixa de baixo potencial hidrométrico, podem promover a convergência dos fluxos subterrâneos, produzindo um fluxo de alta velocidade: o *pipeflow*. A existência de superfícies de permeabilidade limitada é um pré-requisito para a ampliação da remoção seletiva de sedimentos na rede de poros do manto, gerando os dutos (JONES, 1981 *apud* KNIGHTON, 1984).

O *throughflow* e o *pipeflow* apresentados por KNIGHTON (1984) tendem a contemplar a assertiva de MORAES (1982) sobre a uniformidade e permanência dos fluxos subterrâneos. Não necessariamente constantes, esses fluxos possuem uma variação sazonal pequena, explicando boa parte das origens das nascentes. Isso pois, sofrem pequena ou nula influência imediata dos eventos de precipitação, estando relacionados à água armazenada nos aquíferos por um longo tempo.

Quando os eventos chuvosos possuem longa duração e permitem a saturação do solo em camadas mais profundas, tende a se formar um fluxo horizontal que fica mais próximo à superfície conforme a saturação do solo progride para as camadas mais rasas. Quando a linha de saturação atinge a superfície, é gerado um fluxo de retorno, chamado escoamento superficial de saturação¹² (KNIGHTON, 1984).

A água proveniente do escoamento superficial de saturação exfiltra, mormente, nas baixas vertentes, em anfiteatros e concavidades. O solo mais fino e camadas menos permeáveis rasas facilitam a ocorrência desse fluxo (KNIGHTON, 1984). Porém, com o encerramento da chuva o fluxo é gradativamente reduzido até cessar. Nota-se que a exfiltração originária do escoamento superficial de saturação promove a existência de surgências e nascentes efêmeras, em que a dependência da precipitação é ímpar.

Contudo, pode-se afirmar que uma série tipos distintos de fluxos subterrâneos pode originar nascentes. Destarte, esses fluxos são condicionados pelo potencial hidráulico e direcionados pela diferença desse potencial entre as zonas de recarga e descarga. Longe de ser um processo simples, a exfiltração é determinante para as nascentes, em termos de gênese e dinâmica.

¹² “*Saturation overland flow*” (tradução nossa).

4.3. *O(s) conceito(s) de nascente apresentado(s) na literatura acadêmica: convergências e divergências*

O conceito de nascente na literatura científica não é bem definido. Existem várias facetas para o termo notadamente condicionadas pela formação acadêmica do autor que o define. Emergem, então, divergências que, por vezes, superam o limiar das possibilidades de interpretação, recaindo em discordâncias tácitas.

É provável que o termo nascente não esteja bem definido em um conceito no meio científico justamente pela forma corriqueira – e coloquial – na qual é utilizado. O termo faz parte do linguajar popular brasileiro, sendo baseado na observação e no senso comum. Todavia, a utilização indiscriminada do termo leva a uma série de dúvidas pela sua fragilidade conceitual, sobretudo em campo, onde afirmar o que é ou não é uma nascente pode ser extremamente complexo.

Outro fator que contribui sobremaneira para uma indefinição do conceito de nascente é sua multidisciplinaridade. Diversos são os campos do conhecimento que têm as nascentes como *lóci* ou objetos de estudo. O que poderia ser uma vantagem, acaba por gerar divergências conceituais. Em alguns casos extremos aquilo que é chamado de nascente em um determinado trabalho pode não o ser em outro, fruto das heranças acadêmicas que cada pesquisador carrega.

Um terceiro fator que pode contribuir para a dificuldade de uniformização do conceito de nascente é a não-correspondência do termo nas línguas estrangeiras mais utilizadas no Brasil. Na literatura de língua inglesa, o correspondente para o termo nascente é *spring* ou *source* que na tradução literal para o português seria “fonte”. No espanhol, o termo é traduzido como *fuelle* ou *manantial*, que novamente corresponde a outros significados no português – “fonte” ou “manancial”. Em francês é utilizada a expressão *source d'eau*, que literalmente significa “fonte de água”. Também em alemão e italiano os termos utilizados – respectivamente *quelle* e *fonte* – correspondem à fonte em português.

Isso faz com que somente na língua portuguesa seja possível diferenciar conceitualmente o termo nascente – relacionado às origens de um curso d'água corrente – de outros utilizados para similaridades: fonte, surgência ou manancial. Desse modo, a utilização – e tradução – de

conceitos extraídos da literatura estrangeira colocou praticamente como sinônimos as definições de nascente, fonte e surgência, o que, rigorosamente, não é o mais elucidativo.

Soma-se a todos esses fatores supracitados a dificuldade de se conceituar a nascente, em função da sua diversidade, hidrológica, geomorfológica, geológica, ecológica, etc. Assim, muitos autores preferem, em vez de propor um conceito, apontar as características que as nascentes podem ou não possuir.

Uma nascente pode ter uma vazão que é relativamente constante ou a vazão pode variar. A nascente pode ser permanente ou efêmera. A água pode conter minerais dissolvidos de muitos tipos diferentes ou certos gases dissolvidos ou petróleo. A temperatura da água pode ser próxima à média anual da temperatura do ar ou ser mais baixa ou mais alta. O fluxo pode variar de uma quase imperceptível exfiltração até 1.000 ft³ (30m³) ou mais por segundo (FETTER, 1994, p.289)¹³.

A descrição de Fetter (1994) não é esclarecedora em relação ao conceito de nascente. Pelo contrário, apresenta tantas possibilidades que inviabiliza a conceituação. É provável que o autor tenha partido do pressuposto que o leitor já saiba o que é uma nascente, sendo assim, sua descrição passa a ter uma grande importância, ao demonstrar a variabilidade de características que uma nascente pode ter. Por outro lado, essa descrição elucida a dificuldade de uniformização do conceito, tamanha a diversidade das nascentes.

De forma similar, Summerfield (1991) e Knighton (1984) afirmam a importância que as nascentes possuem na origem dos canais de drenagem, aproximando-se da concepção do termo pela língua portuguesa. Porém, não realizam qualquer tentativa de conceituar o termo.

Canais podem também ser iniciados através da exfiltração em nascentes, onde o fluxo de água subterrânea é concentrado em zonas mais permeáveis dentro da rocha matriz (SUMMERFIELD, 1991, p. 195)¹⁴.

O conhecimento popular sobre as nascentes pode ser reproduzido pela descrição do termo em dicionários e enciclopédias não acadêmicos. Notadamente, esses tendem a apresentar conceitos extremamente simples, porém imprecisos. O dicionário PRIBERAM (2009) define o verbete nascente – como substantivo feminino – como “ponto onde começa uma corrente de água; fonte”. Com definição muito similar, o dicionário escolar MICHAELLIS (2008)

¹³ “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 ft³ (30 m³) or more per second” (tradução do autor).

¹⁴ “Channels may also be initiated through spring sapping where groundwater flow is concentrated in more permeable zones within the bedrock” (tradução do autor).

considera nascente como o “lugar onde começa um curso d’água”. Para WIKIPÉDIA (2009), “nascente, em hidrografia, é o local do qual se inicia um curso de água (rio, ribeirão, córrego), seja grande ou pequeno”.

As três definições supracitadas preconizam a condição espacial das nascentes. Todas utilizam termos – ponto, local e lugar – que delimitam as nascentes no espaço, demonstrando uma clara influência da observação e do senso comum. Além disso, essas definições resgatam o significado etimológico do termo ao atrelá-lo ao começo – início – de cursos d’água, deixando claro que não há nascente sem um rio.

Verdadeiramente simples, as definições trazidas a partir do senso comum carecem de precisão e incorrem em dúvidas quando interpretadas sob o ponto de vista científico. As palavras “ponto” e “local” são abstratas e, portanto, não conceituam o termo. “Lugar” é um dos conceitos estruturadores da ciência geográfica, não podendo ser utilizado com a conotação que a definição apresenta.

Em hidrologia, é provável que o conceito mais utilizado seja o de Davis (1966, p. 63) que considera que “qualquer descarga superficial de água grande o suficiente para fluir em um pequeno arroio pode ser chamada de nascente”¹⁵. Esse conceito possui uma significativa importância geomorfológica, ao afirmar a necessidade de formação de um canal a jusante da nascente, o que não é unanimidade entre os pesquisadores. Porém, ao considerar a nascente como a “descarga”, ou seja o fluxo de água, limita sua interpretação às variáveis hidrológicas, aproximando-se do que os geólogos, no Brasil, chamam de fonte.

Há outros conceitos postos na literatura que têm por embasamento os mesmos pressupostos indicados por Davis (1966). Segundo Allaby e Allaby (1991, p. 352), a nascente é “um fluxo de água sobre o nível do solo que ocorre onde o nível freático intercepta a superfície”¹⁶. Mais recentemente, Todd e Mays (2005, p. 68) retomaram o conceito de Davis (1966) ao afirmarem que “uma nascente é uma descarga concentrada de água subterrânea que surge na superfície do solo como uma corrente de água”¹⁷. Estes autores ainda diferenciam nascentes

¹⁵ “Any natural surface discharge of water large enough to flow in a small rivulet can be called a spring” (tradução do autor).

¹⁶ “A flow of water above ground level that occurs where the water-table intercepts the ground surface” (tradução do autor).

¹⁷ “A spring is a concentrated discharge of groundwater appearing at the ground surface as a current of flowing water” (tradução do autor).

de “áreas de exfiltração” as quais apresentariam um movimento mais lento da água subterrânea em direção à superfície (TODD; MAYS, 2005).

Esses três conceitos – Davis (1966), Allaby e Allaby (1991) e Todd e Mays (2005) – baseiam-se na idéia de que a nascente é a descarga de água, sendo que somente Allaby e Allaby (1991) não pontuam a necessidade da formação de um canal de drenagem. Porém, essa interpretação é dificultada, sobretudo em campo. Considerar as nascentes como o fluxo ou a descarga de água é assumir que estas são imateriais, que não são tangíveis. Com isso, a distinção entre nascente, fonte ou surgência torna-se extremamente difícil. Quando o fluxo é a chave da definição, promove-se uma convergência entre esses conceitos, apesar da preocupação de Todd e Mays (2005) em diferenciá-los.

Com visão similar, De Blij *et al.* (2004, p.499), consideram que a nascente é “um canal superficial de água corrente que emerge do solo”¹⁸. Todavia, estes autores colocam como de primeira importância o canal de drenagem. Apesar do fluxo hídrico ser novamente retratado no conceito, a nascente não é considerada a descarga, mas sim o canal. Desse modo, a forma passa a ser a correspondente espacial da nascente e não mais o processo, como nos conceitos anteriores. Entretanto, considerar a nascente como o canal não parece ser o mais adequado, posto que será dificultada sua delimitação espacial a jusante, confundindo-se com o próprio rio – ou canal de primeira ordem.

Superando a visão da nascente como uma descarga de água e retomando sua espacialidade, Goudie (2004, p. 994) afirma que

Nascentes são pontos onde a água subterrânea, recarregada nas mais altas elevações, emerge à superfície. Dependendo da natureza da recarga e das características de armazenamento e transmissão do aquífero por onde a água flui, elas podem ser permanentes (perenes), estacionais ou intermitentes¹⁹ (GOUDIE, 2004. p.994).

Duas ponderações devem ser feitas acerca do conceito de Goudie (2004): i) os canais de drenagem não são mencionados, o que pode confundir conceitos de nascente, fonte e surgência; ii) a espacialidade das nascentes é determinada pelo termo “pontos”, uma abstração. Além disso, Guerra (1993, p. 444) afirma, de modo claramente inadequado, que a nascente “geralmente não é um ponto e sim uma zona considerável da superfície terrestre”. O

¹⁸ “A surface stream of flowing water that emerges from the ground” (tradução do autor).

¹⁹ “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” (tradução do autor).

conceito não elucida a questão e apresenta-se equivocado na escala espacial mencionada, além do autor afirmar que nascente é “o mesmo que cabeceira de drenagem” (GUERRA, 1993, p. 444).

Na mesma linha do conceito de Goudie (2004), Valente e Gomes (2005, p.40) em trabalho estritamente sobre nascentes, conceitua-as como “manifestações superficiais de lençóis subterrâneos”. De fato, essa definição parece incompleta, pois o termo “manifestações” pode englobar uma série de processos e formas, ampliando de forma acentuada o conceito de nascente. Porém, há uma aproximação com a etimologia da palavra e com a definição popular, no complemento da definição proposta, no qual os autores afirmam que o número de cursos d’água é igual ao número de nascentes (VALENTE; GOMES, 2005).

O conceito de nascente, dito, oficial no Brasil é o apresentado pela Resolução CONAMA nº 303/2002 (BRASIL, 2002. Art. 2º; II) que a considera como “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea”. Esse é o conceito que embasa a delimitação de Áreas de Preservação Permanente – APP –, segundo as normas da Resolução.

Nitidamente influenciado pela interpretação popular, esse conceito também não define claramente a nascente. Porém, ao resgatar o termo “local” preconiza a espacialidade, o que de fato é um facilitador quando o objetivo é delimitar uma APP. Contudo, o conceito recai nos mesmos problemas teórico-metodológicos da definição de Goudie (2004) e Valente e Gomes (2005), já que não clarifica que tipo de exfiltração de fato corresponde a uma nascente.

Por fim, fica evidente a necessidade de se repensar o conceito de nascente. A utilização corriqueira do termo, associada a uma construção do senso comum muito arraigada na academia, faz com que insurjam mais dúvidas do que esclarecimentos em uma reflexão profunda.

4.4. *Dinâmica das nascentes: características, tipologias e classificações*

As tipologias de nascente encontradas na literatura acadêmica são diretamente condicionadas pelo conceito no qual o autor se baseia. Com isso, as divergências e incongruências existentes entre as diversas definições de nascente são reproduzidas, em maior ou menor grau, nas propostas de tipologias ou classificação das mesmas. Isso, porém, não inviabiliza seu uso,

desde que haja uma interpretação crítica da compartimentação realizada, atendo-se, sempre, aos pressupostos teórico-conceituais.

Ademais, como em grande parte das classificações dos estudos ambientais, recaem na limitação metodológica de serem mono ou bivariadas. Tipologias sintéticas e complexas são pouco exploradas no estudo de nascentes, devido à grande quantidade – e importância – de variáveis não-quantitativas, inviabilizando métodos estatísticos tradicionais. Assim, as propostas tendem a se complementar, sendo que uma mesma nascente, apresenta diversas classificações – ou tipos – de acordo com a variável preconizada.

Todd (1959) afirma que as principais tipologias existentes sobre nascentes são baseadas na causa da exfiltração, na estrutura da rocha, na vazão, na temperatura da água, ou na variabilidade temporal das nascentes. Desse modo, existem diversas chaves de classificação paralelas que, de um modo geral, apenas caracterizam as nascentes. Esforços de cruzamento das tipologias existentes ou mesmo de uma elaboração metodológica de uma tipologia multivariada não são comuns.

No escopo da hidrologia, a vazão possui uma importância ímpar no estudo das nascentes. Meinzer (1927) realizou uma proposta de tipologia das nascentes – *springs* – segundo suas vazões, classificando-as quanto à magnitude dessa variável (QUADRO 1).

QUADRO 1:
Classificação de nascentes - *springs* - pela vazão, segundo Meinzer (1927)

| Magnitude | Vazão (ft ³ /s, gal/min, pint/min) | Vazão (L/s) |
|----------------|---|-----------------|
| 1 ^a | > 100 ft ³ /s | > 2.800 L/s |
| 2 ^a | 10 a 100 ft ³ /s | 280 a 2.800 L/s |
| 3 ^a | 1 a 10 ft ³ /s | 28 a 280 L/s |
| 4 ^a | 100 gal/min a 1 ft ³ /s | 6,3 a 28 L/s |
| 5 ^a | 10 a 100 gal/min | 0,63 a 6,3 L/s |
| 6 ^a | 1 a 10 gal/min | 63 a 630 mL/s |
| 7 ^a | 1 pint a 1 gal/min | 8 a 63 mL/s |
| 8 ^a | < 1 pint/min | < 8 mL/s |
| Magnitude 0 | Sem vazão (locais de fluxo passado/histórico) | |

Fonte: adaptado de TODD, 1959.

A classificação de Meinzer (1927) é determinada pela média da descarga anual das nascentes. Segundo o autor, as maiores nascentes dos Estados Unidos da América teriam vazão superior a 2.800 L/s, se enquadrando na 1^a magnitude. Ainda hoje, a classificação de Meinzer (1927) é

a oficial daquele país, sendo a mais utilizada por pesquisadores estadunidenses (HILL *et al*, 2008; DONOVAN *et al*, 2007; WHITING; STAMM, 1995).

O complexo problema da tradução do termo *spring* e, conseqüentemente, da conceituação de nascente, emerge claramente na utilização da classificação de Meinzer (1927) no contexto do Brasil. As primeiras magnitudes da proposta, retratadas com relativa constância nos trabalhos estadunidenses não foram encontradas na literatura acadêmica brasileira. Consideradas as características hidrológicas e hidrogeológicas dos dois países, acredita-se que a ausência de nascentes das primeiras magnitudes nos trabalhos brasileiros, seja fruto da divergência terminológica e conceitual.

Exemplificando, em estudo realizado no maciço da Tijuca (RJ), Faria (1997) registrou vazões de microbacias, todas com mais de uma nascente, e encontrou valores que variaram entre 16 e 0,015 L/s, o que se enquadraria entre a 4^a e 7^a Magnitudes. Trabalhando com fontes em Itamonte (MG), Pane e Pereira (2005) calcularam suas vazões e as enquadraram entre a 4^a e 5^a Magnitudes. Outro trabalho recente que pode ser tomado para evidenciar o não-registro de nascentes de magnitudes primeiras na literatura brasileira é o de Pinto *et al* (2004), no qual 192 nascentes foram avaliadas no município de Lavras (MG) tendo a maior vazão medida de 2,0831 L/s – 5^a Magnitude.

Ainda em relação à vazão das nascentes, uma tipologia muito utilizada – tomada da tipologia de canais de drenagem – relaciona-se à variabilidade temporal da exfiltração. Assim, as nascentes podem ser *perenes*, *intermitentes* ou *efêmeras*, de acordo com o período de escassez de água que apresentam (VALENTE; GOMES, 2005). No Brasil, essa classificação é muito utilizada (PANE; PEREIRA, 2005; PINTO *et al*, 2004; FARIA, 2000; FARIA, 1997), sobretudo relacionada à intermitência dos canais de drenagem originados das nascentes. Todavia, os canais intermitentes e efêmeros “em regiões úmidas (...) se restringem às áreas de cabeceira de drenagem” (FARIA, 1997, p. 76).

Essa tipologia é extremamente interessante ao possibilitar compreender a dinâmica subterrânea da água que exfiltra nas nascentes, bem como vislumbrar sua origem. Porém, o enquadramento deve ser realizado com cautela, primeiramente devido à possibilidade do ciclo de intermitência não equivaler ao ano hidrológico, fazendo que nascentes se mantenham perenes ou intermitentes por alguns anos e alterando essa característica depois. Em segundo

lugar, as nascentes podem migrar a jusante no período de estiagem e induzir ao erro do observador.

Ademais, a migração é base para uma outra tipologia. A característica preconizada é a mobilidade da nascente em relação a sua posição na vertente, devido à sazonalidade do clima (FARIA, 2000; FARIA, 1997). Isso implica que a exfiltração da água pode mudar sua localização – a montante ou jusante – de acordo com a disponibilidade de água do aquífero.

Day (1978) afirma que, devido à subida do nível do lençol freático durante as chuvas, o talvegue fica saturado e a água aflora, formando nascentes que sobem a calha em direção à montante. Quando o período de estiagem retorna, o nível freático desce e as nascentes tendem a migrar para posições inferiores até alcançar o limite superior do segmento perene, quando o canal intermitente volta a ficar seco (FARIA, 1997, p. 76).

Dessa forma, as nascentes podem ser classificadas em *fixa* – aquelas que mantêm sua posição na calha tanto no período chuvoso quanto na estiagem – ou *móveis* – aquelas que alteram sua posição na calha sazonalmente. Porém, a mobilidade das nascentes depende, sobretudo, da dupla estacionalidade do clima, a ponto de promover o rebaixamento do nível freático, e da influência dos aquíferos superficiais na exfiltração, pois esses são mais vulneráveis às alterações do tempo.

Essa característica é, porém, de grande valia na interpretação da dinâmica das nascentes. Segundo Faria (1997) muitos trabalhos já relataram na literatura acadêmica nacional e internacional a migração de nascentes por longas distâncias. Como exemplo, cita nascentes na Inglaterra que tiveram sua migração mensurada entre 3 e 7km e uma nascente no estado do Espírito Santo que migrou cerca de 3km no período de seca.

Quanto à energia existente nos fluxos subterrâneos, associados aos tipos de aquíferos sotopostos, que originam as nascentes, pode-se obter uma nova chave de tipologias. Assim, as nascentes podem ser *freáticas*, quando se encontram sob a pressão atmosférica, não possuindo energia promovida pelo confinamento das águas subterrâneas; ou *artesianas*, quando há pressão de elevação das águas promovida por confinamento nos aquíferos (VALENTE; GOMES, 2005).

Bryan (1919, *apud* TODD, 1959) também realiza uma proposta de tipologia que se inicia com o tipo de força associada à existência das nascentes. Segundo o autor, as nascentes *não-gravitacionais* seriam originadas por forças geológicas em grandes profundidades, promovendo nascentes *termais*. As demais nascentes, nas quais a gravidade exerce um papel

principal, seriam *gravitacionais*, existindo quatro tipos dentro desse grupo: nascentes de *depressão*, *contato*, *artesianas* ou *fratura*. Nota-se, já na tipologia de Bryan (1919, *apud* TODD, 1959), uma preocupação de sintetizar gênese – forças envolvidas na origem das águas – e dinâmica – condicionante local da exfiltração – das nascentes. Porém, a falta de clarificação dos tipos promove o não-enquadramento de uma série de nascentes, o que dificulta a utilização desta tipologia. Contudo, a partir desta, as propostas mais recentes visam, simultaneamente, englobar a gênese e a dinâmica das nascentes, sem perder o foco na diversidade que estas possuem.

Nesse sentido, visando sintetizar as complexas características que as nascentes apresentam, Faria (1997) apresenta seis tipos de nascentes. Segundo o critério da migração, dois tipos são propostos: nascentes *fixas* ou *móveis*. As primeiras possuem origem em um único ponto sem variação de posição ao longo do tempo, podendo ser formadas por ressurgências em fraturas ou contatos depósitos/rochas. As nascentes *móveis* são controladas pela oscilação do nível hidrostático, migrando, por isso, na calha fluvial (FARIA, 1997).

Nessa tipologia, enquadram-se, também, nascentes *difusas* em que a água exfiltra entre o contato do manto com a rocha matriz ao longo de uma área, formando brejos. Alguns tipos de ressurgência são enquadrados como *pseudonascentes* por Faria (1997). Segundo o autor, são formadas por fluxos descontínuos nas calhas fluviais, em que a água exfiltrada volta a infiltrar nos sedimentos do leito aflorando, novamente, a jusante (FARIA, 1997).

Por fim, os dois últimos tipos propostos relacionam-se com a dinâmica do canal originado pelas nascentes. Tomando-se que um canal de primeira ordem pode possuir mais de uma nascente, pode-se classificá-las como *primárias* ou *secundárias* de acordo com suas contribuições ao canal. Dutos nos taludes dos canais, por exemplo, podem ser enquadrados como fontes *secundárias* (FARIA, 1997).

Apesar de extremamente elucidativa e explicativa a tipologia proposta por Faria (1997) não define com clareza os critérios de enquadramento à medida que os tipos criados possuem intercessões. Dessa forma, uma nascente pode ser ao mesmo tempo *secundária*, *difusa* e *móvel*, por exemplo. Longe de ser considerado um problema, essa aparente incoerência é uma virtude de uma tipologia multivariada, podendo ser esclarecida com estudos mais profundos que permitam organizar uma chave de classificação ou mesmo critérios de enquadramento nos diversos tipos propostos.

Valente e Gomes (2005) propuseram tipologia baseada nas características geológico-geomorfológicas das nascentes. Mais do que simplesmente retratar a morfologia dos ambientes das nascentes, essa tipologia tateia uma explicação quanto à origem da exfiltração. Assim, as nascentes podem ser *de encosta*, *de depressão*, *difusas*, *de lençóis artesianos*, *de falhas geológicas*, *de rochas cársticas*.

As nascentes de *encosta* ocorrem em contatos de camada com diferença de permeabilidade, normalmente no sopé de morros. Já as nascentes de *depressão* ocorrem como verdadeiros “olhos d’água”, caracterizados por pontos de borbulhamento em elementos côncavos da vertente. As nascentes *difusas* ocorrem em áreas encharcadas, na forma de “brejos”, onde a exfiltração não pode ser pontuada (VALENTE; GOMES, 2005).

O fator geológico é preponderante nos três últimos tipos. As nascentes em *lençóis artesianos* caracterizam-se pela existência de pressão por aquíferos confinados, ocorrendo em contatos geológicos, normalmente em áreas de forte declive. Já as nascentes em *falhas geológicas* ocorrem quando uma descontinuidade estrutural da rocha promove a ligação do aquífero com a superfície. Por fim, as nascentes em *rochas cársticas* são originadas de dutos ou canais cársticos, normalmente onde predominam rochas carbonáticas (VALENTE; GOMES, 2005).

Da mesma forma que a tipologia de Faria (1997), a proposta de Valente e Gomes (2005) esbarra na intercessão dos tipos sugeridos. Além disso, há uma série de possibilidades não contemplada nesse escopo. Com isso, apesar de incompleta, essa tipologia pode ser extremamente útil na caracterização ambiental das nascentes, auxiliando sua descrição e pontuando seus principais componentes.

5. AVALIAÇÃO DOS CONCEITOS DE NASCENTE A PARTIR DOS RESULTADOS DE UM PAINEL DE ESPECIALISTAS

As incongruências entre os diversos conceitos de nascentes encontradas na literatura acadêmica brasileira e internacional²⁰ fazem emergir a necessidade de uma releitura propositiva. Nesse sentido, buscou-se ampliar os resultados da revisão bibliográfica realizada a partir de um painel de especialistas – método Delphi.

Quinze conceitos foram selecionados e repassados aos especialistas para que fosse realizada a indicação daquele que melhor representasse o termo “nascente” (QUADRO 2). A escolha deveria ser pautada em critérios teóricos – precisão científica –, bem como na possibilidade de individualização das nascentes em campo – operacionalização, praticidade. Ademais, não foi informada a fonte dos conceitos retratados, no intuito de não induzir a resposta dos especialistas.

Após consulta na Plataforma Lattes e nos sítios de universidades brasileiras sobre os pesquisadores e professores que trabalham com nascentes ou similaridades, o questionário foi enviado para aproximadamente trinta especialistas, das mais diversas áreas do conhecimento e localidades do País. Foi obtido um total de onze respostas – 32% dos 34 especialistas consultados – as quais embasam a proposição do conceito de nascente deste trabalho.

Tendo em vista a multidisciplinaridade implícita nos estudos sobre nascentes, buscou-se representar no painel de especialistas diversos campos do conhecimento. Assim, nos questionários respondidos, cinco formações acadêmicas foram evidenciadas (GRÁFICO 1). A visão da hidrologia foi retratada a partir da engenharia, que somou 36% das participações no painel. Em termos quantitativos a participação dos geógrafos foi imediatamente inferior, com 27%, focando, para esse campo do conhecimento, a geomorfologia. Outros 18% dos participantes eram geólogos. Os biólogos e agrônomos foram representados por um especialista cada, o equivalente em conjunto a 18% da participação no painel (GRÁFICO 1).

Com essa segmentação, diversas ciências estão representadas no painel de especialistas. Essa característica é imprescindível para resultados frutíferos, posto que há possibilidade de

²⁰ Apresentadas no Capítulo 4 desta dissertação

influência da formação acadêmica e da atuação profissional na utilização dos conceitos. Da mesma forma, as definições selecionadas foram elaboradas por autores de diversas formações acadêmicas, dentre elas, todas as cinco representadas pelos especialistas que participaram do painel.

No Quadro 2, abaixo, os conceitos de nascentes que foram submetidos à avaliação estão inseridos no idioma da fonte original.

QUADRO 2: Síntese dos conceitos e autores utilizados no método DELPHI

| Autores | Data | Conceito |
|-----------------------|-------------|---|
| Allaby; Allaby | 1991 | A flow of water above ground level that occurs where the water-table intercepts the ground surface. |
| Gomes <i>et al</i> | 2005 | A nascente do rio ou riacho é a fonte situada no limite do afloramento do aquífero. |
| Tood; 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 <i>et al.</i> | 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. Subaqueous springs are commonly hard to detect unless their discharge is greater than several cubic per second. |
| Pinto <i>et al.</i> | 2004 | Cada início dos tributários. |
| Summerfield | 1991 | Channels may also be initiated through spring sapping where groundwater flow is concentrated in more permeable zones within the bedrock. |
| Brasil | 2002 | Local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea. |
| Felippe; Magalhães Jr | 2009a | 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. |
| Wikipedia | 2009 | Nascente, em hidrografia, é o local do qual se inicia um curso de água (rio, ribeirão, córrego), seja grande ou pequeno. |
| Valente; 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. |

Fontes: Allaby; Allaby (1991); Gomes *et al* (2005); Tood; Mays (2005); Feter (1994); De Blij *et al.* (2004); Davis (1966); Pinto *et al.* (2004); Summerfield (1991); Brasil (2002); Felippe; Magalhães Jr (2009a); Wikipedia (2009); Valente; Gomes (2005); Guerra (1993); Priberam (2008); Goudie (2004).

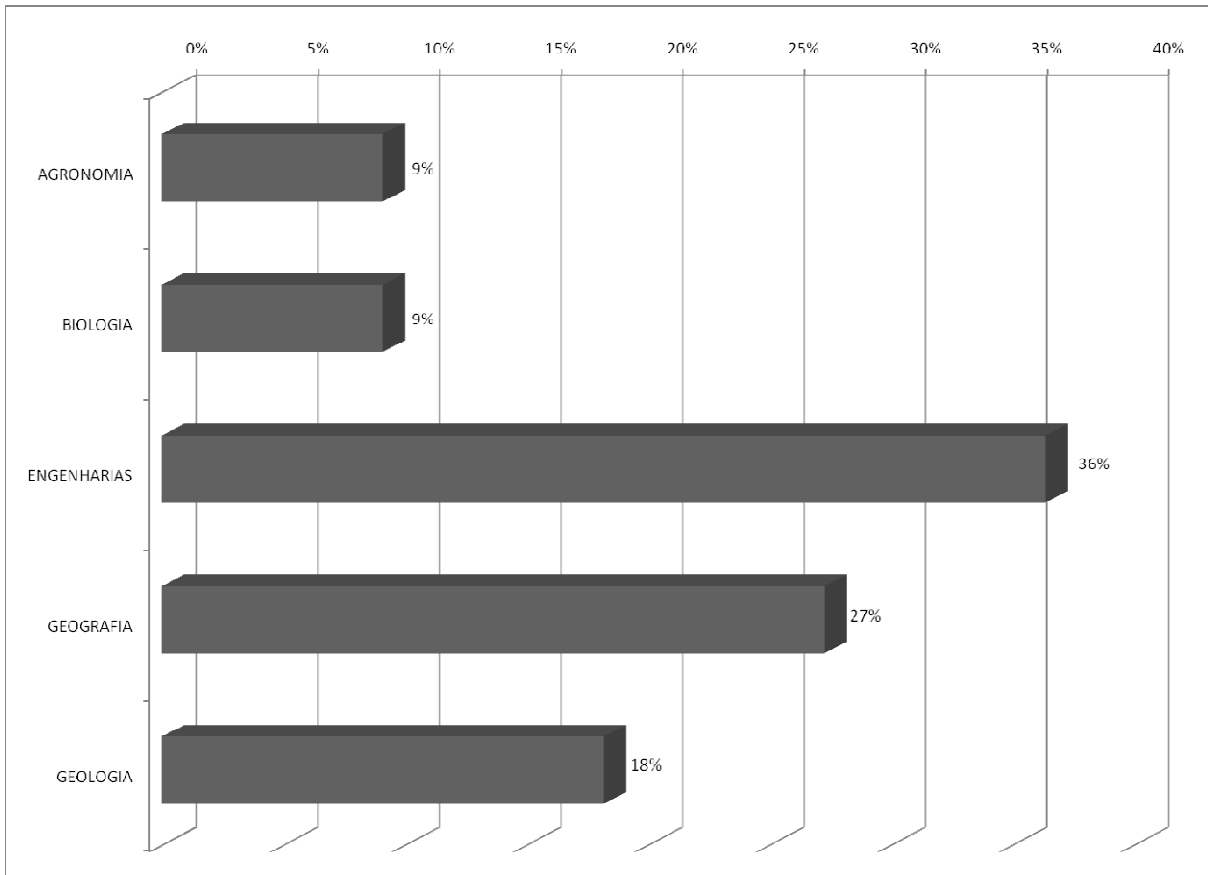


GRÁFICO 1 – Formação acadêmica dos especialistas que participaram do painel.

Fonte: Painel de especialistas - Delphi.

Avaliando criticamente os conceitos supracitados²¹, é possível verificar algumas concordâncias entre os mesmos. Assim, os conceitos de Allaby e Allaby (1991), Todd e Mays (2005) e Davis (1966) possuem vários elementos em comum, sobretudo ao centralizar na água a definição de nascente. Da mesma forma, similaridades são nítidas entre os conceitos de Brasil (2002), Valente e Gomes (2005) e Goudie (2004). Outro grupo de conceitos com elementos comuns é o de Pinto *et al* (2004), Priberam (2008) e Wikipedia (2009) que focam na concepção popular do termo. No caso de Feter (1994) e Summerfield (1991), não há efetivamente um conceito, mas sim uma descrição ou caracterização de nascentes

Porém, não se pode negar a complementaridade de algumas descrições apresentadas. Tomando-se critérios estritamente teóricos na avaliação dos conceitos, notar-se-á que é admissível que elementos de um conceito sejam utilizados para a melhoria de outro. Essa possibilidade – afirmada no questionário enviado aos especialistas – fez com que houvesse

²¹ Uma interpretação mais completa dos conceitos é apresentada no Capítulo 4.

um número de respostas superior ao número de participantes do painel, posto que em três questionários optou-se por escolher dois conceitos que foram julgados complementares.

Contudo, de um total de quinze conceitos propostos, somente sete foram selecionados pelos especialistas. Sendo assim, Guerra (1993), Priberam (2008), Valente e Gomes (2005), Todd e Mays (2005), Feter (1994), Gomes (2005), Pinto *et al* (2004) e Summerfield (1991) não receberam nenhuma indicação. O GRÁFICO 2 apresenta uma síntese das porcentagens de escolha obtida por cada um dos conceitos.

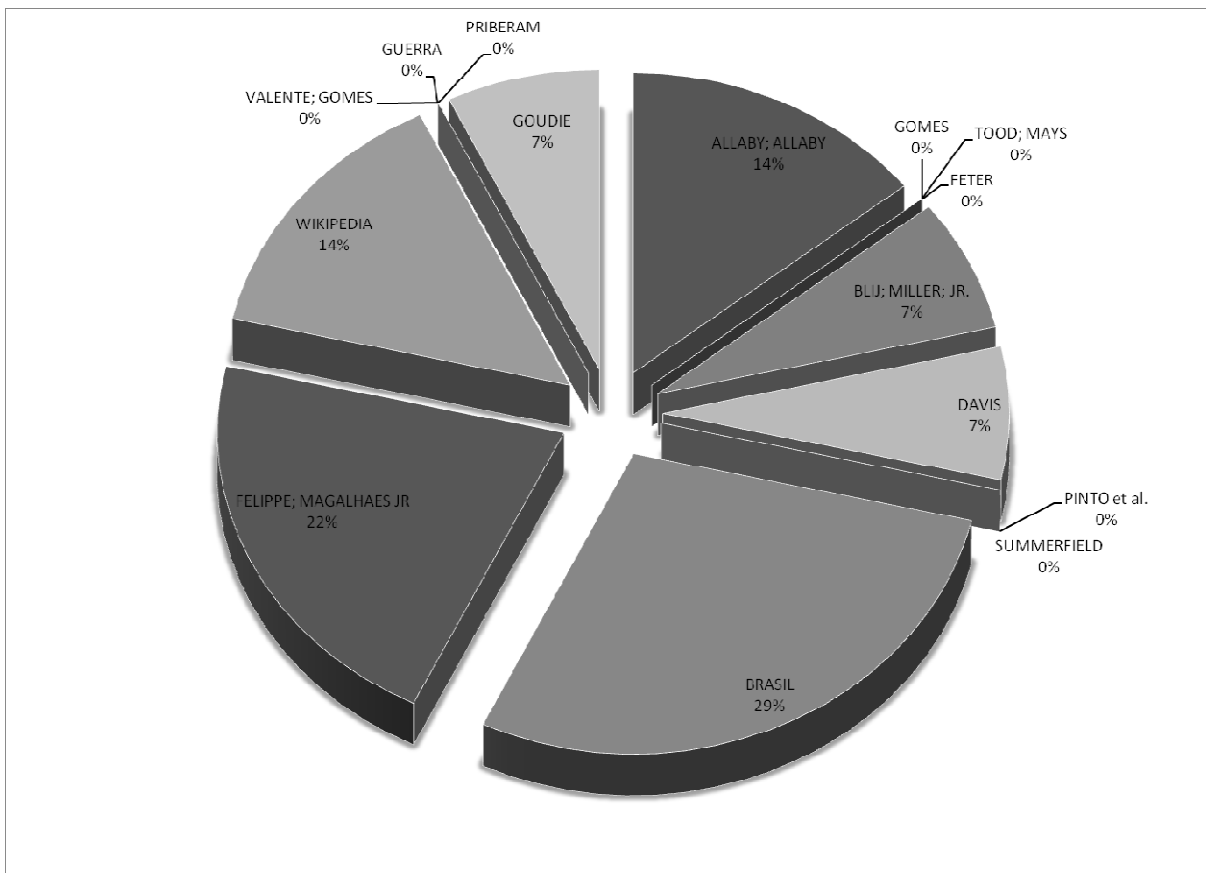


GRÁFICO 2 - Percentual de escolha dos respectivos conceitos no painel de especialistas.

Fonte: Painel de especialistas - Delphi.

O conceito de De Blij *et al.* (2004) recebeu uma indicação, correspondendo a 7% do total (GRÁFICO 2). A peculiaridade desse conceito é que ele apresenta a nascente como um canal, o que não se verifica em nenhum dos demais. A escolha foi realizada por um geólogo que a justificou alegando a objetividade do conceito. Porém, o próprio especialista fez uma crítica à utilização do termo “aquiclude” na definição, o que exige um maior conhecimento do leitor.

Dois conceitos também foram indicados apenas uma vez, porém, estes foram associados a outros de forma complementar. A definição de Davis (1966) foi selecionada em associação a

de Brasil (2002). O engenheiro argumentou que a escolha se deveu à clareza dos conceitos, permitindo fácil entendimento, além disso, segundo o especialista esses conceitos não são vagos como alguns dos apresentados, nem se perdem em aspectos que não são de concordância entre os estudiosos. Outro conceito selecionado por apenas um especialista foi o de Goudie (2004). Um agrônomo associou-o à proposta de Felipe e Magalhães Jr. (2009a), considerando-os complementares, preconizando os aspectos teóricos e a possibilidade de identificação em campo do conceito.

Dois conceitos que obtiveram a mesma porcentagem de indicação – 14% (GRÁFICO 2) – foram os de Wikipedia (2009) e Allaby e Allaby (1991). Ambos retirados de enciclopédias, são consideravelmente distintos tanto em função do público que atingem, quanto estritamente no próprio conceito. O primeiro foi selecionado por um geógrafo e por um biólogo, refletindo o cunho ambiental que possui. Segundo o geógrafo esse conceito é simples e demonstra claramente o significado do termo. Já o biólogo associou-o ao conceito de Allaby e Allaby (1991), defendendo que são conceitos amplos e abrangentes e que não levariam a questionamentos acerca das exceções, como os demais. A outra indicação recebida pelo conceito de Allaby e Allaby (1991) foi de um engenheiro que, defendendo o ponto de vista da hidrologia, argumentou que o conceito é completo, simples e define bem o que é nascente, refutando caracterizações desnecessárias.

O segundo conceito com maior número de indicações pelos especialistas foi o de Felipe e Magalhães Jr. (2009a), detendo 22% do total (GRÁFICO 2). De grande valia é a informação de que este conceito foi selecionado por especialistas de três distintos campos do conhecimento, afirmando sua característica multidisciplinar – engenharia, geografia e agronomia. Essa definição considera as nascentes como sistemas ambientais, evidenciando sua complexidade e enfocando os fluxos de matéria e energia entre os processos e formas que a constituem, além disso, possui enfoque geomorfológico com nítida preocupação espacial, visando a identificação e localização das nascentes.

Um dos especialistas – agrônomo – associou essa definição à de Goudie (2004), como já fora afirmado anteriormente. A precisão espacial de Goudie (2004) ao afirmar que a nascente é um “ponto” pode ser considerada complementar à concepção do sistema ambiental, porém, reafirma-se que as nascentes não são, necessariamente, pontos.

As duas outras indicações que a definição de Felipe e Magalhães Jr. (2009a) recebeu não foram complementadas por outro conceito. Um engenheiro afirmou que o conceito é claro e preciso e que sua formulação não deixa margem a dúvidas ou conjecturas variadas. Para o geógrafo que indicou esse conceito, a definição deixa claro o reconhecimento da condição espacial da nascente, mas também sua condição ambiental/geomorfológica. Além disso, afirma que o conceito é simples e que, sob esse ponto de vista, a nascente pode ser facilmente reconhecida.

O conceito com maior número de indicações foi o de Brasil (2002) – 29% (GRÁFICO 2). Foi selecionado por dois engenheiros e dois geocientistas – um geógrafo e um geólogo. O conceito oficial brasileiro remonta da concepção popular de nascente e é utilizado para delimitação de Áreas de Preservação Permanente – APP. Os argumentos para a escolha dessa definição foram bastante convergentes: a simplicidade e a clareza.

Os dois engenheiros argumentaram que esta definição é clara, objetiva e de fácil entendimento para o público acadêmico ou não. Sua brevidade também foi mencionada como um aspecto positivo, permitindo fácil assimilação e memorização. Um dos engenheiros associou esse conceito ao de Davis (1966), que preconiza o fluxo de água e não sua espacialidade, como o conceito de Brasil (2002).

Os geocientistas que indicaram o conceito de Brasil (2002) foram tácitos no argumento de que deve ser escolhido o conceito mais simples e que abranja uma gama maior de situações que podem ser denominadas nascentes. Além disso, eles concordam que a existência de um canal não deva ser considerada um pré-requisito para a existência de uma nascente, podendo ocorrer nascentes sem canal.

Contudo, os dois conceitos com maior número de indicações são consideravelmente distintos. A definição de Brasil (2002) é extremamente ampla, englobando, como afirmaram os especialistas do painel, uma série de elementos que poderiam ser chamados de nascentes. Três aspectos desse conceito, porém, merecem destaque.

Primeiramente, o conceito é centrado na localização do ponto de exfiltração, assim, a nascente não é o fluxo de água, nem a feição geomorfológica, mas o “local” onde a água aflora. Apesar do termo local não constituir um conceito propriamente dito, entende-se que a nascente é territorializada. O grande problema dessa assertiva é em relação à mobilidade natural das nascentes. No caso destas serem o “local”, a sua migração significa que ocorre a mudança do

“local” da exfiltração e, portanto, a formação de outra nascente e o desaparecimento da primeira. O processo não é interpretado sob o ponto de vista da dinâmica intrínseca a uma nascente. Ou seja, uma nascente que migra para jusante em um canal, na época seca, deveria ser entendido efetivamente, sob esse conceito, como duas nascentes, pois existem dois “locais” de exfiltração que variam de acordo com as estações chuvosa e seca.

O segundo aspecto relaciona-se à condição de exfiltração da água subterrânea. De fato, essa é, provavelmente, a característica mais reafirmada entre os conceitos consultados, sendo, então, fundamental para a definição. Além disso, a possibilidade da intermitência deixa claro que mesmo quando a exfiltração não ocorre, a nascente continua existindo.

O terceiro aspecto é, da mesma forma que o primeiro, controverso. O conceito de Brasil (2002) impõe a condição de naturalidade para a exfiltração que gera uma nascente. Assim, “locais” em que o afloramento da água ocorre sobre influência antrópica não seriam, para essa definição, nascentes. A controvérsia está no fato de ser extremamente complexo definir o que é natural. Por exemplo, uma voçoroca iniciada por processos antrópicos que atinge o nível freático e se transforma em um canal de primeira ordem não constituiria uma nascente, sob esse ponto de vista.

Em comparação ao conceito de Brasil (2002) o de Felipe e Magalhães Jr. (2009a) é mais restritivo. Há uma nítida preocupação em mostrar que as nascentes não são apenas fluxos, locais ou formas. Porém, dois aspectos desse conceito também são controversos.

Felipe e Magalhães Jr. (2009a) defendem a idéia de que a existência de uma nascente está condicionada à origem de um canal de drenagem, remontando à concepção popular do termo. Como foi visto, esse aspecto não é de concordância entre os especialistas, o que foi refletido tantos nos próprios conceitos retratados, quanto na opinião dos participantes do Delphi. Com a exigência da conexão superficial com a rede de drenagem, esse conceito não abrange fontes que não formam canais, demandando uma nova categorização para tais elementos.

Outro aspecto que pode não ser de concordância entre os acadêmicos é considerar as nascentes como sistemas ambientais. Dotados de uma carga teórica extremamente densa, os sistemas não são facilmente aceitos por aqueles que desconhecem seus pressupostos. Além disso, sob uma perspectiva mecanicista, as nascentes não poderiam ser consideradas sistemas, posto que não são constituídas de partes individualizáveis. Ademais, alguns especialistas

podem sugerir que a abordagem das nascentes como sistemas ambientais apenas torna mais complexa a compreensão do termo pela sociedade.

Assim, se consolida a dificuldade de uma proposta conceitual que seja ampla, precisa, simples e completa. Os dois conceitos com maior número de indicações no painel de especialistas devem ser retrabalhados criticamente para que haja uma compreensão mais precisa sobre as nascentes. Evidentemente, não se trata da simples soma dos argumentos, mas de uma reconstrução orientada pelos argumentos dos especialistas.

5.1. *As nascentes como sistemas ambientais*

A complexidade envolvida na gênese e dinâmica daquilo que é chamado de nascente, exige a busca de uma definição que abarque toda a pluralidade de elementos – materiais e imateriais – que a ampara. Por isso, a nascente não pode ser simplificada como um ponto, uma área, um local, uma descarga ou uma feição. Tampouco, pode-se perder o foco da necessidade de conceituação eminente no meio científico de algo que é, hoje, de importância primeira nos discursos ambientais.

De fato, porém, alguns elementos devem ser colocados como características essenciais para a definição de nascentes. Baseado, então, na revisão conceitual e na opinião dos especialistas que participaram do painel, três elementos podem ser enumerados: i) a exfiltração da água subterrânea de modo perene ou não; ii) a formação de um canal de drenagem a jusante; iii) a origem natural das nascentes.

No âmbito da geografia, há algumas décadas uma série de estudiosos vem desenvolvendo a teoria geossistêmica (BERTRAND, 2004; CHRISTOFOLETTI, 1999; SOTCHAVA, 1976), tendo como base a Teoria Geral dos Sistemas. Em síntese, o geossistema é um sistema ambiental físico, um tipo de sistema natural, aberto que possui certa morfologia e funcionamento e comportamento específicos (CHRISTOFOLETTI, 1999). Porém, é, sobretudo, dotado de uma dimensão espacial determinada (BERTRAND, 2004), delimitada pela ação biológica e antrópica (FIG. 36).

Um geossistema se enquadra, então, como um sistema complexo

composto por grande quantidade de componentes interagentes, capazes de intercambiar informações com o seu entorno condicionante e capazes, também, de

adaptar sua estrutura interna como sendo conseqüências ligadas a tais interações (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.3).

Porém, nem todo sistema é dotado de territorialidade e pode ser delimitado espacialmente com facilidade. As nascentes, por exemplo, não possuem dimensão espacial rigorosa e determinável. Sua dinâmica espaço-temporal, controlada sobretudo pela variabilidade climática, promove uma imprecisão natural de sua espacialização, fruto das migrações e intermitências. Assim, por não constituírem um recorte definido do espaço, as nascentes não podem ser consideradas geossistemas.

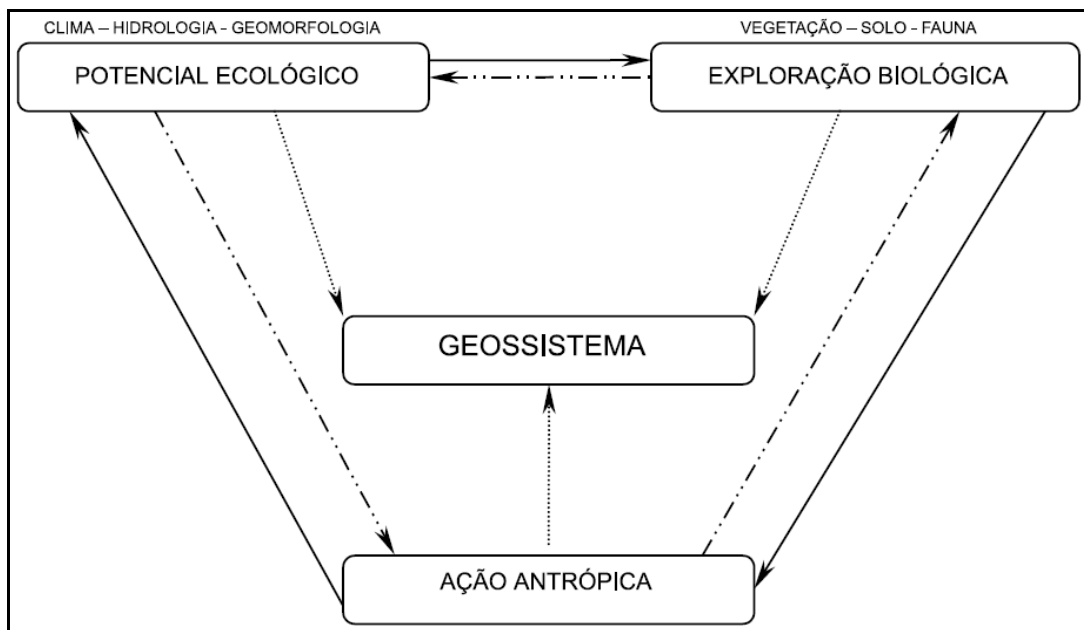


FIGURA 36 – Esboço de uma definição teórica de geossistema.
Fonte: Bertrand, 2004, p. 146.

Todavia, essa assertiva não é uma negativa à característica sistêmica das nascentes. Os sistemas ambientais não são, necessariamente, um conjunto de partes estruturadas. Muitas vezes, estes se configuram como uma totalidade gerada por fluxos de matéria e energia integrados em uma trama complexa, na qual seus componentes podem ser imateriais. Sob essa perspectiva Chorley e Kennedy (1971) retrabalharam a concepção sistêmica para a geografia física.

Dentre os diversos tipos de sistemas propostos por Chorley e Kennedy (1971) destacam-se nos estudos geográficos os sistemas morfológicos e os sistemas encadeantes. Os sistemas morfológicos, em última análise, correspondem às formas do relevo, estando pautado nas propriedades físicas do sistema, tendo como elementos estruturadores as variáveis que os caracterizam.

No contexto da geomorfologia, as redes de drenagem, as vertentes, as praias, os canais fluviais, as dunas e as restingas são exemplos de sistemas morfológicos, nos quais se podem distinguir, medir e correlacionar as variáveis geométricas e as de composição (CHRISTOFOLETTI, 1999. p. 6).

Fica evidente, então, que a visão mecanicista, que vislumbra sistemas formados por partes isoladas que se interagem para formar uma totalidade, é ampliada na perspectiva de Chorley e Kennedy (1971). Assim, as vertentes podem ser consideradas como um sistema enquanto um todo formado por uma trama de fluxos de matéria e energia que, ainda atuante, promove sua dinâmica espaço-temporal.

Chorley e Kennedy (1971) também propõem a existência dos sistemas encadeantes, que são um tipo de sistema complexo em que há uma cadeia de subsistemas promovendo a existência da totalidade (CHRISTOFOLETTI, 1999). Ou seja, o sistema universo somente existe graças aos subsistemas que o constituem. Como os sistemas ambientais têm uma clara noção de escala implícita (BERTRAND, 2004), o próprio subsistema de um sistema universo é considerado um sistema, dotado de suas próprias características e própria totalidade.

Assim, sistemas morfológicos, como os canais fluviais, podem ser tratados como subsistemas de um sistema universo que possui outra escala – as bacias hidrográficas. O sistema hidrográfico, então, é um sistema encadeante, constituído por inúmeros subsistemas – que são, em si próprios, uma totalidade – como os canais fluviais, as vertentes e, também, as nascentes.

As nascentes emergem, então, como um sistema ambiental não territorial de totalidade própria originada por elementos engendrando processuais – fluxos de matéria e energia. Sob a ótica do sistema hidrológico, as nascentes constituem-se subsistemas – escala inferior – que integram o sistema universo, sendo essencial para a organização deste. Entendidas em sua totalidade, fica claro que as nascentes não se limitam ao ponto ou área em que ocorre a exfiltração da água subterrânea. Englobam, conceitualmente, as características geomorfológicas que a espacializa. Além disso, pertencente ao sistema hidrográfico, é imprescindível que sua função de iniciar o escoamento fluvial.

Sob esse embasamento teórico, encontra-se o conceito proposto por Felipe e Magalhães Jr. (2009a). Porém, o painel de especialistas mostrou uma ligeira preferência pelo conceito de Brasil (2002), consideravelmente mais simples e amplo que o primeiro. Em uma tentativa de releitura das definições, percebe-se que há um elemento essencial em Brasil (2002) que está ausente no primeiro: a naturalidade das nascentes.

Entendendo, então, que a teoria dos sistemas pode auxiliar na maior precisão do termo “local” existente no conceito de Brasil (2002) e que a origem popular do termo que associa as nascentes aos canais de drenagem deve ser resgatada, um novo conceito pode ser proposto. Portanto, considera-se uma nascente como um sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente de modo temporário ou perene, integrando à rede de drenagem superficial.

Assim, os elementos do ambiente – sejam eles sistemas ou não – que não se enquadram nesse conceito devem ser distinguidos das nascentes. O termo “surgência” é amplo o suficiente para englobar todo tipo de exfiltração, incluindo as nascentes. Por outro lado, “ressurgência” abarca a característica de recorrência de um afloramento de água, sendo um tipo específico de surgência típico de ambientes cársticos, e não uma nascente. Por fim, sugere-se que o termo genérico “fonte” seja utilizado para quaisquer tipos de exfiltração que não constituam uma conexão superficial com a rede de drenagem.

6. ESPACIALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS NASCENTES ESTUDADAS

Apesar da incomensurável importância ambiental que as nascentes possuem, estudos que as têm como foco principal são raros (LAVARINI *et al.*, 2009). Ainda assim, é unânime nesses trabalhos a imprescindível necessidade de manutenção das funções ambientais das nascentes para a dinâmica hidrológica das bacias. Essa preocupação é refletida na legislação brasileira que, desde 1965, determina a obrigatoriedade de uma Área de Preservação Permanente nas imediações de nascentes (BRASIL, 2002; BRASIL, 2000; BRASIL, 1965).

Todavia, a escassez de trabalhos acadêmicos sobre nascentes, bem como a forma corriqueira com que o termo é utilizado tanto no meio científico quanto pela sociedade, promovem uma série de dúvidas conceituais que complexificam uma definição precisa. Ademais, a diversidade desses sistemas ambientais é outro elemento complicador de sua identificação em campo. Destarte, são várias as possibilidades de tipologias, embasadas em aspectos os mais diversos, que contribuem para a compreensão da gênese e dinâmica das nascentes.

Partindo-se de um pré-suposto conceitual bem definido – apresentado no Capítulo 4 – é possível identificar, caracterizar e espacializar as nascentes em campo. Vislumbrando o planejamento ambiental e a gestão das unidades de conservação de estudo, um mapa que apresente a localização das nascentes é considerado uma ferramenta fundamental. É imprescindível para qualquer forma de manejo que se saiba, com o maior grau de confiabilidade possível, onde se encontram as nascentes de determinada bacia, somente assim, as intervenções no espaço podem ser propostas com o mínimo de impacto na dinâmica ambiental.

Por sua vez, a caracterização das nascentes é complementar ao mapeamento. A heterogeneidade de elementos que condicionam a existência desses sistemas ambientais promove uma pluralidade de formas e feições que devem ser interpretadas para proteção ambiental. Isso, pois, as nascentes podem ser mais ou menos suscetíveis a impactos de acordo com as características que apresentam.

Assim, a descrição das nascentes deve englobar algumas características básicas, bem como especificidades que possam ser significativas para a dinâmica do sistema. O tipo de exfiltração da água, a forma da nascente, a existência e posição dos afloramentos rochosos, a

profundidade do manto de intemperismo, a unidade geológica e a declividade do terreno são considerados elementos essenciais para a caracterização de nascentes. Soma-se a essas, variáveis de estado ambiental, que envolvem usos, existência de áreas degradadas, presença de resíduos ou efluentes, além de parâmetros de qualidade da água.

Em todas as nascentes estudadas, uma série de características ambientais foi identificada e interpretada para a elaboração de uma matriz. Por fim, obteve-se um quadro sintético e comparativo no qual as nascentes são descritas em diversas variáveis qualitativas e quantitativas. Essa matriz, na qual se embasam praticamente todos os resultados deste trabalho, é apresentada como APÊNDICE A.

6.1. *Identificação e mapeamento de nascentes*

O primeiro problema que se posta ante a identificação de nascentes em campo é especificamente conceitual. Discernir os diversos tipos de surgência encontrados, bem como distinguir se as exfiltrações próximas correspondem a uma ou mais de uma nascente são questões-chave em campo que suscitam reflexões teóricas complexas. A adoção de um conceito claro é, portanto, pressuposto primeiro dos trabalhos de campo.

Além disso, muitas vezes, há a necessidade de superação de problemas logísticos como dificuldade de acesso, risco a animais peçonhentos, escassez de bases cartográficas precisas e a quase ausência de estudos sobre nascentes em escalas de detalhe. Com isso, procedimentos de gabinete devem auxiliar as campanhas para evitar deslocamentos desnecessários, maximizando a eficiência da coleta de dados. Ademais, o apoio de pessoas familiarizadas com as unidades de estudo torna-se imprescindível.

Porém, não foram encontradas na literatura acadêmica técnicas específicas para a identificação de nascentes. O procedimento mais utilizado é o mapeamento dos pontos iniciais dos canais de drenagem verificados em uma carta topográfica. Isso, entretanto, é uma simplificação inconsistente com os objetivos deste trabalho, já que este método subestima consideravelmente o número de nascentes, além de estar condicionado a eventuais erros dos mapeamentos anteriores.

Isso, pois, as nascentes são elementos de grande escala, próximo à 1:1. Ou seja, sua espacialização precisa é praticamente impossível em mapas de pequenas escalas. O artifício utilizado é representá-las como pontos, que são adimensionais em termos cartográficos.

No intuito de minimizar os custos operacionais do trabalho, buscou-se mapear por procedimentos remotos as áreas com grande probabilidade de ocorrência de nascentes. Assim, foram identificadas nos cartogramas elaborados as características mais comuns em ambientes de nascentes, referidas na escassa literatura sobre a temática. Com isso, a possibilidade da existência de nascentes nos pontos – em termos cartográficos – identificados, seria grande. Todavia, justamente pela escala em que se encontram, nascentes propriamente ditas não puderam ser localizadas em gabinete, o que só foi possível nos trabalhos de campo.

Os materiais utilizados foram:

- ✓ Imagens QuickBird de 2006, fornecidas pela Fundação de Parques Municipais;
- ✓ Carta topográfica digital de Belo Horizonte, com equidistância das curvas de nível de cinco metros, também fornecida pela Fundação de Parques Municipais;
- ✓ Mapeamentos dos parques estudados realizados em trabalhos acadêmicos e/ou governamentais.

Desse modo, realizou-se a interpretação manual conjunta das imagens de satélite com o modelo digital de terreno elaborado a partir da base topográfica. Foi possibilitada, assim, a identificação dos dois principais ambientes nos quais as nascentes deveriam ser encontradas: as cabeceiras de drenagem e as áreas de vegetação higrófila. Essas áreas foram identificadas como de alta probabilidade de ocorrência de nascentes e verificadas *in loco* nos trabalhos de campo.

Foram atribuídos pontos a todas essas áreas propícias à existência de nascentes, dos quais as coordenadas UTM foram extraídas. Com o auxílio de um GPS, modelo Garmin GPSMAP 76CSx, a existência de nascentes nas proximidades desses pontos foi verificada em campo. De fato, os procedimentos remotos auxiliaram na localização, posto que a maioria dos pontos marcados correspondia a nascentes.

Adicionalmente, foram percorridas trilhas de modo a interceptar todos os canais de drenagem mapeados previamente nas unidades de estudo. Aqueles canais que vertiam água no verão

foram acompanhados a montante para o mapeamento das nascentes ao longo de seu percurso. Além disso, o conhecimento prévio dos funcionários dos parques estudados também foi importante para minimizar os deslocamentos.

Assim, todas as nascentes encontradas foram, então, identificadas com três pontos coletados por GPS em campo, com intervalos superiores a um minuto. Esse procedimento foi utilizado no intuito de reduzir a imprecisão do aparelho, que, para o mapeamento, variou entre quatro e oito metros. Por fim, a representação cartográfica das nascentes encontradas e estudadas corresponde à média das coordenadas x , y e z obtidas por estes pontos.

Após o mapeamento de todos os pontos identificados em campo, foi realizado um consistente trabalho de gabinete no intuito de categorizar quais surgências eram, de fato, nascentes. A interpretação das características ambientais, bem como dos pré-requisitos conceituais postulados foram os guias para essa segmentação. Contudo, foram mapeadas as nascentes, bem como as surgências – dos mais diversos tipos – encontradas.

6.2. Mapeamento das nascentes do Parque Municipal das Mangabeiras

O Parque Municipal das Mangabeiras é a maior unidade de conservação gerida pela FPM, com 2.417.000m². Localiza-se na vertente norte da Serra do Curral – Quadrilátero Ferrífero – no sul do município de Belo Horizonte. Sua vegetação original é composta pela Floresta Estacional Semidecidual, com algumas áreas de Savana na porção mais alta da Serra.

No intuito de identificar e espacializar as nascentes do Parque das Mangabeiras, foram realizadas extensivas campanhas de campo de verão, totalizando um percurso de mais de 120km no interior da unidade de conservação. Os deslocamentos foram guiados pelo mapeamento apresentado anteriormente por Bertachini (s.d.) – o qual localiza 21 nascentes –, bem como pelo auxílio de funcionários do parque que conheciam a localização de parte das nascentes. Ademais, via sensoriamento remoto, foram obtidos 24 pontos de alta probabilidade de ocorrência de nascentes, os quais deveriam ser verificados *in loco*.

Assim, foram identificadas 60 nascentes nos trabalhos de campo de verão no Parque das Mangabeiras. Destas, 40 – 66,7% – mantiveram-se perenes nos trabalhos de campo de inverno, sendo as 20 demais consideradas intermitentes. Todavia, sete outras fontes foram identificadas nas campanhas de inverno que não o haviam sido no verão; na impossibilidade

de aprofundar na interpretação de suas características, devido à ausência de dados de uma estação, estas não foram consideradas para os fins deste trabalho.

A FIG. 37 corresponde ao mapa das nascentes estudadas no Parque das Mangabeiras. A distribuição espacial das nascentes não é homogênea na unidade de conservação, sendo possível distinguir ao menos três áreas com grande concentração das nascentes. Essas áreas localizam-se em duas sub-bacias do córrego da Serra, uma no extremo oeste do parque, outra em sua porção leste, o que faz com que essas bacias detenham 61,6% das nascentes de toda a unidade de conservação.

Outro fator de relevância na distribuição espacial das nascentes é a posição que estas estão em relação às vertentes. Esperava-se encontrar um número maior de fontes nas altas vertentes, sobretudo em cabeceiras de drenagem, o que não ocorreu. No interior do Parque, várias cabeceiras não possuem exfiltração, caracterizando-se apenas por ravinamentos que constituem canais efêmeros, somente durante os eventos chuvosos (FIG. 38). Por outro lado, foi encontrado um grande número de nascentes na baixa vertente, muito próximas aos canais de drenagem (FIG. 39), ou mesmo no talude desses (FIG. 40).

Além disso, as nascentes que ocorrem nas baixas vertentes tendem a localizarem-se próximas a outras de mesma característica (FIG. 41). Isso ocorre nas três áreas de alta concentração de nascentes que podem ser verificadas na FIG. 37. Os eixos de drenagem principal e secundários são, mormente, acompanhados por nascentes nos taludes de seus canais, como é notado ao longo de toda a extensão do córrego da Serra no interior do parque.

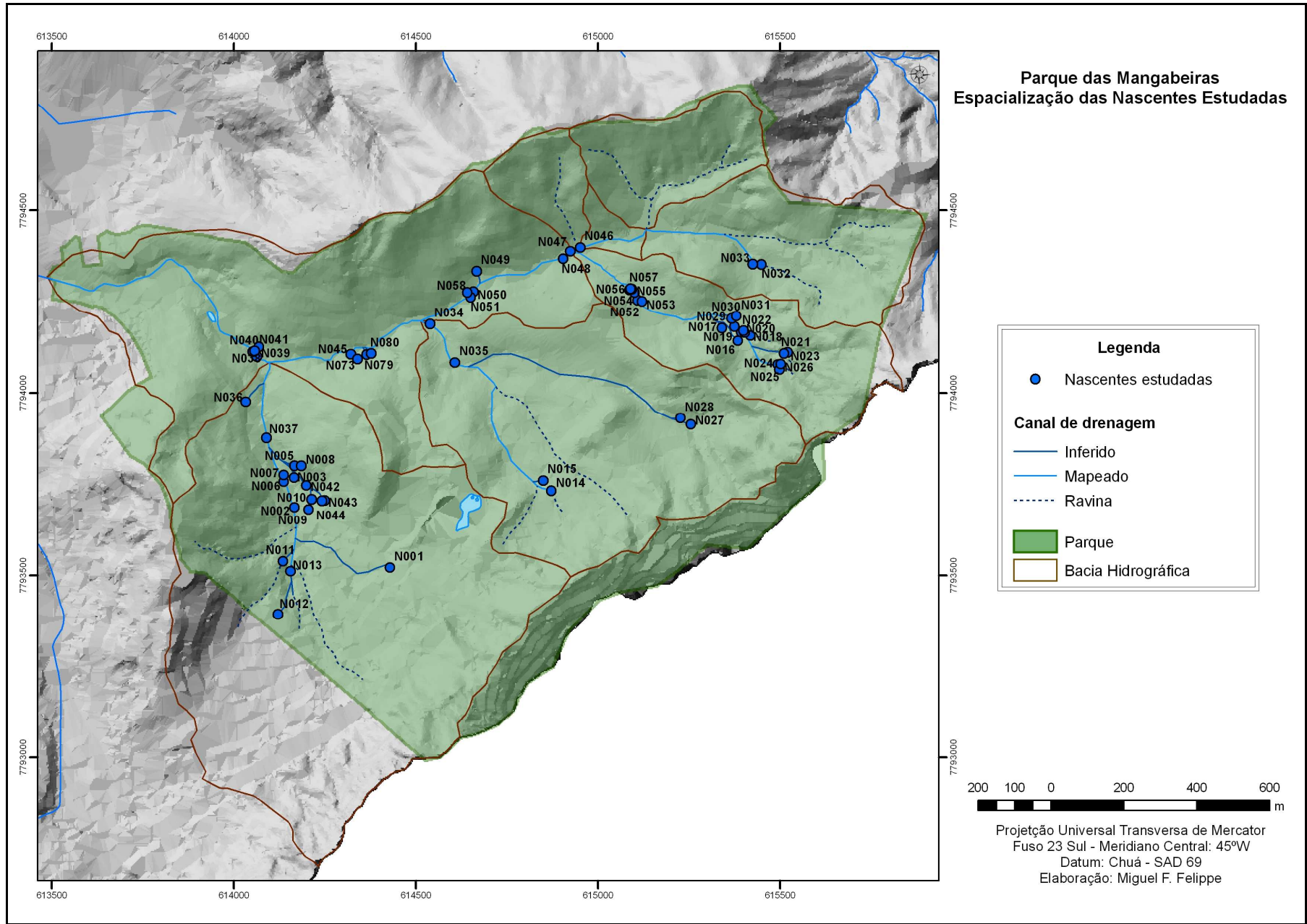


FIGURA 37 – Parque das Mangabeiras: espacialização das nascentes estudadas.
Fonte: bases cartográficas FPM; PBH.



FIGURA 38 – Ravinamento no extremo noroeste do Parque das Mangabeiras.
Foto: Miguel F. Felipe

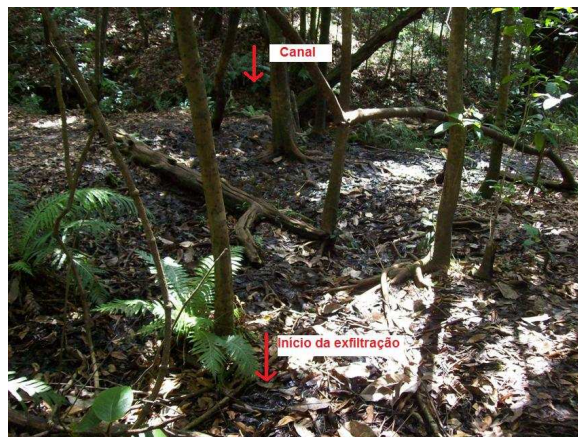


FIGURA 39 – N002 evidenciando a proximidade de muitas nascentes com o canal principal.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 40 – N049 no talude do canal principal.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 41 – Proximidade entre nascentes.
Foto: Miguel F. Felipe

As características geológico-geomorfológicas da região contribuem para a explicação do fato, posto que as rochas do Supergrupo Minas tendem a ser muito resistentes à erosão e ao intemperismo, por isso, a incisão vertical dos canais de drenagem acaba por interceptar fluxos subterrâneos, formando nascentes. Porém, estudos específicos sobre essa temática ainda são necessários, já que as informações reunidas neste trabalho permitem apenas conjecturas a esse respeito.

A heterogeneidade da espacialização das nascentes no Parque das Mangabeiras é verificada, também, pelo fato de existirem poucas nascentes na margem direita do córrego da Serra. Mais precisamente, apenas N049 forma um pequeno canal nesta porção, sendo que os demais são ravinas com escoamento efêmero relacionado aos eventos chuvosos. Levanta-se a hipótese que o escoamento sub-superficial é menos dinâmico no norte do parque, em função das condições hidrogeológicas, associadas às geomorfológicas. A margem direita da bacia caracteriza-se por uma pequena distância entre interflúvio e talvegue, marcada por uma

grande declividade. Esses fatores contribuem para uma capacidade de armazenamento de água subterrânea mais baixa. Além disso, imediatamente ao norte do interflúvio dessa porção da bacia, localiza-se o Grupo Sabará, considerado o aquífero menos eficiente de Belo Horizonte (COSTA, 2002; SILVA *et al.*, 1995), o que pode influenciar eventuais fluxos subterrâneos originados ao norte.

6.3. *Mapeamento das nascentes do Parque Municipal Fazenda Lagoa do Nado*

O Parque da Lagoa do Nado localiza-se no norte do município de Belo Horizonte, no domínio das rochas arqueanas do embasamento cristalino. Morfologicamente, constitui um trecho de um vale fluvial margeando o canal que forma a lagoa que dá nome à unidade de conservação. A drenagem é constituída praticamente apenas pelo curso d'água principal – formado pela junção de dois secundários – e pequenos canais originados nas nascentes.

A geomorfologia do parque já fora objeto de estudo de Moura e Saadi (1989) tendo sido identificadas três nascentes por esses autores. Há, também, um mapa da gerência do parque que evidencia “áreas de nascentes” em seu interior, porém, sem qualquer intuito de individualizá-las. Esses dois documentos, bem como o auxílio de funcionários do parque, colaboraram para a espacialização das nascentes. Ademais, via sensoriamento remoto, quatro pontos de grande probabilidade de existência de nascentes foram demarcados no parque.

Depois de percorridos aproximadamente 35km nos trabalhos de campo de verão, com o objetivo de identificar as nascentes do Parque Lagoa do Nado, 12 foram mapeadas (FIG. 42). Visitadas novamente no período de inverno, apenas uma teve a exfiltração interrompida, considerando-se as onze demais como perenes – 91,7%.

Como o Parque Lagoa do Nado é, morfologicamente, um trecho de vale, suas nascentes também ocorrem em baixa vertente, assim como foi verificado no Mangabeiras. Acredita-se que a impermeabilização da alta porção das vertentes da bacia que drena o parque possa ter deslocado para jusante algumas nascentes no pretérito. Porém, as duas cabeceiras de drenagem que estão ao menos parcialmente inseridas na unidade de conservação possuem nascentes (FIG. 43).

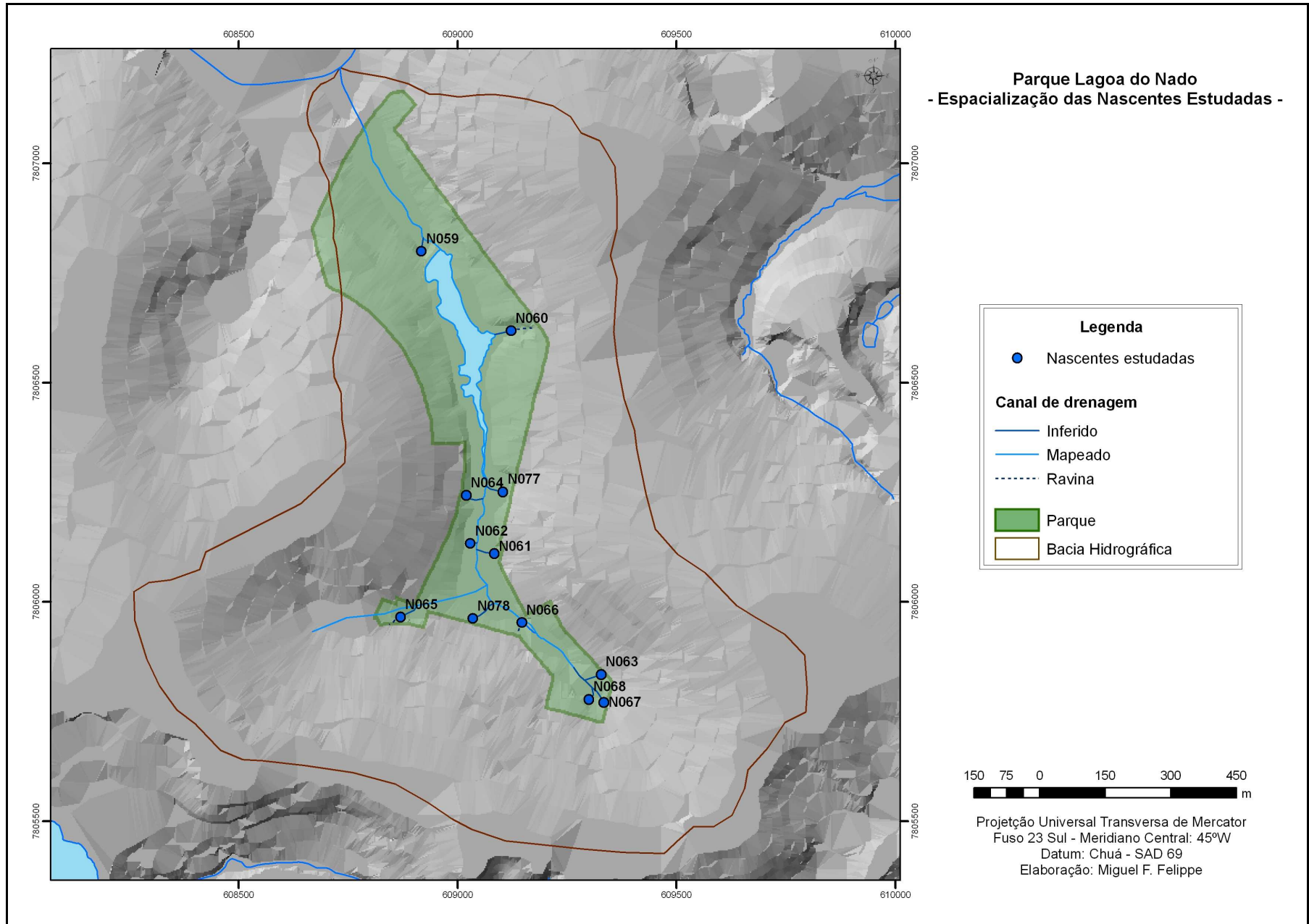


FIGURA 42 – Parque Lagoa do Nado: espacialização das nascentes estudadas.
Fonte: bases cartográficas FPM; PBH.

A maioria das nascentes identificadas encontra-se no alto trecho da bacia de drenagem, próximas ao limite sul do parque. Sei delas – N063, N065, N066, N067, N068 e N078 – estão localizadas antes da confluência e formação do canal principal. Ademais, à jusante da represa, ocorre somente uma nascente – N059.

Em termos de qualidade ambiental, é notória a situação crítica das nascentes do Parque Lagoa do Nado, sobretudo em função da proximidade destas com a ocupação urbana. Em praticamente todos os casos, os limites do parque se encontram a menos de 50 metros das nascentes, que sofrem influência direta do escoamento superficial que se origina nas áreas impermeabilizadas (FIG. 44).

Nesse sentido, a influência antrópica nas nascentes do Parque Lagoa do Nado é notória. Em pelo menos 50% dos casos, acredita-se que a intervenção humana foi providencial na gênese das nascentes e, sem a qual, é provável que essas fontes não existissem. Quatro casos – N066, N068, N077 e N078 – evidenciam essa hipótese: a exfiltração é originada em uma cavidade promovida pelo escoamento concentrado, originado por canaletas de drenagem pluvial (FIG. 45). Sem a intervenção, dificilmente haveria condições que possibilitasse a exfiltração.

Há também o caso de uma cavidade gerada pela queda de um eucalipto – plantado em diversas porções do parque. As raízes da árvore, quando arrancadas do chão, criaram uma cavidade bastante profunda, na qual a água passou a exfiltrar. Isso ocorre na N064, que mantém um fluxo perene de água em direção à lagoa (FIG. 46).

Além disso, as nascentes N059 e N060 também podem ter sua origem ligada a ações humanas. A primeira encontra-se logo a jusante da represa, o que indica que a água exfiltrada pode ser um reflexo da infiltração que ocorre no leito do lago. Já a N060 encontra-se em uma cabeceira bem delimitada morfologicamente que, segundo Moura e Saadi (1989), teria sido uma voçoroca. Essas hipóteses fazem emergir a questão do grau de “naturalidade” que as nascentes do Lagoa do Nado possuem, além de evidenciar a severidade dos impactos originados na área urbana a montante do parque.

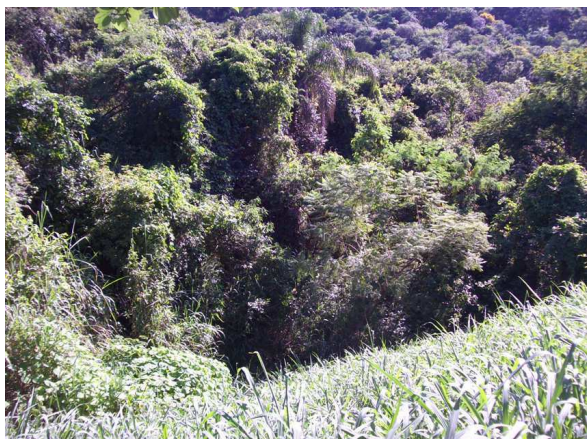


FIGURA 43 – Vista da cabeceira em que se encontra N060, oeste do Parque Lagoa do Nado.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 44 – Evidência da pequena distância da área urbana para as nascentes, no caso, N061.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 45 – N077 com morfologia em cavidade, originada pelo escoamento concentrado pela canaleta evidenciada à montante.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 46 – Nascente gerada pela queda de um eucalipto, em que suas raízes formaram uma cavidade onde a água exfiltra de forma perene – N064.
Foto: Miguel F. Felipe

6.4. *Mapeamento das nascentes do Parque Primeiro de Maio*

Recentemente criado pelo programa Drenurbs/Nascentes da Prefeitura de Belo Horizonte, o Parque Primeiro de Maio destaca-se dos dois primeiros pela pequena extensão territorial e pela intensidade das intervenções quando de sua implantação. Em termos da dinâmica urbano-ambiental, deve-se considerar que a área onde hoje se encontra o parque era ocupada por moradias irregulares e, portanto, foram promovidas diversas alterações no meio.

A escassez de vegetação arbórea, a extensão do parque e a identificação prévia – realizada pela FPM – das nascentes facilitaram o trabalho de mapeamento, sendo percorridos apenas 12km nas campanhas de campo de verão. O mapeamento da FPM apresentou 12 nascentes, sendo quatro inferidas. Porém, de acordo com as bases teóricas deste trabalho, dessas

mapeadas, apenas seis foram consideradas efetivamente nascentes, além de uma – única intermitente – que não havia sido identificada pela FPM, totalizando sete (FIG. 47).

Assim como no Parque Lagoa do Nado, a própria configuração territorial do Primeiro de Maio praticamente impede que existam nascentes que não sejam na baixa vertente, já que o parque encontra-se em um fundo de vale. Nesse caso, apenas a N069 (FIG. 48) localiza-se em média vertente, mais precisamente, na única cabeceira de drenagem que se insere – parcialmente – na unidade de conservação.

Ocorre, também, uma concentração espacial das nascentes no meio do parque, onde há um estreitamento dos limites da unidade de conservação que se aproximam ainda mais da margem do Córrego Primeiro de Maio. Novamente, defende-se a hipótese de que a impermeabilização da porção à montante do parque deslocou as nascentes para próximo ao canal principal. Essa assertiva é corroborada pela observação de que justamente na parte que os limites do parque estão mais próximos ao córrego – maior área impermeabilizada a montante – há a maior ocorrência de nascentes – N070, N072, N074 e N075.

A influência antrópica na gênese de algumas nascentes também é nítida no Parque Primeiro de Maio. A evidente proximidade com a mancha urbana (FIG. 49) promove alterações nas nascentes, sobretudo em função de processos erosivos (FIG. 50) e poluição. Porém, um caso chama atenção pela criação de condições de exfiltração em local onde as quais não existiam – N072 (FIG. 51). No intuito de drenar uma área em que o nível freático aflorava em parte do ano e poderia danificar a pista de caminhada construída, foi colocado um cano a poucos centímetros de profundidade que levava água até a jusante da pista. Porém, o que se verificou foi a constante exfiltração de água pela saída do cano, formando um pequeno canal até o Córrego Primeiro de Maio. A forma e a dinâmica hidrológica produzida artificialmente configuram uma nascente intermitente⁴².

⁴² Como a intervenção ocorreu há pouco tempo, sugere-se o monitoramento de N072 para, efetivamente, comprovar se trata de uma nascente antrópica ou se, passado algum tempo, a exfiltração cessará em definitivo.

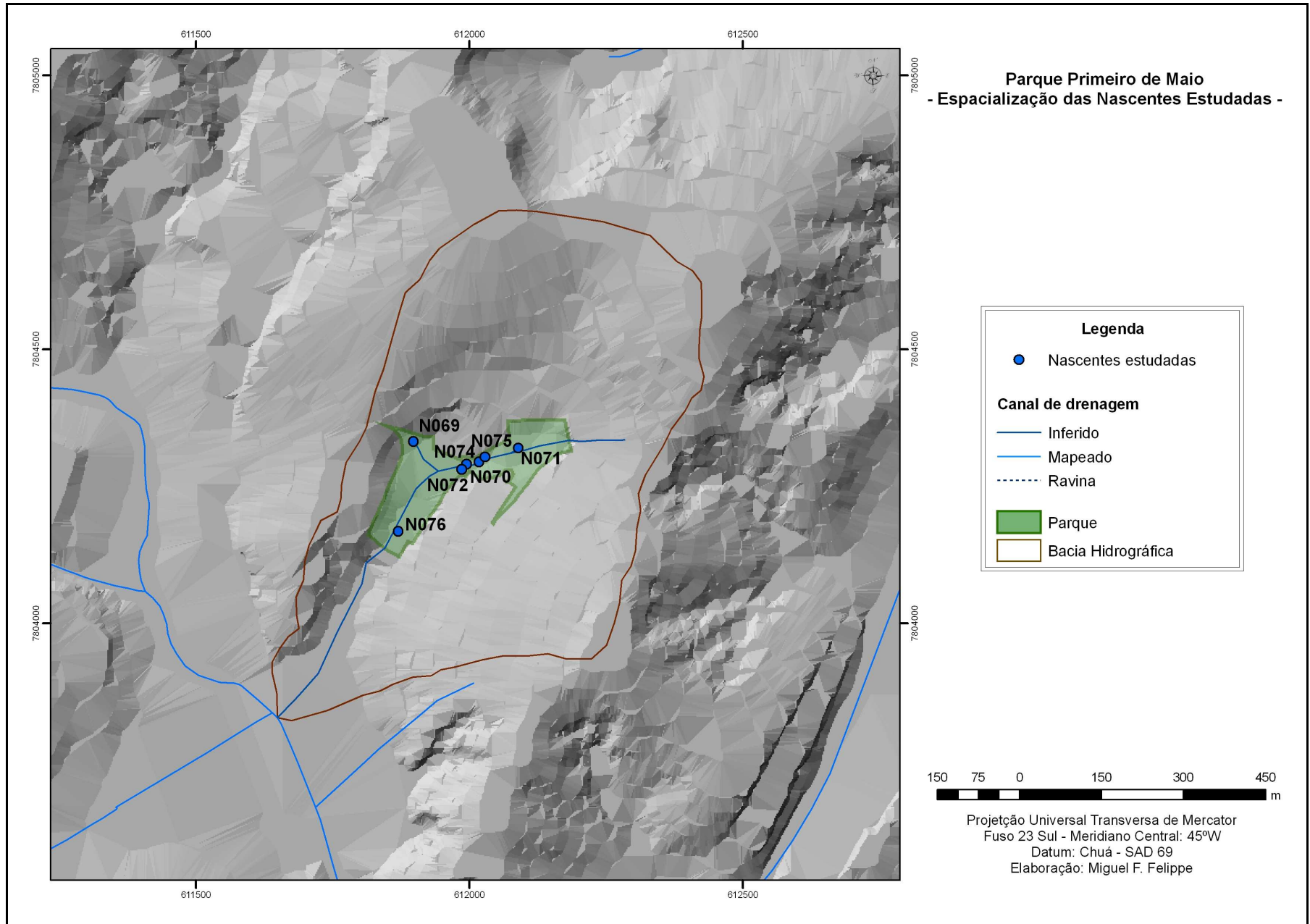


FIGURA 47 – Parque Primeiro de Maio: espacialização das nascentes estudadas.
Fonte: bases cartográficas FPM; PBH.



FIGURA 48 – N069, localizada na média vertente em uma cabeceira de drenagem.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 49 – Proximidade do muro que faz o limite do Parque Primeiro de Maio com N070.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 50 – A ausência de vegetação no entorno de algumas nascentes intensifica processos erosivos; no exemplo, N074.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 51 – Nascente antropogênica (N072) formada por um cano que drena a água do local anterior em que ocorria a exfiltração.
Foto: Miguel F. Felipe

6.5. *Fisiografia das nascentes estudadas*

A diversidade de elementos que constituem uma nascente, tanto na sua dinâmica como na sua origem, promove uma grande variedade de aspectos fisiográficos. Muito além das grandes compartimentações dos aspectos físicos da Terra – geologia, relevo, vegetação, clima, etc. – são as características locais que determinam a fisiografia de uma nascente. Nesse sentido, dentro de um mesmo domínio de paisagem existe uma enorme heterogeneidade de formas e tipos de nascentes. Por outro lado, nascentes fisiograficamente semelhantes podem ocorrer em domínios de paisagem completamente distintos.

Visualmente, duas características fisiográficas se destacam: a morfologia e o tipo de exfiltração. Tomadas em conjunto, identificam de forma satisfatória, ainda que incompleta, as

nascentes. Isso, pois, a combinação dessas duas características explica consideravelmente a dinâmica que as nascentes possuem. Ambas, porém, são variáveis qualitativas e, por isso, carregam um grau de subjetividade em sua definição.

Os tipos morfológicos criados basearam-se nos trabalhos de Faria (1997) e Valente e Gomes (2005), os quais propõem classificações para as nascentes. Porém, foram encontradas incongruências pela intercessão dos tipos criados por esses autores, o que gera imprecisão no enquadramento das nascentes. Além do mais, é sempre possível que novas morfologias sejam identificadas, de acordo com a amostra obtida.

No rol de nascentes estudadas foram identificadas seis formas diferentes: concavidade, duto, afloramento, talvegue, olho e cavidade. Além disso, um sétimo tipo foi incluído, relacionado a nascentes sem uma morfologia bem definida devido à severa alteração antrópica: intervenção.

- ✓ Nascentes em *concavidade* ocorrem em trechos côncavos da vertente, mormente em rupturas de declive, formando canais apenas a jusante da exfiltração (FIG. 52).
- ✓ Nascentes em *duto* são caracterizadas pela exfiltração em canais erosivos subterrâneos horizontais que interceptam a superfície em algum ponto da vertente, formando pequenas cavidades com formas circulares (FIG. 53).
- ✓ Nascentes em *afloramentos* são caracterizadas pela presença de afloramentos rochosos no local da exfiltração, seja em canais ou mesmo na vertente (FIG. 54).
- ✓ Nascentes em *talvegue* ocorrem essencialmente em canais erosivos – ravinas ou sulcos – quando interceptam o nível freático (FIG. 55).
- ✓ Nascentes em *olho* são similares às em duto, porém, neste caso, os canais erosivos subterrâneos são verticais e, por isso, a água aflora verticalmente em áreas planas, constituindo verdadeiros “olhos d’água” (FIG. 56).
- ✓ Nascentes em *cavidade* ocorrem em cavidades erosivas com formas que se assemelham a marmitas ou panelas, em que a profundidade é maior do que a largura, normalmente após uma ruptura de declive (FIG. 57).

- ✓ Nascentes em *intervenção* são um tipo específico no qual não há forma aparente devido à magnitude das transformações no espaço, fazendo que a água exfiltre a partir de canos ou drenos colocados pelo homem (FIG. 58).



FIGURA 52 – Nascente em concavidade no Parque Primeiro de Maio – N075.

Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 53– Nascente em duto no Parque das Mangabeiras – N017.

Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 54 – Nascente em afloramento rochoso no Parque das Mangabeiras – N050.

Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 55 – Nascente em talvegue de sulco erosivo no Parque das Mangabeiras – N022.

Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 56 – Nascente em olho no Parque das Mangabeiras – N019.

Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 57 – Nascente em cavidade erosiva no Parque Lagoa do Nado.

Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 58 – Nascente em intervenção – bacia de detenção de sedimentos – no Parque Lagoa do Nado – N063.
Foto: Miguel F. Felipe

Em relação ao tipo de exfiltração, apesar de também ser uma variável qualitativa, o seu grau de subjetividade é consideravelmente menor. Isso, pois, está relacionada à concentração – ou desconcentração – do afloramento da água. Sendo assim, as nascentes podem ser difusas, pontuais – de acordo com Faria (1997) – ou ainda múltiplas.

- ✓ Nascentes *pontuais* caracterizam-se pela concentração da exfiltração em apenas um ponto, facilmente individualizado de seu entorno justamente pelo afloramento da água subterrânea (FIG. 59).
- ✓ Nascentes *difusas* são aquelas em que exfiltração ocorre ao longo de uma área em que não é possível afirmar com precisão o principal local de saída da água, formando terrenos de solo encharcado, em que somente a jusante um canal é identificável, por exemplo, em brejos (FIG. 60).
- ✓ Nascentes *múltiplas* ocorrem nos casos intermediários entre as pontuais e as difusas. Podem ser constituídas por uma série de exfiltrações pontuais – vários pontos (FIG. 61) – ou mesmo por várias áreas de exfiltração. Ocorrem também nos casos de exfiltrações pontuais e areais em uma mesma nascente (FIG. 62).



FIGURA 59 – Nascente com exfiltração pontual no Parque Primeiro de Maio – N074.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 60 – Nascente com exfiltração difusa no Parque Lagoa do Nado – N065.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 61 – Nascente com exfiltração múltipla – quatro pontos de exfiltração – no Parque das Mangabeiras – N010.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 62 – Nascente com exfiltração múltipla – um ponto e uma área de exfiltração – no Parque das Mangabeiras – N029.
Foto: Miguel F. Felipe

Assim, sob esses preceitos as nascentes estudadas foram enquadradas. A TAB. 1 apresenta a frequência relativa de cada um dos tipos de nascente – em função da morfologia e da exfiltração – para os três parques estudados, bem como para o rol completo. Os dados são apresentados em valores percentuais para o verão e o inverno.

A principal morfologia verificada neste trabalho foi a concavidade. Durante o verão, 38% das nascentes apresentavam essa forma, valor que subiu para 43,9% no inverno. Em todos os parques essa foi a morfologia mais verificada, destacando-se, entretanto, o Primeiro de Maio, em que todas as suas nascentes apresentavam essa mesma característica.

As nascentes em duto também tiveram uma participação expressiva, com mais de 20% dos casos tanto no verão quanto no inverno. Todavia, somente o Parque das Mangabeiras apresentou nascentes com essa característica, que não foi verificada nos demais.

TABELA 1: MORFOLOGIA E TIPO DE EXFILTRAÇÃO DAS NASCENTES

| Característica | Total | | Mangabeiras | | Lagoa do Nado | | Primeiro de Maio | | |
|-------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|---------------|-----------|------------------|----------|----------|
| | Verão | Inverno | Verão | Inverno | Verão | Inverno | Verão | Inverno | |
| MORFOLOGIA | Concavidade | 38,0% | 43,9% | 30,0% | 32,5% | 41,7% | 54,5% | 100,0% | 100,0% |
| | Duto | 20,3% | 21,1% | 26,7% | 30,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| | Afloramento | 13,9% | 15,8% | 18,3% | 22,5% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| | Talvegue | 16,5% | 10,5% | 21,7% | 15,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| | Olho | 3,8% | 0,0% | 3,3% | 0,0% | 8,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| | Cavidade | 6,3% | 7,0% | 0,0% | 0,0% | 41,7% | 36,4% | 0,0% | 0,0% |
| | Intervenção | 1,3% | 1,8% | 0,0% | 0,0% | 8,3% | 9,1% | 0,0% | 0,0% |
| EXFIL- TRAÇÃO | Difusa | 35,4% | 43,9% | 25,0% | 35,0% | 83,3% | 63,6% | 42,9% | 66,7% |
| | Múltipla | 15,2% | 28,1% | 20,0% | 35,0% | 0,0% | 18,2% | 0,0% | 0,0% |
| | Pontual | 49,4% | 28,1% | 55,0% | 30,0% | 16,7% | 18,2% | 57,1% | 33,3% |
| <i>TOTAL (absoluto)</i> | | <i>79</i> | <i>57</i> | <i>60</i> | <i>40</i> | <i>12</i> | <i>11</i> | <i>7</i> | <i>6</i> |

Fonte: Pesquisa de campo.

As nascentes em afloramentos e talvegues também foram relativamente constantes. Novamente, essas morfologias também só foram encontradas no Parque das Mangabeiras, o que é explicado pelas características morfológicas e pedológicas da região em que se encontra. Contudo, verifica-se uma queda considerável na proporção de nascentes em talvegues do verão para o inverno, o que explica o aumento relativo das demais formas.

O mesmo ocorreu com as nascentes em olho. No verão, foram verificadas no Parque das Mangabeiras e no Lagoa do Nado, detendo, assim, 3,8% das ocorrências. Porém, duas dessas nascentes são intermitentes e a terceira alterou sua forma, de modo que no inverno a participação das nascentes em olho no rol caiu a zero.

Somente uma nascente foi categorizada como em intervenção, localizada no Parque Lagoa do Nado. Mantendo-se perene ao longo do ano, apresentou um crescimento relativo em sua participação no rol do verão para o inverno, em função da redução do número total de nascentes no período seco.

Sobre essas análises, pode-se embasar uma explicação hipotética sobre a dinâmica das nascentes em função da morfologia. As nascentes em talvegue e em olho foram as únicas que obtiveram a diminuição do percentual de participação no inverno, o que foi motivado não somente pela intermitência de nascentes desse tipo, mas também pela transformação para outras morfologias no inverno.

Isso ocorre, mormente, quando a flutuabilidade no nível freático é grande. Ou seja, o nível freático desce no inverno a ponto de interromper a exfiltração, a não ser que novas condições morfológicas contribuam para que esta continue a jusante do local original, o que, em outras palavras, significa a mudança da forma da nascente do verão para o inverno.

Isso ocorreu por sete vezes no rol estudado. Duas nascentes deixaram de ser em afloramento, passando à concavidade e duto – N073 e N 058, respectivamente. Três deixaram a forma de concavidade e adquiriram forma de talvegue – N024 e N029 – e duto – N079. Uma fora caracterizada com talvegue no verão e duto no inverno – N034 – e uma considerada olho se transformou em concavidade – N062.

Além disso, das nascentes intermitentes, oito eram em talvegue e duas em olho. Assim, as nascentes em talvegue deixaram de ser 13 no verão e foram seis no inverno e as nascentes em olho, que eram três no verão, não foram verificadas no inverno. O que faz com que estas sejam as mais dinâmicas em termos de alterações morfológicas.

A influência dos condicionantes geológico-geomorfológicos regionais também é notável na observação dos dados de morfologia. O Parque das Mangabeiras, localizado do domínio do Quadrilátero Ferrífero, foi aquele que apresentou a maior diversidade de formas das nascentes. Enquanto neste parque foram identificadas cinco distintas morfologias, no Lagoa do Nado o foram quatro e no Primeiro de Maio, apenas uma. A FIG. 63 espacializa os dados para facilitar a interpretação desses condicionantes.

Além disso, das quatro formas identificadas no Parque Lagoa do Nado, duas são essencialmente determinadas pela ação antrópica – cavidade e intervenção. Com isso, pode-se afirmar que a forma absolutamente dominante nas nascentes dos parques da Depressão de Belo Horizonte é a concavidade. Essa morfologia ocorre em 92,3% das nascentes dos parques da Depressão – Lagoa do Nado e Primeiro de Maio – quando são excluídas da análise as nascentes antrópicas.

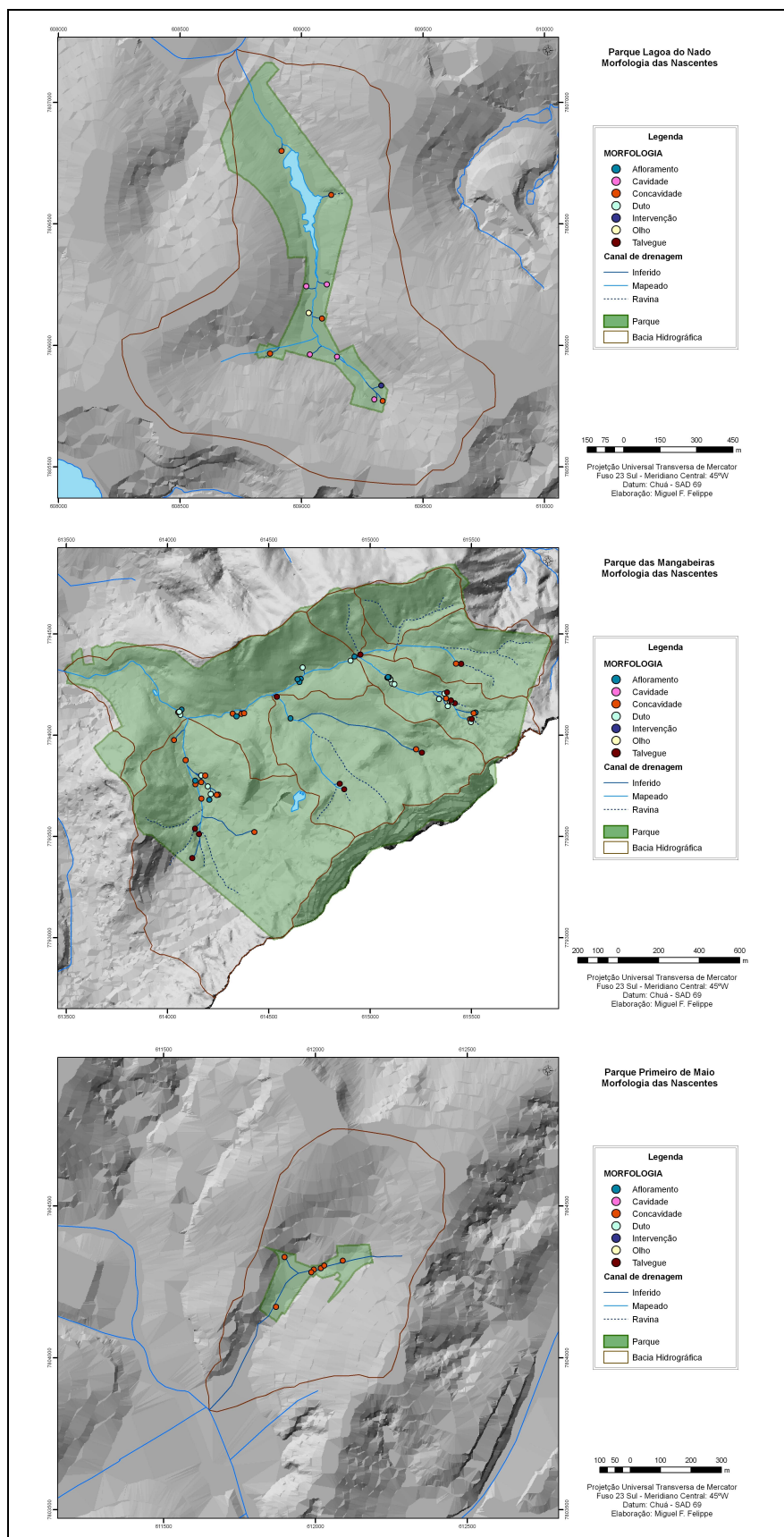


FIGURA 63 – Mapas das nascentes das unidades estudadas tematizados pela morfologia (verão).

Fonte: bases cartográficas FPM; PBH.

Acredita-se que as características do manto de intemperismo desse domínio auxiliem na explicação dessa assertiva. De uma forma geral, a profundidade dos mantos na Depressão é grande, sendo superior a 90 metros em algumas regiões (COSTA, 2002). Essa característica praticamente impede a existência de nascentes em afloramentos, os quais são muito raros. Além disso, este aquífero é menos eficiente (COSTA, 2002; SILVA *et al*, 1995) o que promove uma menor velocidade dos fluxos subterrâneos, dificultando a formação de dutos – e conseqüentemente nascentes em olho. A declividade mais suave, por sua vez, associada à ocupação urbana das porções altas das bacias que envolvem esses parques, preconiza a acreção lateral em detrimento da incisão vertical dos canais erosivos, o que dificulta a existência de nascentes em talvegue.

Esse exercício de interpretação da morfologia em função das características geológico-geomorfológicas regionais, contudo, ainda carece de precisão. Novos estudos estritamente sobre a temática são essenciais para uma compreensão mais profícua das complexas relações causais existentes.

Do mesmo modo que a morfologia, o tipo de exfiltração fornece informações importantes em relação às nascentes. A TAB. 1 apresenta, também, de forma sintética, a distribuição percentual dos tipos de exfiltração nas unidades de estudo.

Como pode ser observado, praticamente metade das nascentes estudadas no verão é pontual – 49,4%. As nascentes difusas somaram 35,4%, sendo o restante correspondente às múltiplas. No inverno, entretanto, essa distribuição se altera consideravelmente, ao ponto que as nascentes difusas passam a corresponder a 43,9% dos casos, de forma que as pontuais e múltiplas somam, cada uma, 28,1%.

Porém, essa alteração não é meramente relativa. Em termos absolutos, o número de nascentes múltiplas aumenta 25% no período de seca, indicando que houve a transformação do tipo de exfiltração em algumas nascentes. É provável que isso ocorra, mormente, nas nascentes que migram, modificando o seu local de exfiltração e promovendo novos pontos ou áreas de afloramento de água.

Essa mesma lógica verificada no conjunto é mantida para as nascentes dos Parques das Mangabeiras e Lagoa do Nado. Em ambos, houve um aumento no número de nascentes múltiplas do verão para o inverno, em função da alteração no tipo de exfiltração.

No Parque das Mangabeiras, 55% das nascentes possuíam exfiltração pontual no verão, 25% difusa e 20% múltipla. No inverno, houve uma inversão nessa distribuição percentual, de forma que as nascentes múltiplas e difusas passaram a corresponder a 35% cada, e as pontuais passaram a ser 30% dos casos. Esses dados são explicados pelo fato de que todas as nascentes múltiplas são perenes, além disso, houve um acréscimo em termos absolutos pela transformação de nascentes pontuais, sobretudo, em múltiplas. Além disso, 80% das nascentes intermitentes eram pontuais, o que promoveu a queda significativa desse tipo no inverno.

No Parque Lagoa do Nado, as nascentes difusas respondiam por 83,3% dos casos no verão e as pontuais por 16,7%. Não foi verificada nenhuma nascente múltipla nesse período. Porém, no inverno, duas nascentes difusas se tornaram múltiplas, uma se tornou pontual e uma secou. Além disso, uma nascente pontual se transformou em difusa. Desse modo, o percentual das nascentes difusas foi reduzido para 63,6% e o de nascentes múltiplas se igualou ao de pontuais – 18,2%.

O Parque Primeiro de Maio acompanhou a redução percentual das nascentes pontuais verificada no Parque das Mangabeiras, diferentemente do que ocorreu no Lagoa do Nado. Por conseguinte, houve um crescimento percentual e absoluto dos casos de nascentes difusas. Além da intermitência verificada em uma nascente pontual, outra passou a ter exfiltração difusa no inverno. Como resultado, o percentual de nascentes pontuais passou de 57,1 para 33,3%, enquanto o de nascentes difusas passou de 42,9 para 66,7%. Nesse parque, não foram identificadas nascentes múltiplas seja no período chuvoso, seja no seco.

Contudo, nada se pode afirmar quanto à distribuição espacial do tipo de exfiltração das nascentes. A FIG. 64 apresenta os mapas das nascentes tematizados pelo tipo de exfiltração. Como foi observado, as nascentes na Depressão não apresentaram um padrão. Porém, nota-se que o percentual de exfiltrações difusas é maior nesse domínio, mas generalizações seriam precoces.

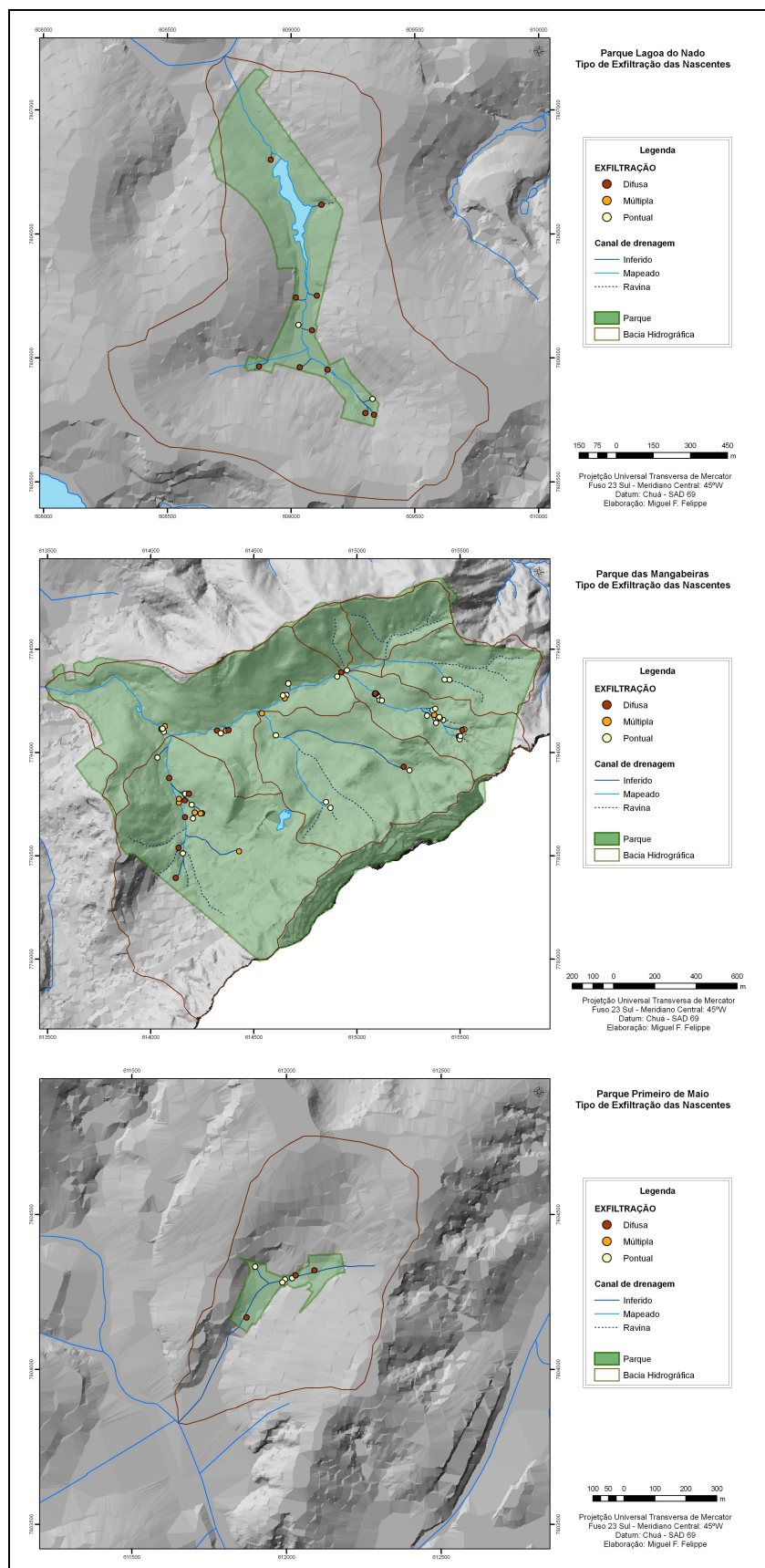


FIGURA 64 – Mapas temáticos das nascentes nas unidades de estudo em função do tipo de exfiltração (verão).

Fonte: bases cartográficas FPM; PBH.

Por outro lado, a suscetibilidade a mudanças das nascentes pontuais parece ser evidente. Além de ser o tipo que mais sofre alterações do período chuvoso para o seco, é também aquele que apresenta maior porcentagem de intermitência. Em todo o rol, das 22 nascentes intermitentes, 19 são pontuais, o equivalente a 86,4%.

Como as nascentes pontuais tendem a estar relacionadas à elevada energia, capaz de concentrar os fluxos subterrâneos, conduzindo-os para uma única saída, é natural que com a diminuição do volume de água – inverno – ocorra uma redução desse tipo de nascente. Esse resultado esperado, porém, não foi verificado no Parque Lagoa do Nado, em que o percentual de nascentes pontuais aumentou no inverno. O número absoluto dessas nascentes, porém, permaneceu inalterado, indicando um crescimento meramente relativo, o que não contradiz a hipótese. Em contrapartida, espera-se um aumento na participação das nascentes difusas e, sobretudo, múltiplas, posto que estas estão relacionadas a ambientes de menor energia.

7. QUALIDADE AMBIENTAL DAS NASCENTES NO ESPAÇO METROPOLITANO

A emergência da questão de proteção das nascentes está particularmente presente em espaços urbanos/metropolitanos. A legislação específica para a maior parte das zonas urbanas brasileiras não garantiu, em termos ambientais, a necessária proteção das nascentes ao longo do tempo, em parte devido à falta de operacionalização do aparato legal e também devido aos diversos interesses especulativos e imobiliários do espaço urbano. Para a construção de residências, prédios comerciais, ou mesmo da infra-estrutura urbana, muitas nascentes foram drenadas e, portanto, destruídas.

Apesar desse cenário não ser exclusivo de Belo Horizonte, a situação da capital mineira é preocupante. Em termos demográficos, Belo Horizonte é o sexto maior município do País, contando com a terceira maior Região Metropolitana, sendo ainda um dos principais centros econômicos brasileiros. Ainda assim, somente recentemente a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) criou um programa que visa, entre outros objetivos, a proteção das nascentes – Programa Drenurbs/Nascentes (MEDEIROS, 2008).

Porém, nunca houve um projeto, seja acadêmico, governamental ou privado, que objetivasse localizar, identificar e mapear as nascentes do território da capital. Ocorreram algumas iniciativas isoladas que, devido à grande dificuldade da temática, não frutificaram. O primeiro grande empecilho é a extensa impermeabilização do solo no território municipal o que promove a descaracterização ou mesmo a destruição de grande parte das nascentes de Belo Horizonte.

As poucas áreas não ocupadas do município restringem-se, basicamente, às unidades de conservação. Nesses locais, as condições ambientais são consideravelmente mais equilibradas, permitindo a ocorrência de uma grande quantidade de nascentes. Todavia, mesmo nas áreas geridas pela Fundação de Parques Municipais – FPM – da PBH, as informações sobre as nascentes não estão sistematizadas, estando a cargo de funcionários dos Parques que, pelo convívio no local, acabam por identificar as “minas”, como dizem. Além disso, muitas delas não são conhecidas e nunca foram objetos de estudo.

Nesse sentido, instiga-se a discussão acerca das possíveis conseqüências dos impactos ambientais na dinâmica das nascentes, promovidos, mormente, pelo processo de

metropolização. Os trabalhos de campo nos três parques estudados possibilitaram a interpretação da qualidade ambiental de suas nascentes bem como a identificação dos principais modificações promovidas pela ação da sociedade metropolitana. Com isso, um exercício de reflexão teórico permite vislumbrar relações causais, extremamente úteis para o manejo das nascentes.

Ademais, foca-se o estudo nos três parques municipais, os quais tiveram suas nascentes levantadas e analisadas a partir do índice de impacto ambiental macroscópico. Os resultados mostram que o simples estabelecimento de unidades de conservação não é suficiente para garantir a proteção das nascentes.

7.1. *Conseqüências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes*

O município de Belo Horizonte possui uma extensa e densa ocupação urbana que promove inúmeras alterações no meio. Tal fato implica em uma série de conseqüências ambientais, inclusive para as nascentes, não distantes das demais metrópoles brasileiras ou mundiais (FELIPPE; MAGALHÃES Jr., 2009b).

Porém, no interior do que é mapeado como uma mancha urbana, existem heterogeneidades marcadas pelos usos atribuídos ao espaço, bem como pela densidade com que ele é ocupado. No caso belo-horizontino, sabe-se que a urbanização foi iniciada a partir de um planejamento elaborado no final do século XIX que previa a ocupação da atual região central da capital. A partir da década de 1930, porém, inicia-se um processo intenso de ocupação das periferias imediatas ao plano inicial (MOURA, 1994).

A industrialização de Belo Horizonte marcou um novo período de expansão urbana. Na década de 1940, o estabelecimento da “Cidade Industrial” em Contagem, criou um eixo de expansão urbana na direção oeste (ANDRADE, 2003). Concomitantemente à dinâmica espacial da metrópole, ocorreram grandes movimentos migratórios em direção à Belo Horizonte, incrementando seu crescimento demográfico (BRITO; SOUZA, 1996).

Ainda na década de 1940, foi construído o Conjunto Arquitetônico da Pampulha. O principal eixo viário norte-sul da metrópole, a Avenida Antônio Carlos, foi aberto para facilitar o acesso da elite às residências secundárias na Pampulha. Inicia-se, então, o movimento de

ocupação da região norte de Belo Horizonte, inclusive pela população pobre que via nos lotes periféricos uma possibilidade de moradia (ANDRADE, 2003).

Assim, na década de 1950, Belo Horizonte passa por uma “expansão sem precedentes do espaço urbano” (MOURA, 1994. p. 57). O crescimento econômico e demográfico associado ao loteamento indiscriminado na periferia cria uma mancha urbana fragmentada em duas principais direções: norte e oeste (FELIPPE, 2007).

Esse processo configura a maior expansão espacial da malha urbana que Belo Horizonte já teve, culminando na reconexão dos espaços urbanizados em apenas uma grande mancha que, na década de 1970, já superava 70% da área total do município. Inicia-se, então, um processo de adensamento populacional, marcado por um crescimento demográfico muito superior ao da área urbanizada (FELIPPE, 2007).

Atualmente, restam poucos espaços não loteados em Belo Horizonte. Destacam-se nesse contexto a porção noroeste do município, na bacia do córrego do Isidoro, e algumas manchas no extremo sul, região do Barreiro. Ademais, as unidades de conservação existentes no município guardam, da mesma forma, espaços não-ocupados.

Hall (1984) apresenta uma série de impactos decorrentes da urbanização em um sistema hídrico. De uma forma geral, esses podem ser resumidos em dois processos: i) aumento da densidade demográfica, que tende a ampliar as demandas de recursos hídricos e, concomitantemente, comprometer a sua qualidade; ii) aumento da densidade de construções, que tende a impermeabilizar o solo e modificar o sistema de drenagem, alterando as características do balanço hidrológico local.

Em sentido amplo, todas as áreas urbanas são afetadas por esses processos, alterando as características dos seus sistemas hídricos. Porém, a intensidade dos impactos em metrópoles, como no caso de Belo Horizonte, é consideravelmente maior, promovendo conseqüências mais severas à população e ao meio.

Em curto prazo, a mais visível conseqüência da urbanização para a população é o aumento do número e intensidade das inundações (HALL, 1984). O motivo para tal resposta do sistema hidrológico é a redução da capacidade de infiltração, seja por retirada da cobertura vegetal, compactação do solo e, principalmente, a sua impermeabilização. Porém, os impactos urbanos

podem gerar efeitos que somente serão percebidos pela população depois de décadas, com efeitos, muitas vezes, irreversíveis.

Enumera-se, no QUADRO 3, uma série de impactos ambientais urbanos e suas possíveis – e prováveis – conseqüências na dinâmica – qualitativa e quantitativa – das nascentes. Ressalta-se que não há qualquer intenção de esgotar o assunto, mas de fazer um levantamento baseado na realidade belo-horizontina, que possa elucidar a discussão proposta.

QUADRO 3: IMPACTOS AMBIENTAIS URBANOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A DINÂMICA DAS NASCENTES

| IMPACTOS | CONSEQUÊNCIAS GERAIS NO SISTEMA HÍDRICO | CONSEQUÊNCIAS PARA AS NASCENTES |
|---|---|---|
| Impermeabilização do solo | Aumento da quantidade e da velocidade do escoamento superficial. Redução da recarga dos aquíferos. Intensificação dos processos erosivos, aumento da carga sedimentar para os cursos d'água, assoreamento e inundações. | Descaracterização. Redução da vazão. Desaparecimento. |
| Resíduos líquidos e sólidos (combustível, esgoto, lixões, etc.) | Poluição das águas subterrâneas. | Redução na qualidade da água. |
| Retirada de água subterrânea | Rebaixamento do nível freático. | Redução da vazão. Desaparecimento. |
| Retirada da cobertura vegetal | Intensificação dos processos erosivos, assoreamento, inundações. Diminuição da retenção de água. Aumento da energia dos fluxos superficiais. | Descaracterização. Redução da vazão. Desaparecimento. |
| Construções | Drenagem de nascentes. Aterramento. | Descaracterização. Desaparecimento. |
| Canalização de rios | Aumento da velocidade e da energia dos fluxos. Alteração no padrão de influência/efluência dos rios. | Descaracterização. Redução da vazão. |
| Ilha de calor | Alteração no padrão de chuvas. Alteração no padrão de recarga. | Alteração da vazão. |

Fonte: Elaboração do autor.

Assim, acredita-se que as principais conseqüências das intervenções urbanas na dinâmica das nascentes são as alterações de vazão. Em casos extremos, a redução do fluxo pode significar o desaparecimento da nascente, sua transformação em nascente temporária ou sua migração para jusante. Isso se explica pelo fato dos sistemas hidrológicos envolverem uma cadeia de processos interconectados, nos quais a ruptura dos fluxos de energia e matéria altera sua dinâmica e as características das nascentes.

Em Belo Horizonte, sabe-se que a substituição de matas e capoeiras nas margens das nascentes por loteamentos é um processo complexo, inerente à metropolização, porém com conseqüências graves. Segundo Genrich (2002), em 1994 todas as nascentes da alta porção da bacia do córrego Vilarinho – região de Venda Nova, no norte de Belo Horizonte – apresentavam cursos d’água em canais naturais com margens vegetadas, porém, em 2001, verificou-se que várias nascentes foram canalizadas ou mesmo extintas.

Como afirmado anteriormente, os fluxos de água em subsuperfície são de suma importância na manutenção do equilíbrio hidrológico e determinantes na configuração espacial das nascentes. Por isso, intervenções nos processos de infiltração e percolação tendem a modificar os padrões dos fluxos subterrâneos e, conseqüentemente, a exfiltração em zonas de descarga – baixo potencial hidráulico. Intervenções diretamente nos aquíferos como drenagem subterrânea para construções ou retirada de água para consumo, alteram os volumes de água do nível freático, impactando as nascentes.

Deste modo, proteger pontualmente as áreas de nascentes não garante a manutenção do equilíbrio hidrológico, já que elas são o resultado de uma dinâmica complexa da água que envolve desde a recarga até a descarga, promovida por processos superficiais e subsuperficiais. Alterações nos volumes de água subterrânea e nas áreas superficiais à montante das nascentes são potencialmente impactantes às nascentes, nesse sentido, a bacia hidrográfica ganha importância como unidade de gestão.

7.2. *Aplicação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN*

Apesar da notável importância das unidades de conservação na manutenção do equilíbrio ambiental e na minimização das interferências antrópicas, não se pode ignorar a existência de impactos no seu interior. A delimitação dessas unidades não impede a influência do entorno, tampouco seus usos podem ser desconsiderados na alteração da paisagem.

No caso de parques urbanos, o entorno configura-se como um espaço construído complexo, onde a densidade – de pessoas, serviços, bens materiais e imateriais, etc. – é chave de interpretação. Nesse sentido, é praticamente inevitável que as unidades de conservação reflitam conseqüências ambientais das alterações promovidas em seus entornos. Porém, ainda assim, nessas áreas verdes encravadas na metrópole se encontram as maiores manifestações de equilíbrio ambiental.

Considerados como um conjunto de modificações no meio promovidas pelas atividades humanas, com efeito ecológico, econômico e social (SINGER, 1985 *apud* GENRICH, 2002), os impactos ambientais foram avaliados neste trabalho a partir da interpretação visual e subjetiva das nascentes. Como técnica, utilizou-se o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN –, apresentado por Gomes *et al* (2005a).

Gomes *et al* (2005a) elaboraram uma classificação do grau de impacto de nascente simples, prática, didática e com resultados satisfatórios. Segundo os autores, a proposta baseou-se na Classificação do Grau de Impacto de Nascente do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal e no Guia de Avaliação da Qualidade das Águas da Rede das Águas⁴⁴.

O objetivo deste procedimento foi de verificar de forma qualitativa o grau de proteção em que as nascentes se encontram. Para tanto, o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN – foi relido criticamente, de forma a adaptar suas variáveis às necessidades e objetivos deste trabalho, sem, entretanto, ferir os pressupostos metodológicos originais⁴⁵. A técnica consiste na avaliação sensorial – macroscópica – e comparativa de alguns elementos-chave na identificação de impactos ambientais e suas conseqüências sobre a qualidade das nascentes.

Assim, os onze parâmetros escolhidos para avaliação são qualificados de acordo com o QUADRO 4. O atributo definido – bom, médio ou ruim – é convertido em um escore. O somatório dos escores creditados a cada parâmetro consiste no índice. Como não há pesos, o máximo valor do índice neste trabalho é 33 – quando todos os parâmetros são considerados “bons” – e o mínimo 11 – quando todos os parâmetros são considerados “ruins”. Por fim, o QUADRO 5 apresenta a interpretação desses valores.

Considerando que todas as nascentes avaliadas pelo IIAN encontram-se no interior de unidades de conservação, pode-se afirmar que os resultados obtidos foram preocupantes e reiteram a complexidade da proteção ambiental em áreas metropolitanas. Apesar de uma análise friamente quantitativa guiar para uma resposta otimista em relação ao grau de proteção das nascentes nos parques estudados, a espacialidade dos IIAN demonstra que a realidade de cada um dos parques é consideravelmente distinta.

⁴⁴ Para maiores informações sobre os órgãos: <<http://snirh.pt>>; <<http://www.rededasaguas.org.br>>.

⁴⁵ As adaptações realizadas foram motivadas pelo fato de as nascentes deste estudo encontrarem-se em unidades de conservação o que não fora previsto pela metodologia original.

QUADRO 4: METODOLOGIA DO ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL MACROSCÓPICO EM NASCENTES

| Parâmetro Macroscópico | Qualificação | | |
|-------------------------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| | Ruim (1) | Médio (2) | Bom (3) |
| Cor da água | escura | clara | transparente |
| Odor da água | forte | com odor | não há |
| Lixo ao redor da nascente | muito | pouco | não há |
| Materiais flutuantes (lixo na água) | muito | pouco | não há |
| Espumas | muito | pouco | não há |
| Óleos | muito | pouco | não há |
| Esgoto na nascente | visível | provável | não há |
| Vegetação | degradada ou ausente | alterada | bom estado |
| Usos da nascente | constante | esporádico | não há |
| Acesso | fácil | difícil | sem acesso |
| Equipamentos urbanos | a menos de 50 metros | entre 50 e 100m | a mais de 100m |

Fonte: adaptado de GOMES *et al*, 2005a.

QUADRO 5: CLASSIFICAÇÃO DAS NASCENTES QUANTO AOS IMPACTOS MACROSCÓPICOS (soma dos pontos obtidos)

| Classe | Grau de proteção | Pontuação |
|----------|------------------|--------------|
| A | Ótimo | 31 - 33 |
| B | Bom | 28 - 30 |
| C | Razoável | 25 - 27 |
| D | Ruim | 22 - 24 |
| E | Péssimo | Abaixo de 21 |

Fonte: adaptado de GOMES *et al*, 2005a.

A TAB. 2 apresenta de forma analítica o IAN de cada uma das nascentes estudadas, relacionando-as com o grau de proteção que apresentam. Os dados levantam uma reflexão quanto à efetividade do papel dessas unidades de conservação.

TABELA 2: ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL EM NASCENTES E SEUS RESPECTIVOS GRAUS DE PROTEÇÃO
(continuação)

| ID | Grau de Proteção | IIAN | Cor da água | Odor | Lixo ao redor | Flutuantes | Espumas | Óleos | Esgoto | Vegetação | Usos | Acesso | Equip. urbano |
|------|------------------|------|-------------|------|---------------|------------|---------|-------|--------|-----------|------|--------|---------------|
| N031 | C | 27 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| N032 | C | 26 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| N033 | B | 28 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| N034 | C | 27 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| N035 | A | 32 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| N036 | B | 30 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| N037 | C | 25 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| N038 | B | 29 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| N039 | B | 29 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| N040 | C | 26 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| N041 | B | 29 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| N042 | A | 32 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| N043 | B | 30 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| N044 | B | 30 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| N045 | A | 32 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| N046 | A | 32 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N047 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N048 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N049 | A | 31 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| N050 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N051 | A | 32 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N052 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N053 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N054 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N055 | A | 32 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N056 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N057 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N058 | A | 31 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| N059 | C | 25 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |

TABELA 2: ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL EM NASCENTES E SEUS RESPECTIVOS GRAUS DE PROTEÇÃO
(continuação)

| ID | Grau de Proteção | IIAN | Cor da água | Odor | Lixo ao redor | Flutuantes | Espumas | Óleos | Esgoto | Vegetação | Usos | Acesso | Equip. urbano |
|------|------------------|------|-------------|------|---------------|------------|---------|-------|--------|-----------|------|--------|---------------|
| N060 | B | 29 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| N061 | D | 22 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| N062 | C | 27 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| N063 | D | 23 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N064 | C | 26 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| N065 | C | 27 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| N066 | E | 16 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| N067 | E | 19 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| N068 | E | 21 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N069 | C | 27 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| N070 | C | 25 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| N071 | C | 26 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| N072 | C | 25 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| N073 | A | 32 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| N074 | C | 25 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| N075 | D | 24 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| N076 | B | 30 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| N077 | D | 24 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| N078 | E | 18 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| N079 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| N080 | A | 33 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Fonte: Pesquisa de campo.

Considerando-se todo o conjunto de nascentes, nota-se que a maioria absoluta – 64,6% – possui grau de proteção ótimo ou bom, com percentuais de 40,5 e 24,1% respectivamente. Por outro lado, apenas 11,4% das nascentes foi classificada com graus de proteção péssimo e ruim. Ademais, na categoria intermediária, encontram-se 24,1% do total de nascentes estudadas (GRÁFICO 3).

Observa-se pelo GRÁFICO 4 que a maioria absoluta das nascentes possui IIAN superior a 25, sobretudo entre 25 e 30. Além disso, 12 nascentes – 15,2% – encontram-se com o máximo valor possível desse índice – 33. Abaixo de 25, apenas nove nascentes são enquadradas, correspondendo a 11,4% do total. O grau de proteção mais crítico, porém, é verificado em três nascentes – 3,8% – que se encontram abaixo do limiar 20 para o IIAN.

Porém, observando os dados desagregados por parques, verifica-se que o peso do número total de nascentes do Parque das Mangabeiras, mascara o resultado e induz a conclusões equivocadas. Efetivamente, todas as nascentes da classe A encontram-se neste parque, representando os 40,5% do total do conjunto e 53,3% do subconjunto Mangabeiras. Em outras palavras, não foram encontradas nascentes com grau de proteção ótimo no Parque Lagoa do Nado, tampouco no Primeiro de Maio.

No Parque das Mangabeiras, as nascentes das classes A e B somam 81,6% do total, sendo que nenhuma foi classificada com grau de proteção péssimo e somente 1,7% com grau ruim. Neste parque, o IIAN médio é de 30,23 – classe B –, consideravelmente superior à média de todo o rol – 28,77. Os parâmetros que mais contribuíram positivamente com o IIAN foram *cor da água* e *espuma*, ambas com 100% das nascentes deste parque categorizadas no nível bom (QUADRO 5). Por outro lado, o parâmetro *acesso* apresentou os piores resultados no Parque das Mangabeiras, com 25% das nascentes qualificadas como ruins, seguido do *uso*, devido às atividades de turismo e lazer no interior do parque.

O Parque Primeiro de Maio apresenta a segunda maior média de IIAN: 26,00; valor, porém bastante inferior à média do rol. Esse valor enquadraria o conjunto das nascentes do parque na classe C, justamente a classe em que 71,4% se encontra. Os demais 28,6% se dividem igualmente entre as classes B e D, com graus de proteção bom e ruim, respectivamente. Nota-se que o Parque Primeiro de Maio não apresentou nenhuma nascente nas classes extremas – A ou E.

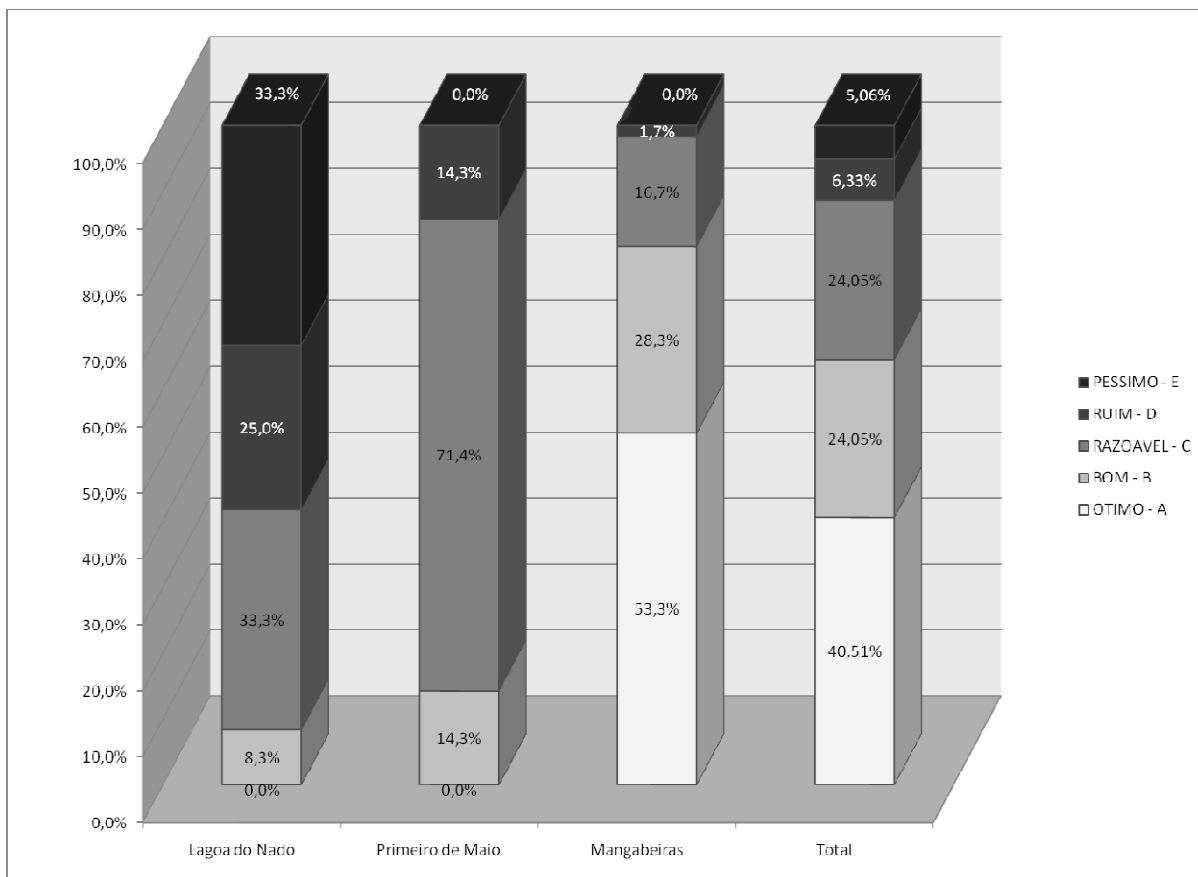


GRÁFICO 3: Distribuição percentual do grau de proteção das nascentes estudadas.
 Fonte: Pesquisa de campo.

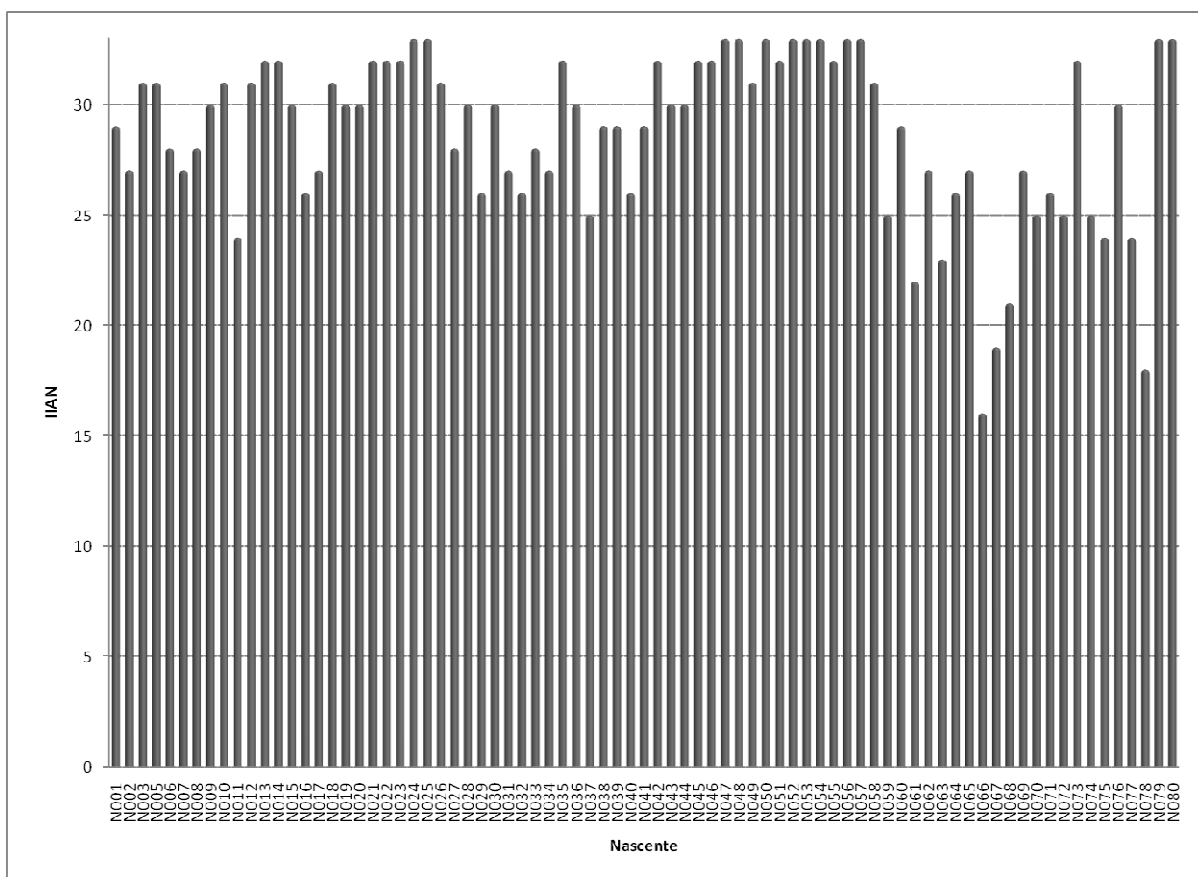


GRÁFICO 4: Dispersão do IIAN em função das nascentes.
 Fonte: Pesquisa de campo.

Quanto aos parâmetros utilizados no cálculo do IIAN, o Parque Primeiro de Maio apresentou 100% de suas nascentes com qualificação máxima em quatro deles: *cor da água*, *odor*, *materiais flutuantes* e *espumas*. Todavia, foi o parque que apresentou o pior resultado para os parâmetros *equipamentos urbanos* e *vegetação*. Além do alto grau de alteração da vegetação no interior do parque, todas as nascentes se encontram a menos de 50 metros de equipamentos urbanos que estão fora dos limites da unidade de conservação.

Por sua vez, o Parque Lagoa do Nado apresentou os piores resultados para o IIAN. Da mesma forma que no Primeiro de Maio, nenhuma nascente se enquadrou na classe A, todavia, somente 8,3% estão na classe B. A classe C – grau de proteção razoável – abrange 33,3% do total das nascentes do Lagoa do Nado e a classe D, 25%.

Surpreende o elevado percentual de nascentes na classe E, com grau de proteção péssimo: 33,3%. Assim, o Parque Lagoa do Nado foi o único que apresentou alguma nascente nessa classe, produzindo um total de 5,1% no rol completo das nascentes.

Isso pode ser explicado pelo resultado mediano em parâmetros que tiveram resultados muito positivos nos outros parques, como *cor da água*, *odor* e *espumas*, associado ao péssimo resultado dos parâmetros *usos*, *acesso* e *equipamentos urbanos*, todos com metade ou mais das nascentes classificadas como ruins (QUADRO 5). Desse modo, o resultado médio do IIAN para o Parque Lagoa do Nado foi de 23,08, o mais baixo entre os três estudados, colocando o conjunto de suas nascentes na classe D, com grau de proteção ruim.

Esses resultados reiteram a heterogeneidade entre as unidades de conservação. Notadamente, suas características espaciais, bem como de seu entorno imediato, definem as possibilidades e impossibilidades de proteção em seu interior. A bacia hidrográfica pode ser um elemento-chave na interpretação da maior ou menor suscetibilidade a impactos de alguns parques.

Além de possuir a maior área dentre os parques estudados – 2.417.000 m² –, o Parque das Mangabeiras ocupa grande parte da bacia hidrográfica na qual se insere, de forma que apenas uma pequena porção do parque sofre influência de montante da área urbana (FIG. 65). Além disso, o entorno do parque possui uma densidade de construções e pessoas visivelmente inferior àquela verificada nos demais parques. Outro fator que contribui para um maior grau de proteção das nascentes é a densidade da vegetação no interior do Parque das Mangabeiras,

o que dificulta o acesso e minimiza processos erosivos. Essas características tomadas em conjunto, possibilitam explicar o excelente resultado obtido pelas nascentes desse parque no IIAN.

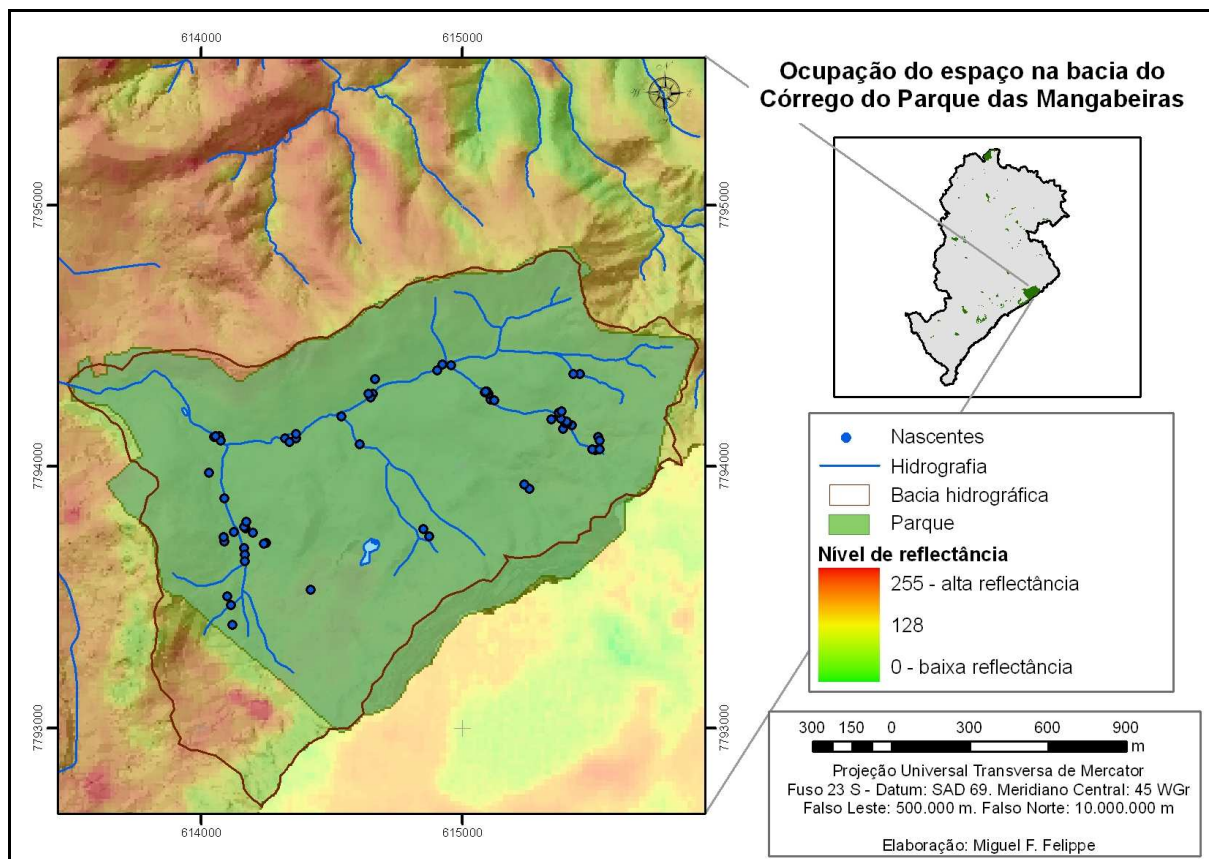


FIGURA 65 – Ocupação do espaço na bacia do Córrego do Parque das Mangabeiras.

Fonte das bases cartográficas: FPM-PBH.

Por outro lado, os parques Lagoa do Nado e Primeiro de Maio possuem características semelhantes, pois ambos são unidades de conservação estabelecidas em fundos de vales fluviais. Toda a porção a montante das suas respectivas bacias encontra-se urbanizada, com densidade de construções que variam de média a alta (FIG. 66 e 67). Assim, a influência a área ocupada na dinâmica da nascente será maior quanto maior for essa área e quanto mais próximo do limite do parque estiverem as nascentes. Essa característica é exponencializada devido à área desses parques – 307.000 m² no Lagoa do Nado e 34.000 m² no Primeiro de Maio – consideravelmente inferior à do Mangabeiras.

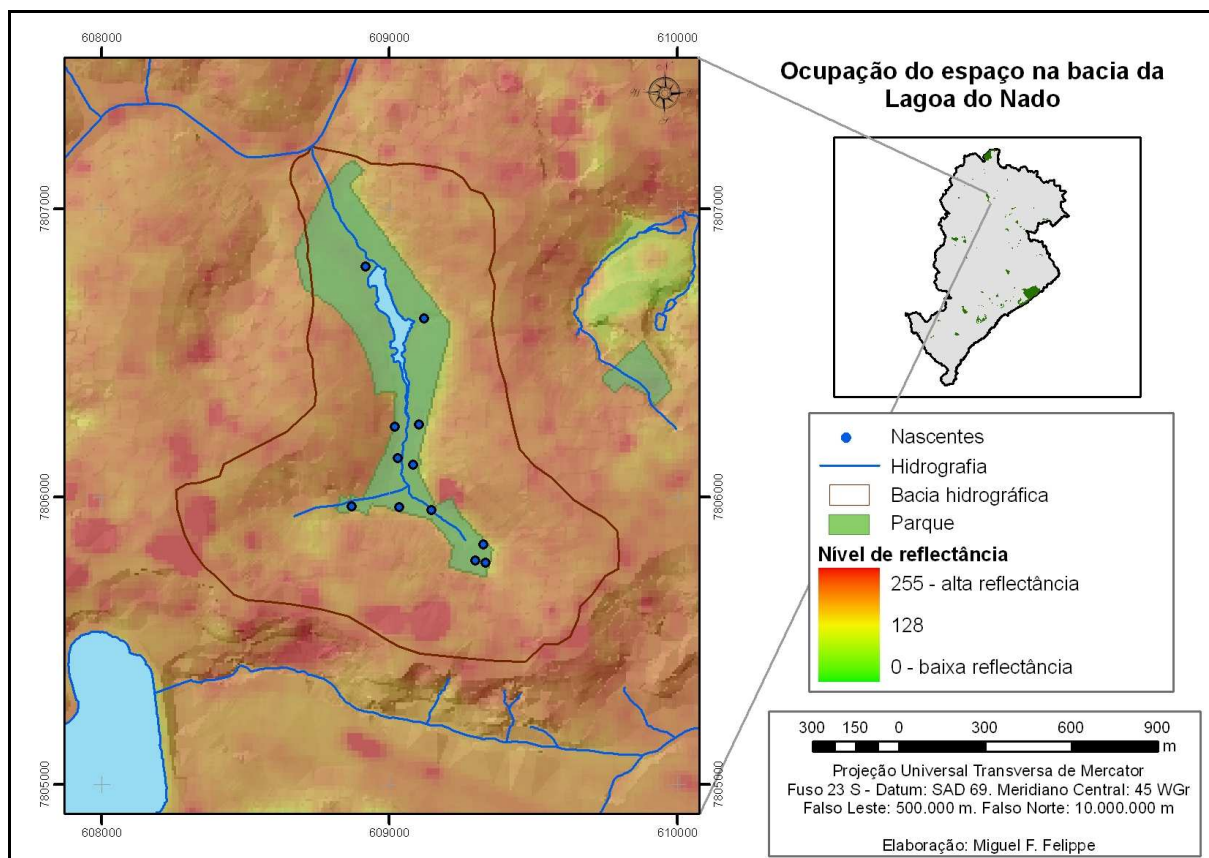


FIGURA 66 – Ocupação do espaço na bacia da Lagoa do Nado.

Fonte das bases cartográficas: FPM-PBH.

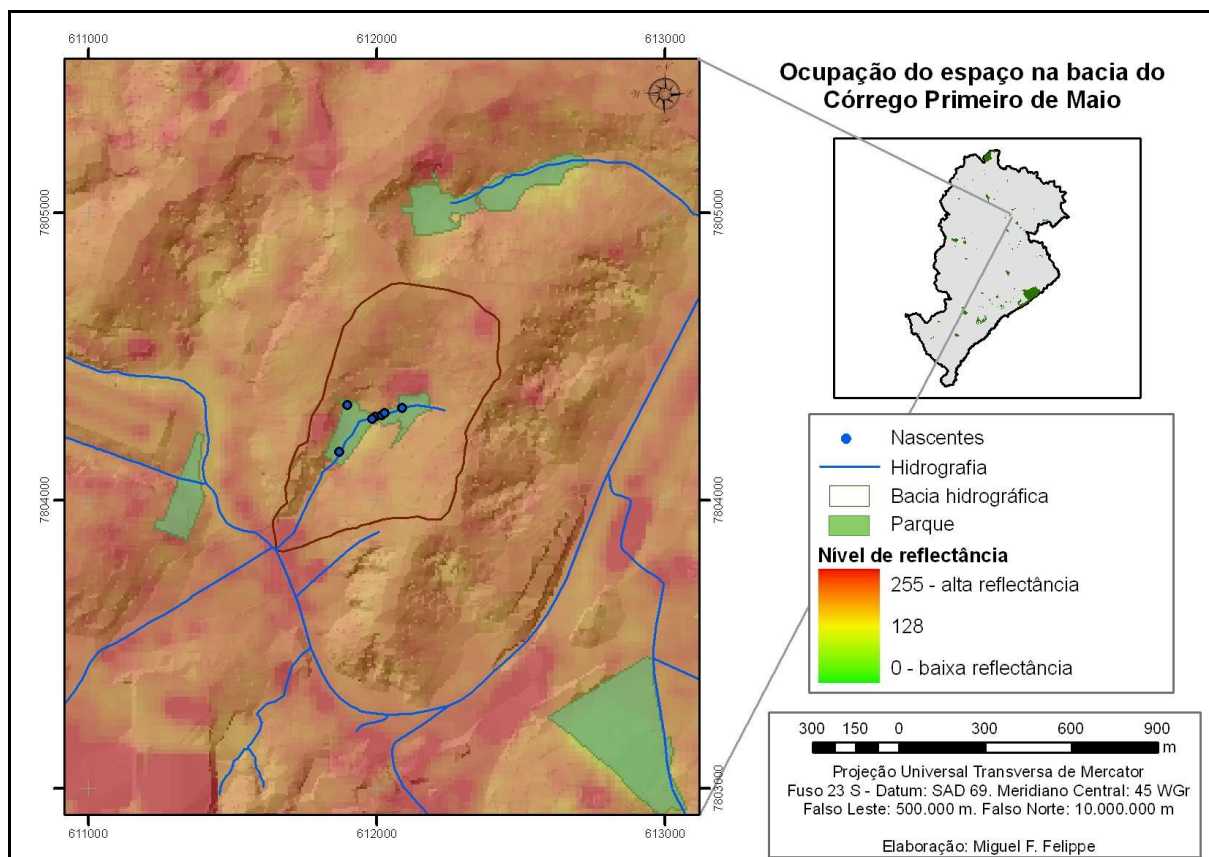


FIGURA 67 – Ocupação do espaço na bacia do Córrego Primeiro de Maio.

Fonte das bases cartográficas: FPM-PBH.

Isso é refletido no IIAN das nascentes dos parques Lagoa do Nado e Primeiro de Maio. Em termos gerais, praticamente todas as nascentes estão localizadas muito próximas à área urbana – menos de 50 metros. Além disso, o acesso às nascentes é relativamente fácil, com usos de lazer em suas imediações. No caso do Parque Lagoa do Nado, outro fator que reduz o IIAN de suas nascentes é a evidência de esgotamento sanitário indevido nos canais de drenagem do interior do parque.

Por fim, é possível afirmar que o simples estabelecimento de uma unidade de conservação não garante a manutenção do equilíbrio ambiental local, como já afirmaram diversos autores. Porém, não é negligenciável o fato de que as nascentes encontradas no interior de parques urbanos são, muito provavelmente, aquelas de maior grau de proteção de uma metrópole.

É inevitável que a transformação do espaço para a ocupação humana acarrete em impactos ambientais, inclusive, sobre as nascentes. Nesse sentido, as unidades de conservação possuem um papel de relevância, garantido a coexistência dos processos estritamente físicos com os usos da sociedade.

Porém, foi demonstrado que mesmo no interior de parques municipais, considerados pelo SNUC como áreas de proteção integral, as conseqüências da ocupação urbana são visíveis. A impermeabilização do solo, a deficiente drenagem pluvial, as falhas no sistema de saneamento, entre tantos outros problemas, promovem a redução da qualidade ambiental das nascentes.

Contudo, sabe-se que o processo de gestão ambiental e de gestão do território não deve se restringir ao manejo do interior das unidades de conservação. O planejamento urbano e regional deve abarcar preocupações com a busca do funcionamento equilibrado dos processos ambientais de caráter ecológico, econômico e social, minimizando problemas atuais e evitando os do futuro. A proteção das áreas de recarga subterrânea garante a integridade das nascentes quanto à quantidade e à qualidade da água exfiltrada. Por sua vez, as nascentes devem ser identificadas, estudadas e suas Áreas de Preservação Permanente respeitadas, para que se garanta a proteção dos sistemas hidrológicos superficiais.

7.3. *Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade das águas*

A interpretação da qualidade das águas é essencial para a qualidade ambiental *latu senso*. Primeiramente, pelo fato dos meios hídricos configurarem-se como importantes ecossistemas, necessários para o equilíbrio ambiental. Em segundo lugar, pela peculiaridade que os recursos hídricos possuem de sintetizar a dinâmica ambiental de um espaço, em função de sua extrema sensibilidade a impactos.

A literatura acadêmica relata uma série de parâmetros utilizados para qualificar as águas. Em meio urbano, as principais fontes de poluição dos ambientes hídricos são associadas a deficiências no saneamento (CARMO, 2002). Nessas condições, microorganismos patogênicos existentes nos efluentes podem entrar em contato com os corpos hídricos, alterando sua qualidade. Além disso, o risco de contaminação vulnerabiliza a população que utiliza a água.

Nesse sentido, a qualidade das águas deve ser, inevitavelmente, atrelada ao uso que é feito – ou pretende-se fazer – do recurso (VON SPERLING, 2005). No contexto brasileiro, a Resolução CONAMA nº 357 estipula níveis toleráveis de alteração de diversos parâmetros de qualidade de água para diversas finalidades (BRASIL, 2005). Resumidamente, pode-se afirmar que usos mais nobres – como abastecimento doméstico ou lazer – exigem qualidade das águas superior; por outro lado usos menos nobres – como diluição de efluentes ou navegação – permitem maior nível de alteração dos parâmetros de qualidade.

Dentre os parâmetros biológicos de qualidade da água, destacam-se os microorganismos patogênicos. Sendo que

os microorganismos desempenham diversas funções de fundamental importância, principalmente as relacionadas com a transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos. (...) [Porém] Outro aspecto de grande relevância em termos da qualidade biológica da água é o relativo à possibilidade de transmissão de doenças (VON SPERLING, 2005. p. 43).

Em termos biológicos, a presença de microorganismos patogênicos na água é essencial na interpretação de seu nível de poluição/contaminação. Doenças veiculadas pela água respondem por 70% das ocorrências médicas no mundo (BARBOSA; BARRETO, 2008), sendo que as principais patogenias são a cólera, febre tifóide e paratifóide, gastroenterite, salmonelose e diarreias (MORMUL *et al*, 2006; VON SPERLING, 2005).

Considerando que os agentes patogênicos de veiculação hídrica têm em comum sua origem nas fezes de indivíduos doentes ou portadores de doenças, uma alternativa para a avaliação da qualidade microbiológica da água é o exame de indicadores de contaminação fecal (MORMUL *et al*, 2006. p. 37).

Todavia, há uma grande dificuldade metodológica – relacionada aos custos da pesquisa – de mensurar de forma direta os microorganismos patogênicos presentes em uma amostra de água (VON SPERLING, 2005). Assim, a possibilidade de transmissão de doenças pela água pode ser avaliada de forma indireta, através de organismos indicadores de contaminação fecal. Estes não são necessariamente patogênicos, mas sua origem – intestino de animais de sangue quente – aponta para a presença de outros microorganismos entéricos, porém, patogênicos (MORMUL *et al*, 2006; VON SPERLING, 2005).

Para tanto, as bactérias do grupo *Coliformes* tem sido os principais indicadores biológicos de contaminação fecal e risco de presença de organismos patogênicos (VON SPERLING, 2005). Diversos gêneros de bactérias pertencem ao grupo Coliformes, sendo que nem todos são indicativos de contaminação fecal (MORMUL *et al*, 2006; GOMES *et al*, 2005b). Nesse sentido, sobretudo os chamados *Coliformes fecais*⁴⁶ são de extremo interesse, ao englobar os gêneros entéricos *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*.

Outro gênero de bactérias potencialmente causadoras de doenças e com veiculação hídrica é o *Salmonella sp.* Da mesma forma que os *Coliformes fecais*, a *Salmonella* possui ciclo de vida entérico, sendo indicativo de poluição por fezes. Ademais, é causadora de patogenias consideravelmente perigosas à saúde humana.

Segundo Brasil (2004), bactérias do grupo coliformes não podem estar presentes na água destinada ao consumo humano, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras. Todavia,

Em amostras individuais procedentes de poços, fontes, nascentes e outras formas de abastecimento sem distribuição canalizada, tolera-se a presença de coliformes totais, na ausência de *Escherichia coli* e, ou, coliformes termotolerantes, nesta situação devendo ser investigada a origem da ocorrência, tomadas providências imediatas de caráter corretivo e preventivo e realizada nova análise de coliformes. (BRASIL, 2004. Art. 11, § 9º).

Porém, essa realidade não é verificada nos trabalhos de Mormul *et al* (2006) e Gomes (2005b), realizados respectivamente nas cidades de Campo Mourão-PR e Uberlândia-MG,

⁴⁶ Também chamados na literatura mais recente de *Coliformes Termotolerantes*, devido à característica do seu ciclo de vida de tolerância a temperaturas mais elevadas. Neste trabalho, utiliza-se ambas denominações indiscriminadamente, em concordância com as definições apresentadas por Von Sperling (2005).

nos quais em todas as nascentes estudadas foram encontrados indivíduos do grupo *Coliformes*, inclusive do tipo fecal – termotolerante.

No intuito de qualificar a água das nascentes estudadas em parques urbanos de Belo Horizonte, neste trabalho, foi verificada a presença e contabilizado o número de Unidades Formadoras de Colônias – UFC – para *Coliformes totais*, *Coliformes fecais* e *Salmonella sp.* em todas as nascentes perenes identificadas. A metodologia utilizada foi do kit microbiológico da Alfakit, que mensura a presença de microorganismos a partir da formação de colônias em fita indicadora incubada entre 36 e 37°C por 15 horas.

As coletas foram realizadas nos trabalhos de campo de inverno, nos meses de junho e julho de 2009. Por isso, somente 58 nascentes tiveram seus parâmetros microbiológicos avaliados, justamente aquelas que mantinham fluxos no período de estiagem pluviométrica. Todas as coletas foram realizadas com o mínimo de contato possível na água das nascentes, tendo sido, em todos os casos, o primeiro procedimento realizado no local de estudo.

Os resultados obtidos nas análises, juntamente com os dados de pH medido nas nascentes, são apresentados na TAB. 3.

| TABELA 3 - PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS E PH DAS NASCENTES ESTUDADAS | | | | |
|---|-----------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| ID | pH | Coliformes Totais* | Coliformes Fecais* | Salmonella* |
| N001 | 6,09 | 0 | 0 | 0 |
| N002 | 6,71 | 660 | 0 | 0 |
| N003 | 6,83 | 2.400 | 60 | 60 |
| N005 | 6,74 | 0 | 0 | 0 |
| N006 | 6,67 | 0 | 0 | 0 |
| N007 | 6,04 | 420 | 60 | 0 |
| N008 | 7,05 | 360 | 0 | 0 |
| N009 | 7,18 | 240 | 0 | 0 |
| N010 | 7,37 | 600 | 0 | 0 |
| N011 | 6,16 | 3.780 | 540 | 960 |
| N012 | 6,77 | 840 | 0 | 1.080 |
| N013 | 7,08 | 4.140 | 240 | 0 |
| N014 | 6,26 | - | - | - |
| N015 | 6,28 | - | - | - |
| N016 | 6,61 | - | - | - |
| N017 | 6,86 | - | - | - |
| N018 | 7,13 | - | - | - |
| N019 | 6,84 | - | - | - |
| N020 | 7,00 | - | - | - |
| N021 | 7,41 | 240 | 0 | 0 |

TABELA 3 - PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS E PH DAS NASCENTES ESTUDADAS (continuação)

| ID | pH | Coliformes Totais* | Coliformes Fecais* | Salmonella* |
|------|------|--------------------|--------------------|-------------|
| N022 | 6,60 | - | - | - |
| N023 | 7,16 | 0 | 0 | 0 |
| N024 | 7,02 | 4.380 | 0 | 0 |
| N025 | 7,06 | - | - | - |
| N026 | 6,92 | 60 | 0 | 0 |
| N027 | 6,87 | - | - | - |
| N028 | 7,79 | 960 | 120 | 720 |
| N029 | 7,42 | 0 | 0 | 0 |
| N030 | 6,79 | - | - | - |
| N031 | 6,98 | - | - | - |
| N032 | 6,93 | - | - | - |
| N033 | 6,87 | - | - | - |
| N034 | 7,15 | 1.440 | 300 | 0 |
| N035 | 5,96 | 0 | 0 | 0 |
| N036 | 5,10 | - | - | - |
| N037 | 5,88 | 120 | 0 | 0 |
| N038 | 6,52 | 3.360 | 0 | 0 |
| N039 | 6,19 | 120 | 0 | 0 |
| N040 | 6,25 | - | - | - |
| N041 | 6,10 | 360 | 0 | 0 |
| N042 | 6,60 | 0 | 0 | 0 |
| N043 | 6,68 | 480 | 0 | 0 |
| N044 | 6,44 | 0 | 0 | 0 |
| N045 | 6,40 | 2.040 | 360 | 0 |
| N046 | 7,46 | 840 | 0 | 0 |
| N047 | 6,91 | 1.800 | 240 | 0 |
| N048 | 6,81 | 120 | 0 | 0 |
| N049 | 6,53 | 0 | 0 | 0 |
| N050 | 6,80 | 360 | 0 | 0 |
| N051 | 6,43 | 1.800 | 0 | 0 |
| N052 | 6,91 | - | - | - |
| N053 | 7,00 | - | - | - |
| N054 | 6,81 | - | - | - |
| N055 | 6,82 | 240 | 0 | 0 |
| N056 | 6,95 | 180 | 0 | 0 |
| N057 | 6,83 | 300 | 0 | 0 |
| N058 | 4,63 | 0 | 0 | 0 |
| N059 | 6,53 | 240 | 0 | 120 |
| N060 | 5,99 | 480 | 0 | 0 |
| N061 | 5,64 | 1.200 | 360 | 180 |
| N062 | 5,46 | 1.920 | 840 | 360 |
| N063 | 4,78 | 0 | 0 | 0 |
| N064 | 5,76 | 240 | 0 | 0 |
| N065 | 6,16 | 0 | 0 | 0 |
| N066 | 6,16 | 2.220 | 900 | 1.320 |
| N067 | 5,82 | 120 | 0 | 0 |
| N068 | 6,30 | 1.320 | 0 | 0 |
| N069 | 6,02 | 840 | 360 | 60 |
| N070 | 5,45 | 540 | 0 | 0 |
| N071 | 5,40 | 2.400 | 360 | 120 |
| N072 | 7,13 | - | - | - |
| N073 | 6,01 | 1.500 | 120 | 120 |
| N074 | 5,80 | 1.320 | 120 | 0 |

TABELA 3 - PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS E PH DAS NASCENTES ESTUDADAS (continuação)

| ID | pH | Coliformes Totais* | Coliformes Fecais* | Salmonella* |
|------|------|--------------------|--------------------|-------------|
| N075 | 6,70 | 3.900 | 60 | 60 |
| N076 | 6,28 | 840 | 60 | 60 |
| N077 | 7,13 | - | - | - |
| N078 | 6,18 | 14.520 | 3.000 | 60 |
| N079 | 6,55 | 120 | 0 | 0 |
| N080 | 6,50 | 120 | 0 | 0 |

Fonte: Pesquisa de campo e análises laboratoriais.

* em UFC/100ml.

Há uma grande variabilidade quanto à presença de *Coliformes* e *Salmonella sp.* nas nascentes estudadas, como é evidenciado na TAB. 3. Notadamente, os *Coliformes totais* foram consideravelmente mais presentes nas amostras, enquanto que as *Salmonelas* foram mais raras. Em 79,3% das amostras, houve presença de *Coliformes*, mas os *Coliformes fecais* foram encontrados em 31% – 20 amostras. Já as *Salmonelas*, foram verificadas em 24,1% dos casos.

De acordo com a Portaria de Potabilidade da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – (BRASIL, 2004), somente 20% das amostras se enquadrariam dentro dos padrões de potabilidade em termos microbiológicos. Ademais, a presença de *Salmonella sp.* é um indicador cabal de contaminação.

Para *Coliformes totais*, a média encontrada nas 58 amostras foi de 1.146 UFC/100ml, valor considerado elevado para as expectativas, considerando-se o ambiente de nascente. Apesar da moda calculada ser zero e a mediana ser 390 UFC/100ml, a relação desvio padrão-média – 1,8 – foi a menor dentre os tipos de microorganismos avaliados, indicando baixa dispersão dos dados.

Os dados de *Coliformes fecais* e *Salmonella* tiveram comportamentos estatísticos parecidos. Em ambos, tanto a moda quanto a mediana foi de zero, indicando um grande número de nascentes com ausência desses microorganismos – 40 e 44, respectivamente. As médias também foram consideradas baixas, sendo de 141 UFC/100ml para *Coliformes fecais* e 91 UFC/100ml para *Salmonella sp.* A dispersão foi grande em ambos os casos, com relação desvio padrão-média de 3,1 e 2,9, respectivamente, pelo fato de haver um grande número de amostras com zero e valores de máxima elevados, o que aumentou o desvio.

Vislumbrando-se uma interpretação qualitativa dos dados, foram estabelecidas classes para os dados de microorganismos mensurados (TAB. 4), tendo sido utilizado o método da quebra natural. Cinco classes foram criadas e qualificadas em função da possibilidade de

contaminação por organismos patogênicos em: ótimo, bom, razoável, ruim e péssimo. Os dados classificados são apresentados no GRÁFICO 5.

TABELA 4 - VALORES DE CORTE PARA CLASSIFICAÇÃO PARA MICROORGANISMOS

| | <i>C. Totais</i> | <i>C. Fecais</i> | <i>Salmonella</i> |
|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Ótimo | 0 | 0 | 0 |
| Bom | 0-360 | 0-120 | 0-60 |
| Razoável | 361-840 | 121-360 | 61-180 |
| Ruim | 841-4140 | 361-900 | 181-720 |
| Péssimo | 4141-15000 | 901-3000 | 721-1400 |

Fonte: organização do autor.

Os *Coliformes totais* se apresentam mais bem distribuídos em função das classes estipuladas. Isso porque ao serem coliformes “ambientais” (VON SPERLING, 2005), são naturalmente encontrados no meio e, assim poucas amostras apresentaram zero UFC desses microorganismos. Por outro lado, ressalta-se a magnitude das classes “bom” e “ruim”, cada qual com 29,3% das amostras. Do ponto de vista quantitativo, isso significa que 18 amostras – incluídas nas classes “ruim” e “péssimo” – apresentaram mais de 1.000 UFC/100ml, valor que torna a água inadequada, inclusive, para o lazer (BRASIL, 2004).

Entretanto, como já foi dito, os valores mais significativos para a indicação de contaminação da água por resíduos fecais são os de *Coliformes fecais* e *Salmonella sp.*, posto que essas bactérias não são encontradas no ambiente, senão nos intestinos de animais homeotérmicos. Observando o GRÁFICO 5, nota-se que a distribuição dos valores desses microorganismos é bastante heterogênea entre as classes, com a maioria absoluta das amostras enquadrando-se como ótimas.

Quanto aos *Coliformes fecais*, dos 31% das amostras que foram positivas para estas bactérias, mais da metade encontra-se nas classes “bom” e “razoável”, indicando valores inferiores à 360UFC/100ml. Porém a situação é crítica em 1,7% dos casos, que apresentaram valores acima de 900 UFC/100ml, extremamente altos para estes microorganismos. Comparativamente, apesar dessas nascentes encontrarem-se no interior de unidades de conservação, os valores obtidos são similares aos encontrados por Mormul *et al* (2006), em três nascentes de uma favela em Campo Mourão – PR.

Tamanho é o risco de contaminação em águas com presença de *Salmonella sp.*, que não são estipulados limites de tolerância para essas bactérias em relação à potabilidade ou

balneabilidade da água (BRASIL, 2004). Considera-se que simplesmente sua presença já indica a contaminação por resíduos fecais. Ainda assim, 24,9% das amostras coletadas em nascentes dos parques estudados foram positivas para *Salmonella sp.* Apesar de 15,5% encontrarem-se nas classes “bom” e “razoável” – com valores inferiores a 180UFC/100ml –, expressivos 5,2% encontram-se na classe “péssimo”, dois casos, inclusive, superando 1.000UFC/100ml.

Sabendo-se que as principais fontes de poluição em meio urbano são pontuais e referentes ao esgotamento doméstico, comercial e industrial, buscou-se interpretar os valores encontrados de *Coliformes* e *Salmonella sp.* de forma simultânea. Os resultados porém, não demonstram relação linear entre os dados (GRÁFICOS 6 e 7).

O diagrama de dispersão apresentado como GRÁFICO 6, mostra que há ao menos seis valores extremos para *Salmonella sp.* e *Coliformes totais*, que impedem a existência de correlação significativa. Apesar do ângulo da linha de tendência ser positivo, o valor de R^2 foi muito baixo, indicando ausência de correlação entre os valores desses dois grupos de bactérias.

Ainda que os valores extremos máximos fossem retirados, o R^2 continuaria muito baixo – 0,06 – não indicando correlação linear. Da mesma forma, a retirada dos valores extremos mínimos – zero – não acarretaria em aumento considerável de R^2 , modificando somente a inclinação da tendência. Por fim, a retirada em conjunto dos extremos máximos e mínimos deixaria a linha de tendência com inclinação negativa e R^2 de 0,003, comprovando a ausência de correlação linear.

De modo similar, o GRÁFICO 7 aponta para a ausência de correlação entre os valores de *Salmonella sp.* e *Coliformes fecais*, ainda que o valor de R^2 encontrado – 0,067 – tenha sido maior do que no GRÁFICO 6. Isso ocorre devido ao fato do grupo *Coliformes fecais* encontrar-se inserido nos *Coliformes totais*, desse modo, os resultados das análises de correlação são similares.

Os maiores valores de R^2 foram registrados para tendência polinomial de 6ª ordem, sendo encontrado 0,0163 para *Salmonella sp. x Coliformes totais* e 0,562 para *Salmonella sp. x Coliformes fecais*. Porém, como a literatura acadêmica não relata tal tendência, ela não é conclusiva. Contudo, em qualquer modelo verificado, a relação da *Salmonella sp.* com os *Coliformes fecais* é sempre maior do que com os *Coliformes totais*, fato que é explicado pela

característica dos dois primeiros grupos de bactérias, ambos com espécies entéricas e associados à contaminação das águas.

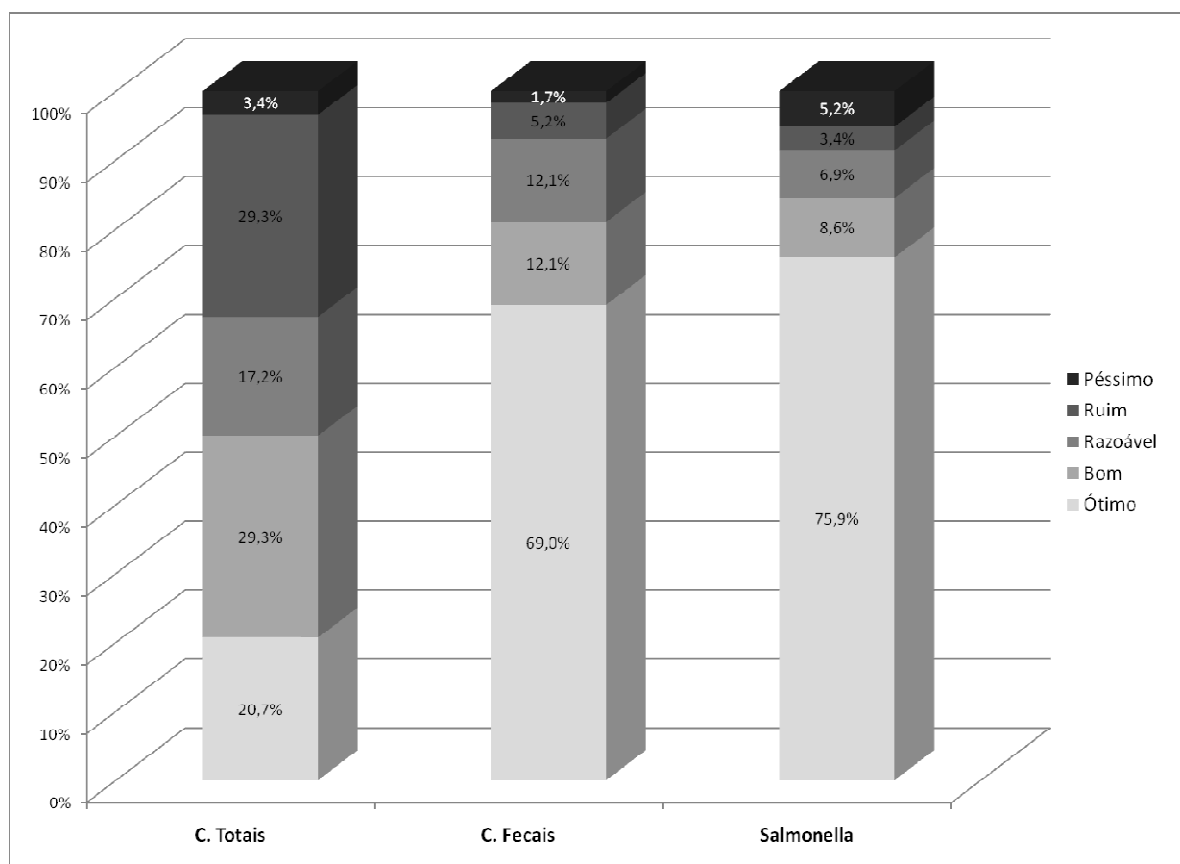


GRÁFICO 5 – Distribuição percentual das classes de qualidade das águas das nascentes em função dos microorganismos indicadores de contaminação.

Fonte: Pesquisa de campo e análise laboratorial.

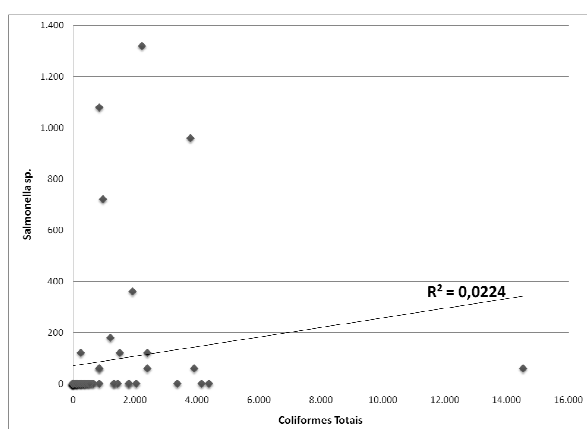


GRÁFICO 6 – Dispersão de *Salmonella sp.* em função de *Coliformes totais*.

Fonte: Pesquisa de campo e análise laboratorial.

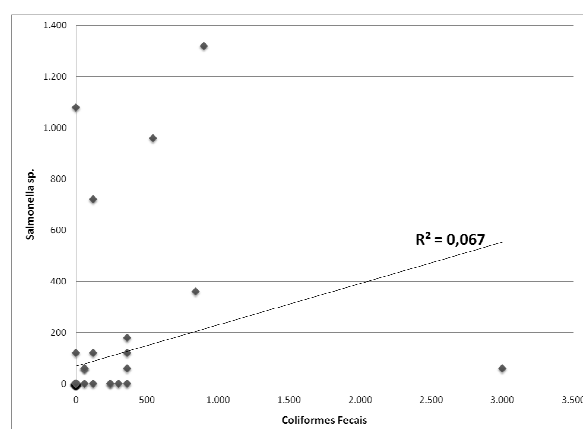


GRÁFICO 7 – Dispersão de *Salmonella sp.* em função de *Coliformes fecais*.

Fonte: Pesquisa de campo e análise laboratorial.

Contudo, a interpretação dos dados mostrou que a presença de microorganismos indicadores de patologia não é função somente das fontes de poluição. Nesse caso, nascentes que

estivessem próximas teriam valores similares de bactérias, o que não foi verificado. Assim, buscou-se nas características das próprias nascentes a interpretação para tal distinção.

Sabe-se que no próprio solo – poluído ou não – existem bactérias constituindo um ecossistema edáfico. Desse modo, é provável que nascentes em que a água fique mais tempo em contato com o solo, sejam enriquecidas dessas bactérias. Dos tipos de bactérias mensuradas, os *Coliformes totais* são encontrados em meio não-poluído, de forma natural. Já os outros tipos, em princípio, exigem uma fonte poluidora.

Considerando que o tempo de permanência da água no solo é função da energia – velocidade – do fluxo, duas variáveis podem ser utilizadas nessa averiguação: tipo de exfiltração e a vazão. Apesar da vazão, por ser quantitativa, permitir análises mais precisas, somente para 35 nascentes foi possível mensurar esse parâmetro nos campos de inverno. O tipo de exfiltração pode, então, ser utilizado de forma complementar, permitindo somente análises qualitativas.

O GRÁFICO 8 apresenta a dispersão dos valores obtidos para os microorganismos em função da vazão das nascentes, evidenciando a linha de tendência e o R^2 . Nota-se que apesar dos baixos valores de R^2 obtidos para a tendência linear para os três casos, a inclinação da reta é sempre negativa. De certa forma, essa verificação auxilia na resposta da influência das características naturais das nascentes, na quantidade de *Coliformes*, sobretudo. Ou seja, realmente, quanto menor a vazão, mais provável que a água das nascentes possua elevado valor de coliformes.

A quantidade de fatores que podem influenciar essa relação, em campo, é incontável. Por isso, não é possível obter um R^2 alto, mesmo que a tendência esteja nítida. Possivelmente, identificando as fontes de poluição e agrupando as nascentes a partir dessa nova variável, possa ser possível obter respostas mais conclusivas sobre a influência da vazão.

Por hora, pode-se ampliar os resultados obtidos por essa análise quantitativa simples, a partir da interpretação qualitativa da forma de exfiltração, que é evidenciada no GRÁFICO 9. Sabe-se que a exfiltração difusa é aquela que apresenta menor velocidade, promovendo áreas de solo encharcado em que a água tende a manter maior contato com os microorganismos ali presentes. Por outro lado, a exfiltração pontual é a de maior velocidade, em que a água sai do solo de forma localizada, constituindo um fluxo único. Nada se pode afirmar quanto à velocidade do fluxo em nascentes com exfiltração múltipla, pois essa categoria é extremamente heterogênea.

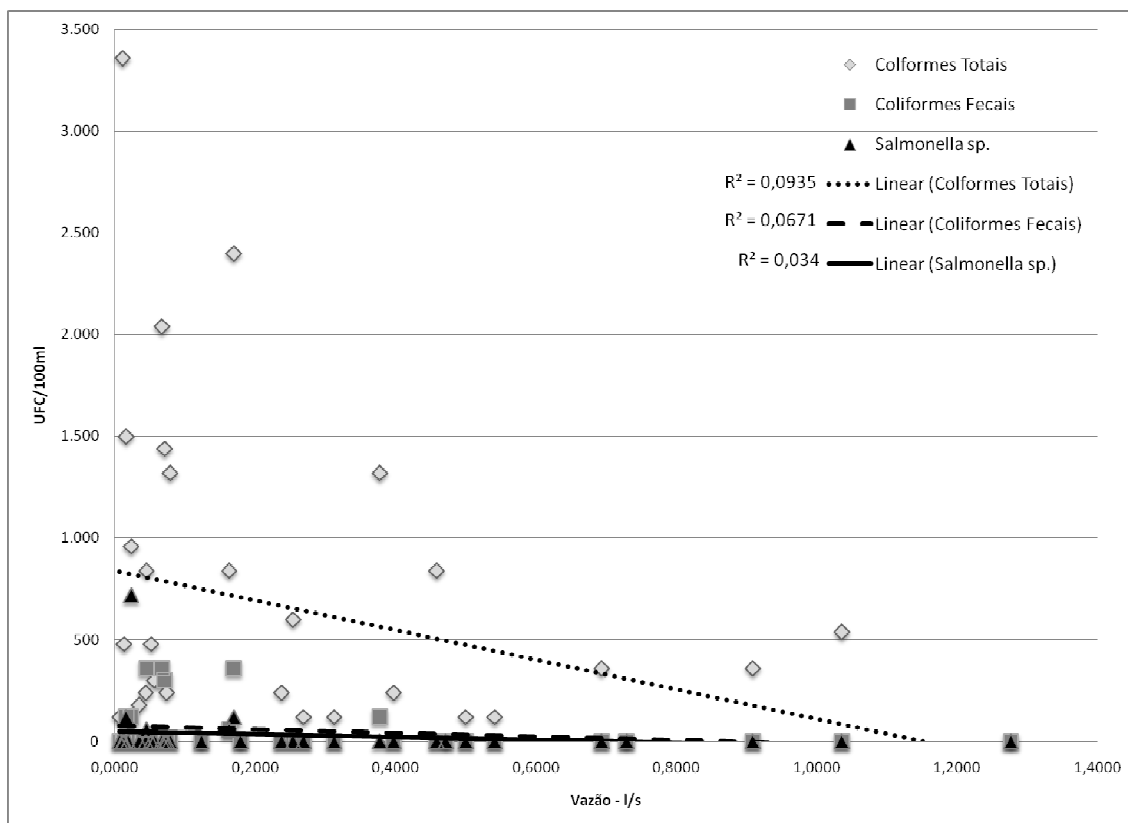


GRÁFICO 8 – Dispersão de *Coliformes totais*, *Coliformes fecais* e *Salmonella sp.* em função da vazão.
Fonte: Pesquisa de campo e análise laboratorial.

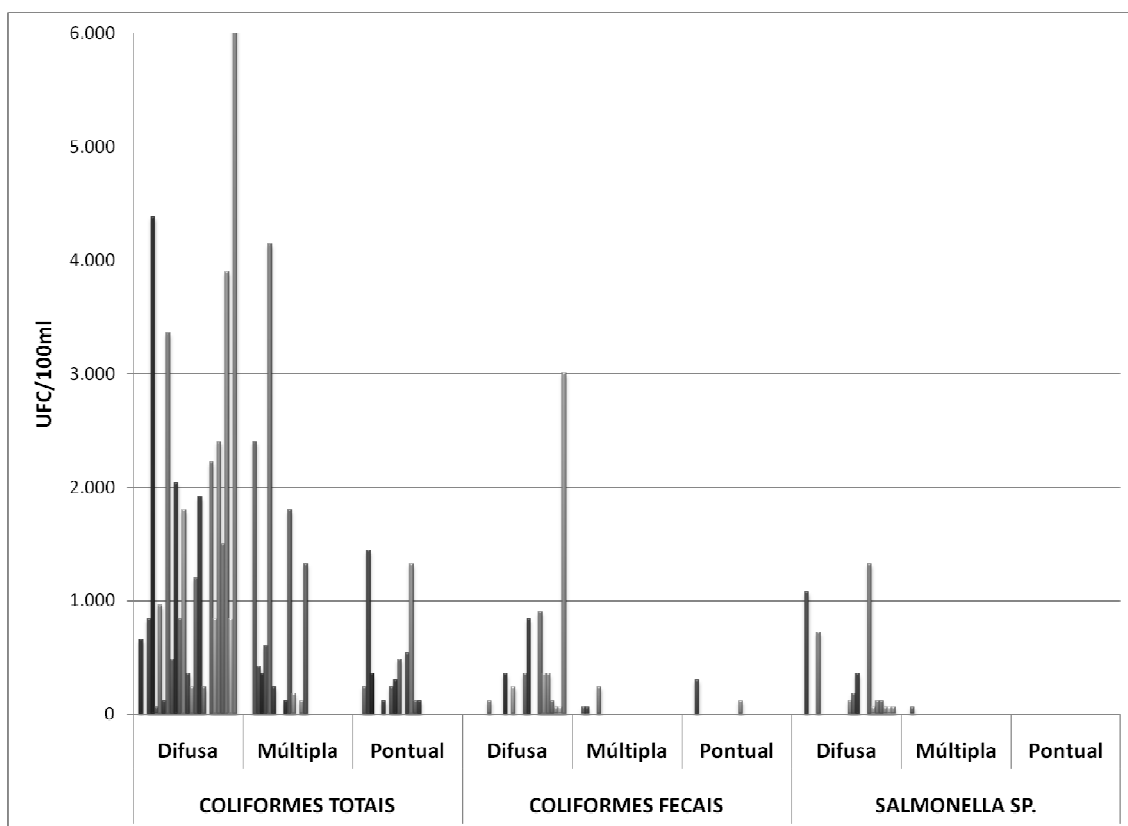


GRÁFICO 9 – Distribuição dos valores de *Coliformes totais*, *Coliformes fecais* e *Salmonella sp.* em função do tipo de exfiltração das nascentes.
Fonte: Pesquisa de campo e análise laboratorial.

Apesar do maior número de nascentes difusas, para os três grupos de bactérias avaliados, esse tipo de exfiltração apresenta, indubitavelmente, maiores valores de UFC. Para os três grupos de bactérias, os valores obtidos pelas nascentes difusas são expressivamente superiores. No caso da *Salmonella sp.*, praticamente só foram encontradas em nascentes com exfiltração difusa, não havendo nenhum caso nas pontuais.

A média de *Coliformes totais* das nascentes difusas foi de 1.829 UFC/100ml, enquanto nas pontuais foi de 330. Quanto aos *Coliformes totais*, as difusas tiveram em média 271 UFC/100ml, contra 26 das pontuais. Além disso, enquanto não foi registrada presença de *Salmonella sp.* nas nascentes com exfiltração pontual, a média encontrada nas difusas foi de 170 UFC/100ml. Ademais, tanto as nascentes múltiplas quanto as pontuais apresentaram moda zero para os tipos de bactérias, o que não é verdade para as difusas quanto aos *Coliformes totais*.

Apesar de não ser possível afirmar com exatidão a existência de uma relação inversa entre a existência de microorganismos patogênicos e a velocidade do fluxo de exfiltração, há indícios suficientes para crer que tal fato é uma realidade, ao menos para as nascentes estudadas. Nascentes de baixa energia tendem a promover um maior contato da água com o solo e, com isso, com a superfície contaminada. Sabe-se, ainda, que o tempo de vida médio da *Salmonella sp.*, fora do hospedeiro, é de 3 a 4 semanas e que o dos *Coliformes* é muito pequeno. Sendo assim, tendo em vista que as nascentes difusas são mais suscetíveis à contaminação, o manejo a elas destinado deve ser distinto.

Além disso, há que se considerar o tempo de vida médio no ambiente dos microorganismos avaliados. Sabe-se que as bactérias, de uma forma geral, possuem ciclo de vida curto quando não estão em hospedeiros. Desse modo, o monitoramento dos indicadores de contaminação indicaria se as fontes de poluição são constantes, ou se os resultados mostram um processo inerente ao meio, posto que naturalmente há bactérias no ambiente. Contudo, é possível que trabalhos verticalizados nessa temática, possam, no futuro, contribuir de maneira mais profícua para a comprovação desta hipótese que relaciona a energia da nascente a sua vulnerabilidade à contaminação.

Outro parâmetro, desta vez de natureza química, que é constantemente utilizado na avaliação da qualidade das águas é o potencial hidrogeniônico – pH. Valores de pH distantes da neutralidade em corpos d'água podem ser indicativos de presença de efluentes industriais, por isso, associado aos parâmetros biológicos, foi medido o pH das nascentes estudadas. A

aferição foi realizada em campo por pHmetro portátil, entre os meses de dezembro de 2008 e fevereiro de 2009.

A origem natural do pH das águas está associada a: i) dissolução das rochas; ii) absorção de gases da atmosfera; iii) oxidação da matéria orgânica; iv) fotossíntese (VON SPERLING, 2005). Nesse sentido, o estudo do pH é sobremaneira importante para a interpretação não somente da qualidade das águas das nascentes, mas também de sua origem geológica.

Os valores de pH obtidos na água das nascentes estudadas são apresentados na TAB. 3. De uma forma geral, pode-se afirmar que o pH das nascentes tende a ser ligeiramente ácido, com a maioria das amostras flutuando entre 5,50 e 7,00 (GRÁFICO 10). Valores fora desse intervalo são poucos, totalizando sete – seis abaixo e um acima – por esse motivo o desvio padrão é baixo – 0,6 – assim como a dispersão dos dados.

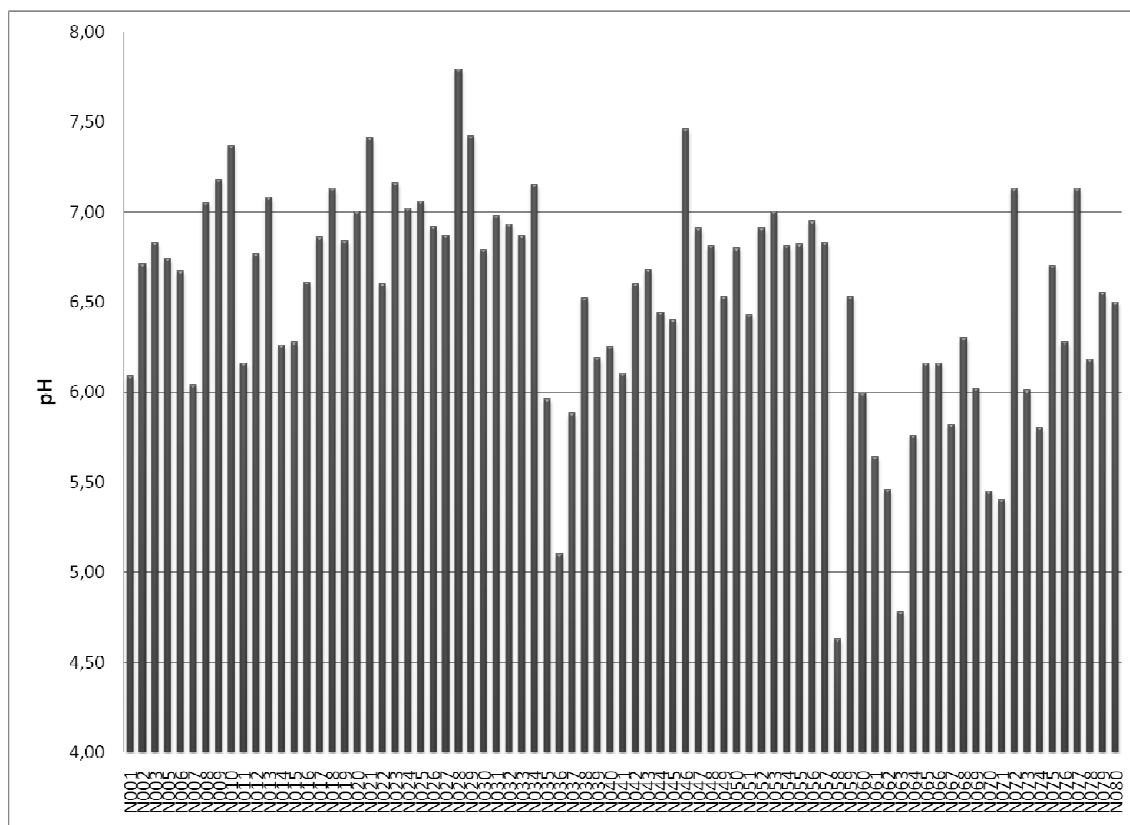


GRÁFICO 10 – Valores de pH encontrados nas nascentes estudadas.

Fonte: Pesquisa de campo.

A média obtida pelas 79 medições de pH é de 6,52, com mediana 6,67 e moda 6,16 – três ocorrências. O valor máximo registrado foi de 7,79, seguido por 7,46; o mínimo foi de 4,63, seguido por 4,78. Os valores tendendo à acidez já eram esperados devido às características climático-geológicas das unidades de estudo. De uma forma geral, sabe-se que em áreas tropicais a disponibilidade de água associada a altas temperaturas tende a estimular os

processos intempéricos (THOMAS, 1994), com isso, íons são solubilizados na água promovendo o aumento da concentração de H^+ e conseqüentemente, reduzindo o pH dos corpos hídricos.

Porém, a associação do pH com a quantidade de *Coliformes* e *Salmonella sp.* na água das nascentes estudadas, não apresenta resultados conclusivos. A dispersão dos dados não apresenta uma tendência linear significativa. Apesar da inclinação da reta ser negativa nos três casos, os valores de R^2 foram de 0,004 para *Coliformes totais*, 0,029 para *fecais* e 0,001 para *Salmonella sp.*

Essa ligeira relação inversa não é verificada quando da observação da associação dos valores extremos de pH com os respectivos valores dos testes microbiológicos. As duas nascentes com menores valores de pH – abaixo de 5,0 – apresentaram resultado negativo para *Coliformes totais*, *fecais* e *Salmonella sp.*

Por outro lado, as nascentes de maior pH apresentaram valores contraditórios dos parâmetros biológicos. Aquela com o pH máximo – 7,79 – obteve valores relativamente altos para *Coliformes* e *Salmonella sp.* As três seguintes no rol – 7,46, 7,41 e 7,36 – apesar de valores de pH semelhantes à primeira, apresentaram ausência de *Coliformes totais* e *Salmonella sp.* Em outras palavras, valores extremos de pH – excetuando-se o valor máximo – foram associados à ausência de microorganismos entéricos.

Por fim, avaliou-se uma possível associação do pH das nascentes com a sua origem hidrogeológica. Para tanto, as nascentes foram agrupadas a partir da unidade geológica a qual pertencem. Apesar da pequena variação de pH em todo o rol estudado, acredita-se que a influência da origem geológica da água é notável.

As nascentes do domínio geológico do Complexo Belo Horizonte apresentaram os menores valores de pH, com média de 6,04, uma diferença de 7,5% em relação à média do rol completo. A mediana desse grupo também foi a mais baixa verificada, 6,02. A maior profundidade do manto de intemperismo sobre as rochas do Complexo Belo Horizonte indica um ambiente já muito lixiviado, contribuindo para valores menores de pH.

Por outro lado, as nascentes da Formação Gandarela foram aquelas que registraram os maiores valores de pH. Naturalmente, as rochas carbonáticas – dolomitos – tendem a aumentar a alcalinidade das águas quando intemperizadas, por esse motivo, a média de pH desse grupo de nascentes foi de 6,80 – diferença de 4,3% para a média do rol completo. A

mediana também foi a maior dentre as formações geológicas – 6,87 – além dos quatro maiores valores de pH pertencerem a nascentes da Formação Gandarela.

A interpretação do pH das nascentes da Formação Cercadinho e da Formação Fecho do Funil não permite afirmações conclusivas. Para a Formação Cercadinho os valores médios e medianos foram muito próximos aos do rol completo. Na Formação Fecho do Funil, apenas quatro nascentes foram encontradas, impossibilitando considerações estatísticas; todavia, tanto a média quanto a mediana foram ligeiramente inferiores ao rol completo.

8. **DINÂMICA HIDROLÓGICA DAS NASCENTES ESTUDADAS: VAZÃO E MIGRAÇÃO**

O principal parâmetro de interpretação da dinâmica hidrológica de um curso d'água é sua vazão. O débito de um curso d'água é a quantidade de água que flui por uma seção transversal do canal por unidade de tempo (CHRISTOFOLETTI, 1981). Porém, essa medida é pontual, tanto em termos temporais, quanto espaciais. Variações são constantes, sobretudo em função das contínuas entradas e saídas de água no sistema. Nesse sentido, o contexto climático é imprescindível no estudo da dinâmica hidrológica, já que é responsável pela maior parte do *input* de água.

Belo Horizonte, como foi apresentado no Capítulo 3, possui um clima com uma dupla estacionalidade bem definida, caracterizada pela acentuada variação da taxa de precipitação, entre os meses de outubro e março – período de chuvas – e os meses de abril a setembro – período de seca (FRANCA, 2009). Delimitam-se, então, quatro períodos hidrológicos (COSTA, 2002): de excedente hídrico, entre dezembro e março; de retirada de água do solo, entre abril e junho; de déficit hídrico, entre julho e setembro; e de reposição, em outubro e novembro (FIG. 7 e 12).

Notadamente, a dinâmica hidrológica superficial tende a acompanhar essa variação sazonal do clima (KNIGHTON, 1984; CHRISTOFOLETTI, 1981). Assim, no período das chuvas a vazão tende a ser maior, diminuindo gradativamente no período de seca. Nesse ponto a dinâmica hidrológica subterrânea ganha importância, pois é a água proveniente dos aquíferos que mantem os cursos d'água perenes. Sendo assim, a dinâmica das nascentes tende a ser consideravelmente distinta daquela apresentada tradicionalmente na literatura, baseada em interpretações de dados de rios. Acredita-se que haja um período de retardo em relação às precipitações, que, segundo Pane e Pereira (2005) pode chegar a quatro meses.

A medição das vazões neste trabalho tem por objetivo uma interpretação comparativa entre as nascentes estudadas. Com isso, buscaram-se relações entre a magnitude dos débitos e algumas características ambientais que pudessem explicar a variabilidade encontrada no rol. Desse modo, não houve a preocupação de uma avaliação estritamente quantitativa, focando os máximos e mínimos durante o ano hidrológico. Por isso, os trabalhos de campo não foram programados para tal fim; todavia, foi observado o balanço hídrico do município para que houvesse dados representativos do período de chuva e de seca em cada uma das nascentes.

A medição da vazão de nascentes esbarra na limitação dos procedimentos convencionais quanto a fluxos de pequena grandeza (KONDOLF; PIÉGAY, 2003). Os equipamentos utilizados tradicionalmente em estudos de geomorfologia fluvial não conseguem medir a vazão da maioria das nascentes. Assim, estudos que visam mensurar pequenas vazões devem implantar ações estruturais, baseadas em barramentos (KONDOLF; PIÉGAY, 2003) ou utilizar artifícios menos convencionais como pequenos medidores graduados (PINTO *et al*, 2004).

Uma série de procedimentos de medição de vazão foi avaliada para os fins deste trabalho: “calhas Parshal”, “placas de orifício”, “microturbinas”, entre outros. Porém, todos foram considerados inadequados para a utilização em nascentes no interior das unidades de conservação. Os dois principais motivos para a não utilização desses procedimentos foram o relativamente elevado custo financeiro e os possíveis impactos que seriam causados no interior dos parques.

Com isso, considerou-se que para os objetivos propostos, o procedimento mais adequado para mensurar a vazão era a utilização de medidores graduados. Além do seu baixo custo, as limitações existentes nos demais métodos, os inviabilizam. O procedimento baseia-se na coleta da água do fluxo – o mais próximo possível dos pontos ou áreas de exfiltração – em sacolas plásticas, acompanhada da medição do tempo em cronômetro digital. A água coletada é transportada para um medidor graduado, sendo realizada a leitura do volume. Para minimizar os possíveis erros de coleta, foram feitas de três a cinco medições em cada nascente. A vazão é, então, calculada pela Equação 1 (PINTO *et al*, 2004):

$$Q = [\sum (v/t)]/n \quad (1)$$

Em que: Q é a vazão (L/s); v é o volume de água (em litros); t é o tempo (em segundos); e n é o número de medições.

Para o cálculo da vazão média anual das nascentes foi realizada a média entre as duas medições – Equação 2 – como aproximação metodológica:

$$Q_a = (Q_v + Q_i)/2 \quad (2)$$

Em que: Q_a é a vazão média anual (L/s); Q_v é a vazão de verão (L/s); e Q_i é a vazão de inverno (L/s).

Devido à impossibilidade de mensuração de volumes extremamente pequenos de água ou de nascentes difusas que não formam fluxo a jusante e impossibilitam a utilização do método, das 79 nascentes totais, 58 tiveram sua vazão mensurada no verão. No inverno, as nascentes que puderam ter suas vazões calculadas somaram 56. Para evitar imprecisões nas conclusões, as nascentes de vazão não mensurável foram excluídas das análises estatísticas.

8.1. *Análise interpretativa dos dados de vazão das nascentes*

Segundo a classificação de Meinzer (1927), a vazão média anual – Q_a – das nascentes das unidades de conservação estudadas encontram-se entre a 5ª e a 7ª magnitudes, sendo, portanto, considerados débitos médios a baixos. Essa assertiva, porém, não corresponde ao verificado em trabalhos realizados no Brasil, nos quais nascentes com vazões superiores a 10 L/s não são comumente encontradas.

Isso pode ser verificado na escassa bibliografia acadêmica sobre o tema. Em trabalho realizado no Ribeirão Santa Cruz – Lavras, MG –, Pinto *et al* (2004) mensuraram as vazões de 177 nascentes perenes, tendo sido registrado como maior valor, 2,08 L/s. Ao monitorarem a vazão em três “fontes” no município de Itamonte – MG, Pane e Pereira (2005) registraram valores consideravelmente maiores, atingindo 12 L/s em determinado período do ano⁵³.

Todavia, devido à variedade de métodos de mensuração da vazão – eficazes ou não – e da própria dificuldade de conceitualização de nascente – demonstrada no Capítulo 4 –, busca-se uma análise comparativa dos dados obtidos apenas dentro do rol estudado. Nesse sentido, três linhas de raciocínio são seguidas. A primeira perpassa a variabilidade temporal das vazões a partir da sazonalidade averiguada. A segunda interpreta a variabilidade espacial, já buscando argumentos que embasem a terceira linha, que debruça sobre a diversidade ambiental, relacionada estritamente às características – físicas e humanas – das nascentes que podem influenciar os débitos.

A partir da observação do GRÁFICO 11, nota-se que a maioria absoluta das nascentes estudadas possui vazão inferior a 1 L/s em quaisquer dos períodos avaliados. Somente cinco delas – N005, N018, N055, N063 e N070 – possuíram vazões acima deste patamar, sendo que

⁵³ Sob o efeito de precipitação.

em duas delas isso somente ocorreu no verão. Os valores se concentram ainda mais abaixo do limiar de 0,6 L/s, superado em algum período por apenas oito nascentes.

A ausência de algum dos dados no GRÁFICO 11 para determinadas nascentes, ocorre devido à impossibilidade de mensuração dos débitos. Para efeitos metodológicos, essas nascentes foram excluídas das estatísticas do período em que o dado não foi obtido e, também, dos cálculos de vazão média anual e da razão de vazão.

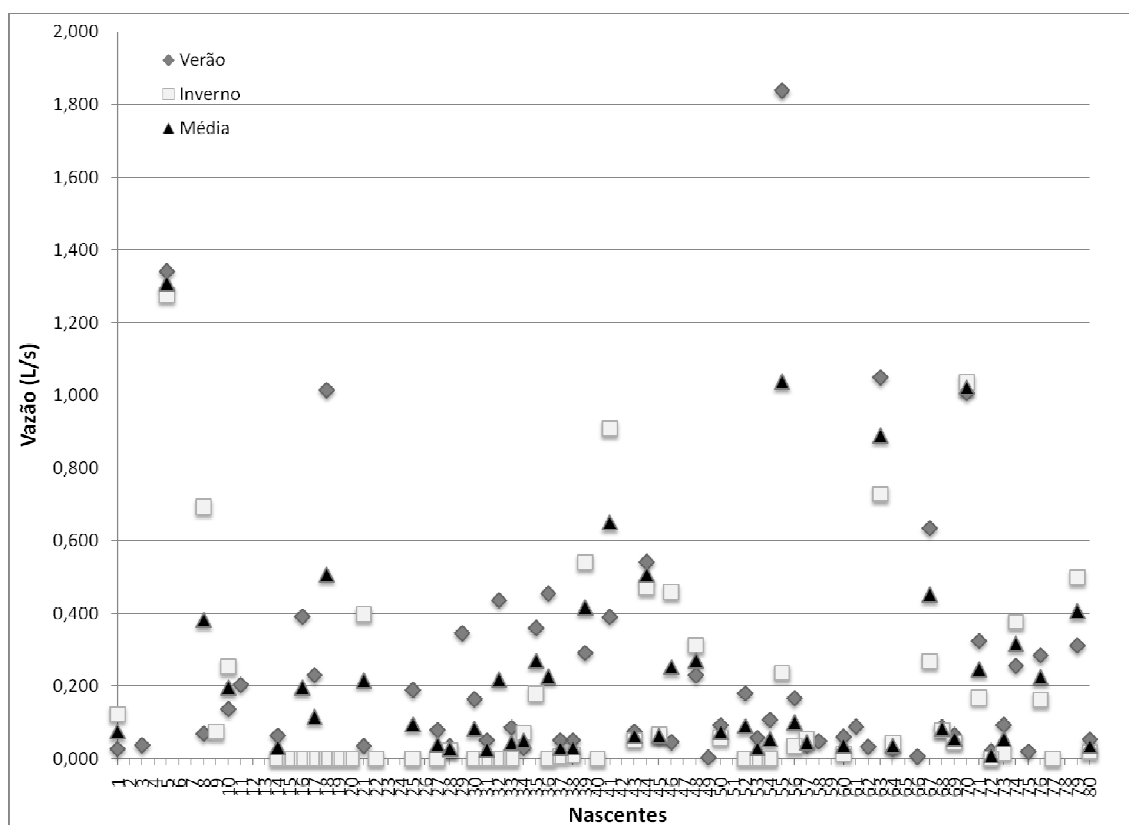


GRÁFICO 11: Vazão (L/s) de verão, de inverno e média das nascentes estudadas

Fonte: Pesquisa de campo.

No período de inverno, 21 nascentes – 26,6% do total – encontravam-se com Q_i nulo. Essa informação levou a considerá-las intermitentes. No gráfico, nota-se que há uma maior concentração dessas entre as nascentes de número 14 e 40, todas, no Parque das Mangabeiras (FIG. 68). Nesta unidade de conservação encontram-se 19 casos de intermitência, o equivalente a 31,6% do total de nascentes dessa unidade. Todas as sub-bacias do Parque das Mangabeiras possuem, ao menos, uma nascente temporária. Porém, a localização prioritária destas é nos altos cursos dos canais de drenagem.

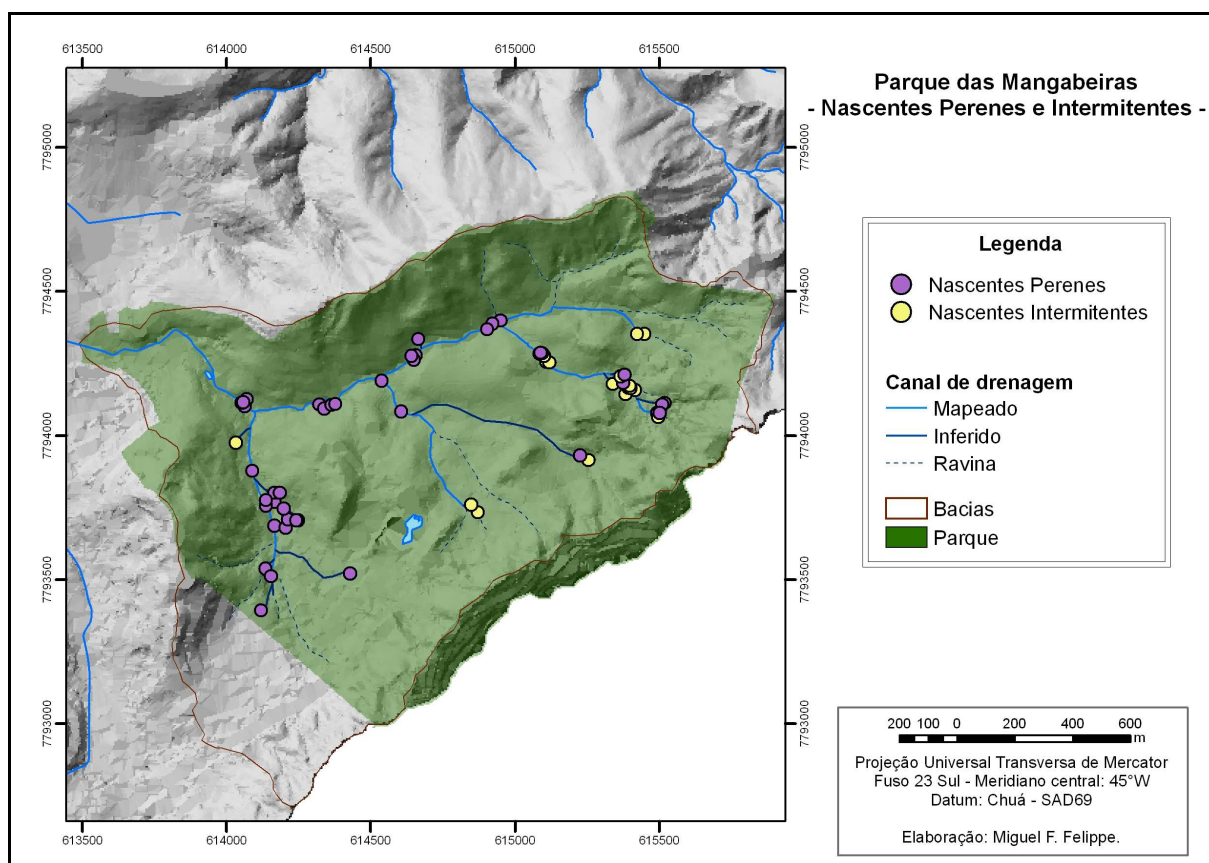


FIGURA 68 – Nascentes perenes e intermitentes do Parque das Mangabeiras.
Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

O Parque Lagoa do Nado possui uma nascente intermitente (FIG. 69). O percentual das nascentes temporárias nesse parque – 8% – é o menor dentre as unidades estudadas. Acredita-se que os espessos mantos de intemperismo desta região, possuem alta capacidade de armazenamento de água, mantendo perene a maioria absoluta das nascentes. Essa propriedade do aquífero granular do Complexo Belo Horizonte é atestada por BEATO *et al* (2003).

A nascente intermitente – N077 – localiza-se na porção leste da unidade de conservação em um sulco erosivo. Há indícios de que esta seja uma nascente antropogênica, em que a incisão vertical promovida pelos processos erosivos em canal atingiu o nível freático. Sendo uma nascente com origem determinada pela ação humana, a sazonalidade da exfiltração pode estar relacionada ao próprio desequilíbrio ambiental.

Assim como no Parque Lagoa do Nado, no Primeiro de Maio também foi registrada apenas uma nascente intermitente, o que, nesse parque, equivale a 14,3% do total de nascentes (FIG. 70). Por estar em uma região com características pedológicas muito semelhantes às encontradas no Lagoa do Nado, acredita-se que o aquífero granular possa ser o responsável por perenizar as nascentes.

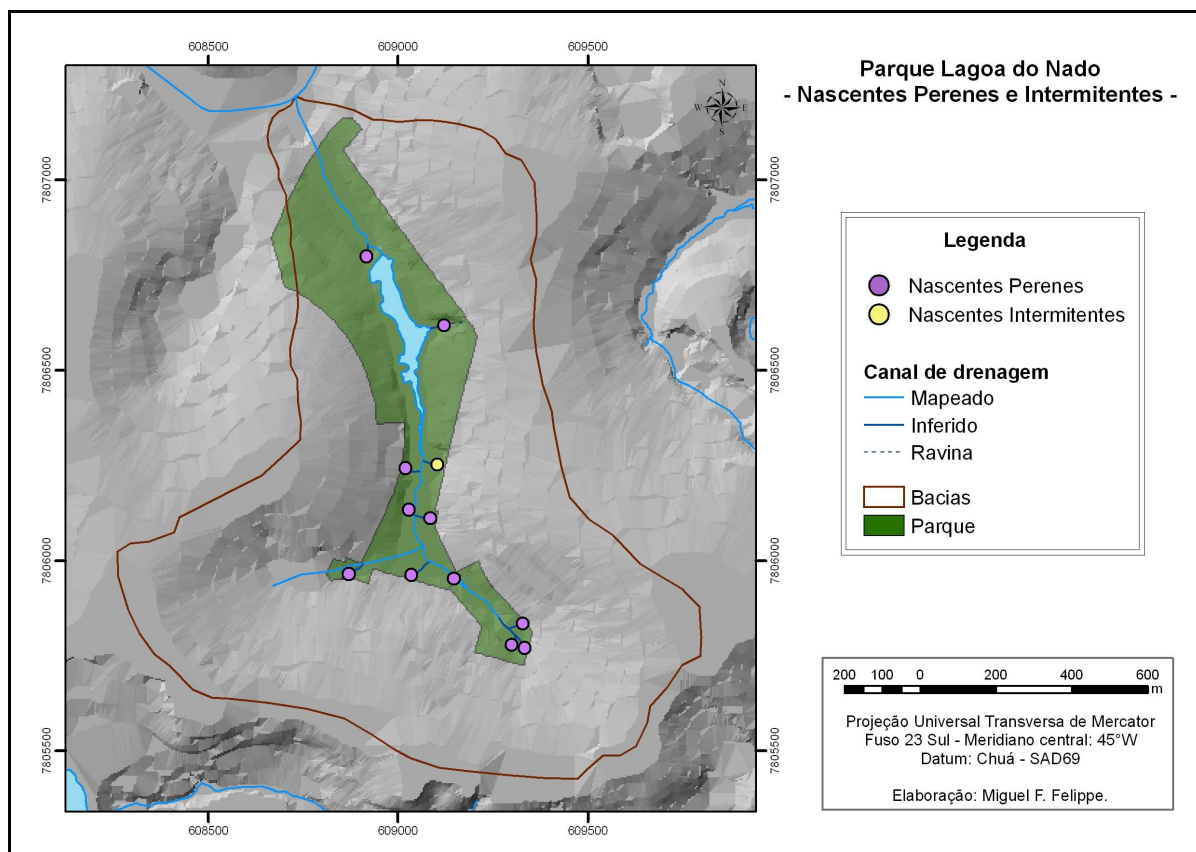


FIGURA 69 – Nascentes perenes e intermitentes do Parque Lagoa do Nado.
Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

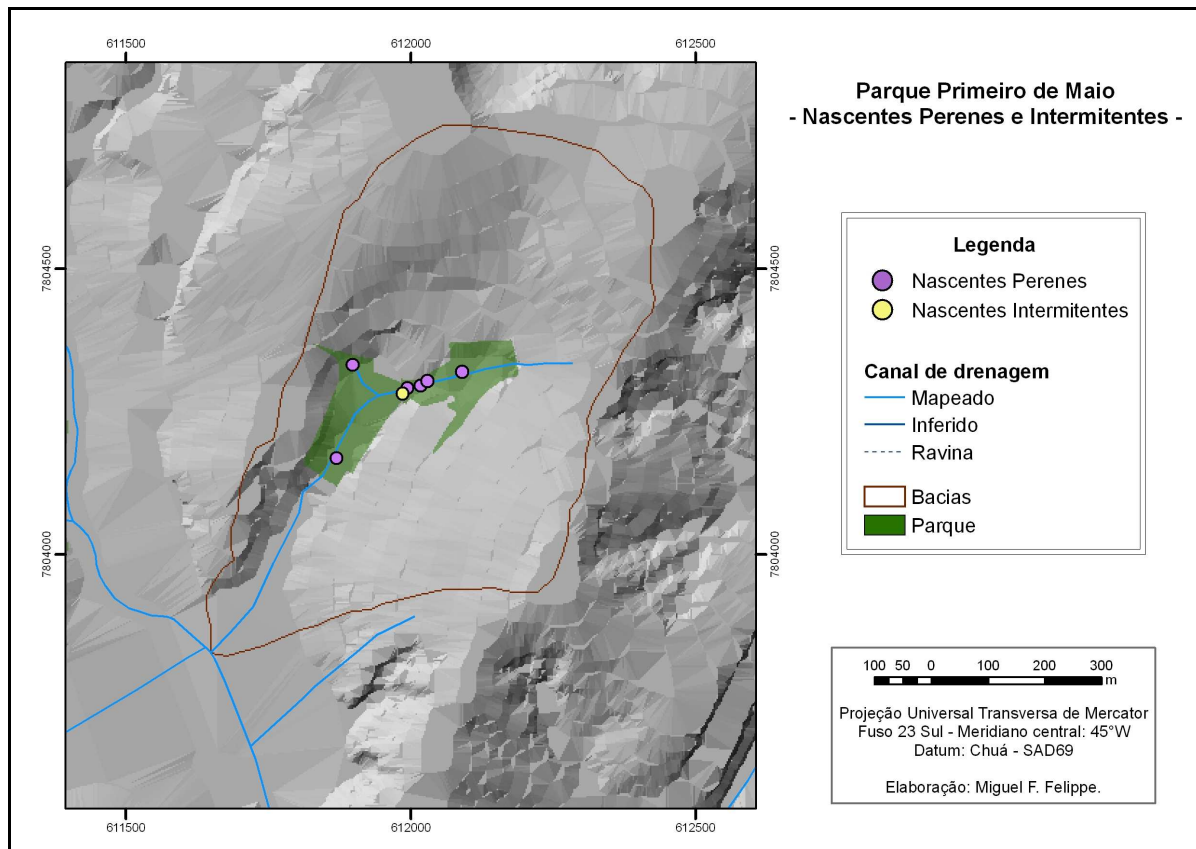


FIGURA 70 – Nascentes perenes e intermitentes do Parque Primeiro de Maio.
Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

A nascente intermitente do Parque Primeiro de Maio é, também, antropogênica. Segundo relato dos funcionários, ela surgiu após a inserção de um dreno em uma área brejosa que ocorria nos limites da unidade de conservação. Sendo, então, de origem antropogênica, pode-se acreditar que a intermitência é decorrente de uma situação transitória. É difícil dizer, porém, se o equilíbrio se estabelecerá como uma nascente perene, intermitente, efêmera, ou mesmo se a nascente deixará de existir.

Além da intermitência de parte das nascentes, esperava-se que, de uma forma geral, o Q_i seria inferior ao Q_v devido à menor disponibilidade hídrica no inverno. Essa afirmação, porém, deve ser revista. Em expressivos 27% das nascentes com possibilidade de mensuração da vazão, foi observado Q_i maior que Q_v .

Em parte desses casos, a variação não é expressiva em termos percentuais. A razão de vazão⁵⁴ média desse grupo de nascentes que aumentaram suas vazões no inverno é de 0,51, indicando um aumento em Q_i na ordem de 49%. Em termos absolutos, porém, esses valores perdem expressividade. As menores razões de vazão de todo o rol – que indicam os maiores aumentos percentuais em Q_i – estão associadas a Q_v inferiores à 0,08 L/s; relacionadas a N008, N021 e N046, todas, com razões próximas a 0,10.

Uma hipótese explicativa para esse aumento inesperado das vazões de determinadas nascentes no período de inverno pode estar relacionada à concentração dos fluxos subterrâneos. Com o nível freático mais elevado – verão – a água pode se dispersar por diversos fluxos até chegar à superfície, configurando uma série de nascentes próximas umas às outras. Porém, no inverno há a tendência de muitos desses fluxos não se sustentarem, fazendo com que a água subterrânea se concentre em poucos pontos de exfiltração, promovendo a intermitência de algumas nascentes e, conseqüentemente, aumentando o volume de água naquelas que persistiram.

No entanto, a regra verificada foi, de fato, a diminuição das vazões no período de inverno, o que ocorreu em 73% das nascentes. Em nove casos, inclusive, a razão de vazão superou 2,00, indicando uma queda acima de 50% nas vazões. Assim, apesar do considerável número de nascentes com Q_i maior que Q_v , entre as nascentes perenes, a razão de vazão média foi de 1,89.

⁵⁴ Razão de Vazão = Q_v/Q_i .

Em relação às nascentes intermitentes, como esperado, a maioria delas possuía Q_v menor do que 0,2 L/s. Isso significa que, de fato, nascentes com elevadas vazões em determinado período do ano, tendem a ser perenes. Nesse sentido, N018 coloca-se como uma exceção à regra. Apesar de ter Q_v de 1,02 L/s – quarto maior valor registrado –, a exfiltração foi interrompida no inverno, configurando uma nascente temporária.

8.1.1. *Vazão média anual das nascentes*

A vazão média anual – Q_a – das nascentes foi calculada no intuito de buscar uma interpretação que superasse as variações sazonais, inerentes ao ambiente tropical úmido. Além disso, é um dado que pode ser utilizado com maior credibilidade quando comparado com características ambientais das nascentes que não se alteram sazonalmente, como a formação geológica ou o tipo de vegetação, por exemplo.

Somente três nascentes obtiveram Q_a superior a 1 L/s, duas delas no Parque das Mangabeiras – N005 e N055 – e a terceira no Primeiro de Maio – N070 –, esta última tendo a peculiaridade de possuir Q_i ligeiramente superior a Q_v . Duas outras nascentes tiveram Q_a relativamente elevados, N063, com 0,89 L/s e N041, com 0,65 L/s. Todas as outras nascentes possuem Q_a abaixo desse limiar, sendo que o mínimo calculado foi de 0,01 L/s.

Espacializando os valores médios de Q_v , Q_i e Q_a em função das unidades de conservação estudadas, nota-se que há uma similaridade entre os Q_v dos três parques (TAB. 5). Apesar da expressiva diferença em relação ao número de nascentes mensuradas, as médias dos Q_v nos parques das Mangabeiras, Lagoa do Nado e Primeiro de Maio são muito próximas, sobretudo entre os dois primeiros.

A dispersão dos dados, porém, é distinta. No Parque das Mangabeiras e no Parque Lagoa do Nado, as medianas são muito distantes da média, o que é corroborado pelos valores mais elevados de desvio padrão que possuem. Isso indica que os valores obtidos estão mais dispersos no rol. Porém, no Primeiro de Maio, apesar do desvio padrão ser próximo ao dos outros parques, a mediana é bastante próxima à média, mostrando uma distribuição mais homogênea das vazões. O baixo número de nascentes nesse parque contribui para isso.

Uma interpretação similar pode ser realizada acerca de Q_i . Enquanto o Mangabeiras e o Lagoa do Nado possuem valores médios próximos, a média do Q_i das nascentes do Parque Primeiro

de Maio é expressivamente superior. Este valor é mais alto inclusive que a própria média de Q_v para este parque. Entretanto, o desvio padrão, neste caso, é maior no Primeiro de Maio.

| TABELA 5 - Estatística descritiva das vazões (L/s) das nascentes estudadas | | | | | | | |
|--|---------|------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| | Parque | Frequência | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio |
| Manga-beiras | Verão | 43 | 0,245 | 0,094 | 1,839 | 0,005 | 0,356 |
| | Inverno | 44 | 0,156 | 0,018 | 1,277 | 0,000 | 0,274 |
| | Média | 38 | 0,219 | 0,093 | 1,309 | 0,026 | 0,277 |
| Lagoa do Nado | Verão | 8 | 0,250 | 0,075 | 1,050 | 0,008 | 0,359 |
| | Inverno | 6 | 0,189 | 0,062 | 0,729 | 0,000 | 0,257 |
| | Média | 5 | 0,300 | 0,084 | 0,890 | 0,036 | 0,333 |
| Primeiro de Maio | Verão | 7 | 0,283 | 0,257 | 1,007 | 0,021 | 0,319 |
| | Inverno | 6 | 0,298 | 0,166 | 1,036 | 0,000 | 0,351 |
| | Média | 6 | 0,313 | 0,236 | 1,022 | 0,011 | 0,335 |
| Total | Verão | 58 | 0,250 | 0,091 | 1,839 | 0,005 | 0,347 |
| | Inverno | 56 | 0,174 | 0,039 | 1,277 | 0,000 | 0,285 |
| | Média | 49 | 0,239 | 0,095 | 1,309 | 0,011 | 0,293 |

Fonte: Pesquisa de campo.

Essa variação interestacional incomum dos valores médios de vazão, possui duas explicações tácitas. Primeiramente, o Parque Primeiro de Maio foi aquele que apresentou menor média de razão de vazão para suas nascentes – 1,36. Isso indica que a vazão de suas nascentes no verão é, em média, 36% maior à medida no inverno. No Parque Lagoa do Nado, a razão de vazão média é de 1,97 e no Mangabeiras, 2,04. Esses números indicam que há uma maior regularidade das nascentes do Parque Primeiro de Maio, quando comparado aos demais, ou seja, apesar de haver redução das vazões no inverno, esta é inferior à ocorrida nos outros parques.

Em segundo lugar, há uma questão estatística que faz com que a média do Q_i seja maior do que do Q_v , no Parque Primeiro de Maio: a impossibilidade de mensuração da vazão de N075 no inverno. Dentre todas as nascentes deste parque, N075 foi a que apresentou o menor Q_v – 0,021 L/s. Como no Primeiro de Maio o número de nascentes é pequeno, a retirada do cálculo de N075 foi cabal para a elevação da média do Q_i .

Por fim, os valores de Q_a – excluídas as nascentes de vazão não mensurável – mostram que, em média, as nascentes dos parques Primeiro de Maio e Lagoa do Nado possuem vazão superior às do Mangabeiras. Apesar deste parque possuir três das cinco nascentes de maior Q_a , incluindo aí as duas primeiras – N005 e N055 –, o grande número de nascentes com baixo Q_a reduziu sua média. Isso fica muito evidente pela relação entre o desvio padrão e a média, que é consideravelmente superior à dos demais parques.

Complementando a análise, é possível espacializar os valores de Q_a no interior das unidades de conservação (FIG. 71, 72 e 73). O objetivo desse procedimento é o de identificar especificidades e generalidades nos dados, bem como, visualizar a distribuição das vazões em um contexto de bacia.

A FIG. 71 apresenta os dados de Q_a para as nascentes do Parque das Mangabeiras. Apesar do grande número de casos sem informação, não é possível verificar um padrão de distribuição espacial de Q_a . A maioria das nascentes encontra-se nas classes de vazão baixa e média-baixa, regularmente distribuídas dentre as sub-bacias do parque. As nascentes de vazão alta e média-alta espacializam-se, também, em praticamente todas as sub-bacias, destacando a sub-bacia mais ao oeste, onde são registradas cinco nascentes dessas classes.

É notório, também, o fato de que todas as nascentes de vazão elevada encontram-se em áreas de grande densidade de nascentes. Por exemplo, N055 possui cinco nascentes nas suas imediações e N005 possui sete outras nascentes nas proximidades, todas dentro de uma mesma microbacia. Acredita-se que a maior disponibilidade hídrica subterrânea nessas porções, promova uma série de fluxos subterrâneos que afloram como nascentes, alguns com energia suficiente para originar as mais altas vazões registradas. Essa assertiva vai de encontro com a idéia de que uma série de nascentes muito próximas tenderia a promover vazões inferiores, devido à divergência dos fluxos subterrâneos. Pelo contrário, nota-se que a concentração é um indício de fluxos intensos e, portanto, algumas nascentes aparecem com vazões elevadas.

O mesmo raciocínio em termos de espacialização pode ser realizado no Parque Lagoa do Nado (FIG. 72). Seis das oito nascentes que puderam ter seu Q_a calculado apresentaram vazão baixa e média-baixa. Estas se distribuem irregularmente na bacia, sem qualquer condicionante evidente. Porém as duas nascentes de maior vazão do parque, uma delas na classe de alta vazão, encontram-se muito próximas, justamente na área de maior concentração de nascentes – extremo sul do parque.

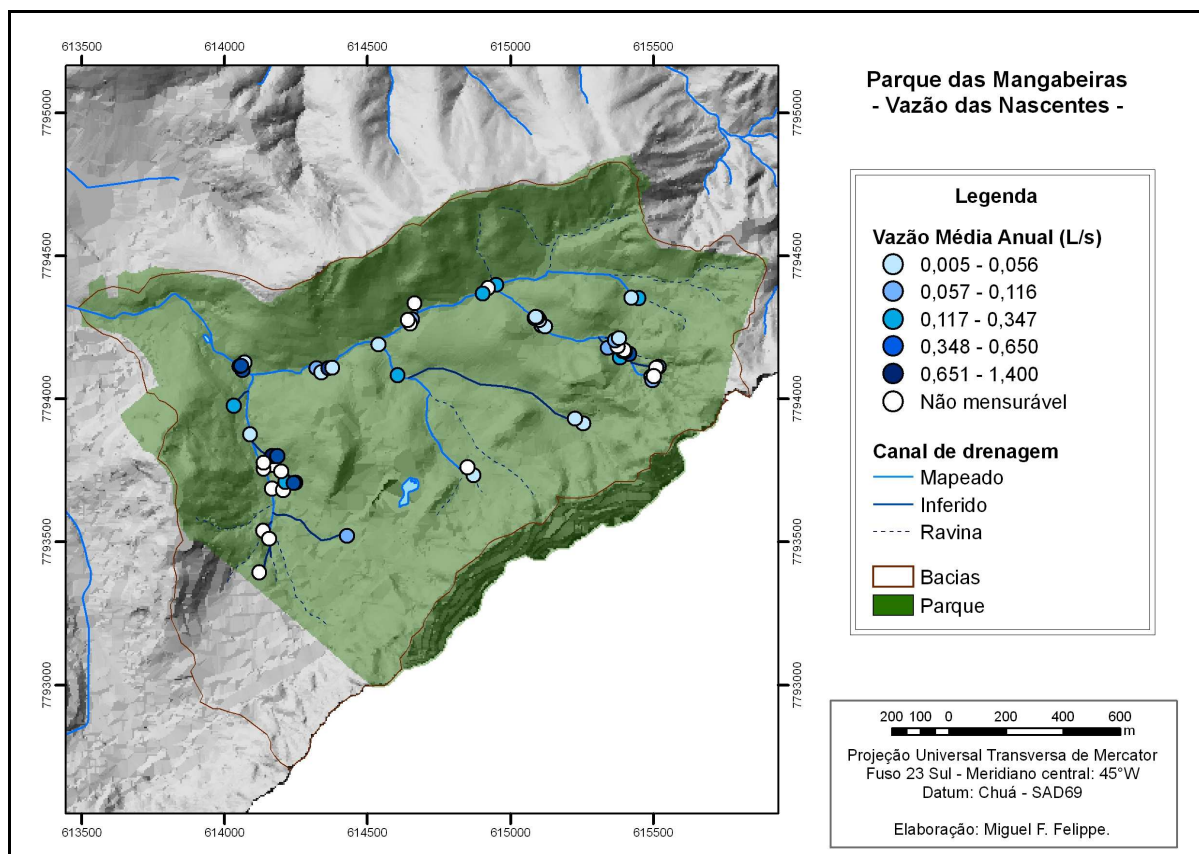


FIGURA 71 – Vazão média anual das nascentes do Parque das Mangabeiras.
Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

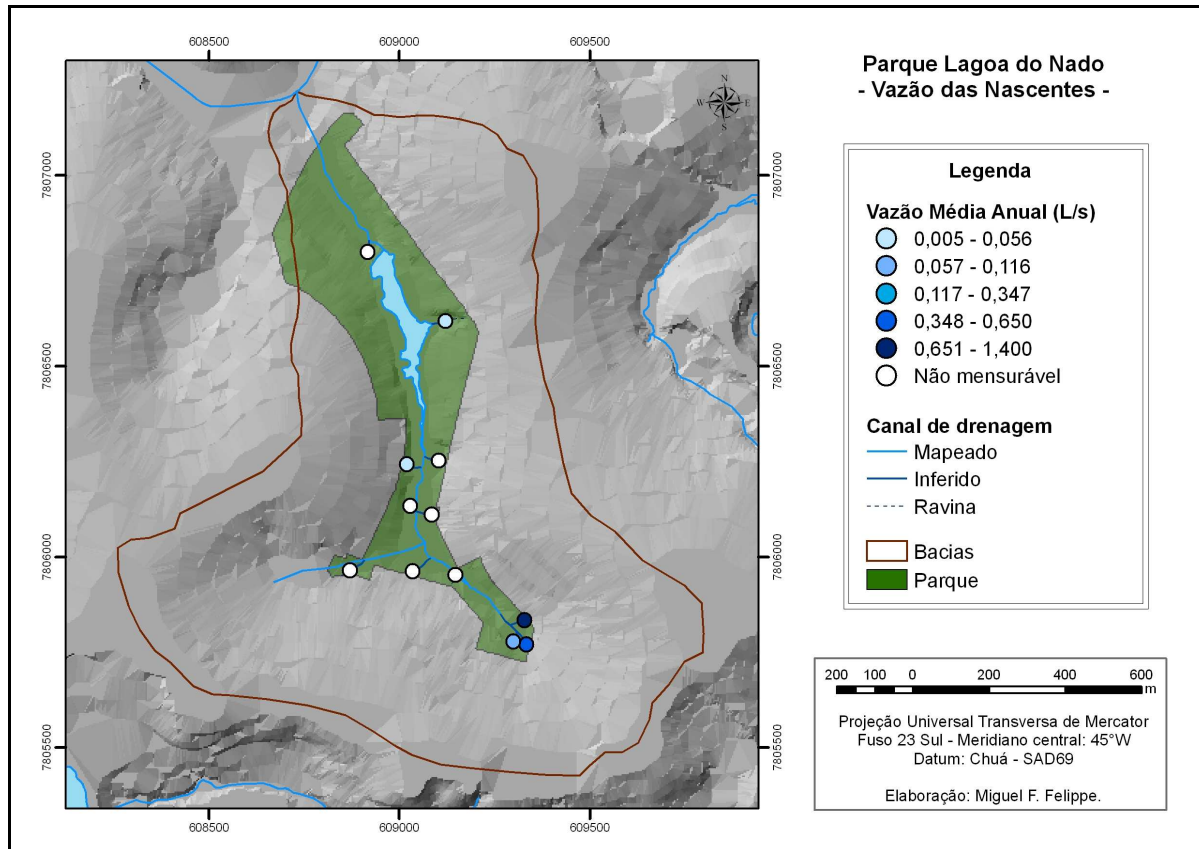


FIGURA 72 – Vazão média anual das nascentes do Parque Lagoa do Nado.
Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

Elas se encontram em uma grande concavidade do relevo, à jusante de uma área de declividade acentuada, que ocorre fora do parque. A nascente que registrou a maior vazão, porém, está totalmente descaracterizada por intervenções antrópicas, dificultando a análise de seus condicionantes ambientais – N063. O fato é que estas nascentes estão localizadas em uma área marcada pelo encontro de dois topos praticamente perpendiculares. Essa configuração morfológica, pode influenciar as vazões, posto que há duas extensas áreas de recarga muito próximas às nascentes.

A espacialização de Q_a das nascentes do Parque Primeiro de Maio (FIG. 73) corrobora as afirmações acima. Também nesse parque, a maioria das nascentes possui Q_a médio a baixo. Além disso, o único registro de vazão alta ocorre na área de maior concentração de nascentes do parque, assim como ocorrido nas demais unidades de conservação.

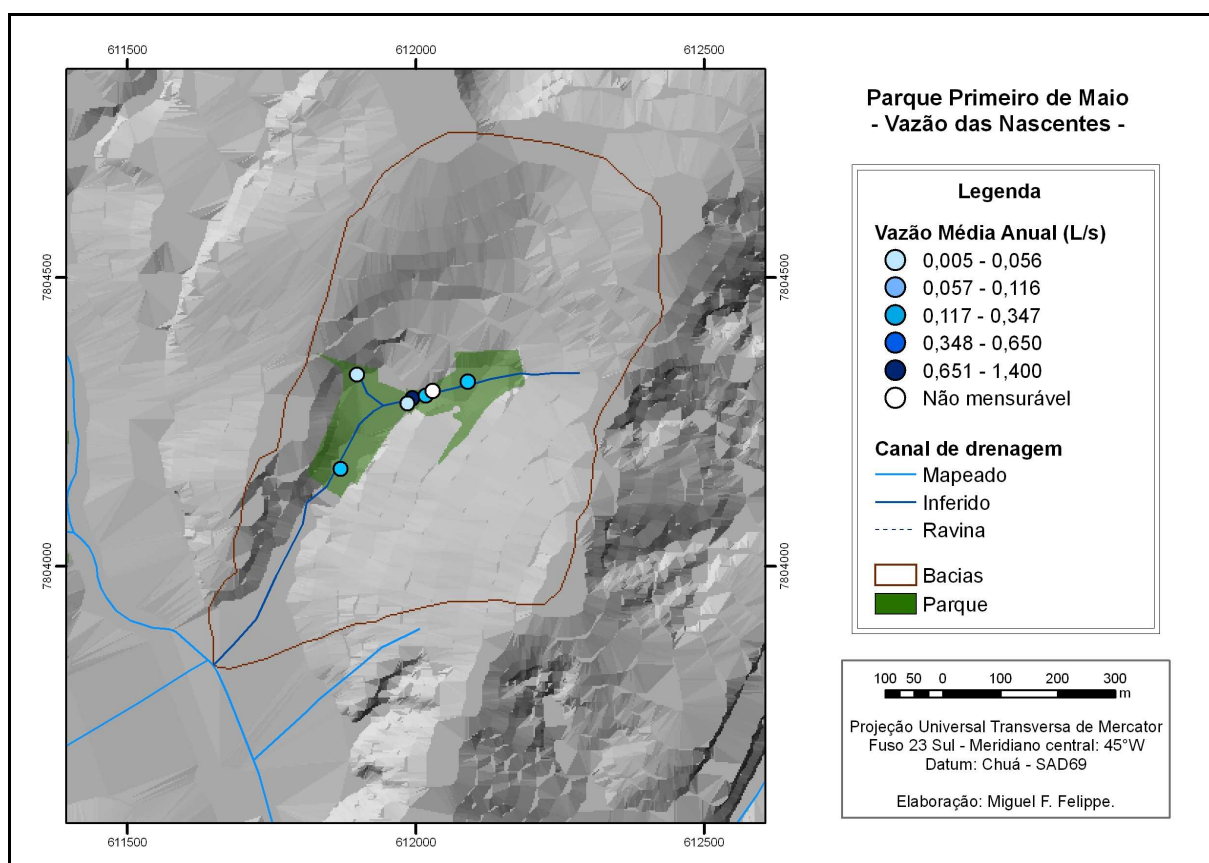


FIGURA 73 – Vazão média anual das nascentes do Parque Primeiro de Maio.

Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

Como não foram verificadas quaisquer condicionantes para elucidar esse fato, levanta-se a hipótese da forma geométrica do parque ser uma possível explicação. Construído em uma pequena área não impermeabilizada em meio à mancha urbana, o parque é um dos poucos locais dentro de sua bacia onde a exfiltração pode ocorrer. Por isso, é possível que, conforme a urbanização impermeabilizou o solo, as nascentes foram migrando em função da alteração

forçada dos fluxos subterrâneos. Seria por esse motivo, que a porção mais estreita do parque possui uma maior densidade de nascentes e, conseqüentemente, a nascente de maior vazão.

Essas interpretações hipotéticas auxiliam sobremaneira o conhecimento da dinâmica das nascentes. Porém, não encerra a temática da variabilidade das vazões nas nascentes. Para tanto, deve ser realizada uma análise comparativa entre o débito e as características ambientais das nascentes. Esse tipo de exercício pode contribuir para a definição dos principais condicionantes ambientais das vazões das nascentes.

8.2. *Condicionantes ambientais das vazões*

Trata-se, aqui, por condicionantes ambientais os elementos do meio físico e humano que exercem influência sobre a vazão das nascentes. A partir do cálculo das vazões e da interpretação analítica das características ambientais de cada nascente, podem-se estabelecer relações qualitativas entre essas variáveis, buscando averiguar a existência de convergências.

Em trabalho-piloto, realizado a partir das vazões de verão das nascentes do Parque das Mangabeiras, Felipe e Magalhães Jr (2009a) avaliaram os principais elementos do quadro ambiental que guardavam relação com o débito calculado das nascentes. Os resultados apontaram para uma relação mais estreita das vazões com a morfologia das nascentes, o tipo de exfiltração e a posição dos afloramentos rochosos.

De forma complementar, buscou-se replicar a metodologia de análise de Felipe e Magalhães Jr (2009a) para todas as nascentes estudadas nas três unidades de conservação. Ademais, novas variáveis ambientais foram inseridas para ampliar as possíveis conclusões. Desse modo, primeiramente far-se-á uma interpretação gráfica dos resultados para, posteriormente, passar à análise estatística⁵⁵.

Quanto à morfologia das nascentes, as duas que registraram as maiores Q_v são em dutos (GRÁFICO 12). Com valores intermediários, há duas nascentes em concavidade, uma em talvegue e uma que encontra-se em uma intervenção humana atualmente. Esta última, por sua vez, não pode ser considerada para análise, pois se trata de uma nascente com sua morfologia completamente descaracterizada pela ação antrópica.

⁵⁵ As características que representam as nascentes sazonalmente foram estudadas a partir do verão, período em que há um maior número de nascentes o que facilita a interpretação; já características que são constantes em termos sazonais, foram avaliadas a partir das vazões médias anuais.

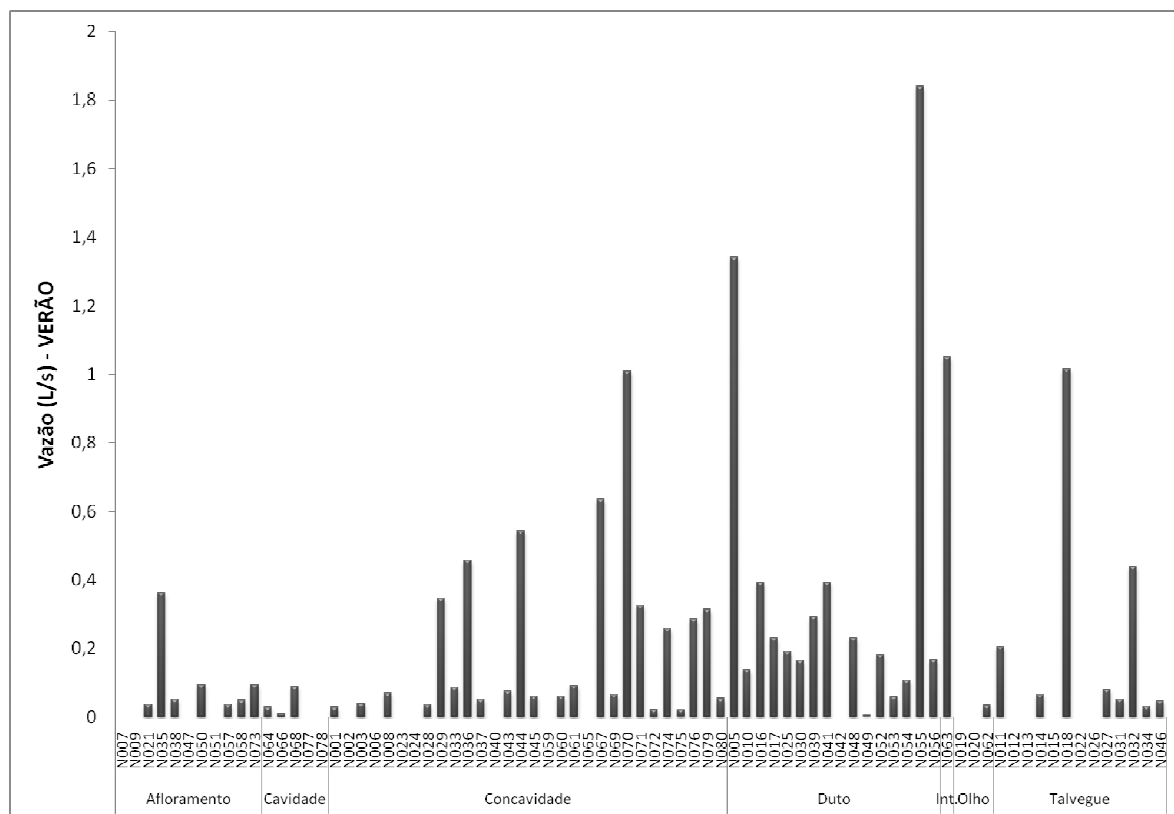


GRÁFICO 12: Classificação da vazão de verão (L/s) das nascentes pela morfologia (verão).

Fonte: Pesquisa de campo.

Em contrapartida, as nascentes em afloramento e em olho possuem vazões muito baixas (GRÁFICO 12). No primeiro caso, somente uma foi superior a 0,3 L/s, estando todas as outras seis nascentes em afloramento com Q_v próximo a 0,1 L/s. Da mesma forma, as nascentes em olho tiveram Q_v baixo, de forma que somente uma delas pôde ter a vazão mensurada – 0,03 L/s. As demais não apresentavam fluxo suficiente para possibilitar a utilização da metodologia adotada.

De modo similar, as nascentes em cavidades também foram caracterizadas por baixos valores de Q_v . O maior Q_v registrado para nascentes em cavidade foi de 0,09 L/s. Todas essas são nascentes antropogênicas e localizam-se no Parque Lagoa do Nado. Sendo assim, é extremamente complicado realizar qualquer afirmação acerca desse tipo de nascente, pois de acordo com a intervenção que for realizada a dinâmica dos fluxos subterrâneos pode se alterar.

Os dados apresentados na TAB. 6 corroboram a assertiva de que as nascentes em dutos tendem a ser aquelas de maior vazão. As nascentes em talvegue apresentaram a segunda maior média dentre as morfologias, porém, com desvio padrão elevado se considerado em relação à média. Também com vazão média elevada, todavia com os dados dispersos de forma muito mais homogênea, estão as nascentes em concavidade.

TABELA 6 - Estatística descritiva de Q_v (L/s) em relação à morfologia das nascentes

| Morfologia | Frequência | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio |
|-------------|------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Afloramento | 7 | 0,103 | 0,052 | 0,361 | 0,036 | 0,108 |
| Cavidade | 3 | 0,042 | 0,028 | 0,088 | 0,008 | 0,034 |
| Concavidade | 23 | 0,214 | 0,076 | 1,007 | 0,021 | 0,245 |
| Duto | 15 | 0,382 | 0,190 | 1,839 | 0,005 | 0,493 |
| Intervenção | 1 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 0,000 |
| Olho | 1 | 0,034 | 0,034 | 0,034 | 0,034 | 0,000 |
| Talvegue | 8 | 0,241 | 0,072 | 1,015 | 0,031 | 0,319 |

Fonte: Pesquisa de campo.

A observação dos dados, de fato, indica que existe uma relação entre a vazão das nascentes e sua morfologia. Porém, é difícil afirmar se a morfologia condiciona a vazão ou se a vazão condiciona a morfologia, apesar de ser provável que ambas se condicionem mutuamente. Sabe-se que a energia do fluxo pode ser responsável por esculpir a forma que caracteriza a nascente, todavia, é plausível que a morfologia possa facilitar, ou não, a saída da água e, com isso, influenciar a vazão. De toda forma, parece estar claro que determinadas morfologias estejam relacionadas a determinadas magnitudes de vazão.

Essa relação é ainda mais evidente quando se considera o tipo de exfiltração das nascentes. Observa-se no GRÁFICO 13 que as cinco nascentes de maior vazão, todas superiores a 1,0 L/s, possuem exfiltração pontual. Apesar do grande número de nascentes desse tipo, a maioria delas possui Q_v acima de 0,2 L/s, indicando uma tendência a elevadas vazões.

Por outro lado, as nascentes com exfiltração difusa tendem a possuir baixa vazão. Somente quatro dessas registraram vazões acima de 0,2 L/s. Além disso, a maioria das nascentes que não puderam ter sua vazão mensurada pelo método escolhido tem exfiltração difusa. No GRÁFICO 13 isso fica evidente pela predominância de nascentes difusas próximas ao eixo das abscissas.

As nascentes com exfiltração múltipla, por possuírem características intermediárias entre as pontuais e as difusas, apresentam Q_v , na maior parte dos casos, entre 0,100 e 0,400 L/s. O maior registro foi de 0,543 L/s e, dentre as nascentes em que havia possibilidade de mensuração, o menor foi Q_v foi 0,03 L/s.

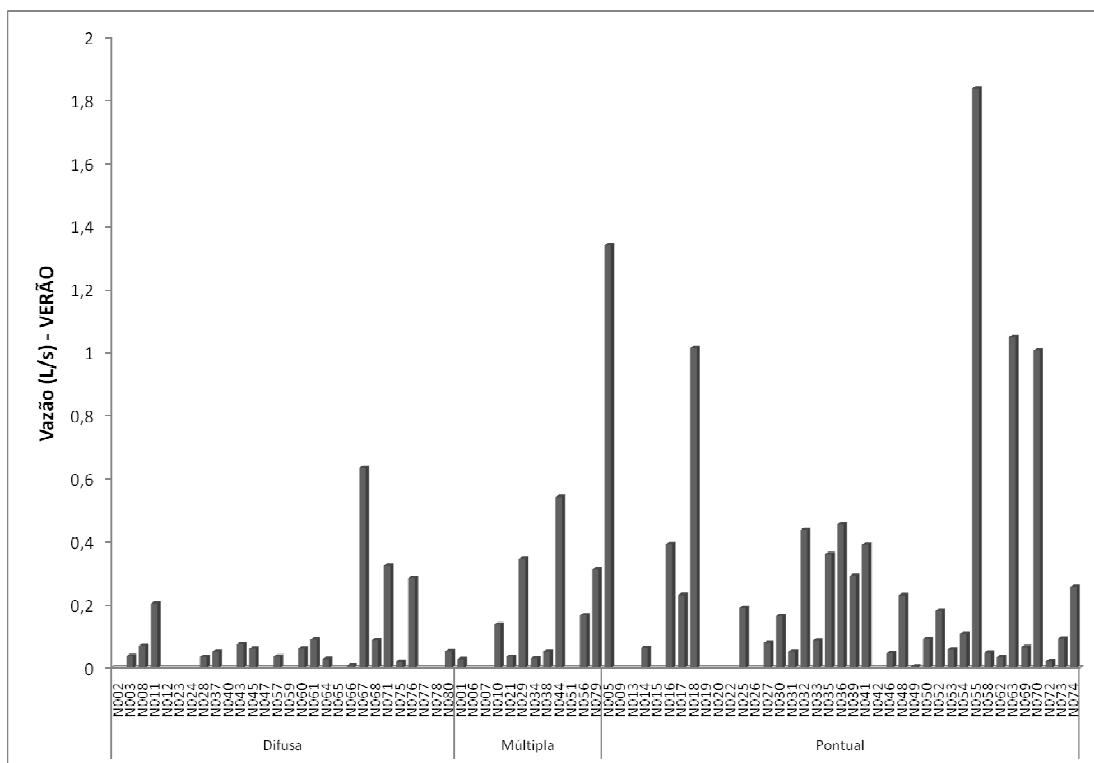


GRÁFICO 13: Classificação da vazão de verão (L/s) das nascentes pelo tipo de exfiltração (verão).
Fonte: Pesquisa de campo.

Na TAB. 7, as observações feitas a partir do GRÁFICO 13 são corroboradas. As nascentes com exfiltração pontual possuem, de modo geral, Q_v muito superior às demais. A média calculada para as pontuais foi 186% superior à das nascentes difusas e 88% maior do que a média de Q_v para nascentes com exfiltração múltipla. Porém, a distribuição dos dados para as nascentes pontuais não é homogênea, como evidencia o desvio padrão, existindo casos de baixa vazão, apesar da predominância de vazões elevadas.

TABELA 7 - Estatística descritiva de Q_v em função do tipo de exfiltração das nascentes

| Tipo de Exfiltração | Frequência | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio |
|---------------------|------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Difusa | 18 | 0,121 | 0,062 | 0,635 | 0,008 | 0,152 |
| Múltipla | 9 | 0,184 | 0,138 | 0,543 | 0,028 | 0,170 |
| Pontual | 31 | 0,345 | 0,181 | 1,839 | 0,005 | 0,436 |

Fonte: Pesquisa de campo.

Contudo, acredita-se que o tipo de exfiltração da água subterrânea esteja associado com a energia dos fluxos subterrâneos. Sendo assim, fluxos com maior energia teriam condições de erodir em subsuperfície e promover a exfiltração de forma pontual. Por outro lado, quando não há energia suficiente, a água aflora de maneira difusa, após encharcar as camadas mais profundas do manto ou dividir-se nas diversas discontinuidades da rocha. Considerando-se que a vazão também é um parâmetro dependente da energia dos fluxos, fica evidente a relação entre esta e o tipo de exfiltração da água nas nascentes.

Pode-se afirmar, então, que há a tendência de nascentes originadas de fluxos subterrâneos de maior energia, terem a água exfiltrada de forma pontual e serem caracterizadas por vazões elevadas. Por outro lado, fluxos subterrâneos que não possuem energia suficiente para promover a exfiltração pontual da água, tendem a formar nascentes difusas com baixa vazão. As nascentes com exfiltração múltipla, por sua vez, apresentam características intermediárias, podendo se aproximar mais das nascentes pontuais, quando forem caracterizadas por vários pontos de exfiltração; ou das nascentes difusas, quando associarem pontos e áreas de exfiltração.

A existência e a posição de afloramentos rochosos em relação às nascentes parece ser, também, um importante parâmetro na interpretação da variabilidade das vazões. Em comparação com o manto de intemperismo, a rocha matriz tende a possuir um grau de permeabilidade consideravelmente inferior, estando a movimentação da água, na maioria das vezes, controlada pelo sistema de fraturas e falhas. Sendo assim, a existência de afloramentos pode marcar uma ruptura de permeabilidade no perfil do solo que tende a induzir a exfiltração.

No GRÁFICO 14, verifica-se que dentre as cinco nascentes de maior vazão média anual – Q_a – três são caracterizadas por afloramentos rochosos no local da exfiltração, incluindo as duas de maior valor. Considerando-se as nascentes que se encontram embasadas pelas rochas do Supergrupo Minas isso se evidencia ainda mais, já que todas as seis nascentes de maior vazão desse domínio geológico possuem afloramentos no local de exfiltração.

Ademais, em todas as nascentes que possuem Q_a acima de 0,4 L/s só foram verificadas duas classes de posição de afloramentos: na nascente e inexistente. Essa dicotomia coincide com a compartimentação geológico-geomorfológica, já que as nascentes de alta vazão que não possuem afloramentos rochosos encontram-se na Depressão de Belo Horizonte, embasadas pelo Complexo Belo Horizonte e caracterizadas, de modo geral, por extensos mantos de intemperismo, o que torna extremamente rara a existência de afloramentos rochosos.

Todavia, a existência de afloramentos a montante ou a jusante das nascentes pouco diz sobre sua dinâmica hidrológica. De uma forma geral, essas nascentes possuem baixo Q_a , mormente inferior a 0,2 L/s. Porém, como somente duas nascentes com afloramento a jusante puderam ter sua Q_a calculada, não é possível realizar afirmações conclusivas.

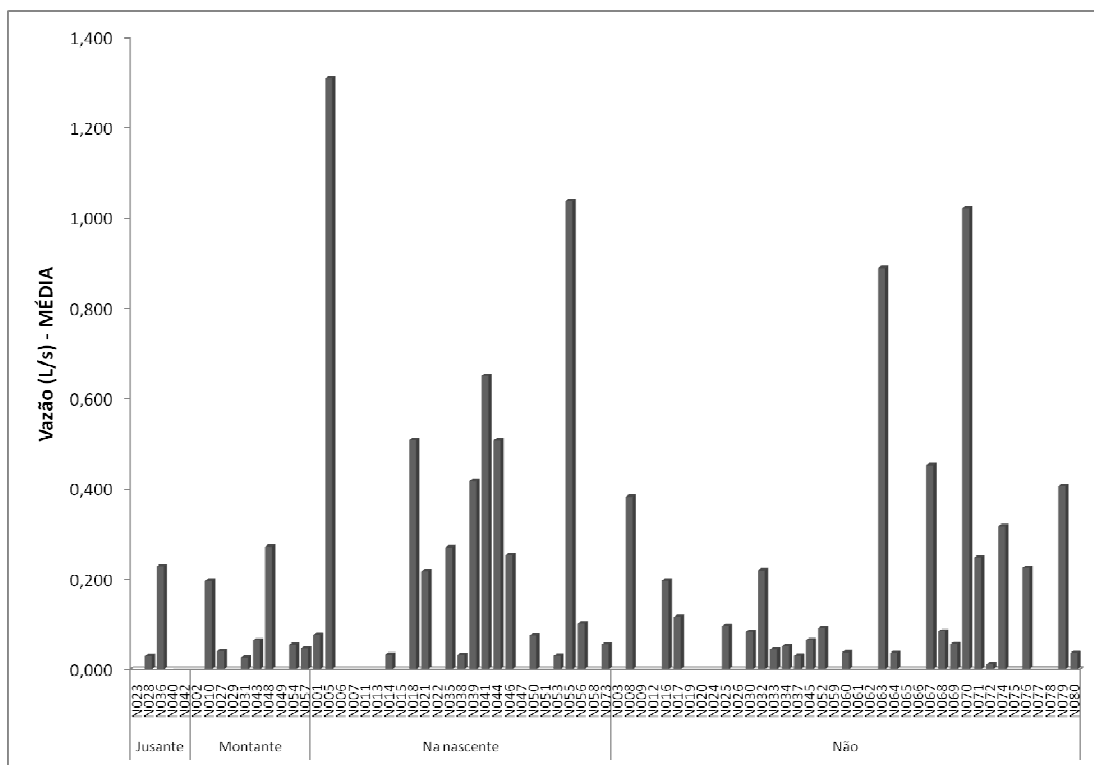


GRÁFICO 14: Classificação da vazão média anual (L/s) das nascentes pela posição dos afloramentos.
Fonte: Pesquisa de campo.

As duas classes que apresentaram a maior média de Q_a foram, de fato, as nascentes com afloramento no local de exfiltração e aquelas que não possuem afloramento. Porém, os valores foram consideravelmente distintos (TAB. 8). As primeiras tiveram média de Q_a de 0,348 L/s, 61% superior àquela registrada pelas nascentes sem afloramentos. Com valores médios expressivamente mais baixos, encontram-se as nascentes com afloramento à jusante – 0,129 L/s – seguidas pelas com afloramentos à montante – 0,100 L/s.

TABELA 8 - Estatística descritiva de Q_a em função posição dos afloramentos rochosos nas nascentes

| Posição dos afloramentos | Frequência | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio |
|--------------------------|------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Jusante | 2 | 0,129 | 0,129 | 0,228 | 0,029 | 0,099 |
| Montante | 7 | 0,100 | 0,054 | 0,272 | 0,026 | 0,088 |
| Na nascente | 16 | 0,348 | 0,235 | 1,309 | 0,029 | 0,369 |
| Não há | 24 | 0,216 | 0,093 | 1,022 | 0,011 | 0,257 |

Fonte: Pesquisa de campo.

Interpretando o desvio padrão em relação às médias, nota-se que as nascentes com afloramento no local de exfiltração possuem, de uma forma geral, os valores de Q_a mais bem distribuídos em torno da média. O mesmo vale para as nascentes com afloramento à jusante e para as com afloramento à montante. A dispersão é maior para nascentes em que não há afloramentos, onde os valores de Q_a são bastante heterogêneos, apesar da média relativamente elevada.

Essas afirmações sobre a relação da posição dos afloramentos rochosos com a vazão das nascentes podem ser aprimoradas pela interpretação da profundidade do manto de intemperismo. Sabe-se que, de uma forma geral, mantos muito espessos tendem a não possibilitar a existência de afloramentos. Por outro lado, mantos rasos, mesmo que não ocorram afloramentos, tendem a ter menor capacidade de armazenar água, fazendo-a exfiltrar.

As duas nascentes de maior Q_a possuem manto de intemperismo praticamente inexistente, como evidencia o GRÁFICO 15. Por serem em dutos esculpidos diretamente na rocha, o fluxo subterrâneo não é influenciado pelo manto no momento da exfiltração. Por outro lado, a terceira nascente de maior Q_a , possui manto espesso, superior a 50 cm. As classes intermediárias apresentaram uma grande porcentagem de nascentes abaixo de 0,2 L/s, dentre essas, destaca-se quanto ao Q_a as nascentes com manto de 2 a 11 cm, em que existem quatro casos acima desse limiar.

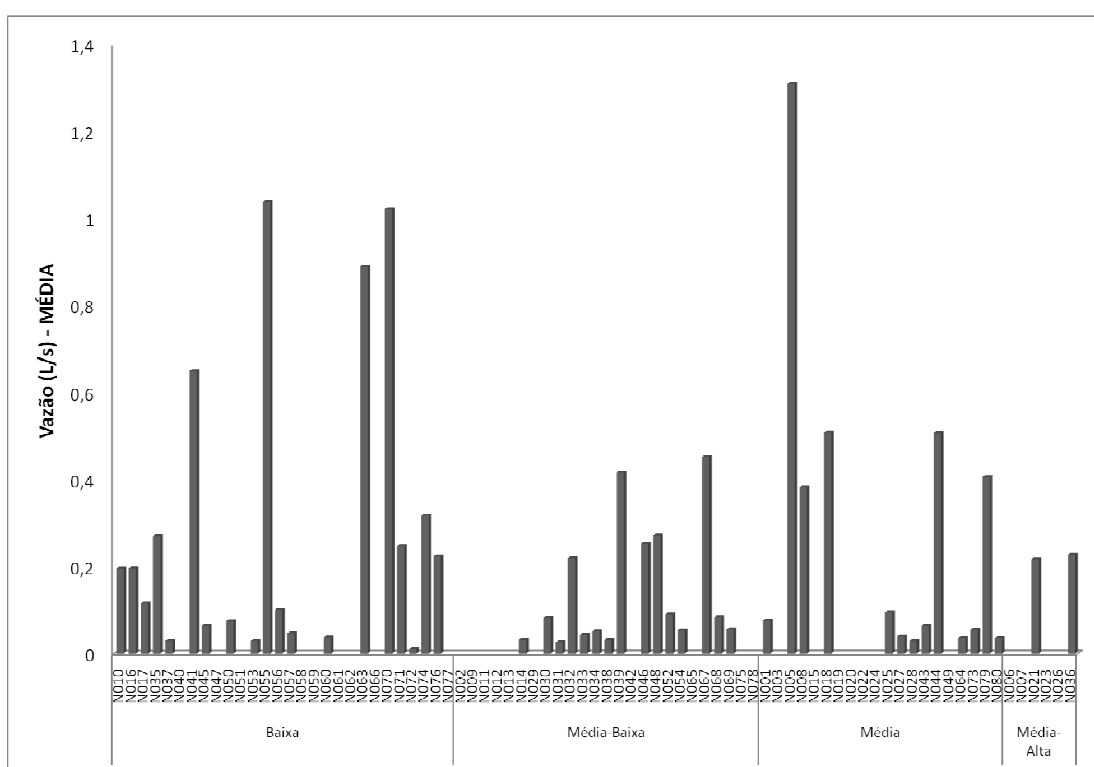


GRÁFICO 15: Classificação da vazão média anual (L/s) das nascentes pela profundidade do manto de intemperismo. Fonte: Pesquisa de campo.

Apesar das nascentes que têm manto de intemperismo com profundidade superior a 50 cm apresentarem um caso com Q_a elevado – 1,022 L/s –, esse parece ser um fato isolado, posto que a maioria destas possui Q_a inferior a 0,2 L/s. Como se observa no GRÁFICO 5, esses casos estão com distribuição dos valores de Q_a muito heterogênea.

De fato, a TAB. 9 confirma essa observação. As nascentes com mais de 50 cm de manto possuem a maior relação entre o desvio padrão e a média de Q_a . Apesar de seu valor máximo ser elevado, a mediana é baixa, assim como sua média – terceira maior dentre as classes.

TABELA 9 - Estatística descritiva de Q_a em função da profundidade do manto de intemperismo nas nascentes

| Profundidade do manto | Frequência | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio |
|------------------------------|-------------------|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 a 1 cm | 9 | 0,389 | 0,217 | 1,309 | 0,029 | 0,440 |
| 2 a 11 cm | 9 | 0,227 | 0,196 | 0,508 | 0,051 | 0,168 |
| 12 a 21 cm | 7 | 0,144 | 0,064 | 0,406 | 0,029 | 0,131 |
| 22 a 49 cm | 10 | 0,178 | 0,073 | 0,650 | 0,026 | 0,194 |
| acima de 50 cm | 13 | 0,192 | 0,082 | 1,022 | 0,011 | 0,271 |

Fonte: Pesquisa de campo.

As maiores médias de Q_a são, justamente, das classes de menor profundidade do manto. Essa observação confirma a argumentação acerca dos afloramentos rochosos. Por possuírem uma camada impermeabilizante muito próxima à superfície, essas nascentes têm o fluxo subterrâneo concentrado e sua exfiltração induzida. A primeira classe de profundidade foi a que registrou maior média de Q_a – 0,389 L/s – 71% superior à segunda classe. Sua mediana também foi bastante elevada, apesar do desvio padrão indicar a distribuição heterogênea dos dados.

As nascentes com manto de 2 a 11 cm de profundidade também obtiveram média de Q_a elevada. Além disso, o desvio padrão baixo indica que os dados se distribuem próximos à média, o que reafirma a tendência a altas vazões das nascentes com esse tipo de manto. Porém, as classes intermediárias foram as que apresentaram as menores médias de Q_a , apesar da classe com mantos mais espessos – que incorporam todas as profundidades acima de 50 cm – apresentar média ligeiramente superior.

Todas essas assertivas indicam que a existência de anteparos de menor permeabilidade tende a promover a exfiltração da água. Assim, nascentes situadas em locais onde a rocha matriz está próxima à superfície possuem, de um modo geral, vazões mais altas. Acredita-se que isso ocorra devido à concentração do fluxo nesses contatos.

A interpretação das vazões médias anuais das nascentes em função da declividade em que estas se encontram, todavia, não permite apontamentos conclusivos. Como mostra o GRÁFICO 16, as principais nascentes em relação ao Q_a , dividem-se entre baixa e média declividade. Porém, da mesma forma com que estas classes apresentam casos de alta vazão, também foram registrados inúmeros casos abaixo de 0,2 L/s.

Em termos estatísticos (TAB. 10), as distinções são, também, dúbias. A maior média de Q_a foi registrada para nascentes de baixa declividade – 0,293 L/s. Entretanto, esse valor é apenas 7% superior ao encontrado nas de média declividade. O desvio padrão, porém, é menor nas nascentes de baixa declividade, indicando maior proximidade dos dados em relação à média. Ademais, as nascentes de alta declividade também obtiveram uma média elevada – 0,222 L/s – apesar de contarem com apenas dois casos em que foi possível o cálculo da vazão média anual.

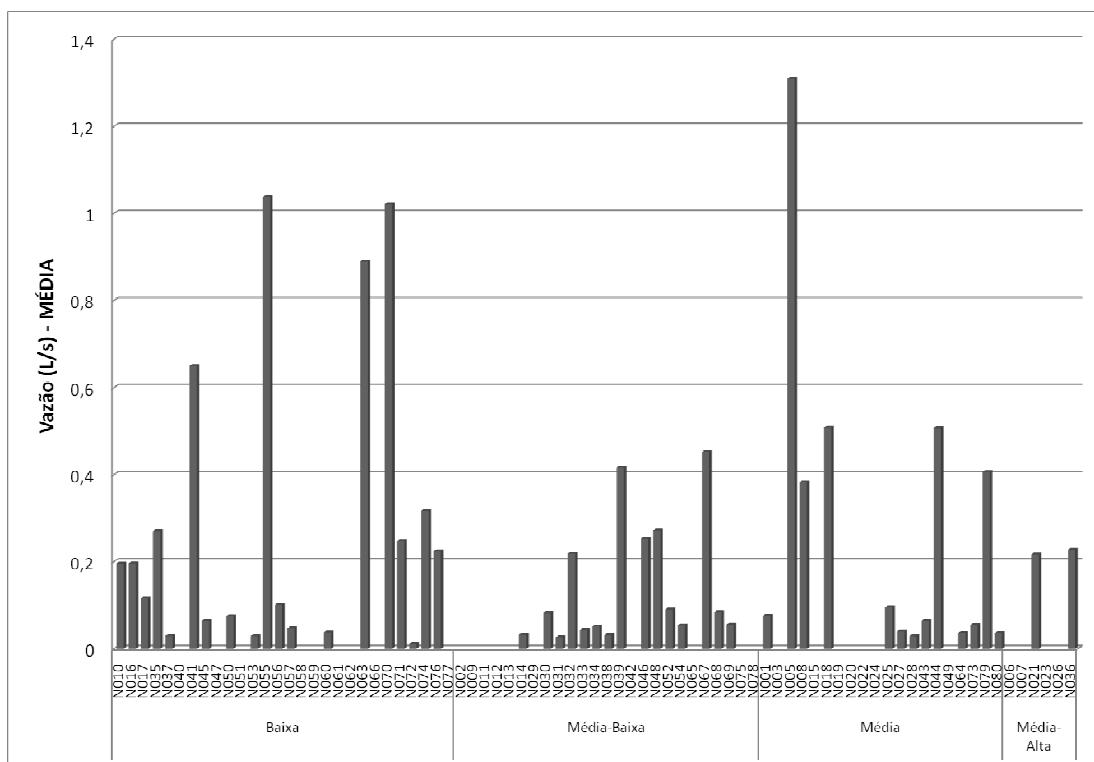


GRÁFICO 16: Classificação da vazão média anual (L/s) das nascentes em função da declividade.
Fonte: Pesquisa de campo.

A interpretação da relação entre declividade e vazão das nascentes é complexificada ainda mais pela baixa média de Q_a das nascentes de declividade média-baixa. Esse fato impossibilita a interpretação de uma gradação, ou seja, o aumento da declividade não evidencia uma redução ou um aumento de Q_a .

TABELA 10 - Estatística descritiva de Q_a em função da declividade das nascentes

| Declividade | Frequência | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio |
|-------------|------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Baixa | 19 | 0,293 | 0,196 | 1,038 | 0,011 | 0,333 |
| Média-Baixa | 15 | 0,144 | 0,082 | 0,452 | 0,026 | 0,138 |
| Média | 13 | 0,273 | 0,076 | 1,309 | 0,029 | 0,351 |
| Média-Alta | 2 | 0,222 | 0,222 | 0,228 | 0,217 | 0,006 |

Fonte: Pesquisa de campo.

Por fim, por mais que possa existir um condicionamento das vazões pela declividade das nascentes – sobretudo em função da energia envolvida nos fluxos subterrâneos – este não foi evidenciado pelo conjunto estudado. É possível que outras variáveis mais significativas possam ter ocultado qualquer relação para as nascentes nos quais os dados foram levantados.

Outra analogia de grande interesse é aquela existente entre os sistemas aquíferos e as vazões das nascentes. Sabendo que a origem das águas das nascentes é subterrânea, espera-se que cada aquífero possua nascentes com distintas vazões. Porém, em um sistema complexo, como no caso da Serra do Curral, é difícil identificar com precisão a origem das águas subterrâneas, posto que de acordo com a distribuição espacial dos fluxos, uma mesma nascente pode ser alimentada por água de diversos aquíferos. Desse modo, metodologicamente, foi utilizado como aquífero de referência aquele diretamente sotoposto à nascente, pois, mesmo que ele não seja o único responsável pela exfiltração, com certeza a água da nascente passa por ele.

No GRÁFICO 17, verifica-se que as três nascentes de maior Q_a caracterizam-se, cada uma, por uma unidade geológica distinta: a Formação Cercadinho, a Formação Gandarela e o Complexo Belo Horizonte, respectivamente. Da mesma forma, todas as unidades possuem um grande número de nascentes com vazão média anual muito baixa.

A distinção é mais clara a partir da interpretação dos valores intermediários de Q_a . A Formação Cercadinho possui a maioria dos seus casos acima de 0,2 L/s, mais precisamente, entre 0,3 e 0,7 L/s. O mesmo ocorre com o Complexo Belo Horizonte, com 55% dos seus casos acima do limiar de 0,2 L/s. A Formação Gandarela, por outro lado, possui praticamente todos os casos abaixo com Q_a inferior a 0,3 L/s, excluindo-se desta regra apenas duas nascentes (GRÁFICO 17).

A TAB. 11 evidencia que praticamente não há diferença entre as médias de Q_a das nascentes na Formação Cercadinho e no Complexo Belo Horizonte. Os valores se distinguem apenas 1,8%, com ligeira superioridade da primeira. Porém, a mediana é superior no Complexo Belo Horizonte, assim como o desvio padrão, mostrando que nessa unidade geológica a dispersão dos dados é menor.

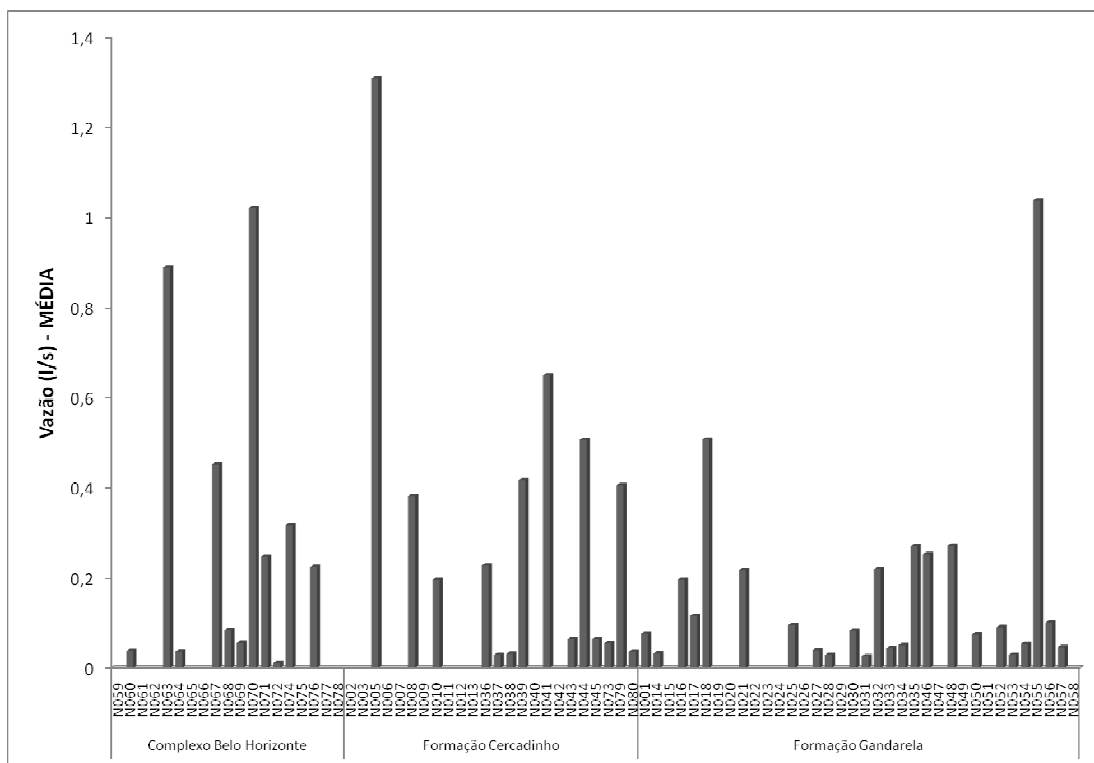


GRÁFICO 17: Classificação da vazão média anual (L/s) das nascentes por unidade geológica.
Fonte: Pesquisa de campo.

TABELA 11 - Estatística descritiva de Q_a em função da unidade geológica em que se encontram as nascentes

| Unidade | Frequência | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio |
|-------------------------|------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Complexo Belo Horizonte | 11 | 0,307 | 0,224 | 1,022 | 0,011 | 0,334 |
| Formação Cercadinho | 14 | 0,313 | 0,212 | 1,309 | 0,030 | 0,340 |
| Formação Gandarela | 24 | 0,165 | 0,086 | 1,038 | 0,026 | 0,214 |

Fonte: Pesquisa de campo.

Todavia, fica claro que a Formação Gandarela é a que apresenta nascentes de menores vazões. A média de Q_a para essa unidade foi 48% menor do que a registrada nas demais. Apesar de possuir um valor máximo elevado, sua mediana é consideravelmente baixa. Além disso, a relação do desvio padrão com a média mostra que os dados estão dispersos.

Contudo, pode-se afirmar que as nascentes na Formação Gandarela – caracterizada por rochas com baixa permeabilidade primária, como dolomitos itabiríticos e itabiritos dolomíticos – tendem a possuir baixa vazão. Por outro lado, a Formação Cercadinho e o Complexo Belo Horizonte apresentaram comportamentos muito semelhantes em relação à vazão de suas nascentes, sendo impossível, com os dados levantados, apontar alguma superioridade entre essas. Acredita-se que a permeabilidade secundária das rochas da Formação Cercadinho e o espesso manto de intemperismo do Complexo Belo Horizonte auxiliem na explicação dessas elevadas vazões.

8.3. *Mobilidade das nascentes na vertente*

A migração das nascentes é uma resposta superficial à alteração sazonal da dinâmica subterrânea da água. De acordo com as modificações de quantidade e de energia da água nos aquíferos, a exfiltração pode modificar sua posição na vertente ao longo do ano. Mormente, espera-se que nascentes alimentadas por um nível freático variável, desloquem sua exfiltração para jusante no período de estiagem, devido à diminuição da quantidade de água armazenada. Por outro lado, nascentes que mantêm a posição da exfiltração ao longo de todo ano hidrológico tendem a ser alimentadas por aquíferos mais estáveis, em que a variação do nível freático, quando existe, é pequena.

Segundo Faria (1997), as nascentes podem ser classificadas quanto a sua mobilidade em *móveis* e *fixas*. Segundo o autor, a principal diferenciação decorre do fato das nascentes móveis serem controladas pela “saturação provocada pela oscilação do nível hidrostático” (FARIA, 1997, p. 75). O autor ainda relata casos de nascentes na Inglaterra em que foi registrado um deslocamento de 7km, e no estado do Espírito Santo onde foi medida uma migração de 3km.

Todavia, essa dicotomização é muito mais complexa do que parece ser. Primeiramente, é necessário definir uma escala temporal para análise, pois, as nascentes podem migrar para montante e jusante diversas vezes no ano, de acordo com sua dinâmica subterrânea. Além disso, essa classificação pode alterar-se ano a ano, devido à variação dos parâmetros climáticos. Por exemplo, uma nascente considerada fixa em um determinado ano, ao passar por um período de estiagem mais severa, pode migrar a jusante. Por isso, essa classificação é dinâmica. Para evitar possíveis equívocos, adotou-se aqui a medida da posição da exfiltração em dois períodos determinados pelos trabalhos de campo. Assim, foram consideradas móveis aquelas que modificaram sua posição entre os trabalhos de campo de verão e de inverno; e fixas aquelas que mantiveram sua localização.

Dentre as nascentes pesquisadas, 21 estavam secas no momento das análises de inverno e duas não puderam ter sua migração calculada, somando 29% do rol (GRÁFICO 18). As nascentes fixas – migração de 0 cm – foram as mais representativas, totalizando 43% dos casos. Os demais 28% dos casos correspondem a nascentes móveis.

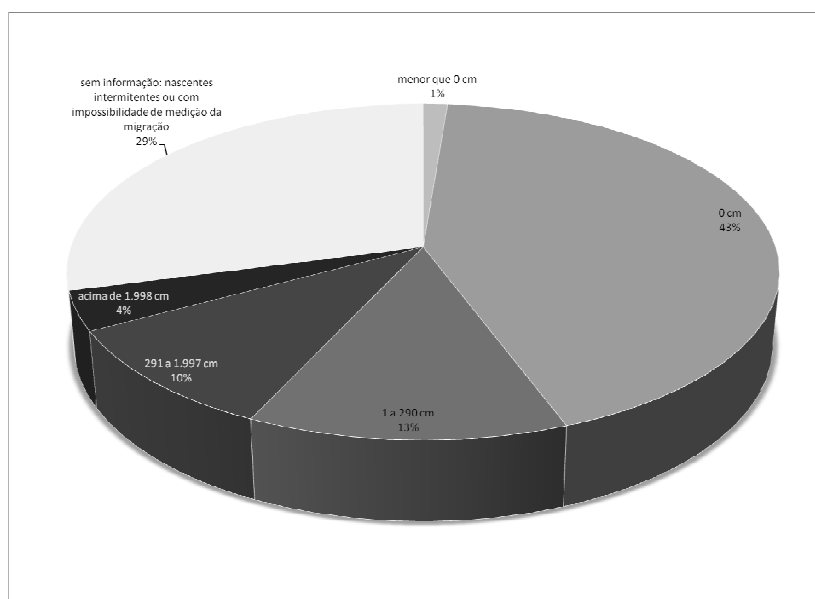


GRÁFICO 18: Distribuição das nascentes estudadas por classes de migração.
Fonte: Pesquisa de campo.

A maior parte das nascentes móveis caracterizou-se por migrações de curtas distâncias a jusante, ou seja, alteraram em menos de 2,90 m sua posição na vertente. Na classe de 2,91 a 19,97 m de migração foram enquadrados 10% das nascentes estudadas, consideradas com deslocamento intermediário. Porém, 4% das nascentes apresentaram grande mobilidade, sendo caracterizadas por deslocamentos superiores a 20 metros (GRÁFICO 18). Dois desses casos encontram-se no Parque das Mangabeiras, em uma mesma bacia hidrográfica, evidenciando a influência de uma mesma dinâmica subterrânea em ambos. O terceiro caso ocorre no Parque Lagoa do Nado, em condições geológicas e geomorfológicas completamente distintas dos dois primeiros.

Um caso inesperado de migração à montante no inverno foi verificado em N012. A exfiltração estava deslocada pouco mais de um metro a montante no momento da análise. N012 é uma nascente em talvegue, com exfiltração difusa e manto de intemperismo muito pouco espesso. Porém, está localizada na única bacia do Parque das Mangabeiras que é parcialmente ocupada por residências. Nessa mesma bacia, nas proximidades de N012, foi verificado o lançamento de esgoto na ravina que origina N011. Essa dinâmica antrópica pode ser a resposta para a migração à montante de N012. Os dados dos parâmetros microbiológicos desta nascente – Capítulo 7 – endossam essa hipótese.

Porém, de uma forma geral, a média de deslocamento das nascentes é de 3,60 m, apesar da moda – valor repetido 34 vezes – ser zero. Dessa maneira, a mediana também é zero, o que provocou um desvio padrão extremamente elevado, superior ao dobro da média. O valor máximo, como já foi dito, é de 43,68 m e o mínimo, -139 cm.

Os casos mais expressivos de migração – tanto à montante quanto à jusante – localizam-se no Parque das Mangabeiras (FIG. 74). Além da única nascente que registrou deslocamento à montante – N012 – nele encontra-se também aquela que promoveu o maior deslocamento à montante, superior 43 metros – N029. Porém, a maioria das nascentes perenes do Parque das Mangabeiras é fixa ou possui deslocamento pequeno. Nesta unidade de conservação, as nascentes que apresentaram migração alta e média, se postavam, majoritariamente, nas porções mais elevadas dos canais de drenagem.

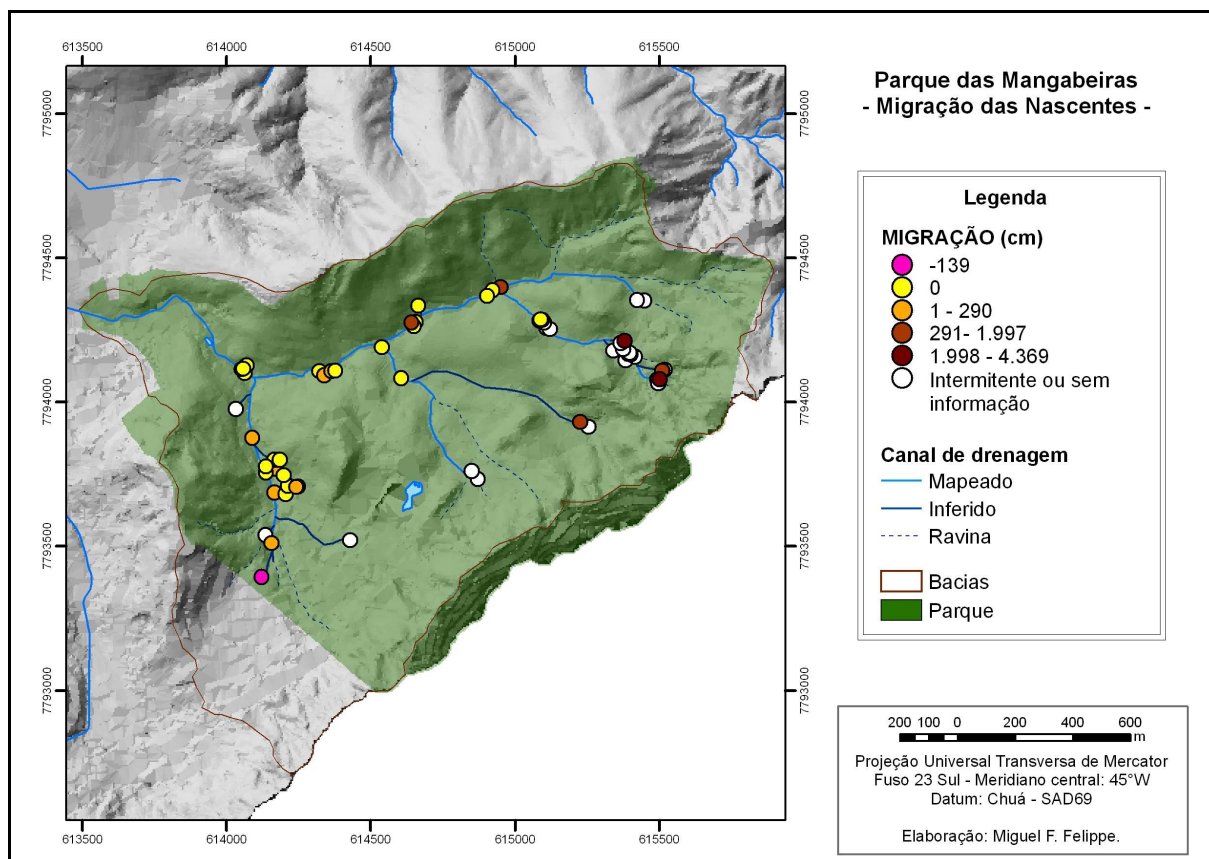


FIGURA 74 – Deslocamento sazonal das nascentes do Parque das Mangabeiras.

Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

A nascente de maior deslocamento – N029 – tem seu entorno caracterizado por uma grande densidade de nascentes, muitas delas intermitentes, o que pode auxiliar na explicação da magnitude do deslocamento. É possível que o nível freático nessa porção do parque tenha se rebaixado a ponto de secar todas as nascentes que existiam nas imediações. Porém, os fluxos subterrâneos, nessas condições, tendem a se concentrar nas linhas de maior gradiente de energia, aflorando em um local comum a jusante, como uma migração de N029. Isso significa dizer que esta nascente pode significar, simultaneamente, o deslocamento não apenas de uma, mas de várias exfiltrações. Entretanto, estudos verticalizados devem ser feitos para afirmar ou refutar esta hipótese.

O Parque Lagoa do Nado possui uma dinâmica de migração das nascentes semelhante à verificada do Mangabeiras (FIG. 75). Dentre as suas nascentes perenes, 63,6% são fixas. As demais são compostas por uma nascente na classe alta para migração, duas na média e uma na classe baixa. Não se pode verificar uma regularidade na distribuição espacial das classes de migração, porém três nascentes móveis encontram-se relativamente próximas.

De modo similar, o Parque Primeiro de Maio guarda as mesmas características dos demais quanto à mobilidade das nascentes (FIG. 76). Dentre as nascentes perenes, 66,6% são fixas. Apenas duas nascentes são móveis, uma na classe média e a outra na baixa. Também não foi verificado nenhum padrão espacial de migração no Parque Primeiro de Maio.

Contudo, pouco se pode afirmar a partir da interpretação de possíveis relações causais entre a migração das nascentes e as demais características levantadas. Em termos gerais, o grande número de nascentes fixas promove uma heterogeneidade de características que inviabiliza conclusões precisas.

Em termos morfológicos, as nascentes móveis tendem a possuir uma morfologia no verão e outra no inverno, complexificando sua classificação. Porém, quando a nascente se encontra em um talvegue, o deslocamento tende a alterar somente a posição da exfiltração mantendo a forma básica. O mesmo ocorre com o tipo de exfiltração, já que é comum que nascentes móveis alterem as condições de afloramento da água. O mais frequente foi a transformação da exfiltração pontual em múltipla ou difusa, corroborando a hipótese de que a energia dos fluxos dita o tipo de exfiltração.

Entendendo a migração e a vazão como dois parâmetros da dinâmica hidrológica das nascentes, esperava-se que houvesse alguma relação entre esses. Sabe-se que, direta ou indiretamente, ambos são controlados pela energia dos fluxos subterrâneos, associados ao potencial hidráulico e à quantidade de água armazenada no aquífero, bem como sua sazonalidade. Essa relação, porém, não se mostrou tão clara quanto o esperado.

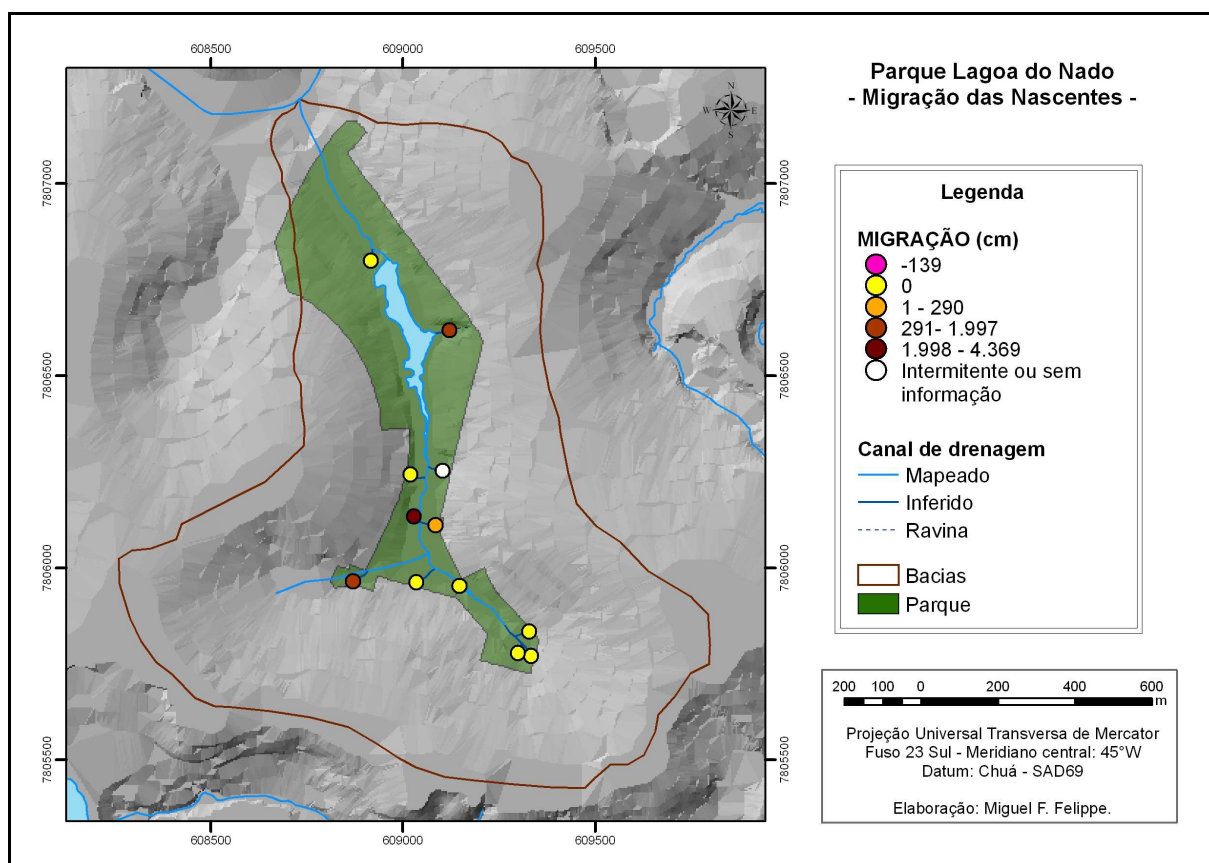


FIGURA 75 – Deslocamento sazonal das nascentes do Parque Lagoa do Nado.

Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

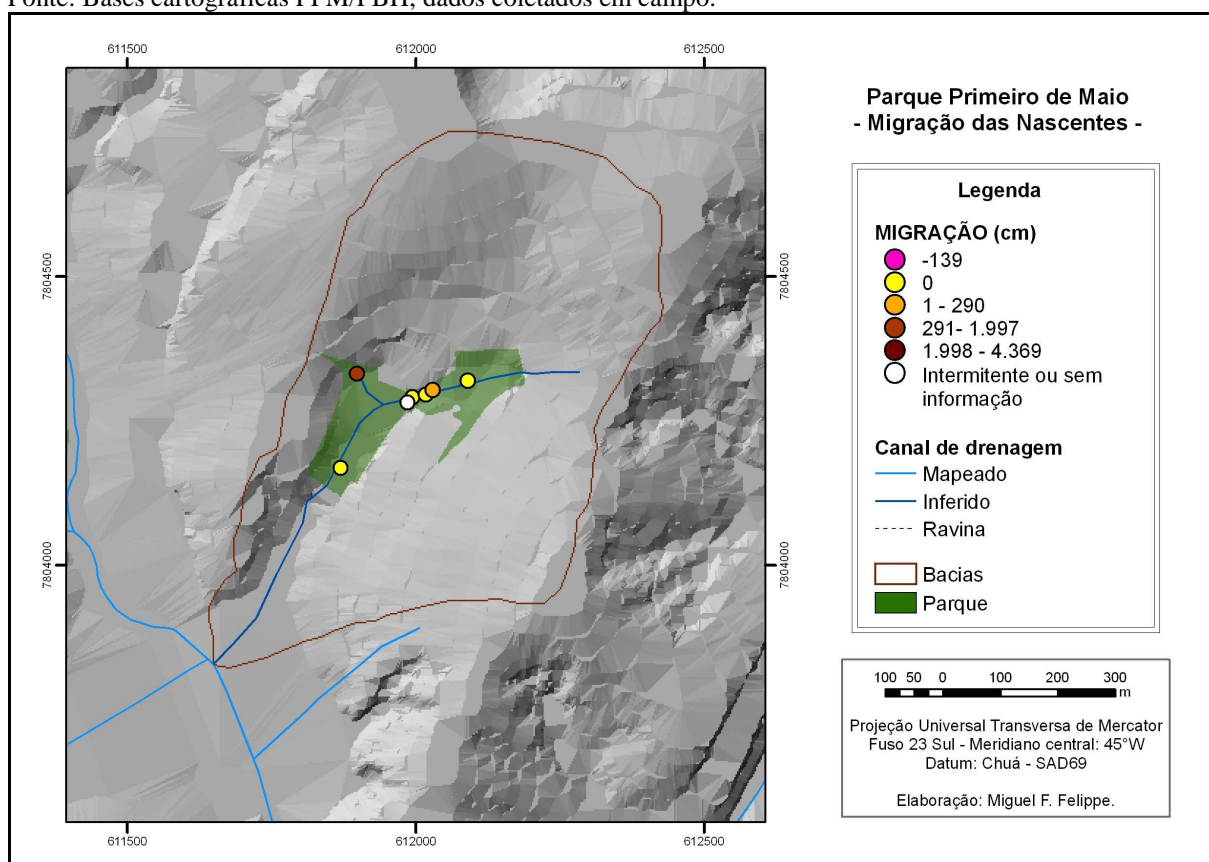


FIGURA 76 – Deslocamento sazonal das nascentes do Parque Primeiro de Maio.

Fonte: Bases cartográficas FPM/PBH; dados coletados em campo.

7. GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS DAS NASCENTES

As características químicas da água possuem grande variabilidade. As características do clima, do solo, da vegetação, a geologia local e regional, entre outras, são elementos que condicionam a concentração de diversos minerais na água. No caso da água de nascentes, a influência da dinâmica subterrânea é ainda mais evidente. Desse modo, posto que a água carrega a assinatura geoquímica das litologias que drena (SALGADO *et al*, 2004), a interpretação da concentração de determinados elementos na água das nascentes pode indicar o caminho que esta percorreu até a exfiltração, dando indícios de sua origem.

Em função das características litológicas dos locais de estudo, optou-se neste trabalho pela avaliação das concentrações de Sílica, Ferro total e Alumínio na água das nascentes, os elementos mais abundantes da crosta terrestre ao lado do oxigênio (TEIXEIRA, 2000). A metodologia utilizada consistiu na coleta das amostras em garrafas de 500 ml, acondicionadas em refrigerador. A leitura das concentrações foi realizada em fotocolorímetro após preparação padrão das amostras de acordo com o manual de utilização do aparelho, sugerida pela Alfakit. O limite mínimo de detecção desse procedimento é de 0,0009 mg/L, sendo considerados apenas os algarismos significativos. O valor máximo de leitura, via essa metodologia, é de 4,000 mg/L para os elementos analisados, os casos acima desse limiar foram excluídos dos cálculos estatísticos por suspeita de contaminação das amostras⁵⁶. As análises foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG.

Após o Oxigênio, o Silício é o elemento de maior abundância na crosta terrestre (TEIXEIRA, 2000), presente nas rochas sobretudo na forma de Sílica – SiO_2 , SiO_3^- . Possui diversas formas cristalinas, a principal e mais corriqueira é o quartzo (LEINZ; AMARAL, 1989). Mineralogicamente, compõe a estrutura de uma série de litotipos, além de ser responsável por grande parte dos sedimentos de fração areia. Nas unidades de estudo, a Sílica encontra-se presente na forma de quartzo nos granitos, gnaisses e migmatitos do Complexo Belo Horizonte, nas lentes de itabirito da Formação Gandarela e nos filitos e quartzitos da Formação Cercadinho (SILVA *et al*, 1995).

O Ferro é encontrado na natureza sob duas formas iônicas: oxidado e reduzido, Fe^{+3} e Fe^{+2} , respectivamente (LEINZ; AMARAL, 1989). Em contato com o ar, o Fe^{+2} oxida, formando o

⁵⁶ Para minimizar possíveis erros laboratoriais, serão utilizados somente duas casas decimais, tendo sido realizado arredondamento dos valores.

hidróxido de ferro, composto insolúvel; por outro lado, em contato com a água há redução do Fe^{+3} . O Ferro é um dos elementos característicos do Supergrupo Minas, encontrado, principalmente na forma de hematita e magnetita, compondo, mineralogicamente, os itabiritos, os dolomitos itabiríticos, a matriz de metaconglomerados, entre outros (SILVA *et al*, 1995).

O Alumínio é o elemento metálico mais abundante da crosta (TEIXEIRA, 2000). É encontrado, sobretudo, na forma de óxidos e hidróxidos. Suas diversas formas mineralógicas ocorrem nos vários litotipos das unidades de estudo, sendo um elemento constante, também, nos mantos de intemperismo. O Alumínio é reconhecidamente um dos elementos mais resistentes à desnudação geoquímica, como demonstra o trabalho de Salgado *et al* (2005). Desse modo, a concentração de Alumínio nas águas tende a ser extremamente baixa, posto que “na faixa de pH entre 6 e 9, usual em águas naturais, a solubilidade do alumínio contido em rochas e solos aos quais a água está em contato é muito baixa” (VIANA, 2006, p. 49).

Contudo, essas análises podem contribuir não somente com uma caracterização geoquímica da água, mas também com um resgate da origem das nascentes. Acredita-se que de acordo com a variação na concentração de determinados elementos, pode-se inferir o caminho – em termos de litotipos – que a água subterrânea percorreu até a exfiltração. Além disso, pode-se discutir, também, a possibilidade de estudos acerca da desnudação geoquímica e da lixiviação das águas subterrâneas a partir das nascentes.

7.1. *Caracterização das concentrações de alumínio, ferro e sílica nas amostras de água das nascentes*

As amostras para análise das concentrações de Alumínio, Ferro e Sílica dissolvidos na água das nascentes foram coletadas nos dois períodos distintos do ano – período chuvoso e de estiagem – nos quais foram realizados os trabalhos de campo. Assim, puderam-se obter as concentrações de verão e inverno dos três elementos em cada uma das nascentes. Para caracterização em termos anuais, foi realizada a média das concentrações sazonais.

As concentrações mensuradas de Alumínio, Ferro e Sílica nas nascentes estudadas nos parques de Belo Horizonte foram, de uma forma geral, muito baixas, como demonstra o GRÁFICO 20. A Sílica foi o elemento de maior presença nas amostras. Na maioria absoluta das nascentes foi o de maior destaque quando comparado aos outros dois mensurados.

Ademais, a média anual da concentração de Sílica foi comumente superior a 1 mg/L, tendo uma maior concentração de casos, sobretudo entre os limiares de 0,8 e 1,4 mg/L.

O Alumínio e o Ferro são considerados elementos traços (BEATO *et al*, 2003). As concentrações de Alumínio foram, prioritariamente, as menores dentre os elementos analisados. Houve vários casos com média anual nula. Os valores se concentram, sobretudo, abaixo de 0,2 mg/L, sendo que somente em um caso a concentração média superou 0,4 mg/L. As concentrações médias anuais de Ferro também apresentaram valores muito baixos, porém, ligeiramente superiores aos de Alumínio. Nenhum caso foi registrado com concentração média nula, além disso, o maior número de casos possui valores entre 0,1 e 0,4 mg/L. Em três nascentes a concentração média anual de Ferro foi superior a 1 mg/L.

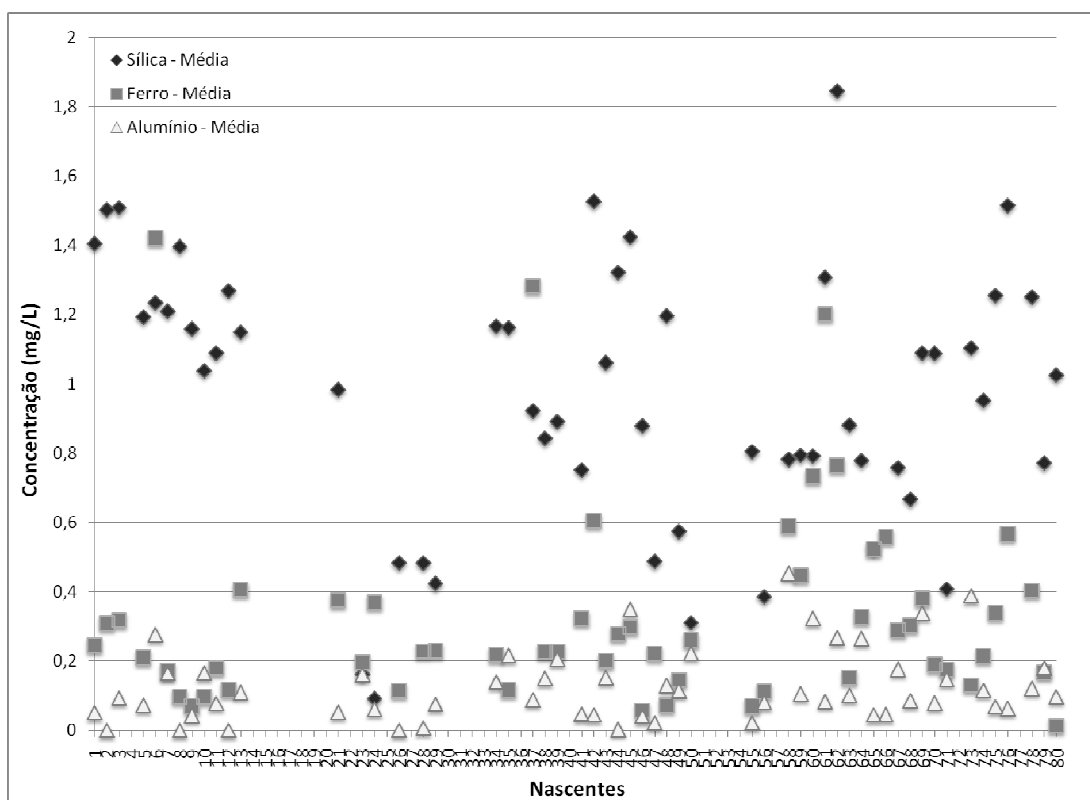


GRÁFICO 20 – Concentrações médias anuais de sílica, ferro e alumínio nas nascentes estudadas.
Fonte: Análise laboratorial.

A TAB. 12 amplia a análise gráfica. A média da concentração de Sílica nas nascentes é praticamente três vezes maior do que a de Ferro e, esta, quase três vezes maior do que a de Alumínio. Esse resultado corrobora o descrito em uma série de trabalhos que demonstram que a Sílica é mais facilmente mobilizada que o Ferro e, este, que o Alumínio em ambientes naturais. Os valores médios encontrados, porém, são muito inferiores aos referidos na literatura.

Beato *et al* (2003) calculou as concentrações médias de uma série de elementos nas águas subterrâneas e superficiais da bacia da Pampulha – Belo Horizonte, MG. Nas águas subterrâneas a concentração média de Sílica foi de 14,70 mg/L, enquanto as de Ferro e de Alumínio foram de 2,02 e 0,56 mg/L, respectivamente. Nas águas superficiais a concentração de Sílica não foi calculada, porém a de Ferro subiu para 2,95 mg/L e a de Alumínio para 1,00 mg/L (BEATO *et al*, 2003).

| TABELA 12 - Estatística descritiva das concentrações médias anuais (mg/L) de Sílica, Ferro e Alumínio dissolvidos nas nascentes | | | | | | |
|--|--------------|---------------|---------------|----------------|-------------|---------------|
| | Média | Máximo | Mínimo | Mediana | Moda | Desvio |
| Sílica | 0,96 | 1,84 | 0,09 | 1,03 | - | 0,38 |
| Ferro | 0,33 | 1,42 | 0,01 | 0,23 | - | 0,29 |
| Alumínio | 0,13 | 0,45 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,10 |

Fonte: Análises laboratoriais.

Duque e Almeida (1998), em trabalho realizado no aquífero dos Gabros de Beja, em Portugal, calcularam uma concentração média de Sílica de 17,0 mg/L. Já Lucena *et al* (2004), em estudos no estado do Rio Grande do Norte, encontraram em poços tubulares concentrações de Ferro que variavam entre 0,01 e 22,40 mg/L. Já Salgado e Valadão (2003) encontraram concentrações de Ferro e Alumínio nas águas superficiais de Gouveia – MG – semelhantes às obtidas nas nascentes deste trabalho – entre 0,09 e 1,37 mg/L de Ferro e todas as amostras de Alumínio com concentração inferior a 0,05 mg/L. Entretanto, para as concentrações de Sílica, esses autores obtiveram resultados que variavam entre 6,9 e 15,0 mg/L, todos superiores ao das nascentes dos parques de Belo Horizonte.

Todos esses dados demonstram a variabilidade que pode haver nas concentrações desses elementos nas águas, mormente, subterrâneas. Por serem uma realidade um pouco distinta – na passagem das águas subterrâneas para a superfície – as águas das nascentes possuem características próprias. De fato, condições ambientais regionais e locais – sobretudo a acidez – podem contribuir para tais divergências, porém, como já foi observado – Capítulo 4 – não há grande variação de pH entre as nascentes estudadas.

Na TAB. 12 pode-se confirmar também, que as medianas são consideravelmente distintas entre os três elementos, porém, no caso do Ferro e da Sílica, não foi verificada a moda, o que ocorreu para o Alumínio devido ao grande número de nascentes com concentração nula. Os desvios padrões foram, de modo geral, baixos. Entretanto, a relação do desvio padrão com a média evidencia uma distribuição menos dispersa dos dados de Sílica. Para as concentrações

de Ferro e Alumínio, o desvio padrão é quase igual à média, indicando uma distribuição mais desigual.

Os dados desagregados por estação podem ampliar a discussão (TAB. 13). As médias e as medianas mostram uma tendência ao aumento da concentração dos elementos no inverno. Esse fato já era esperado, tendo em vista que há menos água disponível nessa estação, promovendo um aumento relativo da concentração. Os máximos também são consideravelmente maiores, exceção feita aos dados de alumínio, em que houve uma pequena queda.

Apesar disso, houve uma queda generalizada dos mínimos do rol no inverno, de modo que todos os três elementos apresentaram casos com concentração nula. Ademais, a moda de Ferro e Alumínio foi zero para essa estação. Essa dicotomia elevou os desvios padrões, ao ampliar a dispersão dos dados. É possível que essa maior heterogeneidade seja em função da alteração na dinâmica dos fluxos subterrâneos. De maneira simples, pode-se dizer que no verão, todas as nascentes possuem fluxos altos, porém, no inverno, algumas mantêm a energia dos fluxos, enquanto outras acabam diminuindo muito a quantidade de água.

TABELA 13 - Estatística descritiva das concentrações (mg/L) de Sílica, Ferro e Alumínio no verão e no inverno

| Elemento | Estação | Média | Máximo | Mínimo | Mediana | Moda | Desvio |
|----------|---------|-------|--------|--------|---------|------|--------|
| Sílica | Verão | 0,74 | 1,70 | 0,02 | 0,75 | 0,75 | 0,35 |
| | Inverno | 1,18 | 2,30 | 0,00 | 1,28 | 0,84 | 0,55 |
| Ferro | Verão | 0,27 | 1,13 | 0,00 | 0,22 | 0,09 | 0,21 |
| | Inverno | 0,37 | 2,48 | 0,00 | 0,24 | 0,00 | 0,47 |
| Alumínio | Verão | 0,08 | 0,76 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,15 |
| | Inverno | 0,16 | 0,70 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,15 |

Fonte: Análises laboratoriais.

Destarte, houve clara tendência ao aumento nas concentrações no inverno, todavia, em algumas nascentes, isso não foi verificado. A concentração de Sílica aumentou no inverno em 43 nascentes, tendo diminuído em 12. Para o Alumínio, os números foram semelhantes: 38 nascentes aumentaram a concentração, 14 diminuíram e quatro mantiveram o mesmo valor registrado no verão. Já para a concentração de Ferro, em 32 nascentes esta aumentou no inverno, porém, em 24 casos houve a diminuição dessa concentração.

Justamente pelo fato de haver um maior número de nascentes na contramão da lógica, foi o Ferro que registrou menor percentual de aumento de concentração no inverno. A variação média foi de 0,086 mg/L, um aumento equivalente a 31%. Para a concentração de Sílica a

variação média foi a maior, em termos absolutos – 0,424 mg/L –, porém em termos relativos isso significa um aumento de 57%. A concentração de Alumínio aumentou, em média, 0,075 mg/L do verão para o inverno, o que representou o maior aumento relativo dentre os elementos analisados, 92%, indicando que a concentração praticamente dobrou no inverno. A variação das médias apresentada na TAB. 13 corrobora essas afirmações.

A interpretação dessas concentrações pode ser refinada pela espacialização dos dados. As FIG. 77, 78 e 79 apresentam a concentração média anual de Sílica nas nascentes dos três parques estudados. Os resultados foram agrupados em cinco classes pelo método da quebra natural.

No Parque das Mangabeiras existe uma nítida distinção entre as concentrações de Sílica entre as nascentes da porção oeste e leste da unidade de conservação (FIG. 77). A maioria dos resultados da bacia do Lago dos Sonhos – extremo sudoeste – enquadrou-se nas duas classes de maior concentração. A perenidade das nascentes dessa bacia é um fator chave na explicação dessa peculiaridade, além disso, essa bacia é a única embasada majoritariamente pela Formação Cercadinho. Altas concentrações de Sílica tendem a estar relacionadas à sílica amorfa; como esta ocorre, principalmente, nos mantos de intemperismo, esses resultados podem estar associados, também, às nascentes difusas, que são comuns nessa bacia.

Por outro lado, a bacia do leste do Parque das Mangabeiras apresentou as menores concentrações de Sílica. Os três valores mais baixos obtidos encontram-se nessa bacia. Embasadas majoritariamente por rochas da Formação Gandarela, as nascentes nessa porção são principalmente pontuais, com grande taxa de intermitência. Nota-se, também, a tendência de nascentes com baixa concentração de Sílica localizarem-se no alto trecho de suas sub-bacias, excetuando-se apenas dois casos, que ocorrem nas margens do curso principal.

Uma distribuição espacial completamente heterogênea ocorre no Parque Lagoa do Nado (FIG. 78). A maioria de suas nascentes possui concentração média anual de Sílica inferior a 0,843 mg/L. Todavia, os quatro resultados mais altos localizam-se relativamente próximos, no extremo sul do parque. Como há uma grande uniformidade entre os possíveis fatores controladores no interior desse parque – tipo de exfiltração, morfologia e substrato geológico – acredita-se que a heterogeneidade possa estar associada às inúmeras intervenções no manto de intemperismo, tendo sido relatados diversos aterramentos. Porém, o grande percentual de nascentes antropogênicas pode ser um fator complicador, inviabilizando conclusões precisas.

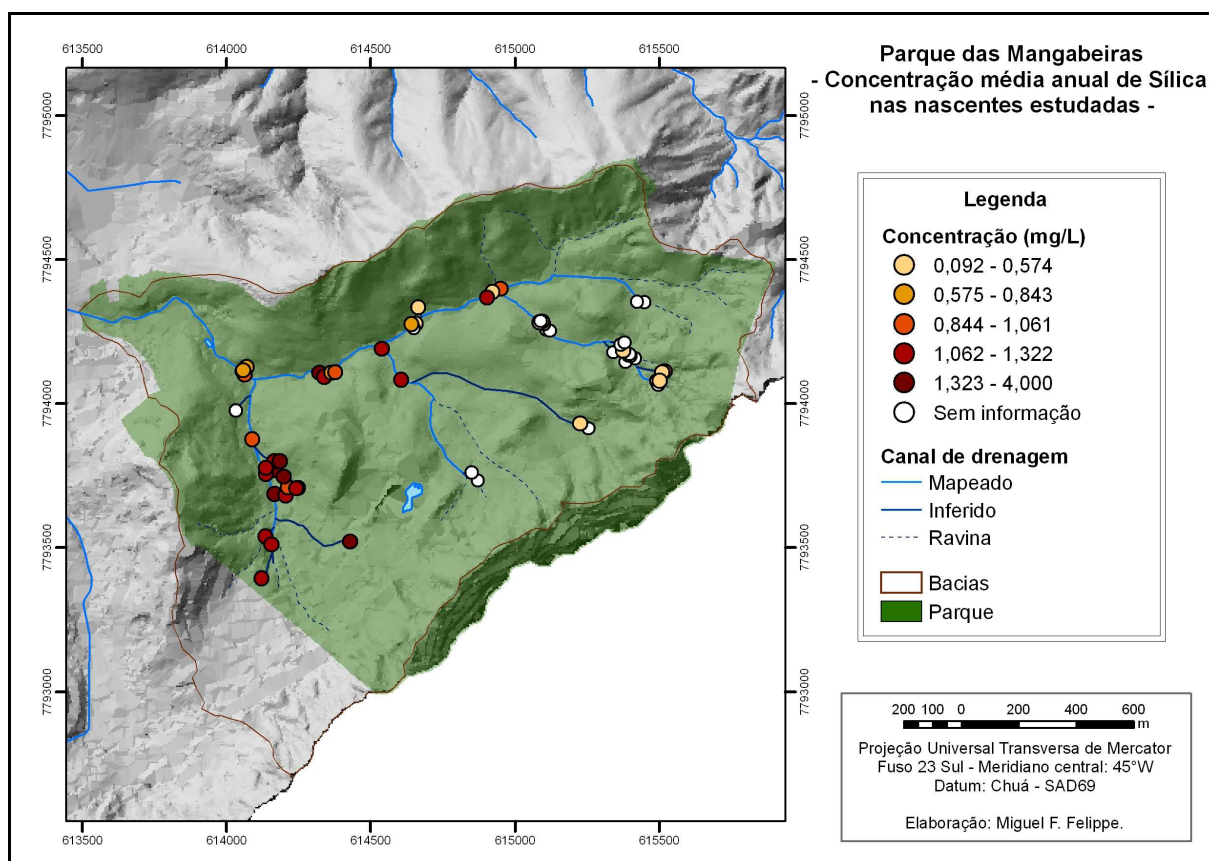


FIGURA 77 – Concentração média anual de Sílica nas nascentes do Parque das Mangabeiras.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

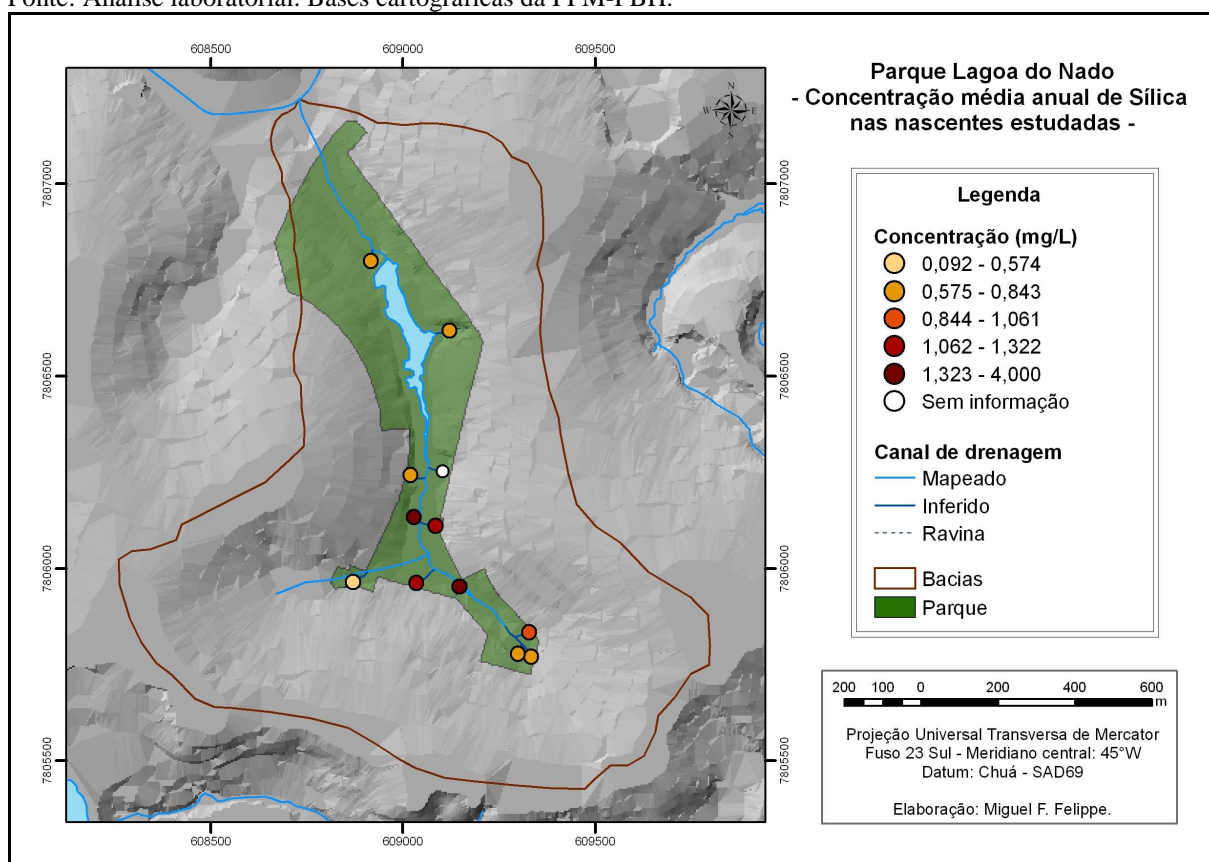


FIGURA 78 – Concentração média anual de Sílica nas nascentes do Parque Lagoa do Nado.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

Aspectos similares aos do Parque das Mangabeiras podem ser observados na espacialização das concentrações médias anuais de Sílica no Parque Primeiro de Maio (FIG. 79). Apesar de possuir características ambientais completamente distintas, ambas as unidades de conservação guardam a peculiaridade da proximidade espacial das nascentes com alta concentração de Sílica, bem como a ocorrência de baixa concentração em nascentes na porção superior da bacia. Ademais, o único resultado enquadrado na classe de maior concentração ocorre em uma nascente difusa, onde o contato da água com o manto de intemperismo é maior.

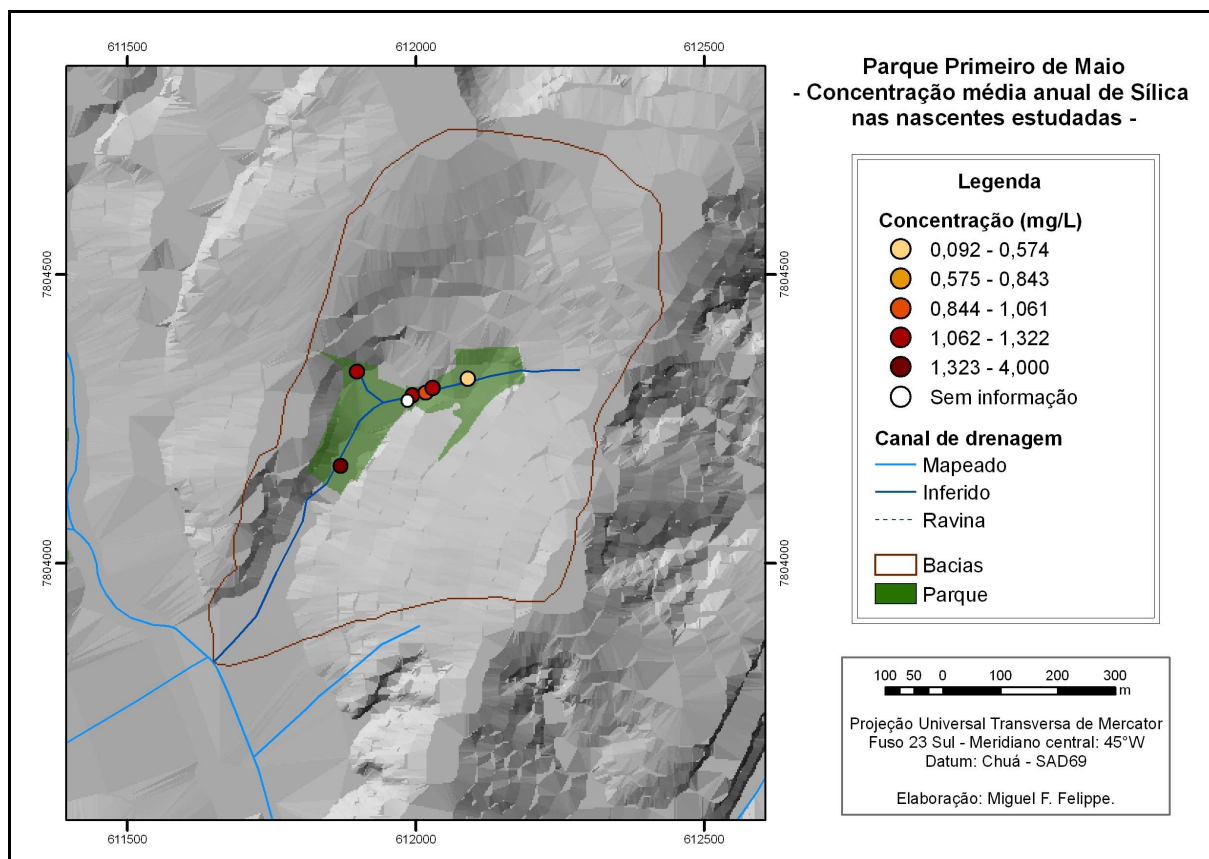


FIGURA 79 – Concentração média anual de Sílica nas nascentes do Parque Primeiro de Maio.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

Apesar das concentrações médias anuais de Ferro serem bem mais baixas do que as de Sílica, como demonstrado anteriormente, a distribuição espacial dos resultados segue uma lógica parecida, ainda que a classificação dos resultados por quebra natural tenha colocado poucos casos nas classes extremas – alta e baixa concentração – dificultando as análises. No Parque das Mangabeiras (FIG. 80) mantém-se uma clara distinção entre a porção oeste e leste. A maioria das nascentes com concentrações média a alta ocorre na bacia do Lago dos Sonhos, no oeste do parque. Porém, para as concentrações de ferro, essa bacia apresenta, concomitantemente, algumas nascentes com resultados médios anuais baixos, o que não ocorreu para Sílica.

A porção leste do parque fica caracterizada por nascentes com concentrações média a baixa, além do já relatado grande número de intermitências. No canal principal ocorrem nascentes com concentrações variadas, não apresentando um padrão nítido. Desse modo, também não é possível fazer associações da concentração de Ferro com a posição – montante/jusante – da nascente na bacia.

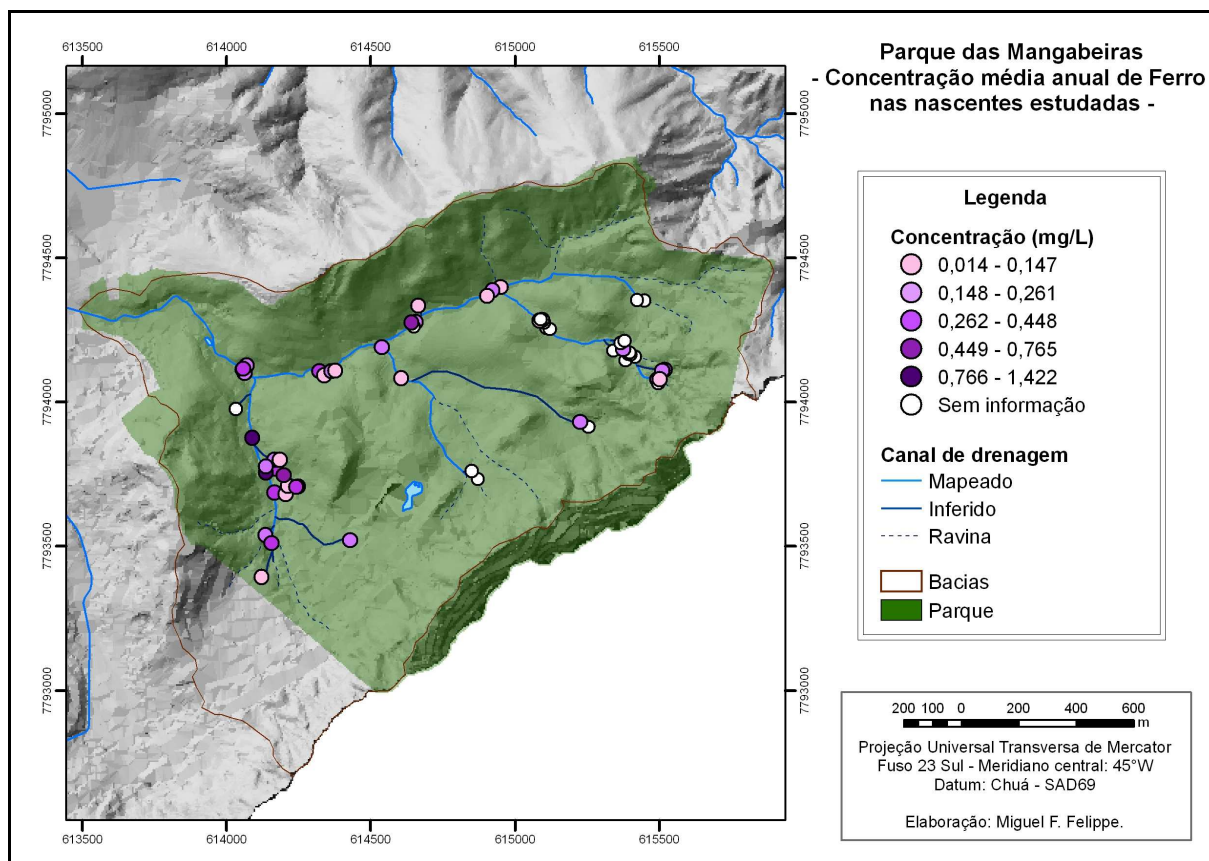


FIGURA 80 – Concentração média anual de Ferro nas nascentes do Parque das Mangabeiras.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

Os parques Lagoa do Nado e Primeiro de Maio apresentam uma distribuição espacial da concentração média anual de Ferro similar (FIG. 81 e 82). Em ambos, a maioria das nascentes encontra-se nas classes média-baixa a média-alta. No Parque Lagoa do Nado, ocorre uma nascente com alta concentração de Ferro e não há uma distribuição homogênea das classes. Ademais, também não se verifica relação direta entre as concentrações de Ferro e Sílica entre as nascentes, o que pode estar relacionado às nascentes antropogênicas.

No Primeiro de Maio, a nascente de maior concentração de Ferro foi também a de maior concentração de Sílica. Em concomitância, aquela que apresentou a menor concentração de Ferro, também o fez para Sílica. Com isso, cogita-se que, nesse parque, as condições que promovem maior ou menor retirada de Ferro são similares àsquelas de Sílica.

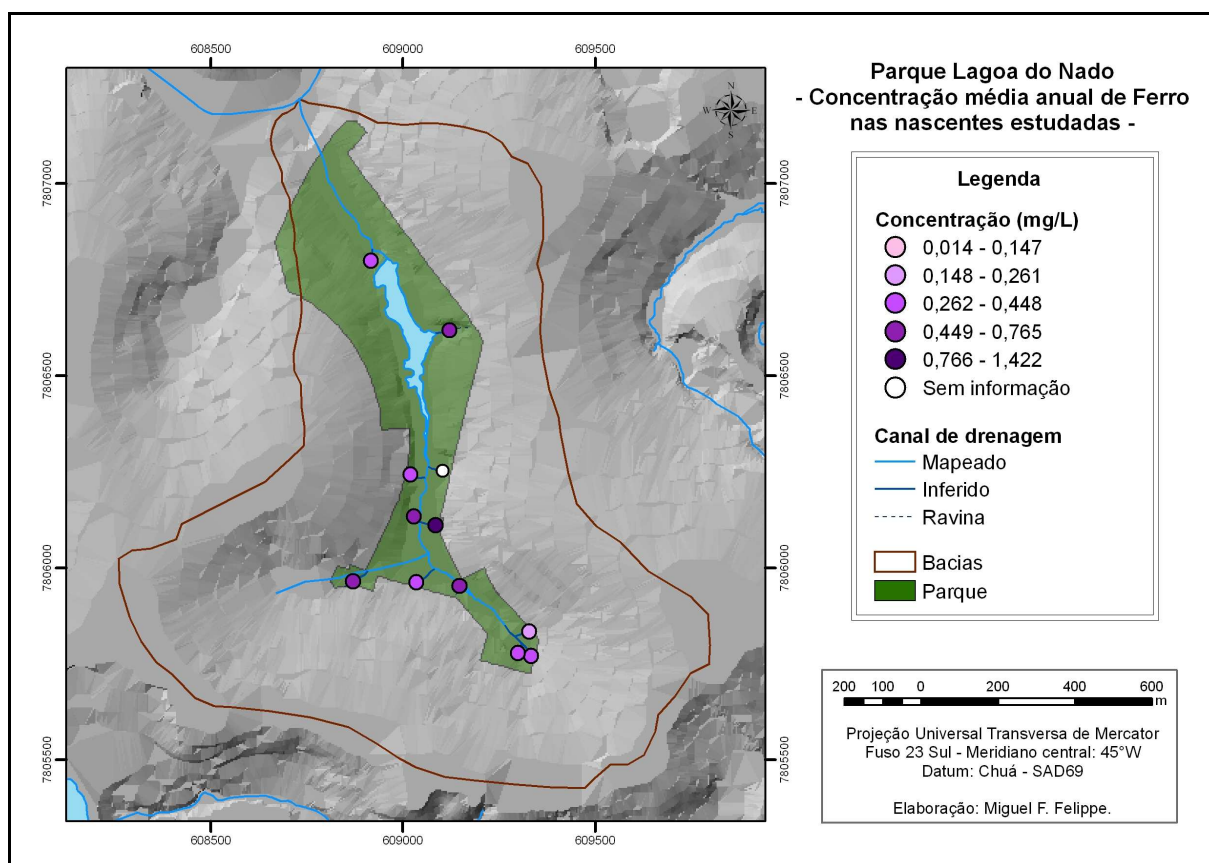


FIGURA 81 – Concentração média anual de Ferro nas nascentes do Parque Lagoa do Nado.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

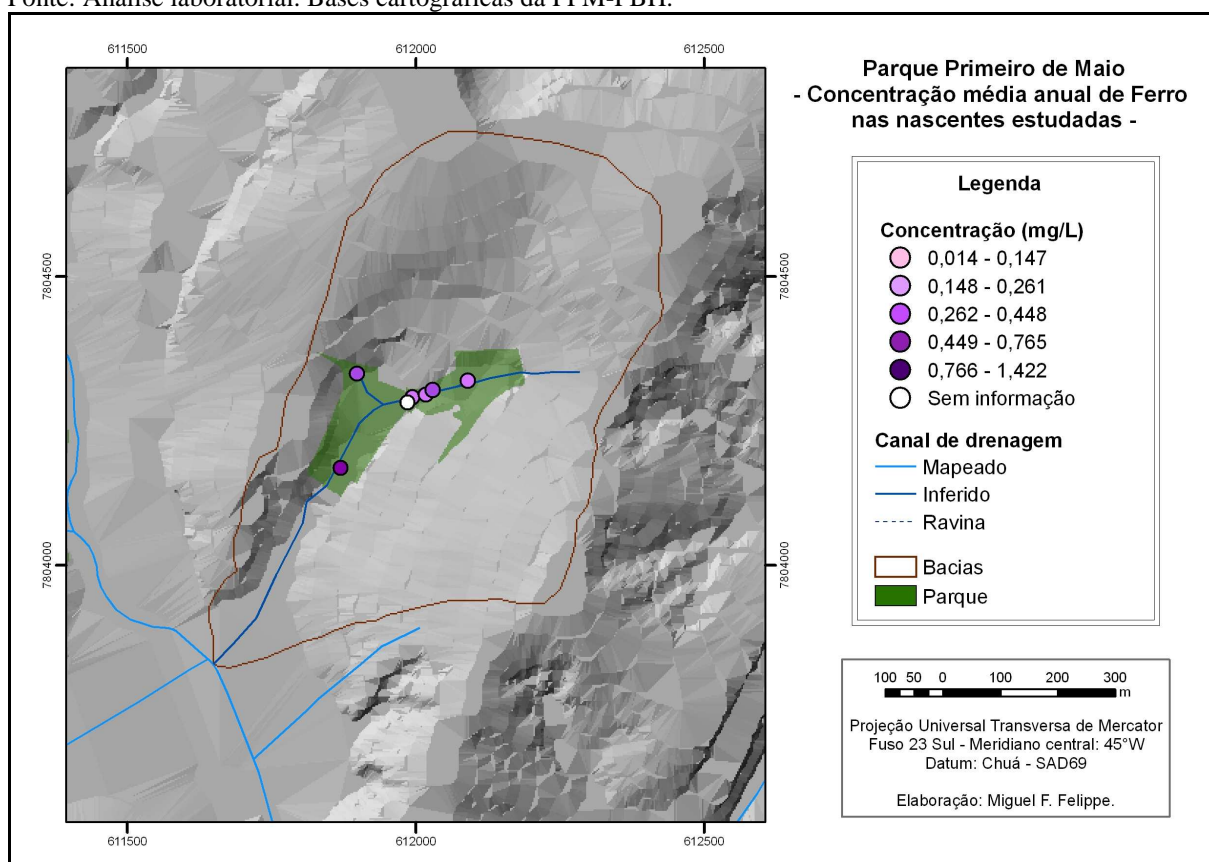


FIGURA 82 – Concentração média anual de Ferro nas nascentes do Parque Primeiro de Maio.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

A interpretação da distribuição espacial das concentrações de Alumínio nas nascentes é dificultada pelo baixo valor apresentado, de forma geral, em todos os casos. Com isso, mesmo utilizando-se a classificação por quebra natural, as classes criadas apresentam limiares muito tênues.

A espacialização da concentração de Alumínio nas nascentes do Parque das Mangabeiras (FIG. 83) rompe a lógica leste/oeste verificada para Sílica e Ferro. A principal distinção ocorre, para Alumínio, entre norte e sul; essa compartimentação representa, grosseiramente, a variação topográfica do parque. Os maiores valores foram encontrados nas nascentes de áreas mais baixas, sobretudo nas margens do canal principal, porém, os menores, continuaram, prioritariamente, nas altas porções de todas as sub-bacias.

A bacia do Lago dos Sonhos – extremo sudoeste – apresentou uma série de nascentes na classe baixa de concentração de Alumínio, em detrimento dos resultados que essas mesmas nascentes obtiveram para Sílica e Ferro. Tal observação leva a crer que as condições que promovem a retirada do Alumínio nesse parque são distintas daquelas do Ferro e da Sílica, que apresentaram comportamento similar. Ademais, o Parque das Mangabeiras apresentou um grande número de nascentes na classe baixa de concentração média anual de Alumínio, sendo o único parque estudado a registrar esse tipo de caso.

No Parque Lagoa do Nado (FIG. 84) não há um padrão de espacialização para as concentrações de Alumínio, assim como ocorreu para Sílica e Ferro. Porém, a maioria das nascentes encontra-se nas classes média a alta, sem registros na classe baixa. As três nascentes do extremo sudeste do parque continuam apresentando concentrações intermediárias, assim como para Sílica e Ferro, todavia, foram as nascentes da porção central do parque que obtiveram resultados mais elevados.

O Parque Primeiro de Maio (FIG. 85) também modificou sua distribuição espacial em relação às classes de concentração de Alumínio, Ferro e Sílica. A nascente mais a jusante do parque, que havia registrado classe alta e média-alta, para Sílica e Ferro, respectivamente, enquadrou-se na classe média-baixa de concentração de Alumínio. Ocorreu inversão, também, com a nascente mais a montante. Desse modo, a maioria de suas nascentes enquadra-se nas classes baixa e média-baixa, com apenas um caso registrado na classe alta.

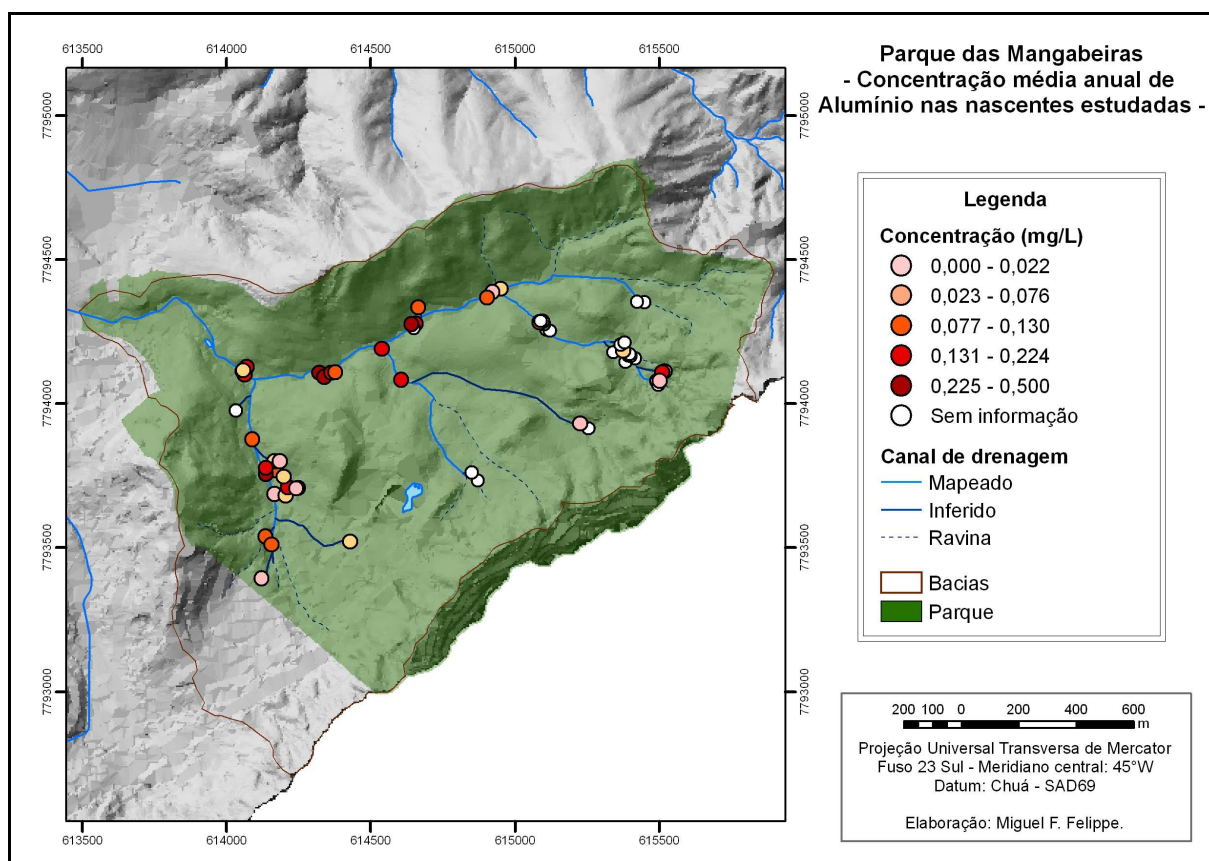


FIGURA 83 – Concentração média anual de Alumínio nas nascentes do Parque das Mangabeiras.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

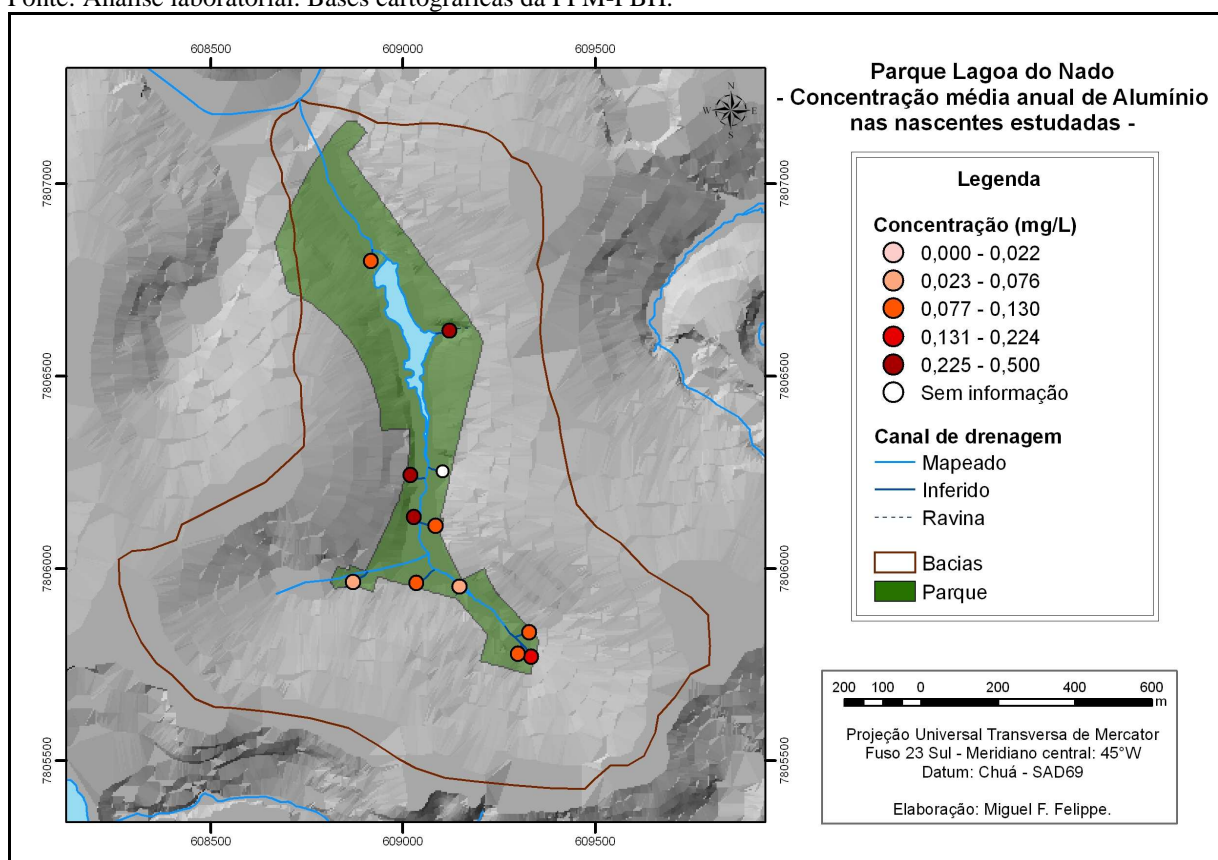


FIGURA 84 – Concentração média anual de Alumínio nas nascentes do Parque Lagoa do Nado.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

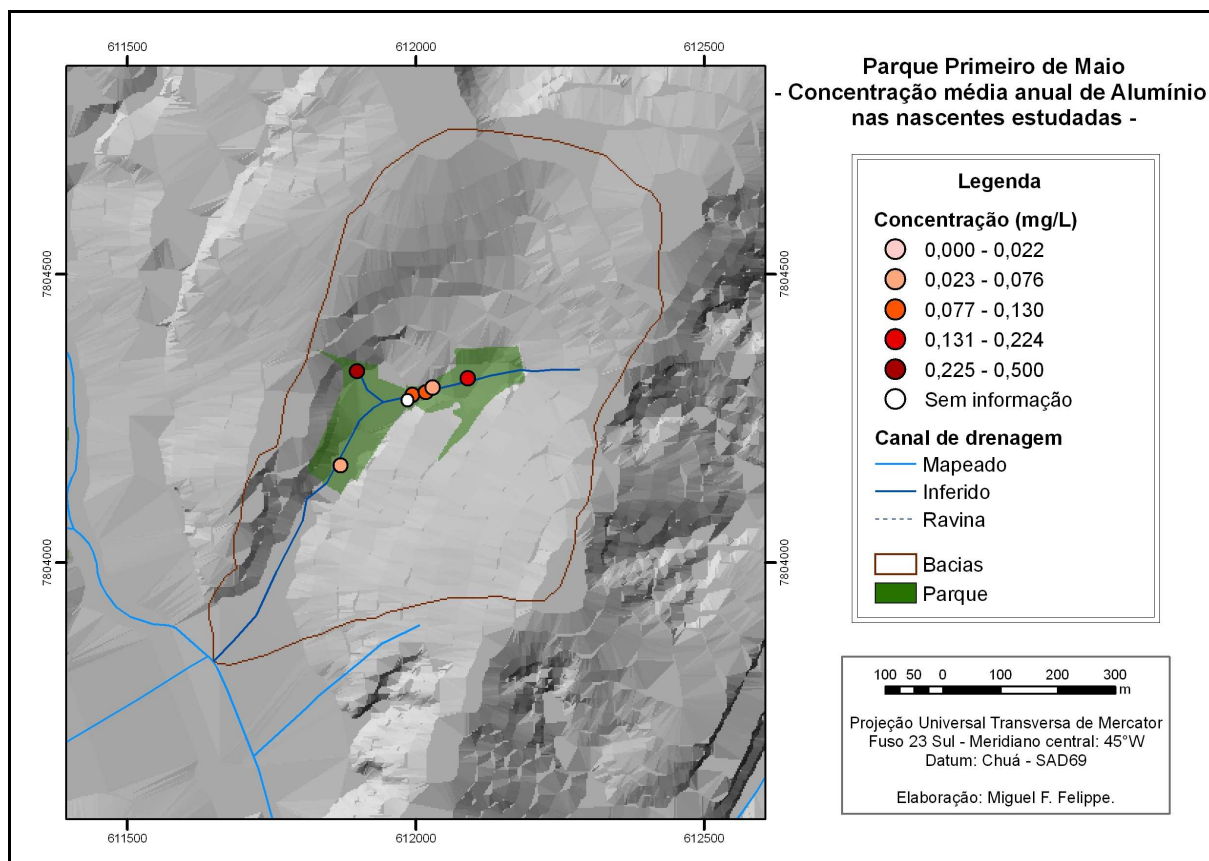


FIGURA 85 – Concentração média anual de Alumínio nas nascentes do Parque Primeiro de Maio.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

Além da possibilidade dos condicionantes de retirada do Alumínio serem diferentes do Ferro e Sílica, não se pode ignorar o fato de que quando todas as concentrações são muito baixas a análise dos dados é dificultada. Ademais, aumenta-se a probabilidade de erros laboratoriais. Entretanto, fica nítida uma distinção entre a distribuição espacial das concentrações dos minerais estudados, que auxilia na compreensão dos dados estatísticos apresentados anteriormente.

Contudo, baixas concentrações de Ferro e Alumínio já eram esperadas, posto que esses elementos são considerados traços, porém, as mensurações deste trabalho, mesmo para esses elementos, apresentaram valores inferiores às verificadas na literatura. Surpreende os resultados para Sílica, que apesar de não ser facilmente mobilizado como alguns cátions – Ca, Mg, K, Na – tende a possuir concentrações bem mais elevadas do que aquelas registradas. Acredita-se que isso seja decorrente da baixa quantidade de Sílica amorfa, mais facilmente mobilizada, fruto de sua retirada em longo prazo.

7.2. *Relação da hidroquímica com o litotipo sotoposto*

A assinatura geoquímica da água registra, em maior ou menor grau, o percurso pelo qual a água passou em função da lixiviação das rochas e do enriquecimento de minerais (SALGADO *et al*, 2004). Porém, a concentração desses elementos não depende somente da mineralogia das rochas lixiviadas, mas também, de condições ambientais que facilitam ou dificultam o intemperismo e da resistência oferecida pela própria rocha.

No caso das nascentes, essa relação é ainda mais complexa, posto que não se pode afirmar, com segurança, o percurso da água subterrânea até a exfiltração. A estratigrafia e a rede de discontinuidades físicas do substrato geológico podem promover fluxos de diversas intensidades e direções antes que a água aflore. No entanto, apesar de ser extremamente difícil saber quais litotipos a água das nascentes manteve contato, é certo que ao menos com o aquífero sotoposto a relação existe.

Desta forma, baseado nos mapas geológicos e hidrogeológicos apresentados por SILVA *et al* (1995), as nascentes foram categorizadas de acordo com o aquífero mais superficial, utilizando-se, para tanto, as unidades geológicas. Os aquíferos das Formações Cercadinho e Gandarela fazem parte de um mesmo domínio hidrogeológico – dos Grupos Itabira e Piracicaba (SILVA *et al*, 1995). Ambos são caracterizados por seqüências de aquíferos e aquíferos, com descarga realizada pelas fraturas e falhas existentes. Os litotipos predominantes na Formação Cercadinho são metaconglomerados com matriz ferruginosa, quartzito ferruginoso e filito; na Formação Gandarela, predominam dolomitos itabiríticos e itabiritos dolomíticos (SILVA *et al*, 1995). Mineralogicamente, essas rochas possuem grandes concentrações de Sílica e, sobretudo, Ferro (LEINZ; AMARAL, 1989).

O domínio hidrogeológico do Complexo Belo Horizonte é caracterizado pelo aquífero granular e poroso associado ao manto de intemperismo, situado sobre o aquífero fissurado, com comunicação hidráulica entre esses. Os litotipos predominantes são gnaisses e migmatitos constituídos predominantemente de quartzo, feldspatos, biotita e anfíbolito, registrando a presença de Sílica e Alumínio, sobretudo.

Os dados da concentração de Sílica – GRÁFICOS 21 e 22 – demonstram que as nascentes no Complexo Belo Horizonte e na Formação Cercadinho tendem a possuir maiores valores, tanto no verão, quanto no inverno. No verão isso é ainda mais pronunciado, posto que as 13

maiores concentrações encontram-se nessas unidades, isso porém é interrompido no inverno, pois N001 – Formação Gandarela – eleva consideravelmente sua concentração de Sílica.

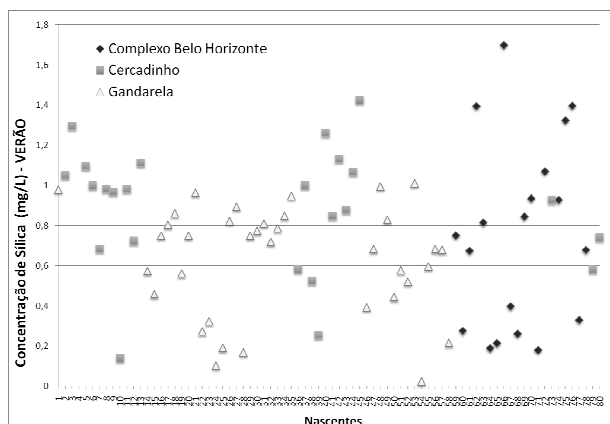


GRÁFICO 21 – Concentração de Sílica por unidade geológica (verão).

Fonte: Análise laboratorial.

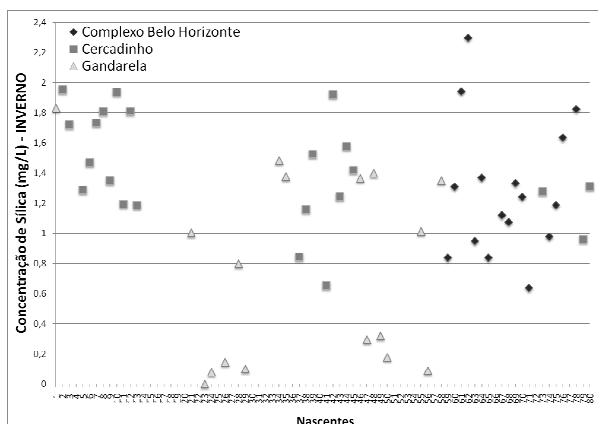


GRÁFICO 22 – Concentração de Sílica por unidade geológica (inverno).

Fonte: Análise laboratorial.

O maior percentual dos dados encontra-se, no verão, na faixa de 0,4 a 1,0 mg/L. A grande maioria das nascentes da Formação Gandarela encaixa-se nessa classe intermediária. Todavia, no inverno, há uma maior dispersão dos dados, sobretudo nesta unidade geológica, que mantém seis nascentes com concentração inferior a 0,2 mg/L. Essa dispersão não se verifica, porém, para o Complexo Belo Horizonte que teve um aumento generalizado das concentrações de Sílica. O mesmo pode-se dizer da Formação Cercadinho, suas nascentes perenes tenderam a elevar suas concentrações no inverno.

Apesar desse comportamento dúbio, com algumas nascentes elevando sua concentração e outras reduzindo no inverno, os casos da Formação Gandarela tiveram, na média, um aumento de 19% nas concentrações de Sílica. Entretanto, esse valor é baixo quando comparado aos aumentos médios registrados na Formação Cercadinho – 61% – e no Complexo Belo Horizonte – 91%.

As concentrações médias anuais de Sílica para as nascentes de cada uma das unidades geológicas estudadas são apresentadas no GRÁFICO 23. N062 – Complexo Belo Horizonte – destaca-se como a nascente de maior média anual, com 1,84 mg/L. Dentre as cinco maiores, todas com concentração média anual acima de 1,50 mg/L, encontram-se, ainda, N002, N003 e N042, da Formação Cercadinho, e N076, do Complexo Belo Horizonte.

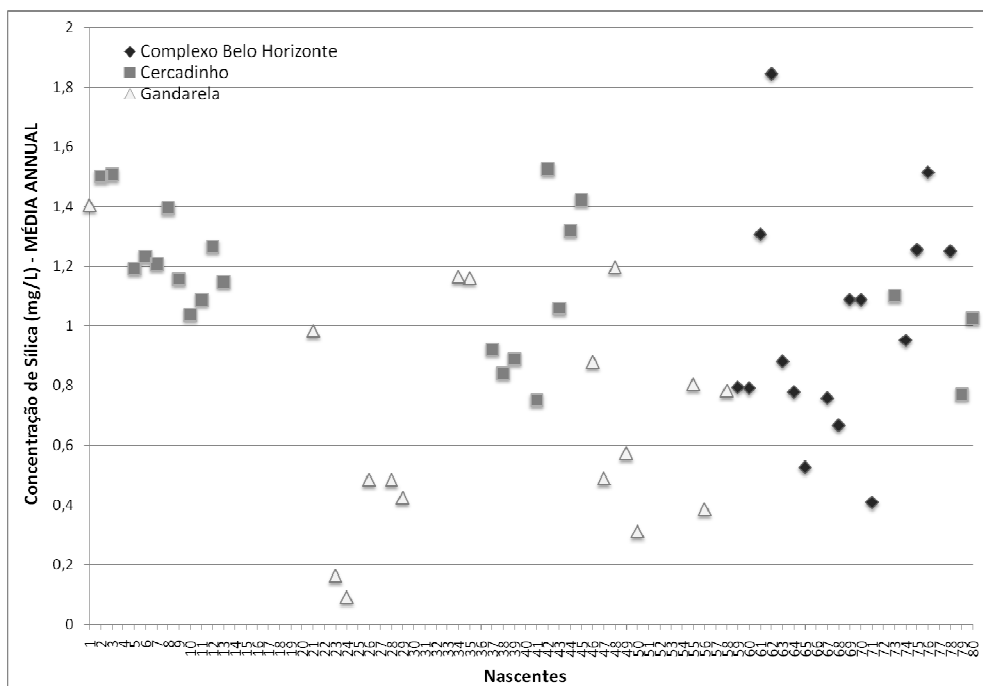


GRÁFICO 23 – Concentração Média Anual de Sílica por unidade geológica.

Fonte: Análise laboratorial.

Os dados de concentração de Ferro (GRÁFICOS 24 e 25), apresentam valores mais homogêneos do que os apresentados para Sílica. A grande maioria dos casos está abaixo de 0,6 mg/L no verão e no inverno. No verão, duas nascentes do Complexo Belo Horizonte se destacaram com concentrações próximas a 1 mg/L. Essa unidade, inclusive, foi a única que no verão não apresentou nenhum caso com concentração inferior a 0,1 mg/L. As Formações Cercadinho e Gandarela tiveram comportamentos bastante similares no verão. Apesar das máximas terem sido ligeiramente maiores na Formação Cercadinho, em ambas houve um caso com concentração nula, além de diversos outros abaixo de 0,1 mg/L.

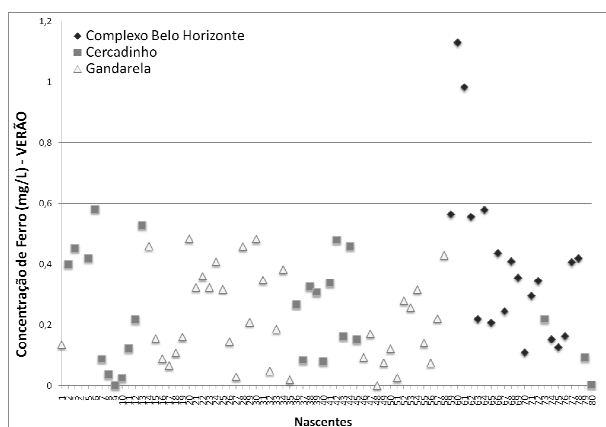


GRÁFICO 24 – Concentração de Ferro Total por unidade geológica (verão).

Fonte: Análise laboratorial.

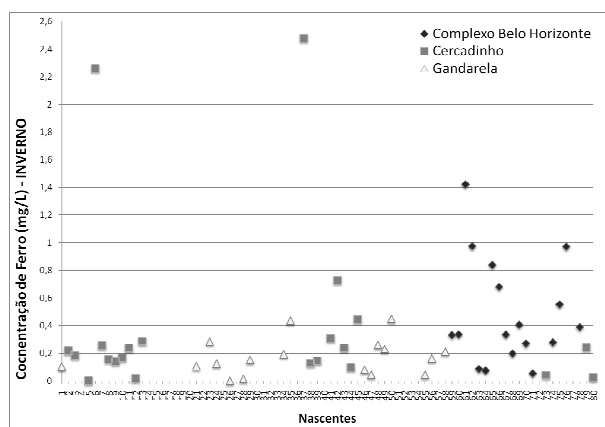


GRÁFICO 25 – Concentração de Ferro Total por unidade geológica (inverno).

Fonte: Análise laboratorial.

A distribuição dos dados pouco se alterou no inverno, excetuando-se dois casos extremos da Formação Cercadinho, que obtiveram um aumento expressivo na concentração de Ferro. A maioria dos dados continuou concentrada abaixo de 0,6 mg/L, porém, com oito casos acima desse valor – três correspondentes à Formação Cercadinho e cinco ao Complexo Belo Horizonte. A Formação Gandarela, por sua vez, manteve concentrações, de uma forma geral, bastante similares às mensuradas para o verão.

Contudo, o GRÁFICO 26 apresenta a distribuição dos valores de concentração média anual de Ferro nas nascentes tematizados por unidade geológica. Três nascentes destacam-se nesse contexto, tendo concentrações altas em comparação com as demais – N006, N037 e N061. As duas primeiras se encontram na Formação Cercadinho e a terceira no Complexo Belo Horizonte. Na classe intermediária – 0,2 a 0,8 mg/L – estão a maioria das nascentes do rol, porém, sobretudo, concentram-se as do Complexo Belo Horizonte. Contudo, abaixo de 0,1 mg/L somente são registradas nascentes das Formações Cercadinho e Gandarela.

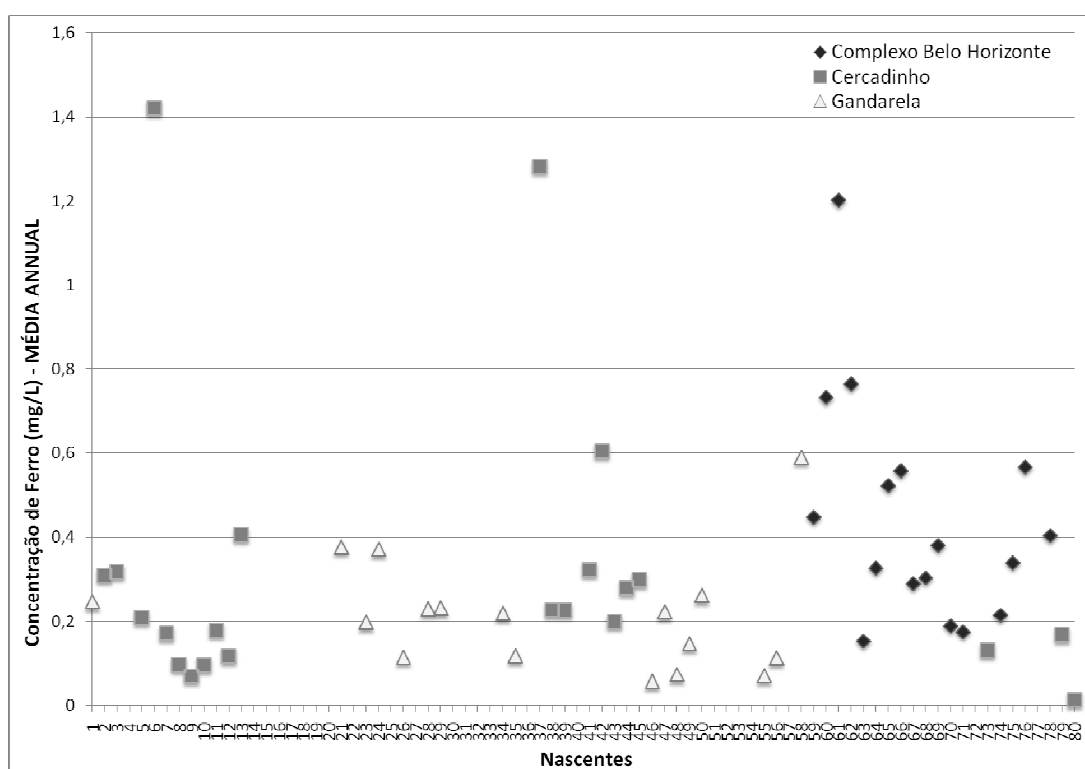


GRÁFICO 26 – Concentração Média Anual de Ferro Total por unidade geológica.

Fonte: Análise laboratorial

Diferentemente do que ocorreu para a Sílica, as nascentes da Formação Cercadinho foram aquelas que apresentaram maior crescimento médio da concentração de Ferro do verão para o inverno, o equivalente a 64%. Isso ocorreu, sobretudo devido às duas nascentes que tiveram aumentos individuais muito elevados – N006 e N037 – o que promoveu um aumento do

desvio padrão e da dispersão dos dados. O Complexo Belo Horizonte apresentou uma média de aumento pouco superior a 19%, bem distinta da encontrada para Sílica. Porém, a Formação Gandarela apresentou um crescimento da concentração de Ferro inexpressivo. Estatisticamente, foi registrada uma elevação na média das estações de, apenas, 0,4%.

As concentrações de Alumínio foram as que evidenciaram os menores valores, mas também, o maior crescimento do verão para o inverno. Na estação chuvosa, como mostra o GRÁFICO 27, a maioria absoluta das nascentes obteve concentração inferior a 0,2 mg/L, sendo que somente em sete casos esse valor foi superado: quatro nascentes do Complexo Belo Horizonte, uma da Formação Gandarela e duas da Formação Cercadinho. Além disso, houve um grande número de casos com concentração nula, porém, nenhuma no Complexo Belo Horizonte.

Os resultados para o inverno (GRÁFICO 28) mostram um aumento considerável na concentração de Alumínio em algumas nascentes e, portanto, uma distribuição mais heterogênea dos dados. A maioria dos casos continuou com valores inferiores a 0,2 mg/L, porém, um grande número de casos superou esse limiar. Nessa estação as quatro nascentes de maiores valores registrados no verão diminuíram suas concentrações. De modo que as nascentes da Formação Cercadinho passaram a corresponder aos dois valores máximos.

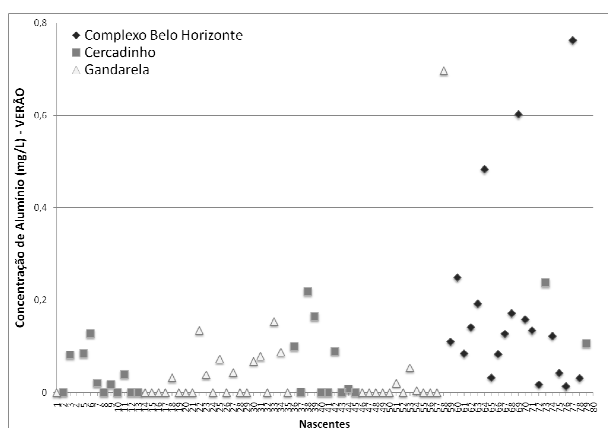


GRÁFICO 27 – Concentração de Alumínio por unidade geológica (verão).

Fonte: Análise laboratorial.

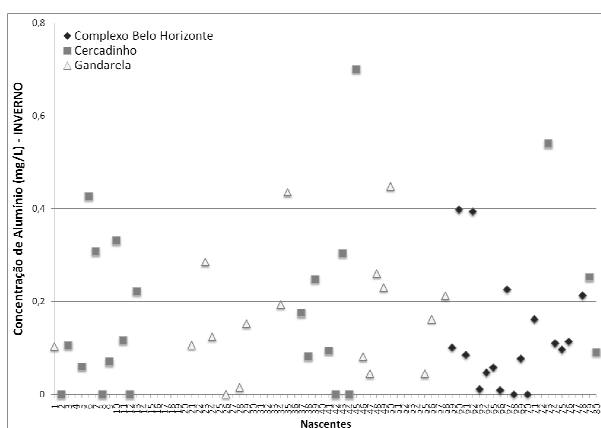


GRÁFICO 28 – Concentração de Alumínio por unidade geológica (inverno).

Fonte: Análise laboratorial.

Nesse sentido, nota-se uma pequena queda, no inverno, das concentrações de Alumínio de diversas nascentes do Complexo Belo Horizonte, o contrário do observado para a maioria dos casos das outras unidades geológicas. Além disso, houve uma redução severa do número de nascentes com concentração nula, fato explicado pelo aumento das concentrações, mas também, pela intermitência de algumas nascentes.

Com essas oscilações entre o verão e o inverno, a nascente que apresentou maior concentração média anual de Alumínio foi N058, com 0,45 mg/L, localizada nos domínios da Formação Gandarela (GRÁFICO 29). Porém, essa unidade não apresenta nenhum outro caso com valores elevados. Duas nascentes da Formação Cercadinho – N045 e N073 – e duas do Complexo Belo Horizonte – N069 e N060 – completam o rol das cinco maiores concentrações médias anuais. Em quatro nascentes, três da Formação Cercadinho e uma da Gandarela, apresentaram, em ambas as estações, concentração nula, o que resultou, conseqüentemente, na média anual zero.

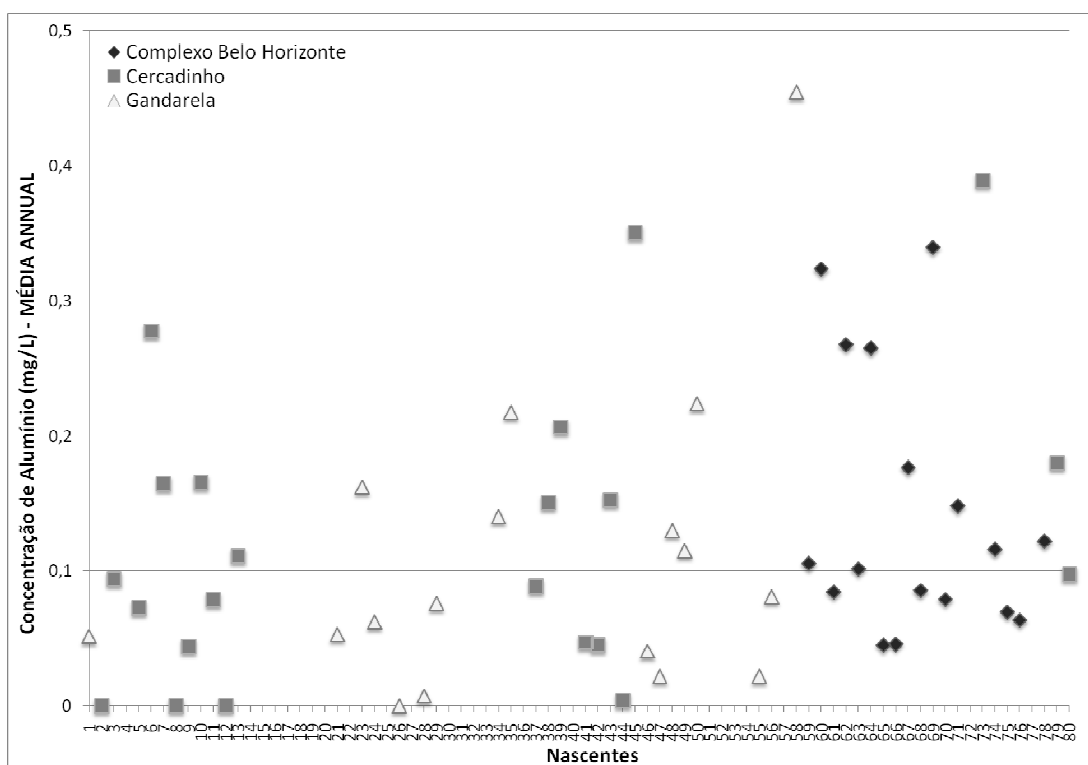


GRÁFICO 29 – Concentração Média Anual de Alumínio por unidade geológica.

Fonte: Análise laboratorial.

A dinâmica intersazonal das concentrações de Alumínio foi a mais evidente em termos estatísticos. As nascentes do complexo Belo Horizonte, tiveram decréscimo dos valores médios da unidade de 34% entre as estações. Acredita-se que isso tenha ocorrido sobretudo devido à expressiva queda das três nascentes do Complexo Belo Horizonte que registraram maiores concentrações no verão. Entretanto, as demais unidades apresentaram crescimentos expressivos no inverno em comparação com o verão. As nascentes localizadas na Formação Cercadinho registraram um crescimento na concentração de Alumínio de 219%, enquanto nas localizadas na Formação Gandarela, esse percentual se eleva a 311%.

Por fim, o GRÁFICO 30 apresenta uma síntese dos resultados obtidos, agrupando as nascentes pelas unidades geológicas em que afloram. No GRÁFICO 30, a dinâmica de aumento das concentrações no inverno ficou evidente para a Sílica, variando apenas a proporção desse crescimento. Para as concentrações de Ferro, essa regra não é válida para a Formação Gandarela, que manteve a média entre o verão e o inverno. Já para as concentrações de Alumínio, a exceção é o Complexo Belo Horizonte que registrou queda no período de inverno em detrimento do aumento expressivo que ocorreu nas Formações Gandarela e Cercadinho.

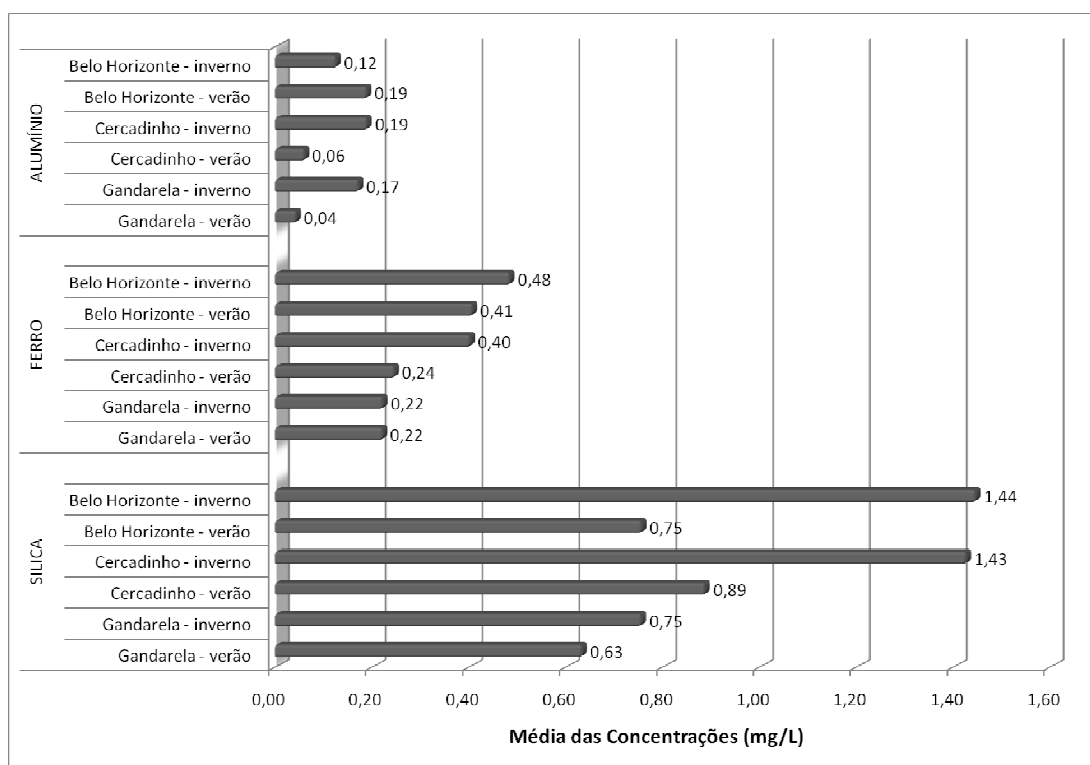


GRÁFICO 30 – Concentração Média Anual de Alumínio, Ferro e Sílica por unidade geológica.
Fonte: Análise laboratorial.

Desse modo, nota-se que, para as concentrações de Sílica, Ferro total e Alumínio, o comportamento da Formação Cercadinho é, em termos quantitativos, mais semelhante ao do Complexo Belo Horizonte do que ao da Formação Gandarela. Apesar da existência de quartzitos e filitos na Formação Cercadinho, na área estudada ocorrem prioritariamente filitos que, em relação à perda geoquímica, possuem maior similaridade com as rochas do embasamento. Por isso, os resultados estatísticos para ambas as unidades são próximos. Além disso, a complexidade estratigráfica do Supergrupo Minas pode estar influenciando os dados, caso as águas advenham de maiores profundidades e perpassem outros aquíferos.

Contudo, fica evidenciado que não é possível identificar a origem da água – em termos de lixiviação das rochas – utilizando-se somente esses três parâmetros. Assim, dificultam-se associações entre a geoquímica da água e o litotipo na qual aflora a nascente. Isso ocorre devido ao fato dos valores absolutos encontrados terem sido, de um modo geral, muito baixos, fazendo com que qualquer alteração quantitativa representasse percentuais expressivos.

Além disso, sabe-se que não somente a mineralogia das rochas influencia no enriquecimento de determinados elementos na água, mas também a sua resistência ao intemperismo e, conseqüentemente, as condições de lixiviação. Isso faz com que rochas com alto teor de Ferro, como no caso da Formação Gandarela, promovam nascentes com concentrações de Ferro abaixo das encontradas nas nascentes do Complexo Belo Horizonte ou da Formação Cercadinho.

Assim, no caso de concentrações tão baixas quanto às encontradas, a relação da água das nascentes com o litotipo onde estas afloram deve ser revista. Ao invés de pautar-se na mineralogia das rochas e nas concentrações mineralógicas nas águas, deve-se enveredar pelos conceitos de lixiviação e desnudação geoquímica. Isso porque ela pode não estar relacionada com a concentração dos minerais nas rochas, mas com a facilidade com que esses são removidos.

7.3. Perda geoquímica

Os dados obtidos de concentração de Sílica, Ferro e Alumínio na água podem ser trabalhados em associação com os dados de vazão, para interpretação da perda geoquímica desses elementos pelas nascentes. Esse tipo de análise pode ser de grande interesse posto que reflete os processos subsuperficiais de retirada química de material, enquanto, os principais estudos dessa natureza ocorrem a partir das águas superficiais, indiferenciando a porção subterrânea (SALGADO *et al.*, 2004; SUMMERFIELD; HULTON, 1994; PINET; SOURIAU, 1988).

Por outro lado, a interpretação da desnudação é dificultada em estudos a partir de nascentes, já que não é possível, de antemão, saber a área – ou volume – drenada pelas águas que exfiltram nas nascentes. Por isso, pode-se saber a quantidade de material que é retirado em um determinado tempo – mg/s, kg/ano, etc. – porém, não se alcança a unidade espacial e, com isso, o rebaixamento do relevo. Todavia, as análises a partir das águas exfiltradas em

nascentes podem corroborar estudos realizados em bacias, bem como, verificar as taxas de perda geoquímica e os litotipos a essas associados.

O GRÁFICO 31 apresenta a distribuição dos valores da perda geoquímica de Sílica, Ferro e Alumínio em cada uma das nascentes, para as duas estações estudadas. Esses dados foram obtidos multiplicando-se a concentração dos elementos na água – mg/L – pela vazão estacional – L/s – obtendo-se assim a lixiviação – mg/s – de acordo com Salgado *et al* (2004). Esse dado indica a velocidade com que os materiais são retirados a partir das nascentes.

As taxas de perda geoquímica de Sílica são as mais expressivas em ambas as estações. Isso ocorre devido à maior concentração desse elemento nas águas das nascentes, conforme demonstrado no sub-capítulo 9.1. As taxas de perda de Ferro e Alumínio foram consideravelmente inferiores, sendo poucos os casos acima de 0,30 mg/s, sobretudo para o Alumínio, que obteve as menores taxas calculadas.

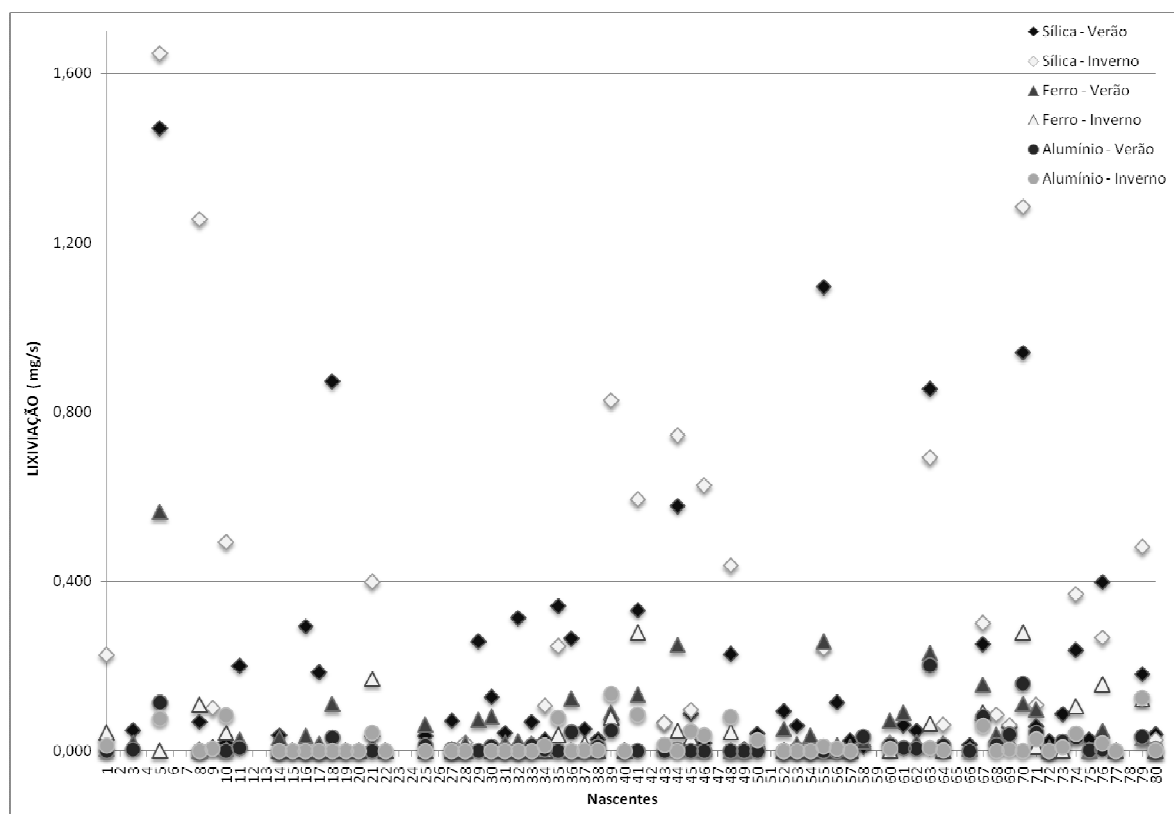


GRÁFICO 31 – Perda geoquímica sazonal de Sílica, Ferro e Alumínio pelas nascentes estudadas.

Fonte: Dados de campo e análise laboratorial.

A estacionalidade encontrada, porém, não condiz com a verificada na literatura acadêmica. Normalmente, as taxas de lixiviação e de desnudação geoquímica são maiores no período das chuvas. Segundo Salgado *et al* (2004, p. 64), “isso ocorre pelo fato de que, apesar de no inverno os elementos se encontrarem mais concentrados (...), é no verão que, graças à maior

vazão dos cursos fluviais, a denudação é mais intensa”. Isso, contudo, não está claro para as nascentes estudadas.

Apesar da diminuição das vazões e da intermitência de parte das nascentes no inverno, o aumento registrado na concentração dos elementos parece ter sido, proporcionalmente, mais significativo. O GRÁFICO 31 registra uma série de taxas de perda geoquímica de Sílica no inverno, superiores às do verão, sobretudo nos casos superiores a 0,40 mg/s. Do mesmo modo, as taxas de Alumínio, apesar de sempre muito baixas, apresentam-se ligeiramente superiores no inverno, ainda que esta diferença não seja tão expressiva quanto à de Sílica. Já para a retirada de Ferro, o verão, de fato, apresentou valores mais elevados do que os de inverno.

Essas afirmativas ficam mais evidentes pela leitura da TAB. 14, que apresenta as estatísticas descritivas para o conjunto das nascentes estudadas em função dos elementos avaliados e das estações. Apesar de uma redução nas perdas geoquímicas na maioria das nascentes no inverno, evidenciada pelas medianas e modas mais baixas, a média elevou-se para Sílica e Alumínio. No caso das taxas de Sílica, a diferença entre as médias foi de 11,6%, e para o Alumínio, a diferença foi de 6,3%. Analisando-se todo o rol, caso a caso, acredita-se que essas diferenças sejam resultado das nascentes de maior vazão do rol, que mantiveram débito relativamente estável entre as estações, mas em que houve um aumento significativo das concentrações dos elementos estudados no inverno.

TABELA 14 - Estatística descritiva das taxas de perda geoquímica (mg/s) de Sílica, Ferro e Alumínio pelas nascentes estudadas no verão e no inverno

| Elemento | Estação | Média | Mediana | Moda | Máximo | Mínimo | Desvio |
|-----------------|----------------|-------|---------|-------|--------|--------|--------|
| SÍLICA | <i>Verão</i> | 0,191 | 0,064 | - | 1,471 | 0,003 | 0,296 |
| | <i>Inverno</i> | 0,213 | 0,020 | 0,000 | 1,646 | 0,000 | 0,359 |
| FERRO | <i>Verão</i> | 0,055 | 0,020 | - | 0,564 | 0,000 | 0,090 |
| | <i>Inverno</i> | 0,033 | 0,002 | 0,000 | 0,280 | 0,000 | 0,062 |
| ALUMÍNIO | <i>Verão</i> | 0,018 | 0,003 | 0,000 | 0,202 | 0,000 | 0,037 |
| | <i>Inverno</i> | 0,019 | 0,001 | 0,000 | 0,134 | 0,000 | 0,033 |

Fonte: Dados de campo e análise laboratorial.

Os resultados para a retirada de Ferro, entretanto, foram similares àqueles encontrados na literatura. A média de retirada desse elemento no verão foi 39,9% maior do que no inverno. De um modo geral, praticamente todas as nascentes apresentaram queda em suas taxas de perda de Ferro no inverno (GRÁFICO 31), o que não foi verificado para os outros elementos.

Para analisar os dados em função dos litotipos associados aos aquíferos que alimentam as nascentes, foi calculada a perda geoquímica média anual de Sílica, Ferro e Alumínio em

função das unidades geológicas. Utilizou-se, para tanto, a concentração média anual dos elementos e as vazões médias anuais das nascentes. Os resultados são apresentados nos GRÁFICOS 32, 33, 34 e 35.

A retirada média anual de Sílica (GRÁFICO 32) apresentou os três maiores casos cada um em uma unidade geológica distinta. Excetuando-se N005, que apresentou taxa de perda muito acima das demais, as nascentes da Formação Cercadinho e do Complexo Belo Horizonte possuem comportamentos muito semelhantes. Já as nascentes da Formação Gandarela apresentaram valores mais baixos, praticamente todos inferiores a 0,40 mg/s.

O GRÁFICO 33 apresenta os dados de perda de Ferro. Novamente, N005 foi a que apresentou a maior taxa, seguida, desta vez, por N041, que também se localiza em área da Formação Cercadinho. As nascentes do Complexo Belo Horizonte também possuem destaque quanto às taxas de retirada de Ferro, constituindo cinco das oito que registraram valores acima de 0,10 mg/s. Já as nascentes da Formação Gandarela, novamente, apresentaram taxas mais baixas, de um modo geral, abaixo de 0,05 mg/l.

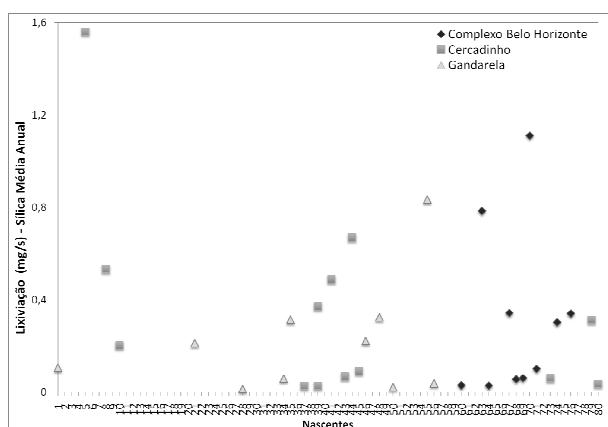


GRÁFICO 32 – Perda geoquímica média anual de Sílica.

Fonte: Dados de campo e análise laboratorial.

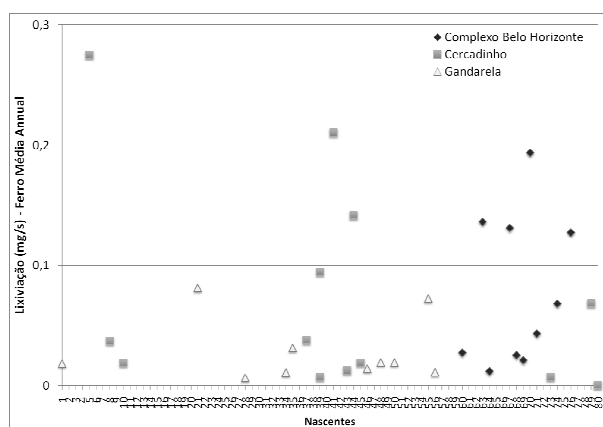


GRÁFICO 33 – Perda geoquímica média anual de Ferro.

Fonte: Dados de campo e análise laboratorial.

Os dados apresentados no GRÁFICO 34, para as taxas médias anuais de perda geoquímica de Alumínio são de difícil análise, devido a suas baixas magnitudes. N005 e N039, ambas da Formação Cercadinho, apresentaram as maiores taxas, seguidas por duas nascentes do Complexo Belo Horizonte – N070 e N067. Porém, a maior parte das nascentes possui taxas médias anuais de retirada de Alumínio inferiores a 0,04 mg/s, havendo casos, inclusive, nulos. Por isso, não se pode distinguir, de forma clara, uma tendência em função das unidades geológicas, apesar de, estatisticamente, haver uma superioridade da saída de Alumínio no complexo Belo Horizonte, seguido pela Formação Cercadinho e Formação Gandarela.

O GRÁFICO 35 busca sintetizar as observações realizadas isoladamente para cada elemento. Desse modo, foram calculadas as médias das taxas anuais de perda geoquímica para os grupos de nascentes de mesma unidade geológica. Apesar de existir uma diferença brusca entre essas taxas para Sílica e aquelas encontradas para Ferro e Alumínio, nota-se que as três unidades geológicas apresentaram comportamentos semelhantes, sendo maiores as taxas de Sílica, seguidas pelas de Ferro e, por último, de Alumínio.

Na Formação Cercadinho, a taxa de retirada de Sílica é 377% maior do que a taxa de Ferro que, por sua vez, é 142% maior do que a de Alumínio. Já no Complexo Belo Horizonte, esses valores são reduzidos para 301% e 103%, respectivamente. A Formação Gandarela foi aquela que apresentou maior discrepância entre a perda geoquímica para cada elemento: a taxa de Sílica foi 648% maior do que a de Ferro e, esta, apenas 64% maior do que a de Alumínio.

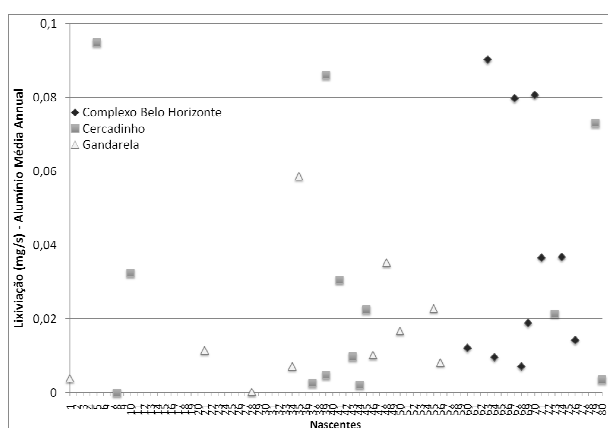


GRÁFICO 34 – Perda geoquímica média anual de Alumínio.

Fonte: Dados de campo e análise laboratorial.

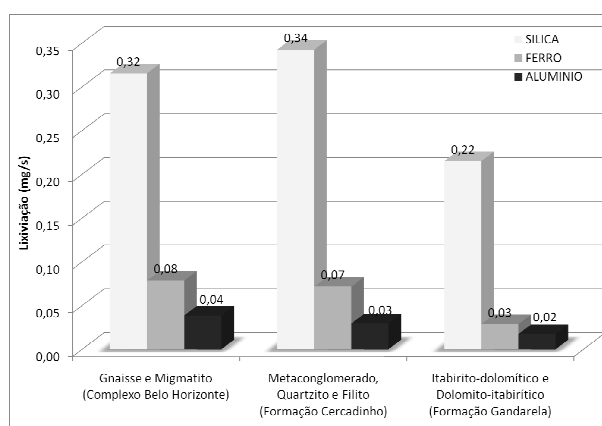


GRÁFICO 35 – Perda geoquímica por unidade geológica.

Fonte: Dados de campo e análise laboratorial.

Em termos absolutos, no entanto, as principais taxas de perda geoquímica encontram-se nas nascentes da Formação Cercadinho, em que a soma das taxas de Sílica, Ferro e Alumínio equivale a 0,44 mg/s, ligeiramente superior à encontrada no Complexo Belo Horizonte, 0,43 mg/s. Consideravelmente distinta, no entanto, é a taxa média anual de retirada conjunta dos três elementos estudados na Formação Gandarela, 0,26 mg/s. Todavia, não se deve negligenciar a importância das perdas de carbonato de cálcio na Formação Gandarela, apesar de não terem sido mensuradas neste trabalho.

Essa distribuição indica que, em termos de perda geoquímica, as nascentes da Formação Cercadinho e do Complexo Belo Horizonte são muito similares. Entretanto, seus litotipos possuem características muito distintas o que, aparentemente, é contraditório. Já a Formação

Gandarela, onde se encontram os itabiritos, foi a que apresentou maior resistência à desnudação.

Os resultados estatísticos são endossados pela distribuição espacial das perdas geoquímicas nas nascentes estudadas. A FIG. 86 evidencia que, de uma forma geral, a taxa média anual de retirada de Sílica através das nascentes do Parque das Mangabeiras é média à baixa. Apesar do grande número de casos sem informação³⁰, a maioria das nascentes enquadra-se nas classes intermediárias. As maiores perdas foram registradas em nascentes de vazão elevada, sobretudo nas áreas embasadas pela Formação Cercadinho – sudoeste. Porém, na porção leste do parque – Formação Gandarela – também são encontradas nascentes com altas taxas de perda geoquímica.

No Parque Lagoa do Nado, a distribuição das taxas foi ainda mais heterogênea (FIG. 87). Duas nascentes enquadram-se na classe baixa – menos de 0,039 mg/s –, todavia, três outras estão nas classes intermediárias. Nessa unidade de conservação, não foram registradas nascentes com altas taxas de perda geoquímica de Sílica. Destaca-se o extremo sudeste do parque, em que as nascentes possuem as maiores taxas, provavelmente relacionadas à maior energia dos fluxos nas proximidades das cabeceiras.

As nascentes do Parque Primeiro de Maio também se enquadram nas classes média – 0,106 a 0,488 mg/s – e média-baixa – 0,40 a 0,106 mg/s – para as taxas de retirada de Sílica (FIG. 88). Uma delas, porém, caracterizada pela maior vazão do parque, possui elevada perda geoquímica de Sílica. Ademais, não há um padrão de distribuição espacial dessas taxas no parque.

Assim, apesar da maior profundidade média dos mantos de intemperismo nos parques Lagoa do Nado e Primeiro de Maio – o que poderia indicar maior propensão à retirada de Sílica, sobretudo amorfa – isso não significa maiores taxas de perda geoquímica. Ao contrário, a vazão é crucial no cálculo, de modo que o Parque das Mangabeiras, apesar de concentrações relativamente mais baixas, apresenta mais nascentes com alta taxa de retirada de Sílica.

³⁰ Casos sem informação são aqueles em que não foi possível medir a vazão em algum período do ano.

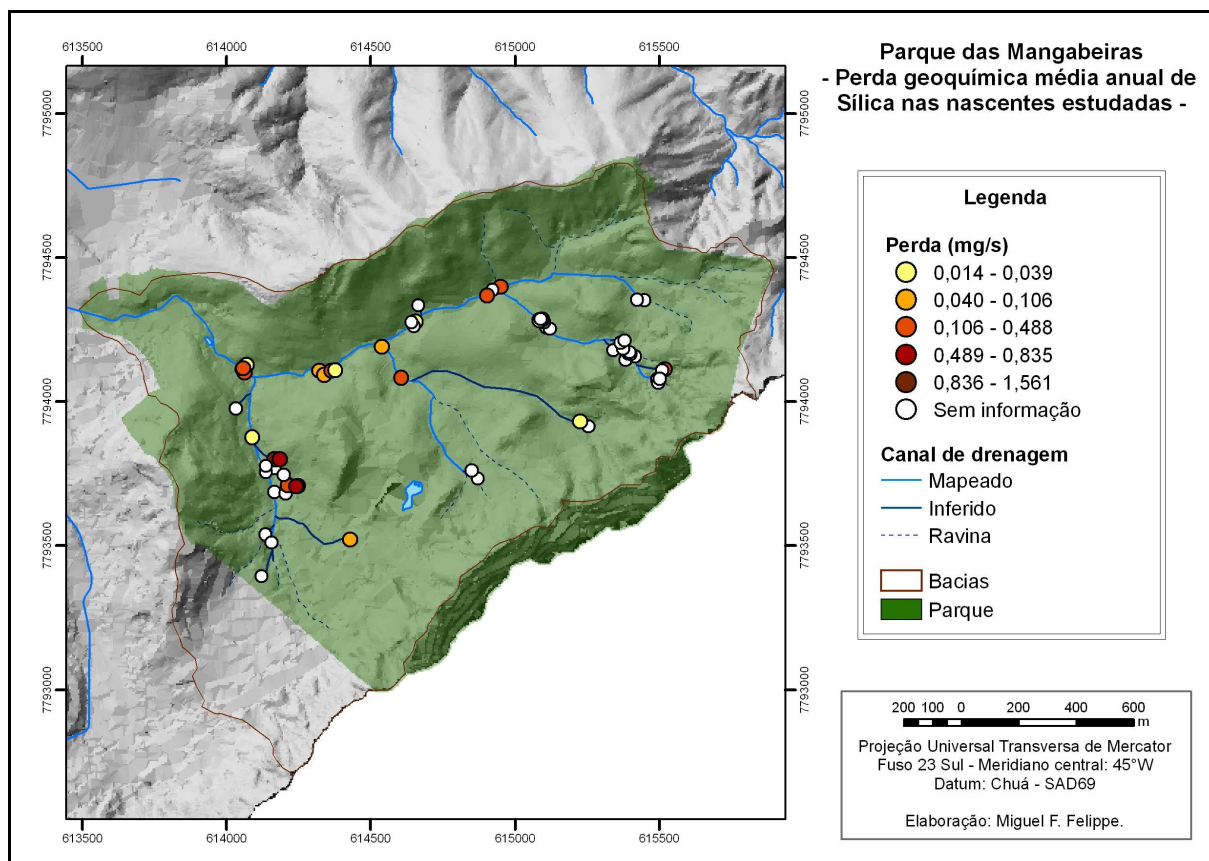


FIGURA 86 – Perda geoquímica média anual de Sílica nas nascentes do Parque das Mangabeiras.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

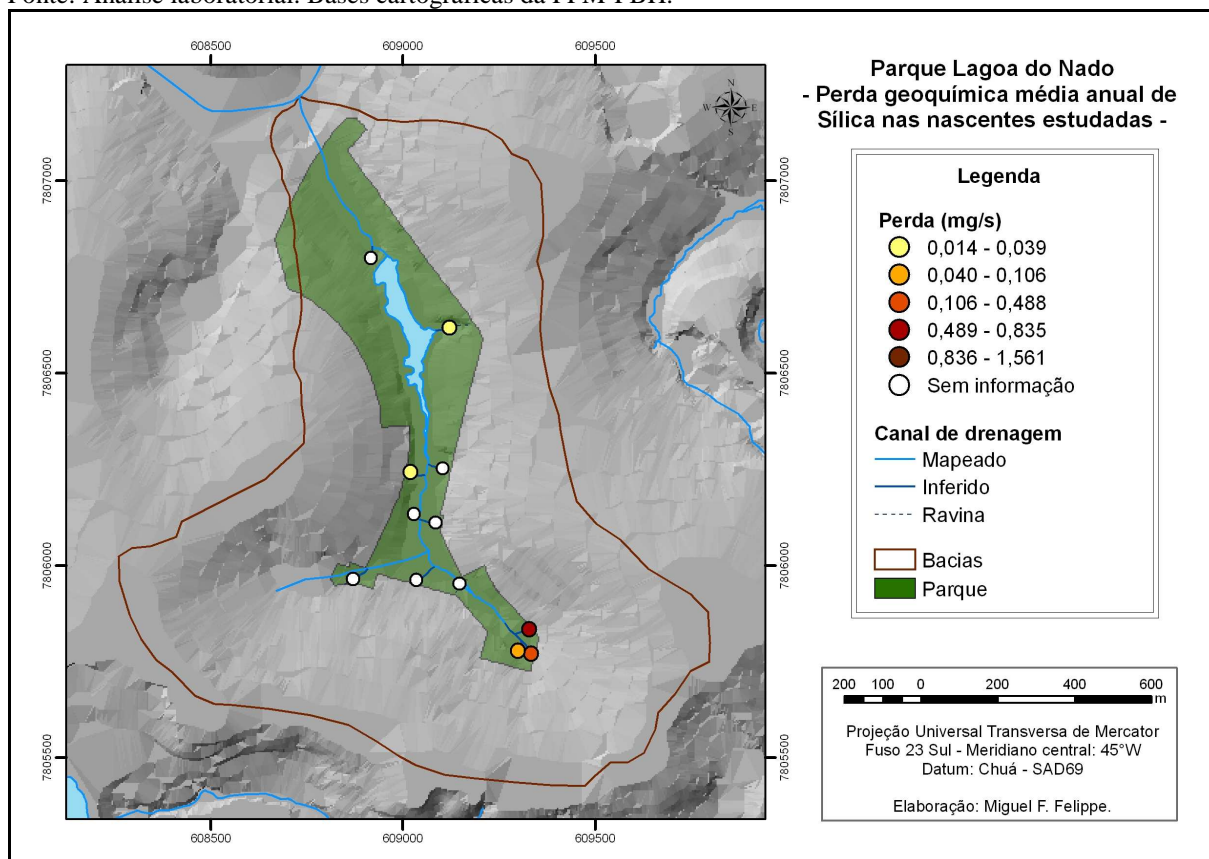


FIGURA 87 – Perda geoquímica média anual de Sílica nas nascentes do Parque Lagoa do Nado.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

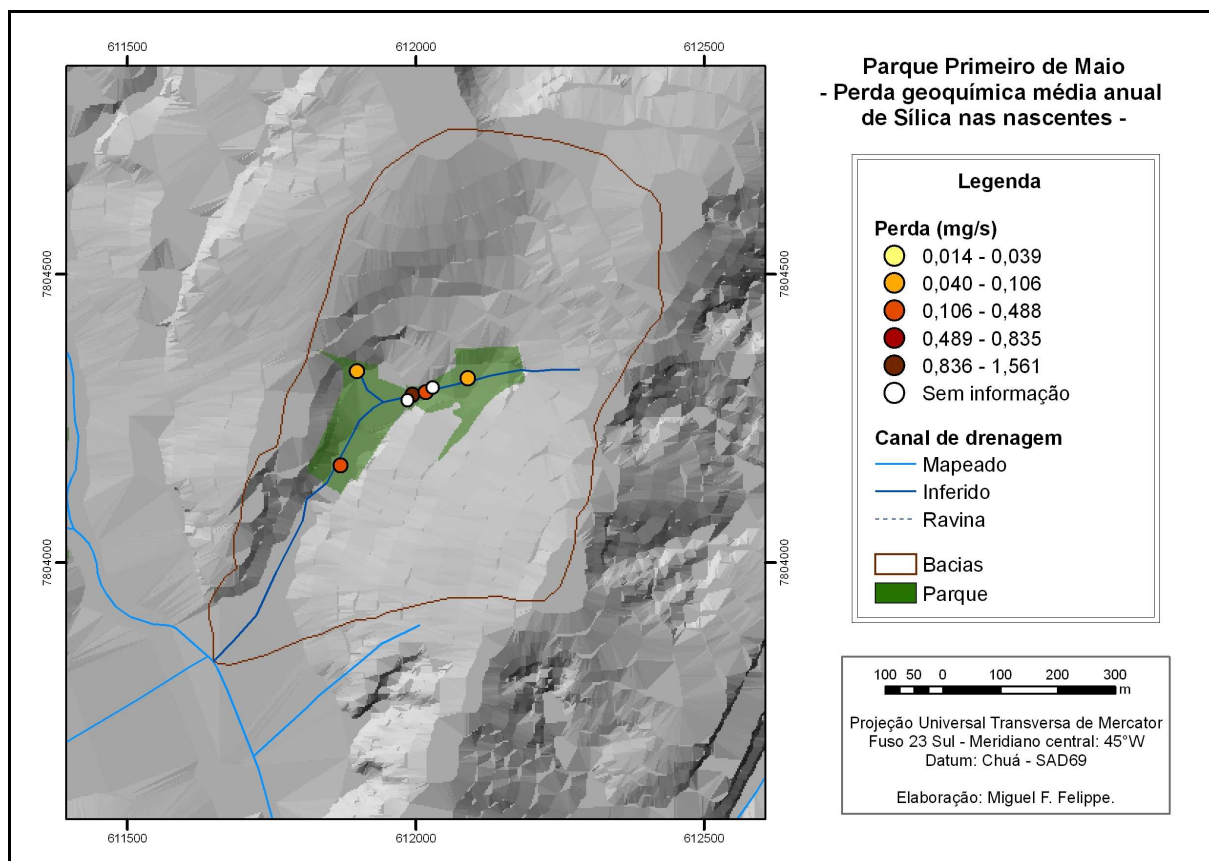


FIGURA 88 – Perda geoquímica média anual de Sílica nas nascentes do Parque Primeiro de Maio.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

Considerando que a vazão média anual é variável inerte do cálculo da perda geoquímica e que a distribuição espacial das concentrações de Ferro e Sílica são similares no Parque das Mangabeiras, era evidente que a espacialização das taxas de perda geoquímica desses elementos fosse, do mesmo modo, análogas, como mostra a FIG. 89.

A maioria das nascentes do parque possui taxa inferior a 0,043 mg/s – classes média-baixa e baixa. As poucas nascentes que superam esse limiar estão na bacia do Lago dos Sonhos, no sudoeste do parque, ou na parte leste da bacia, caracterizada por altas vazões. De modo geral, porém, a perda geoquímica de Ferro nas nascentes do Parque das Mangabeiras é baixa, ainda que as rochas do Supergrupo Minas sejam ricas em minerais ferruginosos.

Já no Parque Lagoa do Nado (FIG. 90) as classes de maiores perdas são mais presentes. Dentre as cinco nascentes em que foi possível mensurar a perda geoquímica de Ferro neste parque, duas encontram-se na classe média-alta – entre 0,095 e 0,142 mg/s –, ambas localizam-se no extremo sudeste do parque. Duas outras nascentes enquadram-se na classe média-baixa de perda de Ferro – 0,014 a 0,043 mg/s – e apenas uma na classe baixa.

Em contexto ambiental semelhante ao Parque Lagoa do Nado, o Primeiro de Maio registrou perdas geoquímicas de Ferro em suas nascentes ainda maiores (FIG. 91). Não foram registradas nascentes com taxa de retirada inferior a 0,014 mg/s – classe baixa. Quatro nascentes enquadraram-se nas classes intermediárias, com perdas entre 0,014 e 0,142 mg/s. Além disso, uma nascente apresentou taxa superior a 0,142 mg/s, considerada, então, de alta perda geoquímica de Ferro. Nota-se que esta nascente, além de ter registrado a maior vazão do parque, também se encontra na classe alta para perda geoquímica de Sílica.

Apesar da menor concentração de Ferro nas rochas do Complexo Belo Horizonte, onde se situam os parques Lagoa do Nado e Primeiro de Maio, uma menor proporção de nascentes dessa unidade encontra-se na classe baixa – inferior a 0,014 mg/s. Isso decorre da existência de regolitos mais espessos em que o Ferro é mais facilmente retirado, em detrimento do que ocorre nas rochas do Supergrupo Minas, no Parque das Mangabeiras.

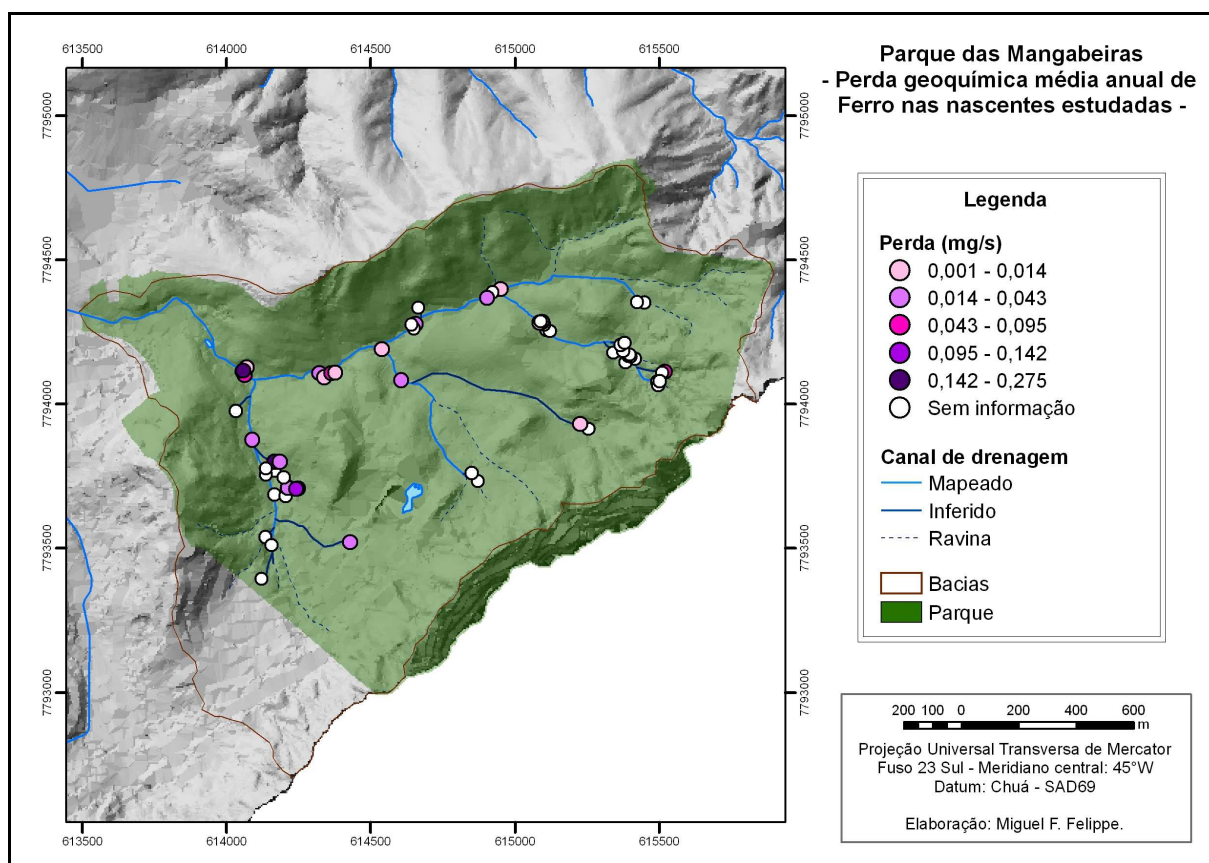


FIGURA 89 – Perda geoquímica média anual de Ferro nas nascentes do Parque das Mangabeiras.
Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

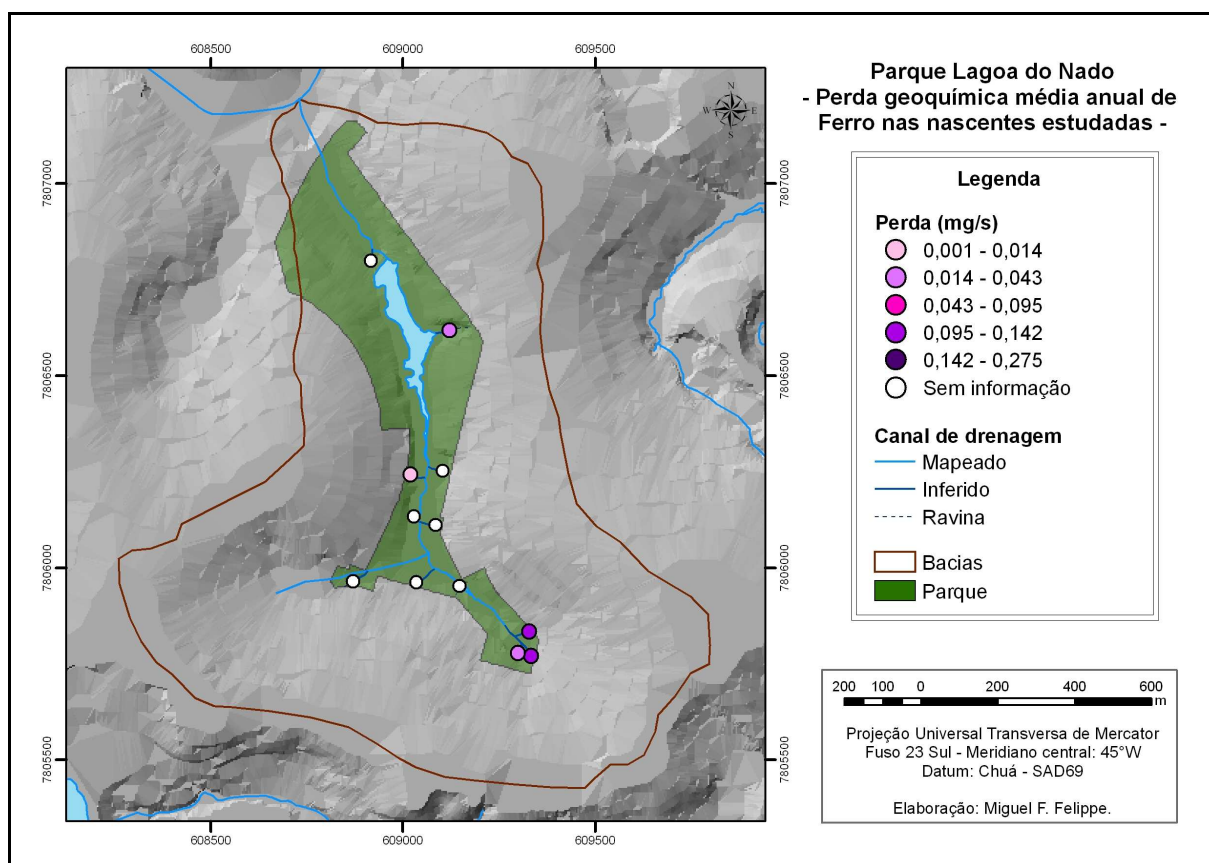


FIGURA 90 – Perda geoquímica média anual de Ferro nas nascentes do Parque Lagoa do Nado.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

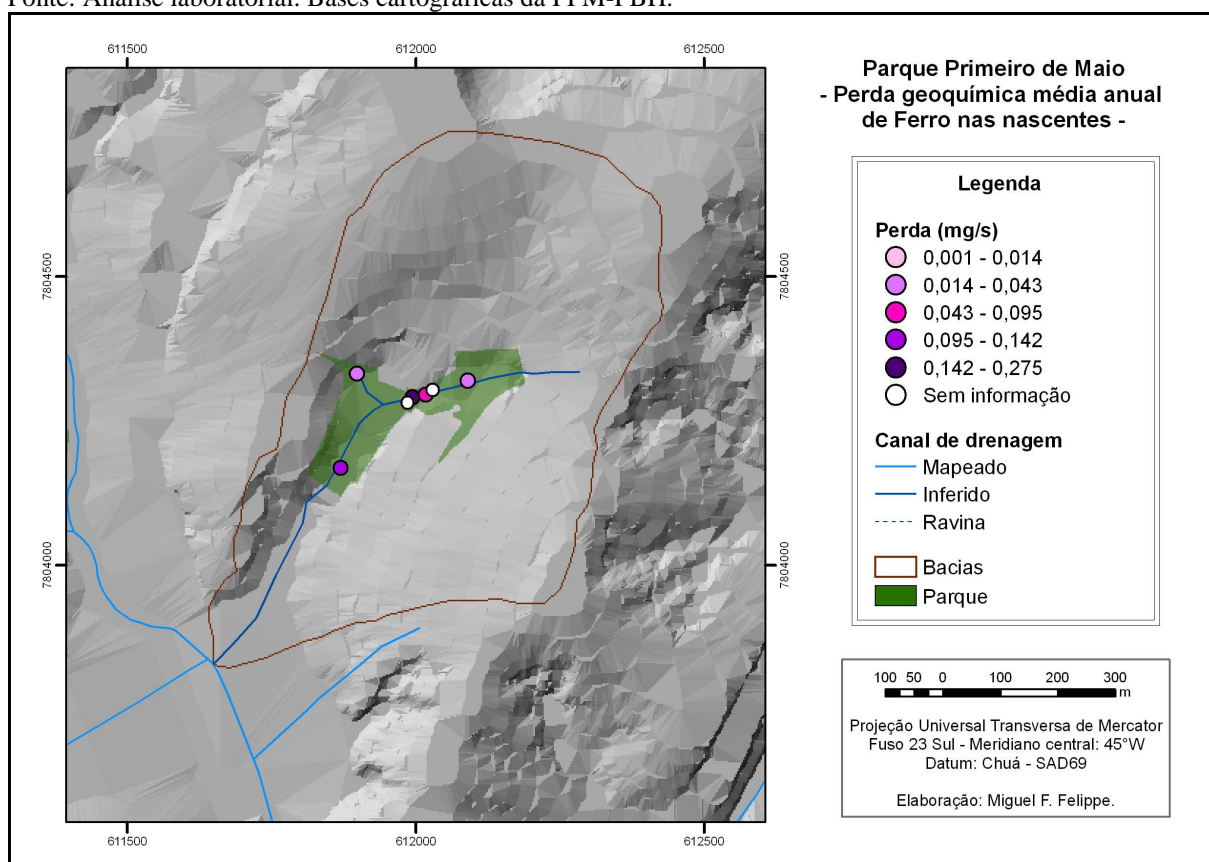


FIGURA 91 – Perda geoquímica média anual de Ferro nas nascentes do Parque Primeiro de Maio.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

Assim como foi verificado com a concentração de Alumínio nas águas das nascentes, as taxas de perda geoquímica de Alumínio não seguem o mesmo padrão espacial daquelas observadas para o Ferro e a Sílica. No Parque das Mangabeiras, as nascentes com maiores perdas de Alumínio se encontram nas margens do canal principal, em posição de baixa vertente (FIG. 92). Há, também, alguns casos isolados de taxa média-alta – 0,023 a 0,059 mg/s – fora desse eixo, principalmente relacionados a elevadas vazões. A maioria dos casos, porém, registra perdas geoquímicas de Alumínio inferiores a 0,023 mg/s. Ademais, destaca-se o grande número de nascentes que se enquadra na classe baixa – menos de 0,005 mg/s – que ocorrem dispersas por todo o território do parque.

O Parque Lagoa do Nado apresenta uma dicotomia em relação à perda geoquímica de Alumínio (FIG. 93). Duas de suas nascentes encontram-se na classe de alta retirada – acima de 0,059 mg/s – e três na classe média-baixa – 0,005 a 0,014 mg/s. Novamente, as nascentes da porção sudeste do parque destacam-se com as taxas mais elevadas. Nenhum caso foi registrado com retirada inferior a 0,005, ainda que a maioria das nascentes não pudesse ter sua perda média anual de Alumínio medida, devido à dificuldade na mensuração das vazões no período do inverno.

O Parque Primeiro de Maio apresentou comportamento semelhante àquele observado no Lagoa do Nado (FIG. 94). Somente uma nascente tem perda geoquímica de Alumínio inferior a 0,014 mg/s, sendo que nenhuma foi inferior a 0,005 mg/s. Uma nascente se encontra na classe intermediária – 0,014 a 0,023 mg/s – e duas na classe média-alta – 0,23 a 0,59 mg/s. Além disso, uma nascente apresentou taxa anual de perda geoquímica de Alumínio superior a 0,059 mg/s. Essa mesma nascente também se enquadra nas classe alta para a perda de Ferro e Sílica.

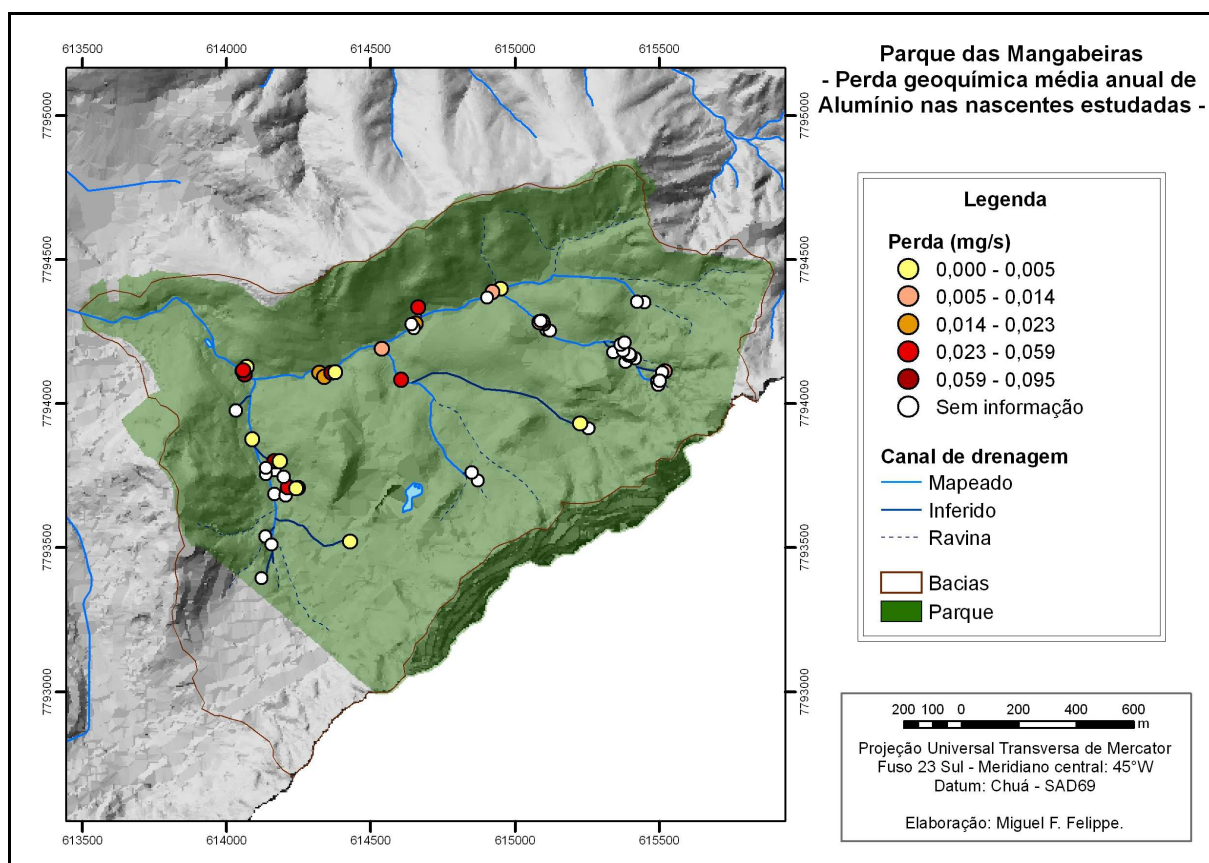


FIGURA 92 – Perda geoquímica média anual de Alumínio nas nascentes do Parque das Mangabeiras.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

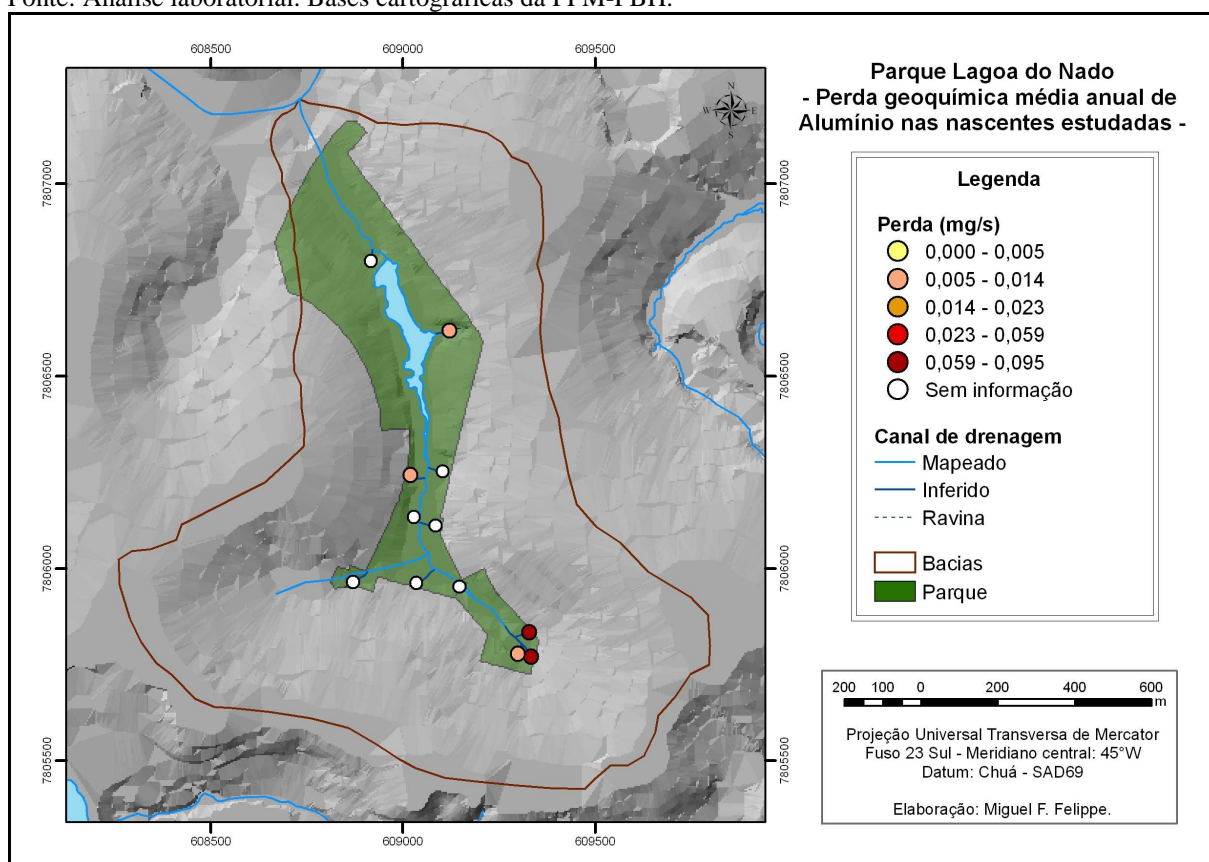


FIGURA 93 – Perda geoquímica média anual de Alumínio nas nascentes do Parque Lagoa do Nado.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

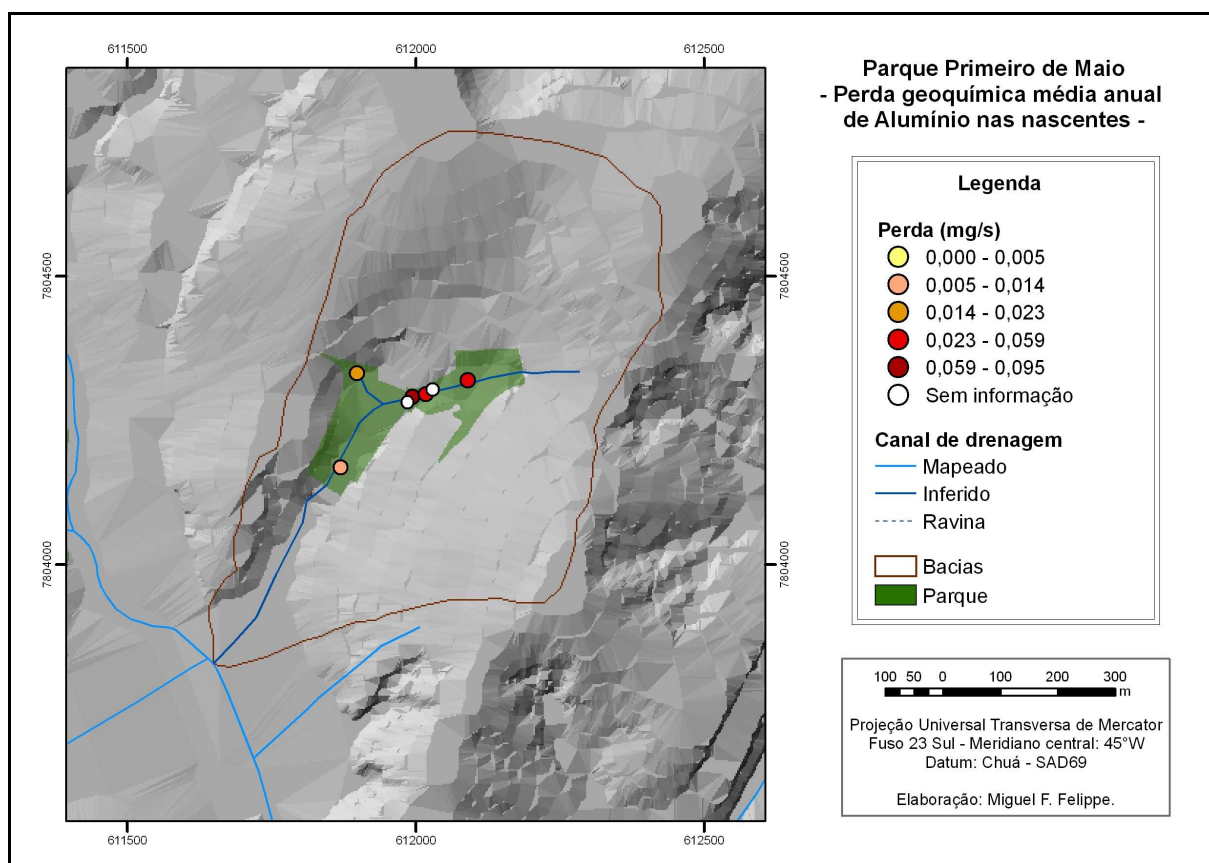


FIGURA 94 – Perda geoquímica média anual de Alumínio nas nascentes do Parque Primeiro de Maio.

Fonte: Análise laboratorial. Bases cartográficas da FPM-PBH.

Contudo, os resultados encontrados concordam com estudos realizados com o propósito de auferir as taxas de desnudação geoquímica em diferentes litotipos. De uma forma geral, as rochas carbonáticas tendem a possuir as maiores taxas de desnudação, em contrapartida, quartzitos e itabiritos tendem a possuir as menores. Granitos e gnaisses possuem taxas de desnudação muito similar às apresentadas por xistos e filitos (SALGADO *et al*, 2004).

Apesar de, neste trabalho, somente terem sido realizadas análises para Sílica, Alumínio e Ferro – considerados os elementos mais importantes para tais propósitos – essas interpretações levam a crer que as altas taxas de perda geoquímica encontradas nas nascentes da Formação Cercadinho estejam associadas a filitos, litotipo menos resistente da unidade. Ademais, a não identificação em campo de dolomitos na área de estudo, corrobora que a Formação Gandarela deve estar representada pelos itabiritos, rochas muito resistentes à desnudação, que, apesar da grande concentração mineralógica de Sílica e Ferro, promovem baixas taxas de lixiviação. Já os resultados para os Gnaisses do Complexo Belo Horizonte foram de acordo com o esperado, indicando altas taxas de retirada para os três elementos analisados.

Por fim, reafirma-se que a análise hidroquímica das águas das nascentes pode ser uma ferramenta complementar no estudo da desnudação e do rebaixamento do relevo na escala geológica. Entretanto, somente por esse procedimento, não se pode identificar os aquíferos e a área fonte da qual os minerais foram retirados, impedindo cálculos acerca da desnudação e direcionando para a interpretação da perda geoquímica. Além disso, os resultados obtidos corroboram estudos na escala de bacias hidrográficas e, de forma complementar, ampliam as análises ao focar nas águas subterrâneas.

9. ESPECIFICIDADES E GENERALIDADES ENCONTRADAS

O rol de nascentes estudadas em três unidades de conservação de Belo Horizonte, perpassando dois domínios geomorfológicos consideravelmente distintos, permite o levantamento de uma série de hipóteses explicativas para algumas generalidades e especificidades encontradas. De fato, quaisquer afirmações conclusivas seriam precipitadas, posto que o objetivo do trabalho não consiste em debruçar sobre esse tipo de observação.

Porém, é inevitável retratar e – na medida do possível – interpretar alguns aspectos considerados relevantes para a compreensão das nascentes, sobretudo em ambientes tropicais úmidos – *loci* do estudo. Nesse sentido, enumera-se uma série de observações acerca do comportamento – hidrológico e geomorfológico – das nascentes. Aqueles mais corriqueiros foram tratados como generalidades, sendo encontrados na grande maioria dos casos. Ademais, aqueles considerados exceções à regra, ou mesmo peculiaridades, também foram descritos.

9.1. *Energia dos fluxos subterrâneos, morfologia e tipo de exfiltração*

Normalmente tratada apenas pelos processos superficiais, a morfologia das nascentes é também resultado de processos subterrâneos que auxiliam a esculpir a paisagem no local onde ocorre a exfiltração. Isso faz com que haja a possibilidade uma relação entre a energia dos fluxos subterrâneos, a morfologia do relevo no local onde ocorre a nascente e, também, o tipo de exfiltração.

Apesar de não terem sido utilizadas técnicas estritamente relacionadas à medição dos fluxos subterrâneos, a vazão das nascentes pode ser considerada uma aproximação metodológica bastante útil devido a sua relação com a energia dos fluxos já bem retratada na literatura (WARD; TRIMBLE, 2004; CHRISTOFOLETTI, 1999; KNIGHTON, 1984). Nesse sentido, espera-se que as maiores vazões estejam associadas a fluxos de maior energia.

A maior energia dos fluxos subterrâneos, em outras palavras, significa maior erosividade. Se as partículas são retiradas com relativa facilidade, o fluxo tende a se concentrar nessas “zonas de fraqueza” e, com isso, a exfiltração ocorre de forma pontual. De fato, as maiores vazões estão associadas a exfiltrações pontuais, como foi demonstrado no Capítulo 8, em contrapartida, as exfiltrações difusas tendem a ser caracterizadas por baixas vazões, além de

muitas delas não serem mensuráveis pelo método adotado no trabalho, devido a sua pequena magnitude.

As relações se complexificam quando a variável morfologia é inserida na análise. Isso pois, apenas as morfologias duto e olho são estritamente pontuais, podendo as demais variar entre os diversos tipos de exfiltração. Entretanto, as vazões médias nas nascentes em duto são superiores às demais, o que reforça a associação com a energia dos fluxos já que os dutos são feições puramente erosivas. Ao estenderem-se para o interior do manto/rocha como canais de baixa pressão hidrostática, os dutos tendem a promover a convergência dos demais fluxos subterrâneos em apenas um, o que eleva sua energia e seu potencial erosivo.

O material – substrato geológico – envolvido no processo é uma condicionante para essa relação fluxo-forma-exfiltração se estabelecer. Considerando aquíferos livres e não cársticos – como no caso de Belo Horizonte – é a energia de velocidade da água que determinará seu potencial hidráulico (WARD; TRIMBLE, 2004). Assim, deve-se fazer uma distinção entre o aquífero granular e o fissural. No primeiro caso, o maior número de interstícios do material tende a promover uma desconcentração dos fluxos subterrâneos devido aos vários caminhos que a água pode seguir. Desse modo, a energia do fluxo é reduzida. Por outro lado, os aquíferos fissurais possuem poros extremamente pequenos e não conectados, forçando a água em direção às descontinuidades físicas da rocha, onde se acumula e flui com maior energia.

Essa construção auxilia na compreensão da praticamente ausência de nascentes em duto na Depressão de Belo Horizonte e do expressivo número destas na Serra do Curral. As características do manto de intemperismo das duas regiões criam – ou não – as condições para a formação das nascentes em dutos. Isso pois, é necessária uma superfície de impermeabilização para formá-lo (AUGUSTIN; ARANHA, 2006). Como os mantos na depressão são muito espessos, os dutos são mais raros. Já na Serra, com mantos rasos e a rocha são promovendo condições de impermeabilização, os dutos são mais comuns.

Por fim, verifica-se que as nascentes pontuais tendem a estar relacionadas à elevada energia dos fluxos subterrâneos, sendo a morfologia em duto o caso mais típico. Por outro lado, fluxos subterrâneos não concentrados possuem menor energia e, por isso, a exfiltração ocorre de forma difusa, principalmente em concavidades.

9.2. *Atuação dos afloramentos rochosos no processo de exfiltração*

Os afloramentos rochosos funcionam como anteparos de impermeabilização dos fluxos subterrâneos nos mantos. Dessa forma, podem estar relacionados à gênese de nascentes de diversas maneiras, em todas, criando condições para a exfiltração da água subterrânea.

Em vertentes, os afloramentos podem promover a existência de nascentes ao interromper o fluxo de base no contato rocha/manto de alteração. Com isso, a exfiltração pode ocorrer de três formas distintas, individualizadas de acordo com a posição dos afloramentos. A primeira possibilidade é de um fluxo subterrâneo com energia elevada que encontra um afloramento e é tem sua velocidade diminuída consideravelmente. Começa a ocorrer, então, a saturação do manto imediatamente a montante do afloramento, processo que se estende à jusante de acordo com a quantidade de água envolvida no fluxo e em caso de afloramentos pouco fraturados. A exfiltração inicia-se quando, em algum ponto a montante, o nível freático sobe até atingir a superfície. Forma-se, então, uma nascente com a exfiltração condicionada por um afloramento a jusante do ponto de exfiltração (FIG. 95).

A segunda hipótese é sobre os casos em que a exfiltração ocorre justamente no local do afloramento (FIG. 96). Em uma situação semelhante à anterior, o afloramento reduz a velocidade do fluxo de base. Porém, se o material possuir um grande número de discontinuidades físicas, a água poderia penetrar nesses interstícios de forma a evitar a saturação a montante. Desse modo, as próprias fraturas tendem a promover a exfiltração no local do afloramento, ou imediatamente a jusante, caracterizando uma nascente. Soma-se a esses fatos a possibilidade do afloramento ter sua origem relacionada a alguma falha na rocha matriz, que também pode fornecer água para superfície.

A terceira possibilidade é do afloramento encontrar-se a montante da exfiltração. Esse caso pressupõe que o fluxo subterrâneo já seja de baixa energia, que é ainda mais reduzida quando a água atinge o afloramento, a ponto de impossibilitar tanto o acúmulo a montante do afloramento, quanto a exfiltração através de suas fraturas. Com isso a água passa pela rocha atingindo o manto, novamente, a jusante. Porém, nesse momento a energia é tão pequena que o fluxo horizontal é praticamente interrompido, promovendo, então, a saturação do manto a jusante. Desse modo, a água exfiltra de forma difusa em uma vasta área, promovendo a existência de uma nascente originada por um afloramento a montante do local de exfiltração (FIG. 97).



FIGURA 95 – Afloramentos rochosos a jusante do início da exfiltração em N040.
Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 96 – Exfiltração determinada pelo afloramento rochoso (N018).
Foto: Miguel F. Felipe.

Em talvegues essa mesma linha de raciocínio pode ser utilizada, desde que estes não estejam encouraçados no trecho em que se encontra a nascente. De toda forma, sabe-se que os afloramentos, além de influenciarem a exfiltração, também podem estar relacionados a mantos pouco espessos, indicando a possibilidade de um nível freático raso, próximo à superfície.

9.3. *Influência das raízes na exfiltração*

Em algumas nascentes, caracterizadas pela presença de árvores com grandes raízes com ramificações pouco profundas, foi identificada a influência dessas raízes na origem da exfiltração (FIG. 98). Porém, não se pode negar a convergência de outros fatores na gênese destas nascentes, o que não minimiza a importância desse condicionante biológico.



FIGURA 97 – Afloramentos a montante da exfiltração de N002.
Foto: Miguel F. Felipe.

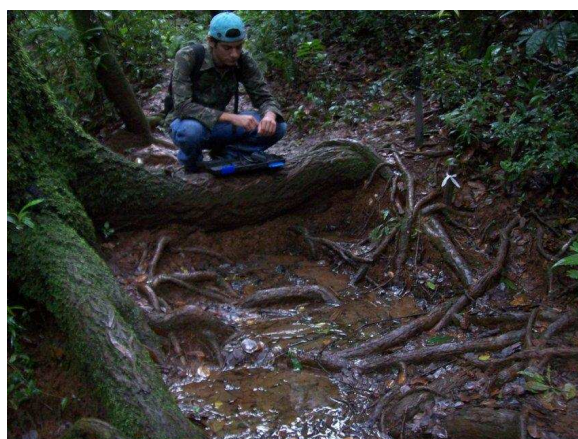


FIGURA 98 – Exfiltração condicionada por raízes é evidente em N037.
Foto: Miguel F. Felipe.

As raízes de árvores possuem influência diversa sobre a água subterrânea. Primeiramente, pela própria função de absorção que estes órgãos possuem e, em segundo lugar, por uma possível alteração dos fluxos subterrâneos de forma mecânica e pelo alívio de pressão. Não foram encontrados estudos que embasassem tais afirmações, de modo que a hipótese foi construída a partir das observações realizadas em campo, carecendo, ainda, de estudos específicos.

Assim como os afloramentos rochosos, porém de modo menos intenso, as raízes quando possuem uma extensão horizontal e vertical considerável, podem funcionar como uma barreira mecânica para os fluxos subterrâneos, promovendo a redução da velocidade desses. Isso tende a elevar o nível freático a montante da raiz e, concomitantemente, redirecionar os fluxos para interstícios de menor resistência ao movimento da água.

Além disso, o revolvimento do solo promovido pelo crescimento da raiz, pode gerar a ligação entre os poros na forma de pequenos dutos que, em contato com a água, tendem a ser ampliados. Associado ao processo de absorção natural das plantas, esse processo gera um ambiente de baixa pressão hidráulica, para onde os fluxos superficiais convergem – posto que ocorrem no manto, um aquífero livre e granular.

Somando-se as duas linhas de raciocínio, as raízes podem gerar exfiltrações nas suas imediações, deslocando os fluxos subterrâneos. Nesses casos, as nascentes tendem a ser difusas ou, principalmente, múltiplas, devido à baixa energia do ambiente, associada à formação de pequenos dutos no entorno das raízes.

9.4. As “nascentes antropogênicas”

Em locais onde as condições naturais não convergem para a ocorrência de nascentes, a intervenção humana pode “criar” um ambiente propício para a exfiltração. Quando isso ocorre e forma-se, à jusante, um canal que se liga à rede de drenagem de forma intermitente ou perene, configura-se uma “nascente antropogênica”.

Sem um estudo anterior à alteração do ambiente natural é extremamente difícil a identificação de nascentes antropogênicas, posto que muitas vezes, as condições de equilíbrio já se restabeleceram – ao menos de forma aparente. Entretanto, é necessário que se diferencie nascentes que sofreram algum tipo de influência antrópica daquelas que, efetivamente, foram

criadas por tal. Somente na resposta pela gênese de uma nascente, é possível taxá-la – ou não – de antropogênica, por isso, as informações de terceiros, que conhecem o local há algum tempo, é imprescindível, quando não há quaisquer estudos anteriores.

Em ambientes urbanos, a classificação de uma nascente como antropogênica é ainda mais delicada. Os registros da intervenção humana são visíveis nos mais diversos espaços, mesmo em unidades de conservação. Existem nascentes com a aparência bastante artificial que, porém, não podem ser consideradas antropogênicas, por existirem as condições naturais para sua ocorrência, sendo que as consequências da intervenção são meramente fisionômicas (FIG. 99). Por outro lado, nascentes com aparência natural podem ter sua gênese ligada à ação antrópica. Todavia, a descrição e a análise da paisagem podem fornecer provas cabais nesse sentido.

Tão complexo quanto identificar se as alterações ambientais são responsáveis pela criação de uma nascente, é interpretar quando a biostasia é recuperada e o ambiente pode novamente ser considerado em equilíbrio – um novo estágio de equilíbrio (PASSOS, 1988). Voçorocamentos antigos, já estabilizados e colonizados são os exemplos mais significativos dessa dúvida em relação a nascentes antropogênicas: muitos foram ocasionados pela ação humana, mas aparentam estar em equilíbrio após o período de estabilização. Por isso, somente foram classificadas como nascentes antropogênicas aquelas que, ainda hoje, é possível identificar com clareza as consequências das alterações ambientais que as criaram.

Normalmente, as nascentes antropogênicas estão associadas a processos erosivos e/ou de movimentos de massa de origem antrópica (FIG. 100). A retirada de material promove a aproximação gradativa do nível freático com nível da superfície. Por um tempo, essas nascentes são efêmeras e, posteriormente, intermitentes, influenciadas pela elevação da frente de saturação nos eventos e períodos chuvosos. A continuação do processo pode levar à perenização da nascente antropogênica.

9.5. Vulnerabilidade das nascentes difusas

A qualidade das águas não depende somente do lançamento de poluentes, mas também da capacidade do corpo hídrico em assimilar essas substâncias e retomar suas características naturais (VON SPERLING, 2005). Por sua vez, a autodepuração é condicionada pelo volume de água, sua energia, turbilhonamento, entre outros.



FIGURA 99 – Nascente artificializada e descaracterizada que não pode ser considerada antropogênica pois existem condições naturais para exfiltração (N063).

Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 100 – Nascente antropogênica originada por cavidade erosiva à jusante de uma canaleta de drenagem pluvial (N078).

Foto: Miguel F. Felipe.

A interpretação dos dados microbiológicos apresentada no Capítulo 7, aponta para uma maior concentração de microrganismos indicadores de patologias nas nascentes difusas em comparação com as demais formas de exfiltração. Isso ocorre, pois nesses casos, a área de abrangência da água é maior e, por isso, seu contato com o solo. Assim, poluentes dispostos na superfície são mais facilmente destinados às águas de nascentes difusas.

Por outro lado, as nascentes pontuais, sobretudo as em duto, têm um contato com o solo muito menor. Assim que a exfiltração ocorre, a tendência é a formação de um canal, restringindo a influência das substâncias presentes na superfície. Ademais, sabe-se que os focos mais comuns de poluição encontram-se na superfície, atingindo camadas mais profundas do solo, somente em casos específicos. Por isso, é perfeitamente compreensível que as nascentes difusas – dentro de um mesmo contexto ambiental – tenham maior quantidade de poluentes.

Em outras palavras, isso significa dizer que as nascentes difusas são mais suscetíveis à degradação ambiental. Em uma mesma situação de poluição, estas tendem a ser mais afetadas do que as nascentes pontuais e, concomitantemente, transmitir os poluentes aos corpos hídricos a jusante. Nesse sentido, a proteção dos ambientes de nascentes difusas deve ser ainda mais trabalhada, apesar da dificuldade de manejo em uma grande área de exfiltração.

9.6. *Convexidades a montante das nascentes em duto*

Foi observada, em praticamente todas as nascentes em duto, a existência de convexidades imediatamente a montante do talude em que os dutos são encontrados. O material constituinte

dessas convexidades é mormente inconsolidado, mesmo que o piso e o teto dos dutos seja rochoso. As FIG. 101 e 102 apresentam duas nascentes em duto distintas no Parque das Mangabeiras que possuem convexidades similares a montante do ponto de exfiltração.



FIGURA 101 – Nascente em duto no talude de um canal, com convexidade a montante (N048).
Foto: Miguel F. Felipe.



FIGURA 102 – Nascente em duto em talude de corte de estrada, com convexidade a montante (N017).
Foto: Miguel F. Felipe.

Essas convexidades de material inconsolidado podem funcionar como pequenos reservatórios de água. No período das chuvas os interstícios do manto são preenchidos gradativamente por água. Como está estratigraficamente acima do duto e não há pressão envolvida na movimentação da água, esta atinge de forma paulatina o duto e alimenta a nascente. Isso não significa dizer que essas convexidades são responsáveis pela perenização das nascentes, apesar de ser clara sua contribuição para tal.

9.7. *N055: a maior vazão registrada*

Entre as medições realizadas em trabalhos de campo, a N055 – Parque das Mangabeiras – foi a nascente de maior vazão, mensurada no verão, com 1,84 L/s. No inverno, porém, houve uma queda para 0,24 L/s, o que fez com que a vazão média de N055 – 1,04 L/s – não fosse a mais elevada do rol. A razão de vazão desta nascente foi extremamente elevada, bem como de N056 – que ocorre ao lado – demonstrando uma queda acentuada da vazão no inverno.

Dentre todas as nascentes nas imediações, somente N057 não teve sua vazão diminuída, sendo que N052, N053 e N054 são intermitentes. Tendo em vista que a significativa redução da vazão das nascentes dessa área não é exclusividade de N055, acredita-se que essa característica esteja muito mais relacionada a aspectos regionais do que locais.

Todavia, as características identificadas em N055 convergem para a ocorrência de elevadas vazões. A nascente ocorre em um duto consideravelmente extenso (FIG. 103), formado em uma fratura do afloramento de itabirito que ocorre no local – formação Gandarela. Assim, a exfiltração é pontual, originando um canal a jusante que se conecta em poucos metros com a drenagem principal de sua bacia.

O segmento da vertente em que se encontra a nascente é bastante íngreme, apesar da declividade média da vertente ser baixa (FIG. 104). A distância para o eixo da drenagem principal é de aproximadamente cinco metros, com os talvegues – principal e secundário – possuem o leito rochoso. Além disso, a típica concavidade a montante das nascentes em duto também ocorre em N055, sob a cobertura de uma vegetação florestal de dossel fechado.



FIGURA 103 – Detalhe do duto em afloramento rochoso de N055.

Foto: Miguel F. Felipe.

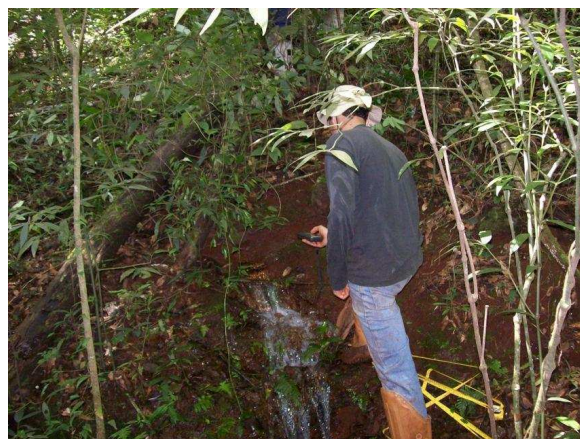


FIGURA 104 – Vista do íngreme segmento da vertente em que se encontra N055.

Foto: Miguel F. Felipe.

9.8. *N005: a maior vazão média*

A vazão mensurada no verão na N005 – Parque das Mangabeiras – foi a segunda maior do rol, sendo que no inverno, houve uma queda muito sutil de 1,34 para 1,28 L/s. Essa regularidade do débito fez com que N005 obtivesse a maior vazão média de todo o rol, praticamente 30% superior a segunda maior – N055.

Em relação às características ambientais, N005 é muito semelhante à N055. É uma nascente em duto, com exfiltração pontual que forma um canal de 20 cm de largura por três de profundidade imediatamente à jusante da exfiltração. O duto, porém, é consideravelmente menor, apesar de também ser esculpido em uma fratura na rocha matriz. Da mesma forma, também, é pronunciada a ocorrência de uma convexidade a montante.

Localiza-se na bacia com maior visitação no Parque das Mangabeiras, em local de vegetação florestal com dossel semi-aberto. A declividade na vertente é mediana, porém o duto se localiza em um talude que marca uma ruptura de declive (FIG. 105).

Apesar dos resultados das análises microbiológicas terem sido excelentes – Capítulo 7 – é constante o uso das águas da nascente por parte dos visitantes e funcionários do parque. Nesse sentido, é imprescindível que haja um monitoramento qualitativo e quantitativo de suas águas para uma avaliação longitudinal dos possíveis impactos desse uso. A elevada energia do fluxo, porém, colabora para a autodepuração do corpo hídrico e, conseqüentemente, para a manutenção de seu equilíbrio ambiental.

9.9. *N011: nascente inundada ou extensa migração para montante?*

A bacia do Lago dos Sonhos – extremo sudoeste do Parque das Mangabeiras – possui parte de sua cabeceira no exterior da unidade de conservação. Marcada morfologicamente por inúmeras ravinas, essa porção do parque abriga três nascentes em talwegues que sofrem influência direta do escoamento superficial originado pela impermeabilização a montante, com evidências, inclusive, de emissão de esgotos.

Nesse contexto, nos trabalhos de campo de verão, foi identificada N011 (FIG. 106). Localizada no talvegue rochoso de uma ravina, imediatamente após uma ruptura de declive, a nascente era caracterizada pela existência de um pequeno lago, formado pela barragem natural da água exfiltrada nas fissuras da rocha. A montante, a ravina se estende até o exterior do parque, atingindo a mancha urbana, sendo que há, uma pequena bacia de detenção, assim que a ravina entra no parque, para conter os poluentes advindos da parte externa.

A vazão registrada em N011 no verão foi mediana, na ordem de 0,21 L/s. Sua morfologia foi considerada do tipo de talvegue e sua exfiltração difusa, já que havia possibilidade de pontuar um local preciso, devido à formação do pequeno lago imediatamente a jusante. Afloramentos rochosos, bem como fragmentos de rocha deslocados ocorrem em toda a calha da ravina, inclusive na nascente.



FIGURA 105 – Nascente em duto localizado em ruptura de declive (N005).
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 106 – Vista do início da exfiltração de N011 e de parte do lago formado.
Foto: Miguel F. Felipe

Nos trabalhos de campo de inverno, porém, verificou-se que toda a ravina encontrava-se preenchida por água, desde sua confluência com o canal perene, até o limite do parque. Sendo assim, não foi possível identificar o local de exfiltração de N011. O lago continuava existindo, todavia, era alimentado pelo fluxo superficial de montante, sendo impossível visualizar a exfiltração entre as fissuras das rochas, posto que estas se encontravam inundadas.

Acompanhando o canal a montante, foi possível sugerir a presença maciça de poluentes na água, muito provavelmente advindos do esgotamento sanitário das residências a montante. A água apresentava-se muito turva e com odor extremamente desagradável. A análise microbiológica apontou concentração de *Coliformes* e *Salmonella sp.* acima do limite de cálculo da metodologia.

Foi levantada a possibilidade de uma migração muito extensa para montante, para explicar tal fato. Apesar de não ser comum que ocorra esse tipo de deslocamento no inverno – o esperado é para jusante – o fenômeno também foi verificado em N012, na mesma bacia. Neste caso, porém, o deslocamento medido foi de 1,39 m a montante; a distância da migração de N011 para que esta ocorresse fora do parque deveria superar os 200 m.

Considerando que, apesar de possível, uma migração tão extensa para montante é improvável no caso de N011, acredita-se que esta foi inundada por um fluxo superficial de origem antrópica. Como não havia ocorrido eventos chuvosos nas semanas que antecederam o campo de inverno, há possibilidade da água existente na ravina ser de vazamentos nos dutos da Copasa – Companhia de Saneamento de Minas Gerais.

Sendo assim, não foi possível identificar N011 no período do inverno. Com isso, apesar da existência desta nascente, seus dados não foram utilizados para a interpretação da dinâmica das nascentes no período seco, tampouco para o modelo de tipologia proposto. Entretanto, para análises estritamente sobre o verão, pode-se utilizar normalmente os dados de N011.

9.10. *N066: a pior qualidade ambiental*

As nascentes antropogênicas, devido ao contexto de suas origens, tendem, em princípio, a possuir uma baixa qualidade ambiental, fruto das alterações ocorridas em suas imediações. Quando as alterações vão além do meio físico e atingem suas águas, cria-se um cenário de extrema degradação que, por conseguinte, tende a estender-se por todo o sistema de drenagem. No Parque Lagoa do Nado, a N066 combina os aspectos negativos da alteração paisagística com a influência de efluentes domésticos para culminar na pior qualidade ambiental verificada no rol.

Sua origem está ligada à formação de uma cavidade erosiva ao final de uma canaleta de escoamento pluvial (FIG. 107). A intensidade dos processos erosivos foi tamanha que o nível freático foi atingido e, atualmente, aflora de forma perene. É uma nascente de exfiltração difusa em área de manto de intemperismo bastante espesso e descaracterizado, onde há presença de entulho aproximadamente 50 cm abaixo no nível da superfície.

A maioria dos quesitos avaliados no índice de impacto ambiental macroscópico em nascentes foi considerada ruim: a cor e o odor da água, bem como a presença de espumas e óleos, são indicativos da presença de esgoto. Além disso, foi verificado o uso constante da nascente, sendo que esta se encontra a poucos metros do limite do parque e, conseqüentemente, da mancha urbana. Dentre as demais variáveis do IIAN, o lixo ao redor da nascente, a vegetação do entorno e o acesso, foram qualificados como medianos.

Desse modo, o IIAN calculado para N066 foi 16, muito próximo do mínimo possível – 11. Além da aparente presença de esgoto nas águas da nascente, a influência do escoamento superficial também deve ser considerada – FIG. 108. A presença de óleo na água, por exemplo, é creditada à drenagem do resíduo pelas águas pluviais nas ruas, à montante da nascente. Ademais, a existência de serviços de lavagem de automóveis nas proximidades promove o lançamento constante de poluentes – mesmo no inverno – na rede de drenagem do parque, inclusive detergentes, considerados os focos da espuma encontrada.



FIGURA 107 – Cavidade erosiva provocada pela concentração do escoamento pluvial (N066).
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 108 – Lixo e turbidez da água são indícios da baixa qualidade ambiental de N066.
Foto: Miguel F. Felipe

9.11. *N070: erosão, deposição e possibilidade de desaparecimento*

Considerando o ambiente em constante equilíbrio dinâmico, as nascentes se modificam de acordo com os processos que atuam no espaço, sejam estes naturais ou não. A erosão é um processo ímpar nesse sentido, além de ser responsável por esculpir o relevo, pode tanto “criar” como “destruir” nascentes.

O caso das nascentes antropogênicas é bastante ilustrativo, em que os processos erosivos promovem a retirada do material superficial, fazendo aflorar o nível freático e criando nascentes. Em outra escala temporal, essa cadeia de eventos é considerada como o principal processo de formação dos canais de drenagem (KNIGHTON, 1984), porém, sob a influência humana, ocorre de forma acelerada, caracterizando impactos ambientais.

Por outro lado, a retirada da cobertura vegetal (FIG. 109) a montante de nascentes pode promover o desaparecimento das mesmas em função do remodelamento do relevo. A intensificação dos processos erosivos pode promover a realocação de material inconsolidado. Nascentes em concavidades, então, são vulneráveis ao entulhamento provocado pela deposição desse material, que tem como local preferencial as áreas de menor declividade.

Por outro lado, processos de erosão acelerada em nascentes freáticas podem intensificar a energia do fluxo de água ao promover alívio de pressão pela retirada de material. Porém, em desequilíbrio momentâneo, essa exfiltração demasiada pode levar ao rebaixamento constante do nível freático e, conseqüentemente, à intermitência ou mesmo ao desaparecimento da nascente.

A N070 é um exemplo claro de possíveis conseqüências futuras dos processos erosivos a montante. Localizada a aproximadamente três metros do muro que faz o limite do Parque Primeiro de Maio, essa nascente sofre influência do escoamento superficial originado pelos dutos de drenagem pluvial. Soma-se ao processo a ausência total de vegetação nas imediações da nascente.

Na FIG. 110 é possível verificar que já se iniciou a formação de sulcos erosivos que se ligam ao canal da nascente. Ademais, nota-se a proximidade do muro e a localização dos dutos de drenagem pluvial. *In locu* é possível verificar a presença de sedimentos depositados recentemente sobre o talvegue do canal de N070, apesar de não ser possível afirmar de imediato sua origem.



FIGURA 109 – Ausência completa de vegetação ao redor de N070.

Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 110 – Início de formação de pequenos sulcos erosivos a montante de N070.

Foto: Miguel F. Felipe

Vislumbra-se, então, um cenário futuro em que os processos de erosão e deposição poderiam implicar no desaparecimento de N070. Para este caso específico, as intervenções na drenagem superficial realizadas para a implantação do parque, podem minimizar tal impacto, ou ao menos reduzir a velocidade dos processos. Porém, a revegetação da nascente é imprescindível, podendo, por si só, garantir a permanência de N070.

9.12. N065: ausência de coliformes em exfiltração difusa

Apesar da já evidenciada tendência de as nascentes difusas serem mais suscetíveis à contaminação, em N065, no Parque Lagoa do Nado, não foram verificadas unidades formadoras de colônias para *Coliformes* ou *Salmonella sp.* N065 é uma nascente difusa, em concavidade de declividade muito suave, que forma uma área alagada no verão com mais de 100 m², reduzida drasticamente no inverno a dimensões inferiores (FIG. 111).

A nascente ocorre em uma área com predominância de vegetação herbáceo-graminosa (FIG. 111) com bastante entulho de construções ao redor. No solo, foram verificados indícios de revolvimento antrópico, como vários fragmentos de tijolos e blocos de concreto. Em conversa com os funcionários do parque foi confirmado que, apesar da existência da nascente, o local era utilizado como “bota-fora” pelos moradores.

N065 situa-se no limite sudoeste do parque, próxima à margem direita de um pequeno canal perene que possui nascentes fora da unidade de conservação. Assim, sua bacia não se encontra totalmente protegida, sendo grande a influência da área urbana, existindo residências muito próximas à nascente (FIG. 112). O grau de proteção da nascente foi considerado “C” pela metodologia do IIAN, sendo a existência de lixo ao redor e a proximidade a equipamentos urbanos os principais fatores que influenciaram essa categorização. Todas essas características, em teoria, contribuiriam para a baixa qualidade da água de N065, o que, no entanto, não foi verificado.



FIGURA 111 – Área alagada com vegetação herbáceo-graminosa em N065.
Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 112 – Proximidade das residências com o local da exfiltração de N065.
Foto: Miguel F. Felipe

Em um primeiro trabalho de campo de inverno, momento em que a área de exfiltração encontrava-se consideravelmente reduzida, foi realizado o teste microbiológico. O resultado

encontrado – zero UFC tanto para *Coliformes totais*, quanto *Coliformes fecais* e *Salmonella sp.* – não condizia com o esperado, portanto, foi realizado um segundo teste que confirmou os resultados obtidos no primeiro.

Acredita-se que o modo como ocorre a exfiltração pode alterar-se mesmo em um conjunto de nascentes difusas. Essa característica pode auxiliar na compreensão dos resultados microbiológicos para N065. De uma forma geral, sabe-se que as nascentes difusas tendem a ser mais facilmente contaminadas posto que sua dinâmica de exfiltração produz um contato maior com as camadas superficiais do solo, justamente onde se localizam as fontes de poluição.

No caso, a grande área alagada de N065 pode significar uma intensa dinâmica subterrânea, alterada pelos impactos humanos no solo. A impossibilidade de mensuração da vazão, devido à dispersão dos fluxos subterrâneos, dificulta a compreensão da energia da nascente, porém, sabe-se que, apesar de dispersa, a quantidade de água de N065 é grande. Isso pode indicar que não há lentidão dos processos a ponto de manter um longo contato com o solo, como ocorre na maioria das nascentes difusas. A água deve alcançar a superfície rapidamente, porém em uma grande área.

Deve-se afirmar, contudo, que as amostras para os testes microbiológicos foram coletadas próximo ao local inicial de exfiltração, considerado aquele mais à montante. Esse procedimento foi o mesmo em todas as nascentes difusas. Desse modo, é possível que se fazendo o teste em outros locais da área alagada, os resultados sejam diferentes. Contudo, como a quantidade de microorganismos é um dado pontual no tempo, sabe-se que com as chuvas e o carreamento de poluentes da área urbana para a nascente, há grande probabilidade de ocorrência de *Coliformes* ou mesmo *Salmonellas*, sobretudo, no verão.

9.13. N069 e N076: resquílios naturais em meio artificial

Dentre os parques estudados, o Primeiro de Maio é, indubitavelmente, aquele que apresenta um maior grau de intervenção humana, desde as estruturas montadas para o lazer da população, até a cobertura vegetal do parque – predominantemente herbáceo-graminosa. Com isso, apesar da ocorrência de poucas nascentes antropogênicas, todas se apresentam com elevado grau de alteração de suas condições primárias.

Apenas duas áreas do parque encontram-se com vegetação natural, em ambas, localizam-se nascentes. As formações vegetacionais apresentam-se como capoeiras, em estágio sucessional. Apesar de alteradas, mantém porte relativamente alto, com elevada densidade e dificuldade de penetração. Essas áreas encontram-se desconexas e abrigam as nascentes N069 e N076.

N069 é uma nascente em concavidade, localizada em uma pequena cabeceira de drenagem no norte do parque (FIG. 113). Sua exfiltração é pontual no verão e difusa no inverno, tendo sido medida uma migração de 5,96m, o que promoveu a alteração do tipo de exfiltração. Há indícios de influência da área urbana, que dista entre 20 e 25 metros do local de exfiltração, sendo verificado um sulco erosivo de origem recente à montante de N069.

N076 também é uma nascente em concavidade, porém, é fixa e sua exfiltração é difusa por todo o ano. Por toda a área onde ocorre a capoeira foi verificada a presença de água na superfície, formando uma área alagada que coincide, no verão, exatamente com a área de vegetação arbóreo-arbustiva; no inverno, essa área é ligeiramente reduzida. Ao redor de toda a área alagada a vegetação é de gramíneas plantadas, onde há um duto colocado para drenar a água de N076 diretamente para o canal principal (FIG. 114).



FIGURA 113 – Vista da densidade da vegetação de capoeira que circunda N069.

Foto: Miguel F. Felipe



FIGURA 114 – Contraste vegetacional em N076, mostrando a capoeira em meio artificializado.

Foto: Miguel F. Felipe

Em meio artificializado como é o Parque Primeiro de Maio, suas nascentes podem sofrer consideráveis alterações na dinâmica devido às intervenções humanas. Por isso, a ocorrência de nascentes com menor influência antrópica, como é o caso de N069 e N076, é de relevância para estudos ambientais. Investigações que tenham como intuito interpretar condicionantes ou processos estritamente físicos nesses locais devem priorizar nascentes menos alteradas, como

o caso de N069 e N076, que, possivelmente, possuem, dinâmica mais similar àquela anterior à ação antrópica.

9.14. *N059: influência da represa na exfiltração*

O Parque Lagoa do Nado tem como principal característica uma lagoa homônima formada pelo represamento artificial da drenagem fluvial. Com a interrupção do fluxo superficial e a redução da energia da água, alteraram-se as condições de infiltração da água no piso do lago.

Esse processo naturalmente tende a elevar o nível freático pela entrada induzida de água no solo. A partir do lago, há um efeito de saturação do solo que se distribui radialmente, ampliando a disponibilidade de água no aquífero granular. Além disso, a morfologia do terreno é, também, alterada pelo represamento, promovendo a existência de uma ruptura de declive imediatamente a jusante do lago, gerada pela barragem.

A elevação do nível freático – aquífero granular e livre – promove sua interceptação pela superfície do terreno na ruptura de declive criada. Com isso, ocorre a exfiltração da água. Como não há um fluxo subterrâneo concentrado, a exfiltração é difusa. Ademais, a existência de anteparos como raízes ou afloramentos rochosos, pode contribuir para intensificar o processo.

N059, no Parque Lagoa do Nado, se encaixa nessa hipótese. Ela se localiza imediatamente à jusante da barragem artificial e é caracterizada por uma exfiltração difusa e estável durante todo o ano (FIG. 115). Apesar de não ter sido possível mensurar a vazão de N059, devido à grande dispersão de suas águas após a exfiltração, seu débito é aparentemente constante. Essa observação corrobora a hipótese apresentada, posto que o nível freático local independe da precipitação, sendo recarregado pela infiltração lacustre.

Além disso, foi verificada grande quantidade de Ferro reduzido na água (FIG. 116). A interpretação visual da coloração da água de N059 foi comprovada pela análise laboratorial, que indicou concentração de Ferro relativamente elevada. Mais uma vez, esse fato vai ao encontro das afirmações anteriores, posto que, com um nível freático elevado, cria-se um ambiente propício para a redução do Ferro, que é retirado do solo e transferido para a água.



FIGURA 115 – Vista de N059, localizada a jusante da barragem do Parque Lagoa do Nado.
Foto: Miguel F. Felipe

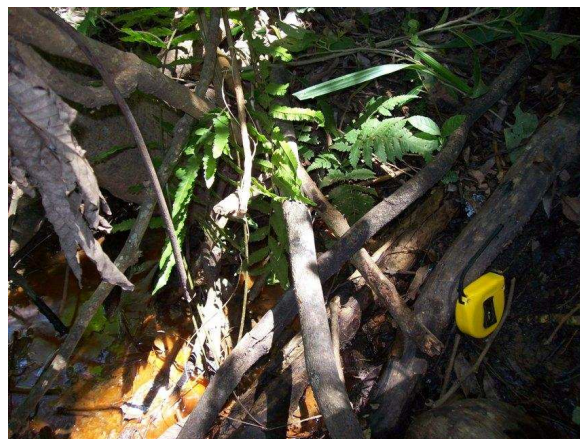


FIGURA 116 – Coloração da água típica de ambientes de redução de Ferro (N059).
Foto: Miguel F. Felipe

11. ELABORAÇÃO DE UMA TIPOLOGIA PARA AS NASCENTES A PARTIR DE UMA METODOLOGIA QUALITATIVA MULTIVARIADA

A busca pela elaboração de tipologias tem como finalidade evidente a sistematização do conhecimento científico. Agrupar um rol de objetos de estudo segundo características que possuem em comum facilita o entendimento sobre a natureza e o comportamento desses objetos, permitindo a continuidade dos estudos de forma mais organizada e direcionada, já que se conhece, de antemão, as similaridades existentes entre os indivíduos do mesmo grupo.

Como foi demonstrado no Capítulo 4, várias tipologias já foram elaboradas na tentativa de sistematizar as heterogeneidades intrínsecas às nascentes. A maioria, porém, tem como principal limitação basear-se apenas em um critério de classificação, ou seja, em apenas uma das incontáveis características ambientais das nascentes. Com isso, cria-se uma classificação de máxima eficiência acerca de uma variável – aquela escolhida para a elaboração da tipologia –, mas que nada diz sobre as demais.

Esse é o caso da tipologia provavelmente mais simples e amplamente utilizada, associada aos estudos fluviais, em que as nascentes são enquadradas segundo as variações sazonais em perenes ou temporárias (VALENTE; GOMES, 2005; CHRISTOFOLETTI, 1981). Outra tipologia de extrema relevância é a elaborada por Meinzer (1927); também monovariada, baseia-se na vazão média anual das nascentes. Além disso, há inúmeras outras propostas que preconizam apenas uma característica das nascentes para classificá-las: quanto à mobilidade da nascente na vertente, estas podem ser fixas ou móveis (FARIA, 1997); quanto à energia envolvida nos fluxos subterrâneos, podem ser artesianas ou freáticas (VALENTE; GOMES, 2005) ou gravitacionais e não-gravitacionais (BRYAN, 1919 *apud* TODD, 1959).

Todas essas tipologias acima apresentadas são baseadas no conceito de bivalência – ou uma nascente está inserida em um tipo ou não está e, portanto, insere-se em outro tipo – baseado naquilo que é chamado de teoria clássica dos conjuntos (HARRIS, 1999). Nesse sentido, dois trabalhos são de grande relevância para o estudo de tipologias de nascentes no Brasil: Faria (1997) e, principalmente, Valente e Gomes (2005). Esses estudos apresentam um avanço considerável ao não se limitar à utilização de apenas uma variável, cruzando algumas características das nascentes para elaboração dos agrupamentos.

Todavia, provavelmente por não terem a tipologia como foco principal das investigações, esses trabalhos apresentam uma série de imprecisões que acarretam na baixa aplicabilidade de suas proposições. O principal problema encontrado é estritamente metodológico. Em ambos os casos o grau de subjetividade dos tipos criados é extremamente grande, não sendo descrito o encadeamento metodológico que levou à tipologia. Além disso, cada tipo evidencia uma única característica retomando, parcialmente, a lógica monovariada.

Destarte, é extremamente complexo enquadrar uma nascente em algum tipo dos propostos seja por Faria (1997) ou Valente e Gomes (2005). Primeiramente, pois uma mesma nascente poderia ser enquadrada em diversos tipos simultaneamente, o que não seria um problema se essa possibilidade fosse contemplada metodologicamente na tipologia. Além disso, há uma série de nascentes que não se enquadram em quaisquer dos tipos criados.

O desafio que se posta é, então, o de elaborar uma tipologia que, apesar de baseada em um grupo de nascentes que foi estudado, possibilite a utilização dos agrupamentos criados em outras circunstâncias ambientais. Para tanto, deve-se realizar uma proposta ampla que permita o enquadramento das mais diversas nascentes. Todavia, a subjetividade da tipologia deve ser controlada, para evitar distanciamentos da realidade pela preconização de um ou outro elemento. Além disso, deve ficar clara a possibilidade de intercessão entre os tipos criados. Ademais, é notória a necessidade de uma tipologia multivariada, que viabilize interpretações transversais das nascentes, sistematizando-as de modo profícuo e evitando superficialidades.

Seria necessário, então, buscar uma metodologia que permitisse, simultaneamente, a interpretação multivariada e qualitativa das nascentes. Ademais, a já conhecida complexidade e diversidade das nascentes deveria ser contemplada. O método *Grade of Membership* – GoM – enquadrou-se, então, nas exigências teóricas da proposta. Baseado na Teoria dos Conjuntos Nebulosos, permite a análise multivariada qualitativa, agrupando os objetos de estudo pelo método de máxima verossimilhança em conjuntos nebulosos (CERQUEIRA, 2004; GARCIA *et al*, 2004; HARRIS, 1999; MANTON *et al*, 1994).

Ainda muito pouco explorado pelas ciências ambientais, o GoM tem sido muito utilizado nas ciências médicas, para a determinação de grupos de suscetibilidade a enfermidades e na construção de condicionantes para doenças (MANTON *et al*, 1994). No Brasil, sua utilização é mais comum na demografia, com o intuito de criar tipologias para municípios de uma rede urbana (SATHLER, 2009), de criar tipologias para os estabelecimentos escolares

(CERQUEIRA, 2004), para propor regionalizações (GARCIA *et al*, 2004), entre outros. Nas ciências ambientais, acredita-se que o primeiro trabalho brasileiro a utilizar o GoM tenha sido de Felipe *et al* (2009), em que foi criada uma tipologia para os topos e classificar a eficiência ambiental destes como zonas de recarga de aquíferos.

11.1. Seleção das variáveis e preparação da matriz qualitativa

Inicialmente, para a utilização do GoM consiste, é necessário selecionar as variáveis – j – a serem utilizadas e elaborar a matriz qualitativa. Como não há trabalhos de referência para a tipologia multivariada de nascentes, após esse primeiro passo, inicia-se uma fase de testes para determinação do número de tipos – k – a serem criados. Em cada um dos resultados, analisa-se sua capacidade de explicação ao verificar o grau de pertencimento de cada nascente a cada perfil criado – g_{ik} – e também a probabilidade de cada categoria de cada variável em cada perfil – λ_{kjl} . Esses resultados são avaliados pelo princípio da parcimônia, o qual exige o maior grau de explicação dos resultados por um número mínimo de perfis.

Apesar da possibilidade de inserção de uma matriz pré-definida de classificação, em que todos os λ_{kjl} são estipulados *a priori*, optou-se pela determinação aleatória dos λ_{kjl} . Assim, os agrupamentos são, definidos por máxima verossimilhança. A função multinomial de máxima verossimilhança do método *Grade of Membership* é expressa pela Equação 3.

$$L_{(y)} = \prod^i \prod^j \prod^{L_j} (\sum g_{ik} \lambda_{kjl}) \quad (3)$$

Na qual: g é o grau de pertinência; i é cada elemento; k é cada subconjunto, ou perfil, ou tipo; l é a probabilidade de cada categoria; j é cada variável. Então, g_{ik} é o parâmetro de associação, λ_{kjl} é o parâmetro de estrutura (GARCIA *et al*, 2004).

As variáveis selecionadas para o GoM poderiam ser quaisquer daquelas apresentadas no APÊNDICE A. Porém, a matriz de características ambientais elaborada, apresenta mais de 50 variáveis, muitas delas pouco representativas para definição de tipologias ou mesmo redundantes. Assim, para a primeira etapa de testes do GoM, selecionou-se 35 variáveis: pH; *Coliformes Totais*; *Coliformes Fecais*; *Salmonella*; *Si (verão)*; *Si (inverno)*; *Fe (verão)*; *Fe (inverno)*; *Al (verão)*; *Al (inverno)*; *Morfologia (verão)*; *Morfologia (inverno)*; *Tipo de exfiltração (verão)*; *Tipo de exfiltração (inverno)*; *Contato*; *Cabeceira*; *Canal*; *Largura do canal*; *Profundidade do canal*; *Área Setor*; *Área Alagada*; *Vazão (verão)*; *Vazão (inverno)*;

Vazão (média); Razão de Vazão; Migração; Antropogenia; Vegetação; Profundidade do manto (verão); Profundidade do manto (inverno); IIAN; Afloramentos rochosos; Textura do solo; Geologia; Declividade.

Como o GoM somente trabalha com variáveis discretas, todas aquelas que eram quantitativas tiveram que ser discretizadas pelo método de quebra natural, inicialmente, em 5 classes. Além disso, agruparam-se as respostas de todas as variáveis – qualitativas ou quantitativas – em categorias segundo critérios teóricos de afinidade, para evitar que alguma variável pudesse ter muitas categorias, o que inviabilizaria a explicabilidade do modelo. Destarte, foram executados dez modelos pelo programa GoM 3.4, com λ_{kjl} aleatórios, porém, cada um com um número de perfis – tipos – diferente, variando entre três e doze.

Esse procedimento tinha por objetivo definir o número de perfis a ser obtido nos modelos gerados posteriormente. Para tanto, foi comparado o ajuste de cada modelo aos casos existentes. O ajuste foi medido pela porcentagem de tipos puros resultantes do modelo, ou seja, de casos caracterizados por g_{ik} igual a um. Em segundo lugar, verificou-se, também, a porcentagem de casos com g_{ik} superior a 0,70, considerados como bem explicados pelo modelo. Um terceiro procedimento foi a verificação da existência de casos híbridos, considerados com aqueles com g_{ik} elevado em dois perfis criados, com soma superior a 0,70.

Naturalmente, por ter havido o mínimo de interferência na elaboração dos modelos, os ajustes encontrados foram, todos, considerados muito baixos. Os modelos explicavam de forma satisfatória menos de 50% dos casos. Como era esperado, quanto maior o número de perfis criados, maior o grau de explicação do modelo, porém, esse crescimento foi extremamente baixo. Assim, pelo princípio da parcimônia, verificou-se que os modelos com cinco, seis e sete perfis foram os que apresentaram melhor ajuste e de mais fácil interpretação. Ficou, então, definido que os demais testes seriam realizados apenas para esses números de perfis, sendo desnecessário avaliar outras composições.

Após estipular o número de perfis a serem trabalhados nos modelos seguintes – cinco, seis e sete – iniciou-se um processo de reelaboração da matriz qualitativa, com redefinição das variáveis. A partir dos resultados dos primeiros modelos, verificou-se que uma série de variáveis apresentava comportamento muito similar, indicando redundância. Desse modo, o número de variáveis foi reduzido a fim de simplificar a matriz, bem como a tipologia.

Além das variáveis que foram consideradas redundantes, foram retiradas, também, quaisquer variáveis que indicassem qualidade ambiental ou da água das nascentes. Isso pois, essas características são extremamente transitórias. Com essa nova matriz qualitativa, elaboraram-se três modelos, novamente com λ_{kjl} aleatórios, com cinco, seis e sete perfis. Porém, os ajustes permaneceram baixos, inviabilizando a utilização dos resultados.

Verificaram-se dois problemas relacionados à matriz que poderiam estar prejudicando o grau de explicação das respostas obtidas pelo GoM. O primeiro relacionava-se à categorização das variáveis. Com o agrupamento em muitas classes, havia uma heterogeneidade muito grande na distribuição dos casos, o que promovia resíduos que, ao final, configuravam-se como uma dispersão dos g_{ik} . Com isso, havia poucos tipos puros ou mesmo poucas nascentes com grau de pertinência a algum grupo superior a 0,70. Desse modo, a categorização das variáveis foi revista, reduzindo o número de classes, porém, mantendo-se o princípio da quebra natural para variáveis quantitativas e da similaridade para as quantitativas.

O segundo problema estava centrado na variável *antropogenia*. Em nenhum modelo essa variável essencial estava bem explicada. Verificou-se que isso ocorria pois ela não guarda qualquer relação com as demais variáveis, ou seja, uma nascente criada pela ação do homem poderia possuir quaisquer características. Assim, nas respostas geradas pelo GoM, essa variável acabava dispersa em diversos grupos, apesar de ser do tipo booleana, o que, em princípio, deveria facilitar seu agrupamento.

Optou-se, então pela retirada dessa variável da matriz. Porém, devido à sua significância, ela foi considerada como um primeiro elemento na chave de classificação. Ou seja, *a priori*, todas as nascentes que possuíam como resposta *sim* para a variável *antropogenia* foram excluídas do rol e agrupadas separadamente, como um primeiro tipo pré-determinado. Isso resultou, primeiramente, na constituição do primeiro tipo de nascentes: as “nascentes antropogênicas”. Em segundo lugar, houve uma redução no rol com a retirada dos nove casos que se enquadravam neste tipo, resultando em um total de 70 nascentes utilizadas no GoM.

Por fim, após essas alterações uma nova e definitiva matriz foi elaborada, sendo suas variáveis e respectivas categorias apresentadas no TAB. 15, juntamente com a distribuição percentual dos casos avaliados – excluídos aqueles com antropogenia – para cada categoria. Com as novas adaptações, a matriz qualitativa constitui-se de nove variáveis categorizadas e 70 casos.

TABELA 15 - Descrição das variáveis e categorias utilizadas no GoM

| Variáveis | Categorias | Freq. | Freq. % |
|--|----------------------|-------|---------|
| MORFOLOGIA DA NASCENTE | Concavidade | 27 | 38.6% |
| | Duto | 16 | 22.9% |
| | Afloramento | 11 | 15.7% |
| | Talvegue | 12 | 17.1% |
| | Olho | 3 | 4.3% |
| | Cavidade/Intervenção | 1 | 1.4% |
| TIPO DE EXFILTRAÇÃO | Pontual | 35 | 50.0% |
| | Múltipla | 12 | 17.1% |
| | Difusa | 23 | 32.9% |
| EXISTÊNCIA DE CONTATOS | Sim | 40 | 57.1% |
| | Não | 30 | 42.9% |
| VAZÃO MÉDIA ANUAL (L/s) | Menor que 0,056 | 41 | 58.6% |
| | 0,057 - 0,347 | 19 | 27.1% |
| | 0,348 - 1,400 | 10 | 14.3% |
| RAZÃO DE VAZÃO (verão/inverno) | Menor que 0,7377 | 12 | 17.1% |
| | 0,7378 - 1,1504 | 18 | 25.7% |
| | 1,1505 - 8,0000 | 14 | 20.0% |
| | Acima de 8,0000 | 26 | 37.1% |
| MIGRAÇÃO | Não mensurável | 20 | 28.6% |
| | Fixa | 29 | 41.4% |
| | Móvel | 21 | 30.0% |
| PROFUNDIDADE MÉDIA DO MANTO (cm) | 0 - 11 | 25 | 35.7% |
| | 12 - 49 | 24 | 34.3% |
| | Acima de 50 | 21 | 30.0% |
| POSIÇÃO DOS AFLORAMENTOS ROCHOSOS | Jusante ou Montante | 15 | 21.4% |
| | Na nascente | 25 | 35.7% |
| | Não há | 30 | 42.9% |
| SAZONALIDADE | Perene | 52 | 74.3% |
| | Intermitente | 18 | 25.7% |

Fonte: *Output* do programa GoM 3.4

Foram produzidos resultados, então, para cinco, seis e sete perfis, para a escolha daquele que apresentasse melhores ajustes. De uma forma geral, todas essas adaptações acarretaram em resultados extremamente satisfatórios, elevando a porcentagem de casos bem enquadrados pelas tipologias criadas. Contudo, os melhores resultados foram obtidos para a tipologia com cinco perfis. Nesse caso, apenas duas nascentes não foram alocadas com clareza em algum perfil, sendo consideradas “nebulosas”.

Houve uma porcentagem de tipos puros considerada muito elevada, 58,2%, constando 37 casos com g_{ik} igual a um, gerados pelo modelo, e os nove casos antropogênicos retirados anteriormente. Considerando-se um g_{ik} de 0,70 como um ponto de corte satisfatório para o ajuste das nascentes dentro dos perfis criados, 10,1% dos casos foram considerados “ajustados” e, conseqüentemente, enquadrados no perfil que respondia por seu maior g_{ik} .

Além disso, como a Teoria dos Conjuntos Nebulosos pressupõe a fluidez dos elementos dentro dos conjuntos, optou-se por formar perfis híbridos, que ocorrem quando a soma de g_{ik} para dois perfis criados supera o ponto de corte estipulado – 0,70. Nesse contexto, ocorre 29,1% das nascentes (GRÁFICO 36). Assim, somando-se os casos “puros”, com os “ajustados” e os “híbridos”, tem-se um percentual de 97,4% das nascentes estudadas satisfatoriamente explicadas pelo modelo proposto.

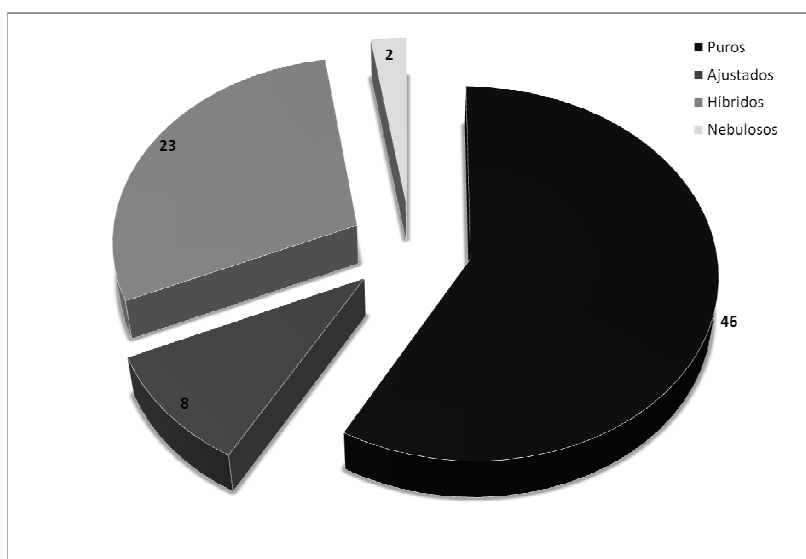


GRÁFICO 36 – Número de casos respondidos pelo GoM.
Fonte: GoM.

11.2. Descrição dos tipos criados

A partir da função multinomial de máxima verossimilhança (Equação 3) utilizada no GoM, foram criados cinco perfis, aos quais foi somado um perfil determinado *a priori*, resultando em uma tipologia em que existem seis tipos padrões. Cada nascente pode pertencer integral ou parcialmente a esses tipos, de acordo com seus g_{ik} . Porém, esses agrupamentos foram originados por princípios estatísticos, o que demanda uma interpretação geoambiental para os resultados obtidos.

A TAB 16 apresenta a distribuição de λ_{kjl} resultante, indicando a probabilidade de cada categoria das variáveis se inserir em cada perfil – k – criado⁵⁹. Foram destacados os valores de λ_{kjl} acima de 0,70, pois estes representam as categorias mais relevantes na explicação de um

⁵⁹ A TAB. 2 não apresenta o perfil criado *a priori* para as “nascentes antropogênicas”, pois este não foi resultante do GoM e por isso, não possui λ_{kjl} especificados.

perfil. Notadamente, as categorias que possuem baixa frequência relativa de casos (TAB. 15) resultam em uma dispersão maior de λ_{kjl} , o que dificulta seu enquadramento nos perfis criados.

TABELA 16 - Probabilidade associada a cada categoria das variáveis em cada perfil - λ_{kjl} *

| Variáveis | Categorias | k1 | k2 | k3 | k4 | k5 |
|--|----------------------|------|------|------|------|------|
| MORFOLOGIA DA NASCENTE | Concavidade | 0,93 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 |
| | Duto | 0,00 | 0,46 | 0,00 | 0,00 | 0,68 |
| | Afloramento | 0,00 | 0,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Talvegue | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Olho | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,32 |
| | Cavidade/Intervenção | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TIPO DE EXFILTRAÇÃO | Pontual | 0,19 | 0,47 | 1,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Múltipla | 0,00 | 0,53 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Difusa | 0,81 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 |
| EXISTÊNCIA DE CONTATOS | Sim | 0,00 | 1,00 | 0,48 | 1,00 | 0,00 |
| | Não | 1,00 | 0,00 | 0,52 | 0,00 | 1,00 |
| VAZÃO MÉDIA ANUAL (L/s) | Menor que 0,056 | 0,70 | 0,25 | 1,00 | 0,83 | 0,34 |
| | 0,057 - 0,347 | 0,14 | 0,40 | 0,00 | 0,17 | 0,66 |
| | 0,348 - 1,400 | 0,16 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| RAZÃO DE VAZÃO (verão/inverno) | Menor que 0,7377 | 0,00 | 0,55 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,7378 - 1,1504 | 0,46 | 0,21 | 0,00 | 0,61 | 0,00 |
| | 1,1505 - 8,0000 | 0,29 | 0,23 | 0,00 | 0,39 | 0,00 |
| | Acima de 8,0000 | 0,24 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 1,00 |
| MIGRAÇÃO | Não mensurável | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Fixa | 0,53 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Móvel | 0,47 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 |
| PROFUNDIDADE MÉDIA DO MANTO (cm) | 0 - 11 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 12 - 49 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,25 |
| | Acima de 50 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,75 |
| POSIÇÃO DOS AFLORAMENTOS ROCHOSOS | Jusante ou Montante | 0,00 | 0,14 | 0,53 | 0,48 | 0,00 |
| | Na nascente | 0,00 | 0,86 | 0,47 | 0,00 | 0,00 |
| | Não há | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,52 | 1,00 |
| SAZONALIDADE | Perene | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 |
| | Intermitente | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 1,00 |

Fonte: *Output* do programa GoM 3.4.

* Os valores mais elevados encontram-se destacados em cinza, para facilitar a caracterização dos perfis.

A morfologia das nascentes foi uma das categorias com maior complexidade nos enquadramentos. As nascentes em concavidade, podem estar em k1 ou k4, sendo que neste último, são exclusivas. As nascentes em duto aparecem nos perfis k2 e k5. As demais categorias são enquadradas, cada uma, em apenas um perfil: nascentes em afloramento respondem por k2; em talvegue, são as únicas que se enquadram em k3; nascentes em olho encontram-se em k5; e nascentes em cavidade/intervenção são pertencentes a k1.

A distribuição do tipo de exfiltração é consideravelmente mais simples. As nascentes pontuais podem constituir k1, k2, k3 ou k5, porém, nesses dois últimos perfis, essa é a única categoria encontrada. As nascentes difusas se enquadram em k1 e k4, sendo que em ambos os casos, λ_{kjl} é elevado, demonstrando a predominância dessa categoria. Contudo, as nascentes múltiplas somente são encontradas no perfil k2.

Quanto à existência de contatos, as nascentes com algum tipo de contato – rocha/manto, raiz, entulho/manto, etc. – dominam k2 e k4, aparecendo com menos expressividade em k3. Já aquelas que não possuem contato, se inserem em k1 e k5 – onde são exclusivas – e também em k3.

A variável vazão média anual também apresenta enquadramento complexo nos perfis criados, sobretudo devido a grande concentração de casos na primeira categoria. Nascentes de baixa vazão podem ser encontradas em qualquer perfil, sendo que são as únicas existentes em k3, além de predominantes em k1 e k4. As de vazão média são enquadradas em k1, k2, k4 e k5, neste último perfil, estas são as mais representativas. As nascentes de alta vazão foram alocadas em k1 e k2, porém, em ambos os perfis encontram-se associadas às demais categorias.

A categorização da razão de vazão também se mostrou dispersa entre os perfis criados. Nascentes com razão de vazão baixa – o que indica aumento de vazão no inverno – são enquadradas somente em k2. A categoria de vazão relativamente estável – 0,74 a 1,15 – é presente em k1, k2 e k4. As nascentes com razão de vazão entre 1,15 e 8,0 também se enquadram nesses mesmos perfis – k1, k2 e k4. Por fim, a única categoria que encontra-se exclusiva em algum perfil é a de razão de vazão acima de 8,0, com λ_{kjl} igual a um em k3 e k5, além de também se enquadrar em k1.

Todavia, a migração foi uma variável bem explicada. As nascentes fixas foram alocadas em k1 e k2, sendo que, neste último, possuem λ_{kjl} igual a um. Já as nascentes móveis, também se encontram em k1, mas são exclusivas em k4. Por fim, as nascentes de migração não mensurável estão associadas à k3 e k5, em ambos os casos, são as únicas presentes em cada um desses perfis.

A profundidade do manto também foi uma importante variável na caracterização dos perfis criados, pois apresentou uma descrição de suas categorias bastante eficiente. As nascentes em mantos rasos somente se enquadraram em k2, sendo, inclusive, exclusivas nesse perfil. As

nascentes com profundidade mediana do manto foram alocadas em k3, k4 e k5, porém, nos dois primeiros, apresentaram λ_{kjl} igual a um. Por fim, as nascentes em mantos profundos representam bem k1 e k5, com λ_{kjl} altos em ambos os casos.

Quanto à posição dos afloramentos rochosos, nascentes que possuem afloramentos a montante ou à jusante da exfiltração foram enquadradas nos perfis k2, k3, e k4, porém, sem λ_{kjl} elevados. Já em relação às nascentes que possuem afloramentos no local de exfiltração, explicam satisfatoriamente k2 e ainda são inseridas, com menor probabilidade, em k3. As nascentes que não possuem afloramentos são exclusivas em k1 e k5, além de constituírem, também, k4.

A variável de sazonalidade a mais bem explicada, evidenciando sua importância estatística na formação de tipologias de nascente. Não houve inserção parcial, de modo que cada perfil gerado somente é constituído por uma categoria de sazonalidade. Destarte, as nascentes perenes foram inseridas em k1, k2 e k4 e as nascentes intermitentes enquadraram-se em k3 e k5, em todos os casos, com λ_{kjl} igual a um.

Interpretando a capacidade de explicação de cada um dos tipos criados isoladamente, percebe-se que todos obtiveram resultados satisfatórios. Utilizou-se, para tanto, a interpretação da distribuição dos g_{ik} de todas as nascentes nos perfis. Quando o g_{ik} é igual a um ou zero, o caso está completamente inserido ou excluído, respectivamente, do perfil. Essa é a configuração mais simples para a explicação da tipologia. Assim, pode-se utilizar o raciocínio da matemática clássica.

A TAB. 17 apresenta a distribuição dos g_{ik} pelos perfis criados. Considerando-se o percentual de casos com g_{ik} igual a um ou zero, pode-se afirmar que todos os tipos são úteis. Aquele que apresentou a menor porcentagem desses casos foi k2, com 65,7%, o que é considerado plenamente satisfatório. Em todos os outros tipos, esse percentual superou 70%.

Os resultados evidenciados na TAB. 17 demonstram que além do modelo estar bem ajustado aos casos, como foi visto anteriormente, os próprios perfis criados são representativos e não são redundantes. Apesar de alguns possuírem características em comum, de uma forma geral, podem representar com propriedade agrupamentos de nascentes com similaridades internadas e heterogeneidade externa. Ou seja, enquanto as nascentes de um mesmo tipo possuem semelhanças quanto às suas características e dinâmica, comparadas com as de outro tipo, a diversidade é evidente. É justamente essa propriedade que se espera de uma tipologia.

TABELA 17 - Distribuição dos g_{ik} em cada perfil criado pelo GoM

| g_{ik} | k1 | | k2 | | k3 | | k4 | | k5 | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Freq. | % | Freq. | % | Freq. | % | Freq. | % | Freq. | % |
| 0,00 | 45 | 64,3% | 35 | 50,0% | 48 | 68,6% | 46 | 65,7% | 55 | 78,6% |
| 0,01 - 0,34 | 8 | 11,4% | 11 | 15,7% | 10 | 14,3% | 12 | 17,1% | 4 | 5,7% |
| 0,35 - 0,69 | 7 | 10,0% | 9 | 12,9% | 8 | 11,4% | 4 | 5,7% | 3 | 4,3% |
| 0,70 - 0,99 | 0 | 0,0% | 4 | 5,7% | 0 | 0,0% | 2 | 2,9% | 2 | 2,9% |
| 1,00 | 10 | 14,3% | 11 | 15,7% | 4 | 5,7% | 6 | 8,6% | 6 | 8,6% |
| Total* | 70 | 100% | 70 | 100% | 70 | 100% | 70 | 100% | 70 | 100% |

Fonte: *Output* do programa GoM 3.4.

* O total exclui as nascentes antropogênicas, retiradas previamente do rol.

Desse modo, definido o modelo a ser utilizado, é imprescindível que se busque traduzir a linguagem estatística. Assim, a aplicabilidade dos resultados é maior e a compreensão mais direta, permitindo, inclusive, a utilização da tipologia proposta em estudos futuros.

O QUADRO 6 apresenta uma síntese dos resultados obtidos, juntamente com a proposta de nomenclatura para os seis tipos criados – cinco pelo GoM e um *a priori*. Os nomes propostos têm por finalidade serem claros e indicar a principal característica do grupo de nascentes que retrata. Por isso, foi baseado nas variáveis e categorias que apresentaram λ_{kjl} máximo, refletindo a probabilidade de 100% dos casos daquele perfil possuírem essa característica.

É importante ressaltar que, por ter sido originada de um método baseado na Teoria dos Conjuntos Nebulosos, a tipologia permite uma infinidade de intercessões entre os perfis e inserções parciais. Por isso, os tipos criados não são excludentes, possuindo uma série de características em comum com os outros, como é evidenciado no QUADRO 6. Todavia, há características principais que direcionam a classificação das nascentes e elucidam cada um dos perfis.

As *nascentes freáticas* possuem como característica principal uma dinâmica resultante da variação do nível freático, no aquífero granular – manto de intemperismo – sobreposto a um aquífero fissural. Por isso, a vazão média anual é baixa, porém, tende a diminuir no inverno, fruto da diminuição da recarga pela ausência de chuvas. Como a exfiltração ocorre pela interceptação do nível freático pela superfície, essas nascentes são, prioritariamente difusas, ocorrendo em concavidades no relevo que permita esse contato com a água subterrânea.

QUADRO 6 - Características relacionadas a cada perfil criado pelo GoM e proposta de nomenclatura para os tipos

| Tipo | Morfologia da nascente | Tipo de exfiltração | Existência de contato | Vazão média anual | Razão de vazão | Migração | Prof. Média do manto | Posição dos afloramentos | Sazonalidade | Nome |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|---|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------------|
| k1 | Concavidade | Difusa | Sem contato | Baixa | Prioritariamente estável, tendendo a superior a 1 (nascentes que diminuem sua vazão no inverno) | Indiferente | Profundo | Ausente | Perene | FREÁTICA |
| k2 | Afloramento ou duto | Múltipla ou pontual | Com contato | Indiferente | Prioritariamente inferior a 1 (nascentes que aumentam sua vazão no inverno) | Fixa | Raso | Na nascente | Perene | DINÂMICA |
| k3 | Talvegue | Pontual | Indiferente | Baixa | Muito elevada (nascentes em que no inverno a vazão é muito baixa ou nula, impossível de mensurar) | Não mensurável | Médio | Existente (na nascente ou arredores) | Intermitente | SAZONAL EROSIVA |
| k4 | Concavidade | Difusa | Com contato | Baixa à média | Prioritariamente estável, tendendo a superior a 1 (nascentes que diminuem sua vazão no inverno) | Móvel | Médio | Ausente ou arredores | Perene | FLUTUANTE |
| k5 | Duto ou olho | Pontual | Sem contato | Média à baixa | Muito elevada (nascentes em que no inverno a vazão é muito baixa ou nula, impossível de mensurar) | Não mensurável | Profundo | Ausente | Intermitente | SAZONAL DE ENCOSTA |
| k6* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ANTROPOGÊNICA |

Fonte: Elaboração do autor

* As nascentes antropogênicas – k6 – não possuem caracterização para quaisquer variáveis pois são determinadas exclusivamente pela existência de antropogenia.

As *nascentes dinâmicas* caracterizam-se, mormente, pela alta energia dos processos que a constituem. Com isso, são perenes e as únicas representadas por alta vazão – além de poder existir nesse tipo baixa ou média vazão. Seus fluxos subterrâneos são estáveis a ponto de que, no inverno, sua vazão tende a aumentar, resultado da convergência de outros fluxos que, no verão, eram independentes e alimentavam outras nascentes. São originadas por aquíferos fissurais, com presença de afloramentos rochosos em mantos rasos. Sua energia é evidenciada pelo tipo de exfiltração – pontual ou múltipla, mas nunca difusa – e pela morfologia que apresentam – afloramento ou duto.

As *nascentes sazonais erosivas* são caracterizadas pela interceptação sazonal do nível freático por feições erosivas, sobretudo, talwegues de ravinas ou taludes de canais de drenagem. Por serem alimentadas pelo nível freático mais raso e extremamente dependente dos eventos chuvosos, são intermitentes e de baixa vazão, possuindo razão de vazão extremamente elevada – resultado matemático da intermitência. Como o talvegue é expresso geometricamente na forma linear, a exfiltração nessas nascentes é pontual, marcando o limite do segmento intermitente do segmento efêmero do canal de drenagem.

As *nascentes flutuantes* são originadas pelo nível freático flutuante ao longo do ano, o que promove a migração da nascente na vertente, normalmente, com exfiltração resultante de contatos da rocha com o manto. Assim com as nascentes freáticas, são caracterizadas morfologicamente por concavidades e a exfiltração é difusa, porém, os mantos não são profundos, o que possibilita a criação de uma superfície impermeável que viabiliza a exfiltração à jusante, mesmo com o rebaixamento do nível freático. São caracterizadas por baixas vazões e, por dependerem da água no manto de intemperismo, tendem a diminuir a vazão no inverno.

As *nascentes sazonais de encosta* possuem a peculiaridade de localizarem-se em encosta com mantos de intemperismo profundos e serem intermitentes. Tendem a estar associadas a níveis freáticos com flutuação muito grande entre os períodos de chuva e seca e, como não possuem anteparos de impermeabilização próximos à superfície – como a rocha matriz, por exemplo – a exfiltração cessa após a migração à jusante ou mesmo sem que esta ocorra. Entretanto, no verão a energia de suas águas é relativamente grande, o que pode ser observado pela morfologia – dutos ou olhos – e tipo de exfiltração – pontual. Ademais, sua vazão média anual é média a baixa, o que indica uma vazão de verão alta – posto que a de inverno é nula – resultando em uma razão de vazão muito alta.

Por fim, as *nascentes antropogênicas* devem ser consideradas um tipo especial de nascente. Sua principal característica é ter sido originada por intervenção humana. Em outras palavras, isso significa que não havia condições naturais que proporcionassem a gênese de uma nascente, porém, as ações humanas sobre o espaço desencadearam processos que levaram à exfiltração. Em determinadas situações, a identificação de uma nascente como antropogênica pode ser extremamente complexa, devido à ausência de informações anteriores à intervenção realizada naquele espaço. Desse modo, as nascentes antropogênicas podem possuir qualquer característica dos demais tipos, mas normalmente terão a peculiaridade de apresentarem anomalias em sua dinâmica, o que não seria verificado em uma nascente “natural”.

11.3. *Espacialização dos resultados*

Uma tipologia baseada na Teoria dos Conjuntos Nebulosos possibilita interpretar a diversidade das nascentes, mesmo após o enquadramento nos perfis criados. Isso pois, uma nascente de determinado tipo pode possuir, também, características são comuns a outros tipos. Por isso, antes de promover a sistematização das nascentes estudadas nos tipo criados e a conseqüente espacialização dos resultados obtidos, é importante interpretar a diversidade do rol pela leitura dos g_{ik} (TAB. 18).

TABELA 18: Grau de pertinência das nascentes aos respectivos tipos gerados pelo GoM

| Nascente | k1 | k2 | k3 | k4 | k5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N001 | 0,000 | 0,704 | 0,000 | 0,160 | 0,136 |
| N002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| N003 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N005 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N006 | 0,638 | 0,362 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N007 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N008 | 0,086 | 0,407 | 0,000 | 0,507 | 0,000 |
| N009 | 0,204 | 0,796 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N010 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N011 | 0,000 | 0,283 | 0,498 | 0,219 | 0,000 |
| N012 | 0,000 | 0,000 | 0,159 | 0,841 | 0,000 |
| N013 | 0,000 | 0,402 | 0,270 | 0,328 | 0,000 |
| N014 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| N015 | 0,000 | 0,000 | 0,676 | 0,000 | 0,324 |
| N016 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| N017 | 0,000 | 0,285 | 0,000 | 0,000 | 0,715 |
| N018 | 0,000 | 0,362 | 0,638 | 0,000 | 0,000 |
| N019 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| N020 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| N021 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N022 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| N023 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 |

TABELA 18: Grau de pertinência das nascentes aos respectivos tipos gerados pelo GoM (continuação)

| Nascente | k1 | k2 | k3 | k4 | k5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N024 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| N025 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| N026 | 0,359 | 0,000 | 0,346 | 0,296 | 0,000 |
| N027 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| N028 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| N029 | 0,000 | 0,168 | 0,212 | 0,620 | 0,000 |
| N030 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| N031 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| N033 | 0,277 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,723 |
| N034 | 0,180 | 0,658 | 0,163 | 0,000 | 0,000 |
| N035 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N036 | 0,000 | 0,000 | 0,391 | 0,186 | 0,423 |
| N037 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| N038 | 0,235 | 0,766 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N039 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N040 | 0,465 | 0,000 | 0,535 | 0,000 | 0,000 |
| N041 | 0,000 | 0,836 | 0,164 | 0,000 | 0,000 |
| N042 | 0,470 | 0,263 | 0,157 | 0,000 | 0,110 |
| N043 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| N044 | 0,000 | 0,624 | 0,000 | 0,376 | 0,000 |
| N045 | 0,211 | 0,381 | 0,000 | 0,408 | 0,000 |
| N046 | 0,000 | 0,660 | 0,176 | 0,164 | 0,000 |
| N047 | 0,000 | 0,693 | 0,000 | 0,307 | 0,000 |
| N048 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N049 | 0,000 | 0,660 | 0,340 | 0,000 | 0,000 |
| N050 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N051 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N052 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| N053 | 0,000 | 0,341 | 0,519 | 0,000 | 0,140 |
| N054 | 0,000 | 0,000 | 0,639 | 0,000 | 0,361 |
| N055 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N056 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N057 | 0,000 | 0,683 | 0,000 | 0,317 | 0,000 |
| N058 | 0,000 | 0,329 | 0,383 | 0,288 | 0,000 |
| N059 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N061 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N062 | 0,528 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,472 |
| N065 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N067 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N068 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N069 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N070 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N071 | 0,102 | 0,177 | 0,000 | 0,721 | 0,000 |
| N073 | 0,164 | 0,334 | 0,223 | 0,280 | 0,000 |
| N075 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N076 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| N079 | 0,367 | 0,333 | 0,000 | 0,300 | 0,000 |
| N080 | 0,652 | 0,000 | 0,000 | 0,349 | 0,000 |

Fonte: *Output* do programa GoM 3.4

A TAB. 18 apresenta o grau de pertinência – g_{ik} – das nascentes estudadas em relação a cada um dos perfis criados pelo GoM. A soma de todos os g_{ik} de cada nascente é igual a um – linhas da tabela. Em outras palavras, os dados da TAB. 18 indicam a porcentagem que cada

nascente está inserida em cada grupo. Apesar do número considerado elevado de tipos puros – $g_{ik} = 1$ – a maioria das nascentes possui características de mais de um perfil, o que confirma a grande diversidade que existe nesses elementos.

O GRÁFICO 37 facilita o entendimento da TAB. 18 ao permitir sua interpretação visual. Nota-se que há uma predominância de g_{ik} elevados para $k1$ e $k2$ – nascentes freáticas e nascentes dinâmicas, respectivamente. Além disso, fica evidente que as nascentes podem possuir características de diversos tipos, muitas delas pertencentes a três tipos diferentes, havendo inclusive um caso com pertencimento a quatro tipos – N073.

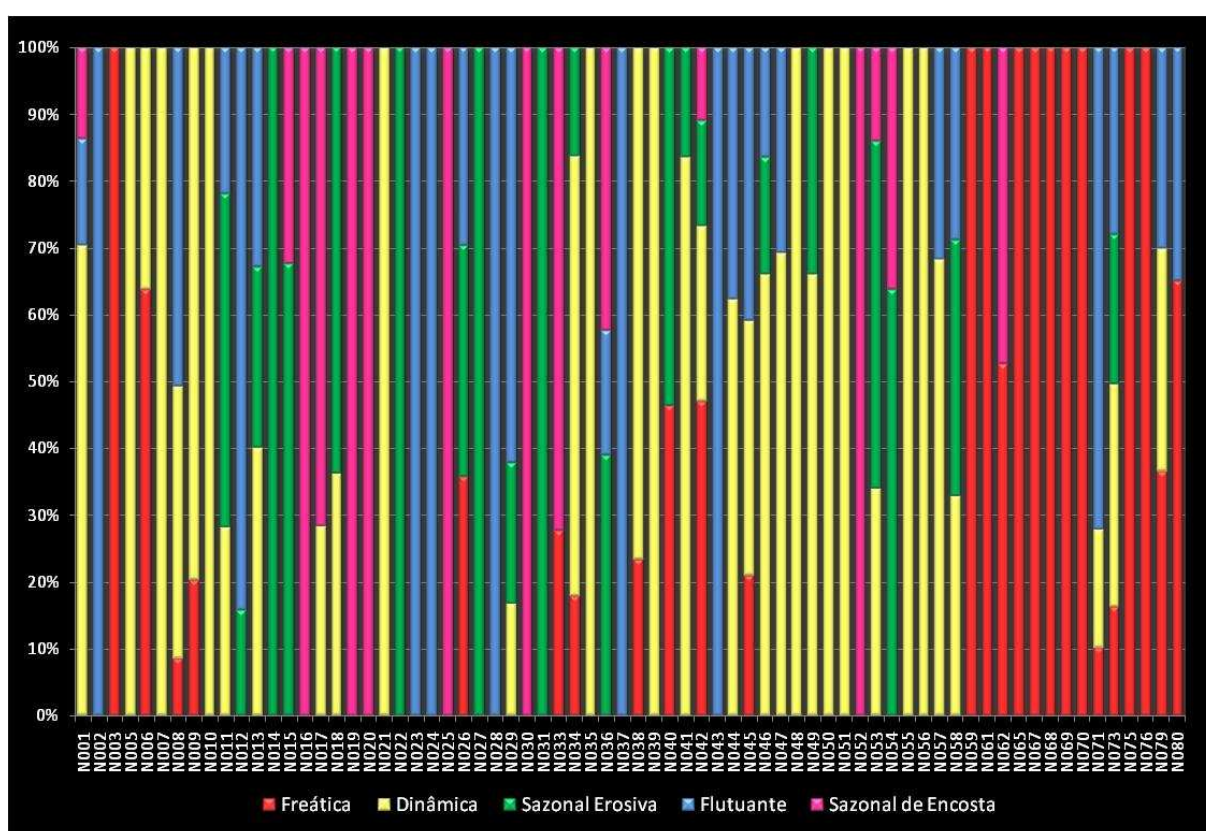


GRÁFICO 37 – Distribuição percentual dos graus de pertinência das nascentes a cada tipo.

Fonte: GoM.

Os casos em que a associação do grau de pertinência a dois perfis distintos fosse superior a 0,70, foram considerados híbridos e tematizados de acordo com a intercessão ocorrida. Com isso, além dos seis tipos padrões criados – *freática*, *dinâmica*, *sazonal erosiva*, *flutuante*, *sazonal de encosta* e *antropogênica* – possibilitou-se a existência de tipos híbridos formados por pares de tipos padrões. Desse modo, a combinação dos tipos padrões em pares

proporciona dez tipos híbridos⁶⁰: *freática-dinâmica*, *freática-erosiva*, *freática-flutuante*, *freática-de encosta*, *dinâmica-erosiva*, *dinâmica-flutuante*, *flutuante-erosiva*, *sazonal erosiva-de encosta*, *dinâmica-de encosta*, *flutuante-de encosta*. Porém, nos casos estudados não foram verificados os dois últimos tipos híbridos.

Consciente da diversidade das nascentes, inclusive no interior dos tipos criados, pode-se então promover o enquadramento das nascentes naqueles tipos de maior afinidade, sejam eles padrões ou híbridos. As nascentes que não possuem características prioritariamente de algum perfil – no caso, quando a soma dos dois maiores g_{ik} de determinado caso é inferior a 0,70 – a nascente não pode ser enquadrada na tipologia adotada, sendo considerada *nebulosa*.

O GRÁFICO 38 mostra o percentual das nascentes nos tipos – padrões e híbridos – criados.

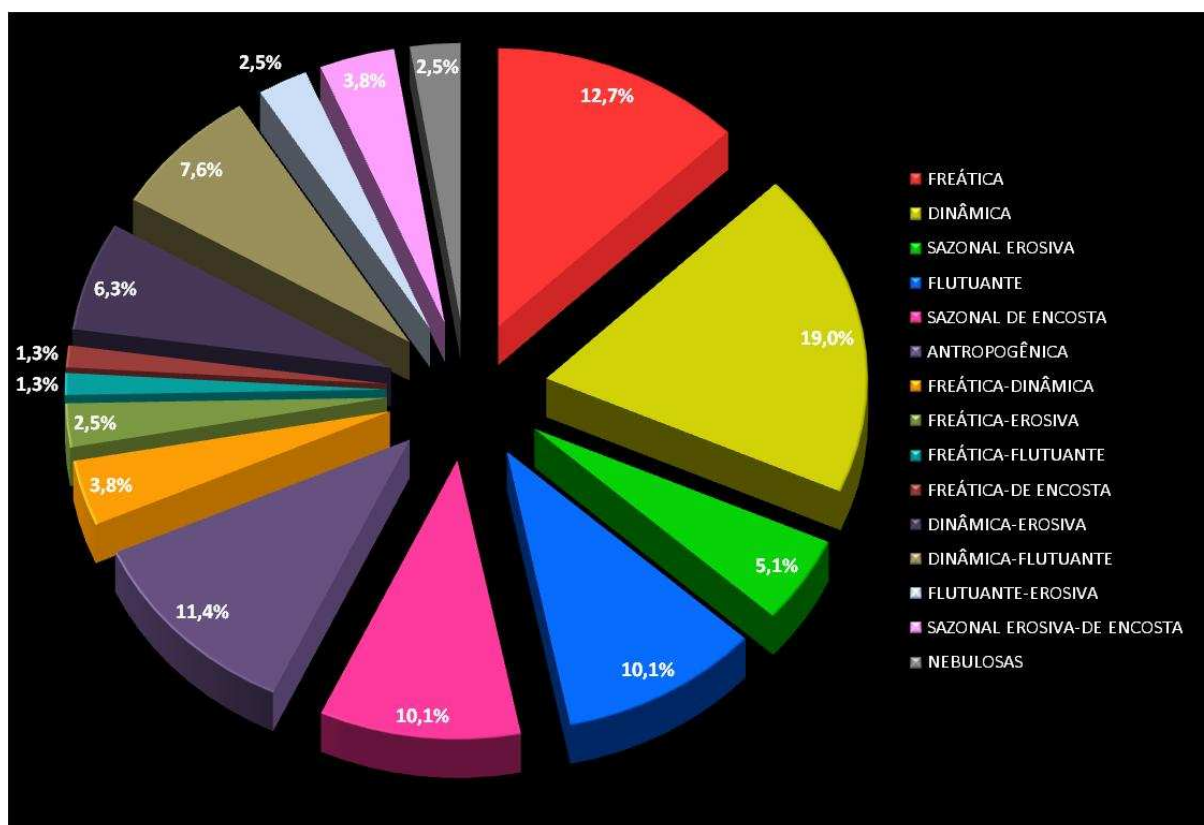


GRÁFICO 38 – Distribuição percentual das nascentes estudadas por tipo.
Fonte: elaboração do autor.

A leitura do GRÁFICO 38 permite afirmar que há um predomínio dos tipos padrões, que, somados, detêm 68,4% dos casos. As nascentes nebulosas constituem apenas 2,5% de todo o rol. Os demais 29,1% das nascentes, enquadram-se nos tipos híbridos, com destaque para as

⁶⁰ Considera-se para a formação de tipos híbridos somente os cinco perfis criados pelo GoM, já que as nascentes antropogênicas são consideradas um caso à parte e foram criadas *a priori*.

dinâmicas-erosivas e dinâmicas-flutuantes. Com isso, percebe-se um predomínio das características das nascentes dinâmicas mesmo naquelas que se enquadram em tipos híbridos, o que comprova que este tipo de nascente é a mais comum nas unidades de estudo trabalhadas.

Essa afirmativa fica evidente com a espacialização dos dados. O Parque das Mangabeiras, unidade estudada com maior número de nascentes, possui uma clara predominância de nascentes dinâmicas e de tipos híbridos com características dinâmicas (FIG. 117). As nascentes dinâmicas são mais recorrentes na porção sudoeste do parque, na bacia do Lago dos Sonhos. Nessa área, elas estão associadas a nascentes flutuantes e dinâmicas-erosivas, sobretudo. Isso indica um condicionante espacial para a tipologia das nascentes, posto que o tipo híbrido registrado é exatamente a intercessão dos tipos padrões recorrentes na área.

A porção leste do parque é mais heterogênea quanto à tipologia das nascentes. Predominam nascentes dinâmicas-erosivas, mas ocorrem também nascentes sazonais erosivas, sazonais de encosta e dinâmicas, principalmente. As nascentes sazonais – erosivas ou de encosta – são mais recorrentes nessa porção do parque pelo fato, já relatado, de um grande número de nascentes intermitentes.

As duas únicas nascentes nebulosas do estudo, localizam-se no Parque das Mangabeiras. Ambas estão muito próximas uma da outra, na margem esquerda do canal de drenagem principal do parque. Essa pode ser considerada mais uma evidência de que existe um condicionante espacial para a tipologia das nascentes. No caso específico do Parque das Mangabeiras, há uma sutil concordância da distribuição dos tipos de nascentes com a geologia regional. Considerando-se que a geologia não foi uma variável utilizada no modelo, essa explicação ganha credibilidade. Porém, são necessários estudos mais específicos e verticalizados para averiguar essa assertiva.

O Parque Lagoa do Nado (FIG. 118) caracteriza-se por uma grande presença de nascentes antropogênicas. 50% das nascentes identificadas no parque se enquadram nesse perfil. Isso ocorre sobretudo em função da existência de canaletas de escoamento da água pluvial que adentram no parque depois de drenar a área urbana, promovendo intensos processos erosivos que culminam em cavidades que interceptam o nível freático. Dois casos de antropogenia fogem a essa regra: uma nascente formada no talvegue de uma voçoroca e outra dentro de uma bacia de detenção de sedimentos.

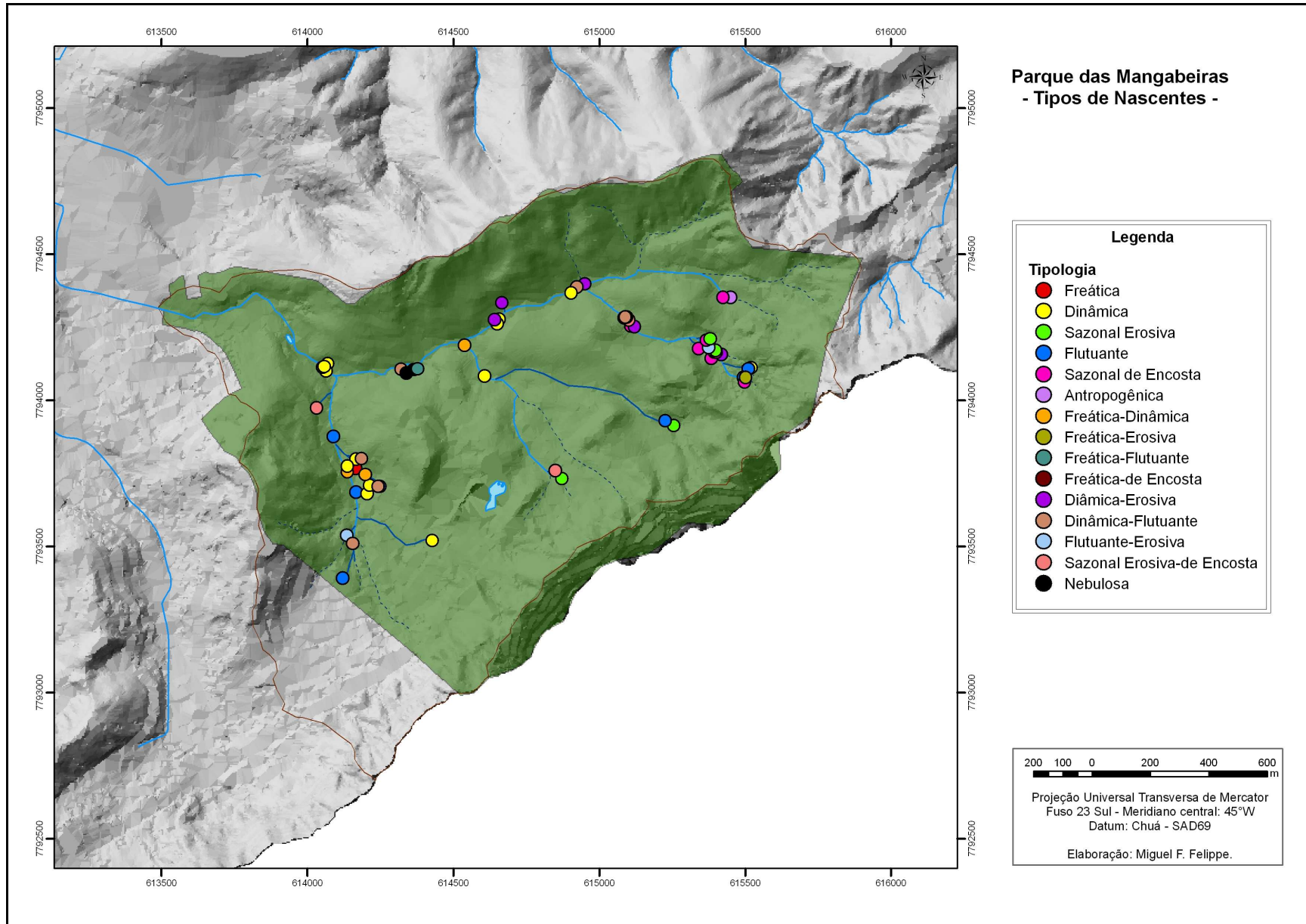


FIGURA 117 – Tipologia das nascentes do Parque das Mangabeiras.
Fonte: bases cartográficas FPM; PBH.

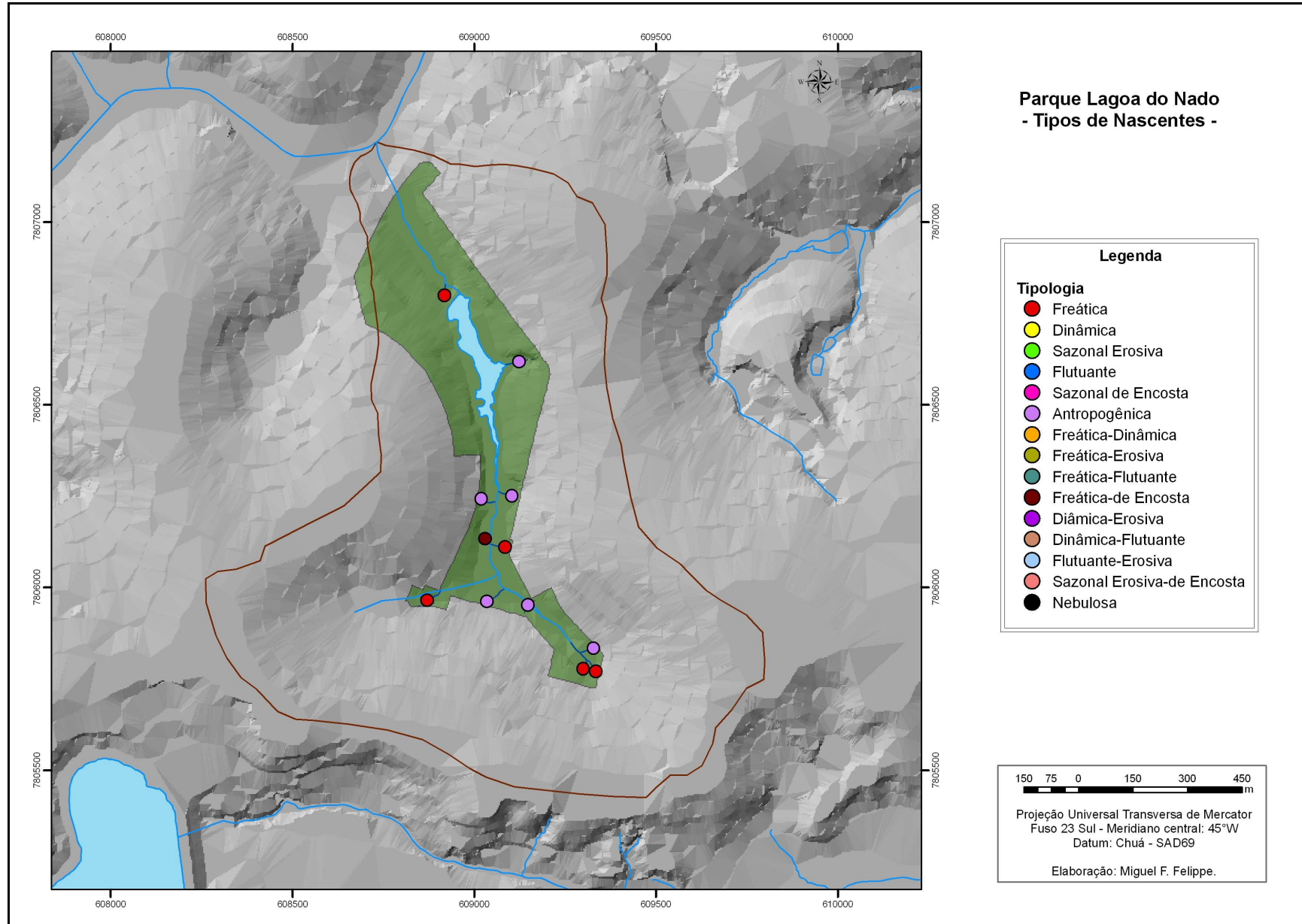


FIGURA 118 – Tipologia das nascentes do Parque Lagoa do Nado.
Fonte: bases cartográficas FPM; PBH.

As demais nascentes existentes no Parque Lagoa do Nado foram enquadradas como freáticas ou freáticas-de encosta. Os profundos mantos de intemperismo existentes na região, provavelmente, constituem um aquífero granular eficiente que alimenta as nascentes durante todo o ano. A especificidade da única nascente categorizada no tipo híbrido freática-de encosta é que esta é uma nascente em olho, por isso, pontual, em que houve uma extensa migração no inverno. De fato, é a única nascente em que, mesmo em campo, é possível perceber que não se assemelha às demais.

O Parque Primeiro de Maio (FIG. 119) possui uma distribuição da tipologia das nascentes semelhante à verificada no Lagoa do Nado. Duas nascentes são antropogênicas, uma delas creditada à ação erosiva concentrada em função de interferências humanas. A segunda foi criada pela inserção de um dreno em uma área brejosa a montante, promovendo a ocorrência de exfiltração à jusante.

A maioria de suas nascentes, contudo, enquadraram-se como freática. Ocorrem sob as mesmas condições daquelas verificadas no Parque Lagoa do Nado. Porém, a nascente mais a montante do Parque Primeiro de Maio foi classificada como flutuante. Essa nascente possui baixa vazão de verão e alta razão de vazão, além disso, foi verificado mais de dois metros de migração, principal característica desse perfil.

Por fim, analisando os resultados para os Parques Primeiro de Maio e Lagoa do Nado, pode-se afirmar que ambos possuem nascentes tipologicamente muito semelhantes. Destarte, ambos os parques encontram-se em um mesmo contexto geológico-geomorfológico, caracterizado pela depressão de Belo Horizonte com profundos mantos de intemperismo sobre o embasamento cristalino granito-gnáissico-migmatítico. Por outro lado, o Parque das Mangabeiras está localizado na Serra do Curral, embasado por rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, com mantos de intemperismo muito rasos, além disso, suas nascentes apresentaram tipologias completamente diferentes daquelas verificadas nos outros dois parques.

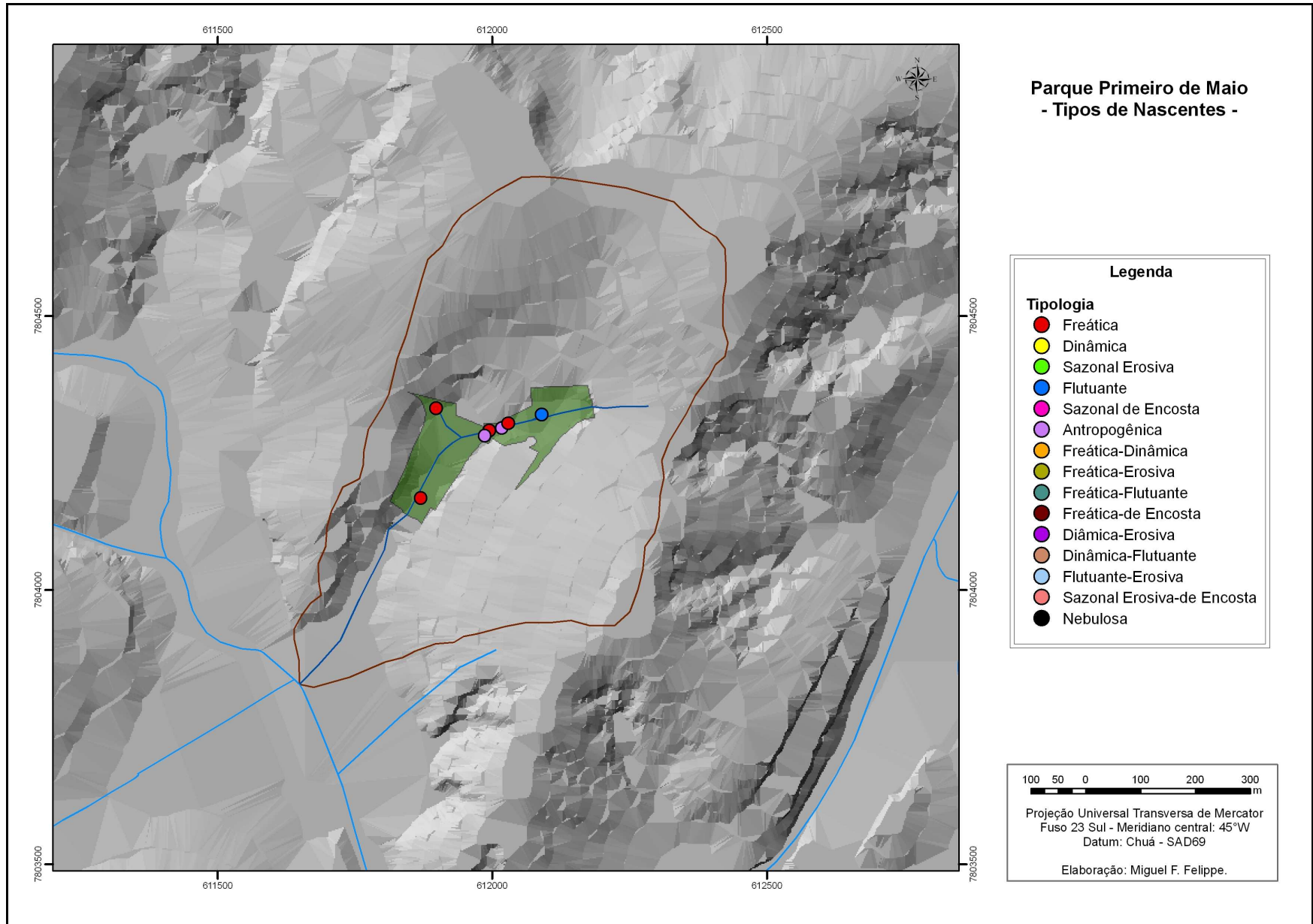


FIGURA 119 – Tipologia das nascentes do Parque Primeiro de Maio.
Fonte: bases cartográficas FPM; PBH.

Parece claro, após o mapeamento da tipologia proposta, que há um nítido condicionante espacial para a determinação do tipo das nascentes. Emerge como resposta, em princípio, o contexto geológico-geomorfológico regional. Ressalta-se que a matriz qualitativa utilizada na elaboração da tipologia pelo GoM não apresentava quaisquer características regionais, o que inviabiliza o contra-argumento de que esse condicionante seria um resultado falacioso do método utilizado.

Desse modo, faz-se necessário a aplicação da tipologia proposta em outros contextos ambientais para a confirmação das hipóteses levantadas. Contudo, a influência da geologia nas nascentes é relatada na literatura acadêmica por diversas vezes. Não se pode ignorar, todavia, que os resultados mostraram que existe, de fato, uma grande heterogeneidade nas nascentes estudadas. Além disso, a influência do homem é substancial, não somente para a formação de nascentes antropogênicas, mas também, na alteração das características das nascentes ditas naturais.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conhecer as nascentes, identificá-las, mapeá-las, realizar uma catalogação e interpretar a diversidade de características existentes, são ações imprescindíveis para a proteção dos recursos hídricos. A partir de trabalhos de campo, análises laboratoriais e técnicas de geoprocessamento, este trabalho realizou uma caracterização interpretativa de 79 nascentes localizadas em três unidades de conservação de Belo Horizonte. Os aspectos fisiográficos das nascentes, a qualidade do meio e das águas e a influência humana foram estudados. Desse modo, propôs-se uma tipologia multivariada para sistematização das nascentes.

Realizou-se, inicialmente, um esforço teórico-metodológico para definição de um conceito que embasasse o trabalho, devido às divergências entre diversos conceitos da literatura especializada. A partir de um painel de especialistas – método Delphi – ampliou-se as possibilidades de definição. A simplicidade, a precisão e a abrangência foram as características consideradas mais relevantes para o conceito. Assim, os dois conceitos melhor avaliados foram revisados criticamente, definindo-se, então, as nascentes como sistemas ambientais naturais em que ocorre o afloramento da água subterrânea de modo temporário ou perene, integrando à rede de drenagem superficial.

Com uma definição conceitual, realizou-se a identificação e a espacialização das nascentes nos Parques das Mangabeiras, Lagoa do Nado e Primeiro de Maio. Foram localizadas 60 nascentes no Parque das Mangabeiras, destas, 40 eram perenes. No Parque Lagoa do Nado, 12 nascentes foram mapeadas, sendo que apenas uma era intermitente. Por sua vez, o Parque Primeiro de Maio apresentou sete nascentes, seis delas, perenes.

A elaboração de uma matriz de características das nascentes evidenciou a diversidade de elementos que as constituem. Porém, pôde-se perceber que são as características locais que determinam a fisiografia de uma nascente, muito embora as características paisagísticas regionais exerçam influência. Nesse sentido, dentro de um mesmo domínio de natureza existe uma enorme heterogeneidade de formas e tipos de nascentes.

Além disso, as ações humanas não podem ser negligenciadas. Constituem um importante fator de alteração das características das nascentes ou mesmo de determinação de sua gênese. Além de impactos diretamente nas nascentes, intervenções humanas nos processos de infiltração e percolação modificam fluxos subterrâneos, podendo alterar o equilíbrio das nascentes.

Isso demonstra que, cercar as áreas de nascentes, protegendo-as pontualmente, não garante a manutenção do equilíbrio hidrológico. Este é o resultado de uma dinâmica complexa da água que envolve uma série de processos desde a recarga até a descarga. Alterações nos aquíferos ou mesmo nas áreas superficiais à montante das nascentes são potencialmente degradantes. Com isso, a bacia hidrográfica ganha importância e é reafirmada como unidade de gestão, sendo um elemento-chave na interpretação da suscetibilidade a impactos no interior dos parques, como demonstraram os resultados da qualidade ambiental das nascentes.

O índice de impacto ambiental macroscópico em nascentes – IIAN – refletiu as características territoriais dos parques estudados. Via de regra, as nascentes do Parque das Mangabeiras possui um grau de proteção consideravelmente maior do que as dos demais parques. Nos parques Lagoa do Nado e Primeiro de Maio, praticamente todas suas nascentes estão localizadas a menos de 50 metros da área urbana o que amplia as possibilidades de degradação.

Essas afirmações deixam clara a necessidade da gestão ambiental associada à gestão do território não somente no interior das unidades de conservação. A busca de um equilíbrio ecológico, econômico e social, deve abarcar o planejamento urbano, contemplando as nascentes, minimizando problemas atuais e evitando os do futuro. A proteção das áreas de recarga subterrânea, associada a uma drenagem urbana eficiente e à coleta e tratamento dos esgotos sanitários garantem a qualidade e quantidade da água exfiltrada nas nascentes.

As vazões médias anuais das nascentes estudadas foram baixas, de uma forma geral. Somente três nascentes registraram vazão média superior a 1 L/s, duas delas no Parque das Mangabeiras e a terceira no Primeiro de Maio. Destacaram-se, também, duas outras nascentes com vazão média comparativamente elevada, com 0,89 L/s e 0,65 L/s. Todas as outras nascentes possuem vazão média abaixo desse limiar, sendo o mínimo calculado de 0,01 L/s.

A taxa de intermitência entre as nascentes estudadas foi de aproximadamente 28%. Além disso, a lógica esperada era que as vazões de inverno fossem inferiores às de verão. Porém, 27% das nascentes com vazão mensurável não responderam a essa regra. Apesar da possibilidade de eventos chuvosos intra-sazonais responderem por essa variação, esse é um fator que não pôde ser suficientemente trabalhado nesta dissertação. Sugerem-se estudos futuros com menor periodicidade de medições de vazão, para auxiliar na compreensão desse fenômeno.

Entretanto, as vazões médias das nascentes dos parques Primeiro de Maio e Lagoa do Nado foram superior às do Mangabeiras. Apesar deste parque possuir as maiores vazões registradas, o grande número de nascentes com baixa vazão reduziu sua média. Todavia, os resultados apontaram para uma relação mais estreita das vazões com a morfologia das nascentes, o tipo de exfiltração, a posição dos afloramentos rochosos, a profundidade do manto e a formação geológica.

Quanto à migração, as nascentes fixas totalizaram 43% dos casos. Já as nascentes móveis foram consideravelmente menos expressivas, somando 28%. Os demais 29% corresponderam a nascentes que não puderam ter sua migração avaliada. De uma forma geral, dentre as nascentes móveis, as migrações foram curtas, alterando em menos de 2,90 m sua posição na vertente. Porém, foram registrados alguns casos de nascentes com grande mobilidade, sendo caracterizadas por deslocamentos superiores a 20 metros.

Neste trabalho foram mensuradas, também, as concentrações de Alumínio, Ferro e Sílica na água, bem como as taxas de perda geoquímica desses elementos. As concentrações dos elementos mensurados nas nascentes estudadas foram, sobretudo, muito baixas. A Sílica foi, na maioria das nascentes, o elemento de maior destaque: a média anual da concentração de Sílica foi comumente superior a 1 mg/L. As concentrações de Ferro foram menos significativas que as de Sílica, com poucos casos registrados com mais de 1 mg/L. Já as concentrações de Alumínio foram, definitivamente, as mais baixas; nenhum caso acima de 0,5 mg/L foi verificado para a concentração média anual. Destarte, houve clara tendência ao aumento nas concentrações no inverno, todavia, em algumas nascentes, isso não foi verificado.

Baixas concentrações de Ferro e Alumínio são comumente encontradas, porém, os resultados verificados neste trabalho, mesmo para esses elementos, apresentaram valores inferiores aos da literatura. Todavia, a Sílica tende a possuir concentrações bem mais elevadas do que aquelas registradas nas nascentes.

Ampliando as possibilidades de análise, foi calculada a taxa de perda geoquímica das nascentes a partir das concentrações dos íons estudados e de suas vazões. Os resultados vão ao encontro de uma gama de estudos realizados com o propósito de auferir as taxas de desnudação geoquímica em diferentes litotipos. De uma forma geral, as nascentes em mantos de intemperismo de rochas granito-gnáissicas-migmatíticas apresentaram taxas de perdas

geoquímicas altas, muito próximas às registradas em nascentes nas rochas da Formação Cercadinho, que obtiveram as maiores médias. Já as nascentes da Formação Gandarela obtiveram taxas de perda consideravelmente mais baixas para os elementos estudados. Sabe-se, todavia, que os resultados não abarcam os íons mais facilmente desnudados.

Contudo, verificou-se que a geoquímica das águas das nascentes pode complementar estudos de desnudação e rebaixamento do relevo na escala geológica. Entretanto, esse procedimento, por si só, não identifica os aquíferos e a área fonte da qual os minerais foram retirados. Além disso, não há informação do volume do material que foi drenado pelas águas que exfiltram nas nascentes impedindo cálculos acerca da desnudação.

O grande esforço teórico-metodológico deste trabalho, porém, perpassa a elaboração de uma tipologia para as nascentes. Geralmente, as tipologias encontradas na literatura acadêmica são monovariadas ou subjetivamente determinadas pelo autor, normalmente em relação estréia ao objetivo da investigação. Desse modo, divergências e incongruências são evidenciadas. Além disso, o fato de contemplar apenas uma característica das nascentes limita sua utilização. Todavia, sua utilização não é inviabilizada, desde que haja uma compreensão da lógica por trás da tipologia, atendo-se, sempre, aos pressupostos teórico-conceituais.

A partir da lógica nebulosa, seis tipos de nascentes foram criados, a saber: *nascentes freáticas*, com dinâmica resultante da variação do nível freático no aquífero granular sobreposto a um aquífero fissural; *nascentes dinâmicas*, que se caracterizam pela alta energia dos processos que a constituem; *nascentes sazonais erosivas*, que ocorrem pela interceptação sazonal do nível freático por feições erosivas, sobretudo, talwegues ou taludes de canais de drenagem; *nascentes flutuantes*, que são caracterizadas pela migração da nascente na vertente ocasionada pela flutuação do nível freático; *nascentes sazonais de encosta*, que possuem a peculiaridade de localizarem-se em encosta com mantos de intemperismo profundos e serem intermitentes; e *nascentes antropogênicas*, que devem ser consideradas um tipo especial de nascente por serem originadas essencialmente pela intervenção humana.

Apesar da possibilidade de enquadramento das nascentes nesses seis tipos, considerados padrões, as nascentes podem possuir características de diversos tipos. Com isso, perfis híbridos de dois tipos padrões podem ser criados. Além disso, a interpretação dos resultados obtidos para o grau de pertencimento das nascentes aos perfis demonstra que, a utilização de

uma metodologia baseada na Teoria dos Conjuntos Nebulosos foi de grande valia, ao sistematizar as informações sem, no entanto, ocultar a diversidade das nascentes

Com o mapeamento dos resultados da tipologia, ficou nítido que há um nítido condicionante espacial para o enquadramento do tipo das nascentes. As nascentes dos parques Primeiro de Maio e Lagoa do Nado apresentaram tipos similares, bastante distintos daqueles observados no Parque das Mangabeiras. O contexto geológico-geomorfológico regional pode ser a chave dessa heterogeneidade.

Por fim, acredita-se que a realização desse panorama das nascentes pode ser de grande valia tanto para o conhecimento do tema, quanto para a gestão ambiental. Os esforços teóricos e metodológicos possibilitaram o bom andamento dos trabalhos e culminaram em resultados profícuos. Contudo, a cada resposta obtida, uma nova pergunta era formulada, evidenciando problemas que as ciências ainda não foram capazes de abarcar. Assim, espera-se que os estudos sobre nascentes avancem cada vez mais, preenchendo as lacunas criadas e possibilitando a compreensão de algo tão caro ao equilíbrio do meio ambiente.

9. REFERÊNCIAS

- ALLABY, Ailsa; ALLABY, Michael. **The concise Oxford Dictionary of earth sciences**. Oxford: Oxford University, 1991.
- ALVES, L. C.; LEITE, I. C.; MACHADO, C. J. Perfis de saúde dos idosos no Brasil: análise da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2003 utilizando o método Grade of Membership. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 24(3), 2008. pp. 535-546.
- ANDRADE, Luciana Teixeira de. Segregação socioespacial e construção de identidades urbanas na RMBH. In: MENDONÇA, Jupira Gomes de; GODINHO, Maria Helena de Lacerda (org). **População espaço e gestão na metrópole: novas configurações, velhas desigualdades**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 180-204.
- AUGUSTIN, C. H. R. R. ; ARANHA, P. R. A. . Voçorocas em Gouveia, MG: Características e Processos Associados. **Geonomos**, v. 14, p. 75-86, 2006
- BARBOSA, F.; BARRETO, F. C. Diferentes visões da água. In: BARBOSA, F. (org). **Ângulos da água: desafios da integração**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. p. 11-24.
- BEATO, D. A. C. (coord). **Estudo Hidrogeológico da Bacia da Pampulha: relatório final**. Belo Horizonte: CPRM/PBH, 2001.
- BEATO, Décio A. C.; MEDEIROS, Marcelo J.; DREWS; Michael G.P.; DUTRA, Georgete M. Impactos urbanos em águas subterrâneas –bacia da Lagoa da Pampulha, Belo Horizonte-MG. **Rev. Águas Subterrâneas**. n° 17. Maio, 2003.
- BERTACHINI, A. C.. **Monitoramento das nascentes do Parque das Mangabeiras**. [Não publicado]. [s.d.].
- BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **R. RA E GA**, Curitiba, n. 8, Editora UFPR:, 2004. p. 141-152.
- BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R.A.; POUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. 3ª ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006.
- BRASIL. **Código Florestal. Lei 4.771**, de 15 de setembro de 1965.

BRASIL. **Lei 9.985**. 18 de junho de 2000. Ministério do Meio Ambiente, 2000.

BRASIL. **Portaria ANVISA no 518**, de 25 de março de 2004. Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 303**, de 20 de março de 2002. Ministério do Meio Ambiente, 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA no 357**, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BRITO, Fausto; SOUZA, Joseane de. A metropolização da pobreza. In: XI Encontro Nacional de Estudos Populacionais da ABEP, 1998, Caxambú, MG. **Anais do...** Belo Horizonte: ABEP, 1998. p. 489-516.

CARLOS, A. F. O meio ambiente urbano e o discurso ecológico. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, USP/FFLCH, 1994.

CARMO, Roberto Luiz do. Population and water resources in Brazil. In: HOGAN, Daniel Joseph; BERQUÓ, Elza & COSTA, Heloísa Soares de Moura. **Population and environment in Brazil: Rio + 10**. Campinas: CNPD, ABEP, NEPO, 2002.

CERQUEIRA, Cezar Augusto **Tipologia e características dos estabelecimentos escolares brasileiros**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

CETEC – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1983.

CHORLEY, R.J.; KENNEDY, B.A. **Physical Geography: a systems approach**. London: Prentice-Hall International, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: E. Blucher: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, 1981.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

COSTA, Walter Duarte. **Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte – MG**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2002.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta geológica de Belo Horizonte**. Escala 1:100.000. CPRM, 2000.

DAVIS, Stanley N. **Hidrogeology**. New York: 1966.

DE BLIJ, Harm J; MULLER, Peter O; WILLIAMS, Richard S.. **Physical geography: the global environment**. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2004.

DONOVAN, D. J.; KISTINGER, G. M.; ACHEAMPONG, S. Y. Characterization of springs in Eastern Nevada. In: **NWRA Annual Conference**. February, 2007

DUQUE, J.; ALMEIDA, C. Caracterização hidroquímica do sistema aquífero dos gabros de Beja. In: 4º Congresso da Água (Portugal). **Anais do...** 1998.

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

FARIA, A. P. Influência da vegetação nos processos fluviais de bacias de 1ª ordem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 5. n. 3 jul/set 2000. p. 59-68.

FEITOSA F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (coord). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997.

FELIPPE, Miguel Fernandes. **Espacialização e classificação dos topos como zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte-MG**. Monografia (graduação). Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES Jr, Antônio Pereira. Análise da variabilidade da vazão das nascentes no Parque das Mangabeiras (Belo Horizonte-MG) em relação aos seus condicionantes ambientais. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa-MG, Brasil. **Anais do...** Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, 2009a.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES Jr, Antônio Pereira. Aquifer recharge zones: a proposition of classification and intervention in the metropolitan space of Belo Horizonte,

Minas Gerais, Brazil. In: SWITCH – 3rd scientific meeting, Belo Horizonte, MG, Brazil. **Annals...** 2008.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES Jr, Antônio Pereira. Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte-MG. In: Brasil, 10 anos após a Conferência do Cairo – 6º Encontro Nacional Sobre Migrações, 2009. Belo Horizonte-MG, Brasil. **Anais do...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2009b.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES Jr, Antônio Pereira; GARCIA, Ricardo Alexandrino. Utilização do método grade of membership (GoM) na classificação da eficiência ambiental de zonas de recarga de aquíferos em Belo Horizonte-MG. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009. Campo Grande-MS, Brasil. **Anais do...** Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

FERREIRA, Igor Lacerda; GONTIJO, Bernardo Machado. Um histórico verde: a retração da vegetação remanescente no município de Belo Horizonte. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005. **Anais do...** São Paulo: USP, 2005.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994.

FIGUEIREDO, Vânia L. **Situação ambiental dos mananciais de abastecimento doméstico da RMBH localizados na porção oeste da APA-SUL (Quadrilátero Ferrífero-MG)**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

FRANCA, Rafael R. **Anticiclones e umidade relativa do ar: um estudo sobre o clima de Belo Horizonte**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

GARCIA, R. A; SOARES-FILHO, B.; SAWYER, D. O. **Dimensões sócio-econômicas e movimentos populacionais: uma regionalização da Amazônia brasileira** In: XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu. **Anais do...** Caxambu: ABEP, 2004.

GENRICH, Arlete Vieira da Silva. **Análise de impactos ambientais na cabeceira de drenagem da bacia do córrego Vilarinho - regional Venda Nova - RMBH-MG**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

GOMES, P. M. ; MELO, C. ; VALE, V. S. . Avaliação Microbiológica e Físico-química em Nascentes na Cidade de Uberlândia - MG. In: VII Congresso de Ecologia do Brasil, 2005, Caxambu/MG. **Anais do...**, 2005a.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 17 (32). Jun. 2005b. p. 103-120.

GONÇALVES, C.W.P. Formação sócio-espacial e questão ambiental no Brasil. In: BECKER, B; CHRISTOFOLETTI, A.; DAVIDOVIC, F.; GEIGER, P. **Geografia e meio ambiente no Brasil**. São Paulo: Hucitec, 1995. p.309-333.

GOUDIE, Andrew. **Encyclopedia of geomorphology**. London; New York: Routledge: International Association of Geomorphologists, 2004.

GUERRA, Antonio Teixeira. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8^a ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

HALL, M. J. **Urban Hydrology**. London: Elsevier Applied Science, 1984.

HARRIS, A.L.N.C. **Metodologias baseadas na Teoria dos Sistemas Nebulosos (Fuzzy Systems Theory) para o tratamento das informações subjetivas do Projeto Arquitetônico**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 1999.

HILL, Melissa E.; MARTIN, Angel; STEWART, Marc T. Performance Evaluation of the MODFLOW-2005 Conduit Flow Process Applied to a Karst Aquifer Underlying West-Central Florida. U.S. **Geological Survey Karst Interest Group Proceedings**, Bowling Green, Kentucky, May 27-29, 2008

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de climas do Brasil. Escala 1:5.000.000. IBGE, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de solos do Brasil. Escala 1:5.000.000. IBGE, 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de unidades de relevo do Brasil. Escala 1:5.000.000. IBGE, 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000. IBGE, 2004a.

IBGE. **Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente**. R.J.: IBGE, 2004b. <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/didaticos_e_tematicos/vocabulario_basico_de_recursos_naturais_e_meio_ambiente>, acesso dia 14/08/2008.

INCONTROL. **Manual de operação e instalação – VTP, medidor de vazão tipo Turbina Pelton**. [s.l.], [s.n.], 2005. Disponível em <<http://www.incontrol.ind.br/downloads/>>. Acesso em 21 de abril de 2009.

JACOBI, P. Meio ambiente urbano e sustentabilidade: alguns elementos para a reflexão. In: CAVALCANTE, C. (org.). **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas**. São Paulo: Cortez, 1997. p.384-390.

KNIGHTON, David. **Fluvial forms and processes**. London: 1984.

KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. **Tools in fluvial geomorphology**. Hoboken, NJ, USA: J. Wiley, 2003.

LAVARINI, Chrystiann; MAGALHÃES Jr, Antônio Pereira; FELIPPE, Miguel Fernandes. Panorama do estudo de nascentes e cabeceiras de drenagem em periódicos nacionais. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa-MG, Brasil. **Anais do....** Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, 2009.

LEINZ, Viktor; AMARAL, Sergio Estanislau do. **Geologia geral**. 11.ed. São Paulo: 1989.

LUCENA, Leandson Roberto F. de.; ROSA FILHO, Ernani Francisco da.; BITTENCOURT, André V. L. Características hidroquímicas do aquífero barreiras no âmbito do setor oriental da bacia do rio Pirangi-RN. **Rev. Águas Subterrâneas**. n. 18. Janeiro 2004. p. 29-38.

MAGALHÃES JR, Antônio Pereira. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MANTON, K., WOODBURY, M., TOLLEY, D. **Statistical applications using fuzzy sets**. [s.l.]: Wiley, 1994.

MEDEAZZA, G. M. Flujos de agua, flujos de poder. La aportación de Erik Swyngedouw al debate sobre los recursos hídricos en Latinoamérica y en el Estado español. **Doc. Anál. Geogr.** 47, 2006. p. 129-139.

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.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.

MEINZER, O.E. Large springs in the United States. **U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 557.** Washington D.C. 1927.

MICHAELLIS. **Moderno dicionário da Língua Portuguesa.** São Paulo: Ed. Melhoramentos, 2008.

MORAES, Joao Alberto Pratini de. **Teoria elementar do movimento das águas subterrâneas.** [s.l.]: [s.n.], 1982.

MORMUL, Roger P.; KWIATKOWSKI, Angela; ZERBINI, Diogo De L. N.; FREITAS, Andreia A.; ALMEIDA, Adriane C. G. Avaliação da qualidade da água em nascentes da favela são francisco de Campo Mourão/PR. **SaBios: Rev. Saúde e Biol.**, Campo Mourão, v. 1, n.1, 2006. p. 36-41.

MOURA, A. M. F.; SAADI, A. Diagnóstico da situação ambiental do Parque Fazenda Lagoa do Nado (Belo Horizonte – MG) e propostas para implantação. In: Simpósio de Geografia Física Aplicada, 1989, Nova Friburgo-RJ. **Anais do...** 1989. p. 35-52

MOURA, Heloísa Soares de. Habitação e produção do espaço em Belo Horizonte. In: MONTE-MÓR, Roberto Luís de Melo (coord). **Belo Horizonte: espaços e tempos em construção.** Belo Horizonte: CEDEPLAR/PBH, 1994. p. 51-77.

NASCIMENTO, N. O. ; BAPTISTA, M. B. . Contribuição para um enfoque ampliado do uso de bacias de detenção em meio urbano. In: BRAGA, B, TUCCI, C. e TOZZI, M.. (Org.). **Drenagem Urbana: gerenciamento, simulação e controle.** 1 ed. Porto Alegre: ABRH e Editora da Universidade, 1998, p. 189-203.

PANE, Edgar; PEREIRA, Sueli Y. As fontes em Itamonte, sul de Minas Gerais – uma contribuição para o entendimento das relações entre água superficial e subterrânea. **Águas subterrâneas**. v. 19. n. 1, p. 1-14, 2005.

PASSOS, Messias Modesto dos. **Biogeografia e paisagem**. [s.l.]: [s.n.], 1998.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Plano diretor de Belo Horizonte: lei de uso e ocupação do solo, estudos básicos**. Belo Horizonte, [s.n]: 1995.

PINET, P.; SOURIAU, M. Continental erosion and large-scale relief. **Tectonics**. vol. 7, n. 3. Jun 1988. p. 563-582.

PINTO, L. V. A.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**. Nº 65. jun. 2004. p. 197-206

PORTO, Rubem. L.; ZAHED FILHO, Kamel; TUCCI, Carlos. E. M.; BIDONE, Francisco. R. A. Drenagem Urbana. In: TUCCI, Carlos E. M. (org) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; São Paulo: EDUSP; Rio de Janeiro: ABRH, 2002

PRIBERAM. **Dicionário Priberam da Língua Portuguesa**. Portugal: Priberam Informática, S.A., 2009. Disponível em <<http://www.priberam.pt/dlpo/>>. Acesso em: 28 jul. 2009.

PROJETO ÁGUAS DE MINAS; INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Estado de Minas Gerais: qualidade das águas superficiais em 2000**. Belo Horizonte: IGAM, 2001. Escala: 1:1.500.000.

REBOUÇAS, Aldo C. Água doce no Brasil e no mundo. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. (org.). **Águas doces do Brasil**. São Paulo: Escrituras, 1999a. p. 1-36.

REBOUÇAS, Aldo C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. (org.). **Águas doces do Brasil**. São Paulo: Escrituras, 1999b. p. 117-150.

SALGADO, A. A. R. ; VARAJÃO, César Augusto Chicarino ; COLIN, Fabrice ; BRAUCHER, Régis ; NALINI JUNIOR, Herminio Arias ; VARAJÃO, Angélica Fortes Drummond. O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 55-69, 2004.

SALGADO, André A.; VALADÃO, Roberto C. Contribuição da Desnudação Geoquímica na Evolução da Erosão Diferencial no Espinhaço Meridional – MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 4, Nº 2, p. 31-40, 2003.

SANTOS, Lídia Maria dos. **O meio natural em Belo Horizonte: caracterização e análise de potencial para uso e ocupação preservacionista**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

SANTOS, Raphael D.; LEMOS, Raimundo C.; SANTOS, Humberto G.; Ker, João C.; ANJOS, Lúcia H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005.

SATHLER, Douglas. **As redes para além dos rios : urbanização e desequilíbrios na Amazônia Brasileira**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, 2009.

SCHOBENHAUS, C. **Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da area oceanica adjacente incluindo depositos minerais**. Brasília: Dep. Nacional da Produção Mineral, 1984.

SILVA, Adelbani Braz da; CARVALHO, Edésio Teixeira de; FANTINEL, Lucia Maria; ROMANO, Antonio Wilson; VIANA, Claudia de Santos. **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**. Belo Horizonte: FUNDEP/UFMG-IGC, 1995.

SOARES, Paulo V. **As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul**. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas, 2005.

SOTCHAVA, V.B. O estudo dos Geossistemas. **Métodos em Questão**, vol. 16, 1976, p. 1-52

STRAHLER, Arthur; STRAHLER, Alan. **Modern Physical Geography**. 4ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1992.

SUMMERFIELD, M. A.; HULTON, N. J. Natural controls of fluvial denudation rates in major world drainage basins. **Journal of geophysical research**. vol. 99, n. B7. Jul 1994. p. 13.871-13.883.

SUMMERFIELD, Michael A. **Global geomorphology: an introduction to the study of landforms**. New York: Longman Scientific & Technical, 1991.

SWYNGEDOUW, E.; KAÏKA, M.; CASTRO, E. Urban Water: A Political-Ecology Perspective. **Built Environment**, v.28(2), 124-37, 2002.

SWYNGEDOUW, Erik. Circulations and metabolisms: Hybrid Natures and Cyborg cities. **Science as Culture**, 1470-1189, Volume 15, Issue 2, 2006, Pages 105 – 121

SWYNGEDOUW, Erik. **Social Power and the Urbanization of Water: Flows of Power**. Hardback, 2004.

TEIXEIRA, Wilson. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

THOMAS, Michael F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.

TODD, D. K.; MAYS, L. W. **Groundwater hydrology**. John Willey & Sons, 2005.

TODD, David K. **Hidrologia de águas subterrâneas**. São Paulo: E. Blucher, 1959.

TROPPEMAIR, Helmut. **Biogeografia e meio ambiente**. 6ª ed. Rio Claro: Divisa, 2004.

TUNDISI, José Galizia. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, Out./Dez. 2003, vol.55, no.4, p. 31-33.

VALENTE, Osvaldo F.; GOMES, Marcos A. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.

VIANA, Veridiana M. F. C. **Estudo hidrogeoquímico das veredas do rio do formoso no município de Buritizeiro, Minas Gerais**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WARD, Andy & TRIMBLE, Stanley. **Environmental hydrology**. 2ª ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 2004.

WHITING, Peter J.; STAMM, John The hydrology and form of spring-dominated channels **Geomorphology**, Volume 12, Issue 3, June 1995, Pages 233-240.

WIKIPÉDIA – a encyclopedia livre. <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Nascente>> acesso em 15 de agosto de 2009.